

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 396**

51 Int. Cl.:

H02H 7/20 (2006.01)

H02S 50/00 (2014.01)

H02H 1/00 (2006.01)

G01R 31/08 (2006.01)

G01R 31/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.07.2015 E 15175200 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.06.2017 EP 2966461**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de detección de arcos eléctricos para instalaciones eléctricas con fuente de corriente continua**

30 Prioridad:

04.07.2014 FR 1456477

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

02.11.2017

73 Titular/es:

**SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS
(100.0%)
35 rue Joseph Monier
92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

DJEDDI, MOUNIR

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 640 396 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 arcos eléctricos para instalaciones eléctricas con fuente de corriente continua

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y dispositivo de arcos eléctricos para instalaciones eléctricas con fuente de corriente contenida.

Se sitúa en el ámbito de la protección de instalaciones eléctricas.

10 La invención encuentra una aplicación particular en el ámbito de las instalaciones fotovoltaicas, que constan de paneles fotovoltaicos como fuentes de energía eléctrica de corriente contenida. En las instalaciones fotovoltaicas, un dispositivo ondulator apto para transformar la corriente eléctrica contenida en corriente alterna que se inyectará en la red de distribución eléctrica se conecta a los paneles fotovoltaicos.

De manera general, la invención se aplica para cualquier otro tipo de instalación eléctrica que conste de una o varias fuentes de corriente eléctrica continua, conectadas a una carga, en particular, cuando el cable de conexión entre las fuentes de corriente y las cargas es muy largo.

15 En tales instalaciones, es posible constatar, sobre la longitud del cable de conexión, defectos de aislamiento. Pueden producirse arcos eléctricos, que inducen a un riesgo de incendio y a un riesgo de seguridad para los agentes de mantenimiento. Además, las cargas conectadas aguas abajo corren igualmente el riesgo de dañarse, lo que induce costes de reparación y de reemplazo.

20 Los problemas ligados a la aparición de arcos eléctricos se conocen muy bien, y existen diversos procedimientos de detección de presencia de arco eléctrico lo más pronto posible, con el fin de realizar un corte del circuito eléctrico y evitar la aparición de incendios, el accidente del agente de mantenimiento y el daño de las cargas.

Xiu Yao y col.: "The detection of DC arc fault: Experimental study and fault recognition", Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 5 de febrero de 2012, páginas 1720-1727, desvela un procedimiento de detección de arcos para instalaciones eléctricas con una fuente de corriente continua.

25 En el ámbito de las fuentes de corriente continua de las instalaciones fotovoltaicas, es particularmente difícil aplicar ciertos procedimientos conocidos, debido a la presencia de cambios resistentes y a la resistencia del cable de conexión de gran longitud. En ciertos casos la corriente de arco es débil y se ha observado por simulación que el espectro de la corriente en caso de presencia de arco está muy cerca del espectro de corriente en ausencia de arco, lo que hace la detección de arcos eléctricos muy difícil.

30 La invención tiene como objetivo proponer un procedimiento de detección de arco eléctrico para instalaciones eléctricas con una fuente de corriente continua, que es eficaz incluso en el caso en el que la corriente de arco eléctrico es débil.

Para ello, la invención propone, según un primer aspecto, un procedimiento de detección de arcos eléctricos para instalaciones eléctricas con una fuente de corriente continua, implementado por un dispositivo de detección que consta de un procesador de cálculo, dispuesto entre la fuente de corriente continua y una carga.

35 El procedimiento de la invención consta de las etapas de:

- obtención de una señal temporal digital a partir de la corriente eléctrica proporcionada por la fuente de corriente continua,
- para una pluralidad de intervalos de tiempo sucesivos de duración temporal predeterminada:
 - 40 - extracción de una señal secundaria temporal digital de dicha señal temporal digital que corresponde a un intervalo de tiempo corriente,
 - aplicación de un filtrado de paso de banda a dicha señal secundaria temporal digital,
 - cálculo de un valor estadístico de orden cuatro de la señal secundaria temporal digital filtrada,
 - 45 - comparación del valor estadístico de orden cuatro calculado con un primer umbral estadístico y/o con un segundo umbral estadístico, y en el caso en el que el valor estadístico de orden cuatro es inferior al primer umbral estadístico, o en el caso en el que el valor estadístico de orden cuatro es superior al segundo umbral estadístico, memorización de una indicación de detección positiva para el intervalo de tiempo corriente,
- detección de presencia de arco eléctrico cuando el número de indicaciones de detección positiva memorizadas sobrepasa un umbral de detección predeterminado.

50 Ventajosamente, el procedimiento de detección de arco eléctrico según la invención consta de la extracción de señales secundarias temporales y el análisis de estadísticas de cuarto orden en varios intervalos temporales para detectar la presencia de arco eléctrico.

El procedimiento según la invención es eficaz incluso cuando la corriente de arco es débil, y es rápido desde un

punto de vista de cálculo.

El procedimiento de detección de arcos eléctricos según la invención puede presentar igualmente una o varias de las siguientes características.

5 Este procedimiento consta de, para una dicha señal secundaria temporal digital que corresponde a un intervalo de tiempo corriente, una determinación de un valor de suma máxima de la señal secundaria temporal digital, y una actualización de dicha indicación de detección positiva en función del valor estadístico de orden cuatro calculado y del valor de suma máximo calculado.

La determinación de un valor de suma máximo de la señal secundaria temporal digital se efectúa cuando dicho valor estadístico de orden cuatro es superior al primer umbral estadístico e inferior al segundo umbral estadístico.

10 El procedimiento consta de, además, cuando el valor estadístico de orden cuatro es superior al primer umbral estadístico e inferior a un umbral estadístico intermedio, una comparación del valor de suma máximo con un primer umbral de desarrollo, y una detección de presencia de arco eléctrico si el valor máximo de la suma es superior a dicho primer umbral de suma.

15 Cuando el valor estadístico de orden cuatro es superior al umbral estadístico intermedio e inferior al segundo umbral estadístico, el procedimiento consta de una comparación del valor de suma máxima con un segundo umbral de suma máxima, y una detección de presencia de arco eléctrico si el valor máximo de la suma es superior a dicho segundo umbral de suma.

20 El procedimiento consta de un cálculo de un coeficiente de variación sobre la media y del valor estadístico de orden dos de la señal secundaria temporal digital que corresponde al intervalo de tiempo corriente antes del filtrado de paso de banda, y una actualización de dicha indicación de detección positiva cuando dicho coeficiente de variación sobrepasa un umbral de variación predeterminado.

Para cada intervalo de tiempo corriente, la memorización de una indicación de detección de arco eléctrico en una memoria intermedia circular de tamaño predeterminado e implementado.

Según una característica, el umbral de detección se calcula en función del tamaño de la memoria intermedia circular.

25 Según una característica, dos intervalos de tiempo sucesivos presentan un solapamiento de una duración de solapamiento predeterminada.

El filtrado de paso de banda se define por una primera frecuencia F1 y una segunda frecuencia F2, siendo la dicha primera frecuencia función de una frecuencia de corte de dicha carga, siendo la dicha segunda frecuencia función de una frecuencia de muestreo de un convertidor analógico-digital que permite obtener dicha señal temporal digital.

30 Según un segundo aspecto, la invención se refiere a un dispositivo de arcos eléctricos para instalaciones eléctricas con fuente de corriente contenida, que consta de un procesador de cálculo, dispuesto entre la fuente de corriente continua y una carga.

El dispositivo consta de:

- 35 - un módulo de obtención de una señal temporal digital a partir de la corriente eléctrica proporcionada por la fuente de corriente continua, para aplicación a una pluralidad de intervalos de tiempo sucesivos de duración temporal predeterminada,
 - una unidad de extracción de una señal secundaria temporal digital de dicha señal temporal digital que corresponde a un intervalo de tiempo corriente,
 - 40 - un módulo de paso de banda a dicha señal secundaria temporal digital,
 - un módulo de un módulo cálculo de un valor estadístico de orden cuatro de la señal secundaria temporal digital filtrada,
 - un módulo de decisión, apto para efectuar una comparación del valor estadístico de orden cuatro calculado con un primer umbral estadístico y/o con un segundo umbral estadístico, y en el caso en el que el valor estadístico de orden cuatro es inferior al primer umbral estadístico, o en el caso en el que el valor estadístico de orden cuatro es superior al segundo umbral estadístico, una memorización de una indicación de detección positiva para el intervalo de tiempo corriente,
 - 45 - siendo el módulo de detección apto para detectar la presencia de arco eléctrico cuando el número de indicaciones de detección positiva memorizadas sobrepasa un umbral de detección predeterminado.

50 El dispositivo de detección de arcos eléctricos según la invención puede presentar igualmente una o varias de las siguientes características.

Consta de un módulo de desencadenamiento de una unidad de seguridad en respuesta a una señal de desencadenamiento enviada por el módulo de decisión.

La unidad de extracción de una señal secundaria temporal digital de dicha señal temporal digital que corresponde a un intervalo de tiempo corriente consta de un sensor de corriente eléctrica y un convertidor analógico-digital que tiene una frecuencia de muestreo dada.

5 El módulo de filtrado de paso de banda es apto para efectuar un filtrado entre una primera frecuencia F1 y una segunda frecuencia F2, siendo la dicha primera frecuencia función de una frecuencia de corte de dicha carga, dicha segunda frecuencia siendo función de la frecuencia de muestreo.

Consta de un módulo de cálculo de suma de dicha señal secundaria temporal digital que corresponde a un intervalo de tiempo corriente, un valor de suma máxima de la señal secundaria temporal digital transmitiéndose a dicho módulo de decisión.

10 Consta de un módulo de cálculo de variación apto para calcular un coeficiente de variación sobre la media y del valor estadístico de orden dos de la señal secundaria temporal digital que corresponde al intervalo de tiempo corriente antes del filtrado de paso de banda, y para transmitir el coeficiente de variación calculado al dicho módulo de decisión.

15 Otras características y ventajas de la invención surgirán a partir de la descripción que se dará a continuación, a título indicativo y en ningún caso limitativo, en referencia a las figuras adjuntas, entre las cuales:

- la figura 1 representa esquemáticamente una instalación eléctrica que consta de un dispositivo de detección de presencia de arcos eléctricos según un modo de realización de la invención;
- la figura 2 representa esquemáticamente un conjunto de bloques funcionales de un dispositivo de detección de arcos eléctricos según un modo de realización de la invención;
- 20 - a figura 3 ilustra módulos funcionales implementados por un dispositivo de cálculo de un dispositivo de detección de arcos eléctricos según la invención;
- la figura 4 ilustra esquemáticamente muestras de señales secundarias temporales digitales;
- la figura 5 es un diagrama de bloques de las principales etapas de un procedimiento de detección de arcos eléctricos según un modo de realización de la invención.

25 La figura 1 ilustra esquemáticamente una instalación 2 eléctrica en la que la invención encuentra una aplicación.

En el modo de realización ilustrado, se trata de una instalación 2 eléctrica fotovoltaica, que consta de una fuente 4 de corriente continua, formada, por ejemplo, de un conjunto de paneles solares, conectado en el circuito 2 eléctrico con un ondulator 6.

30 El ondulator 6 es apto para transformar la corriente eléctrica continua proporcionada por la fuente 4 en corriente eléctrica alterna de frecuencia 50 Hz, que permite alimentar una red 8 eléctrica.

El circuito 2 de instalación consta igualmente de un dispositivo de detección de presencia de arcos 10 eléctricos, cuyos bloques funcionales principales se describen más en detalle en referencia a la figura 2.

35 El dispositivo de detección de presencia de arcos 10 eléctricos consta de un sensor 12 de corriente eléctrica que es apto para recuperar la señal correspondiente a la corriente eléctrica DC, y a digitalizarla para proporcionar una señal temporal digital en entrada de un dispositivo 14 de cálculo apto para efectuar tratamientos de señal digital.

El dispositivo 14 de cálculo es, por ejemplo, un microcontrolador o un procesador de señal digital, llamado igualmente DSP por "Digital Signal Processor". El dispositivo 14 consta, en particular, un microprocesador, memorias e interfaces 16 de entrada-salida que permite enviar órdenes de control a una unidad 18 de seguridad, apta para efectuar una abertura del circuito para eliminar la propagación de arco eléctrico detectado.

40 El dispositivo 14 se programa para implementar módulos funcionales de decisión tales como los ilustrados esquemáticamente en la figura 3.

Como se ilustra en la figura 3, el sensor 12 de corriente eléctrica DC recupera la señal correspondiente, y la unidad 20 de conversión analógica/digital proporciona una señal S temporal digital que se memoriza a medida que se adquiere, preferentemente en una memoria intermedia (o buffer en terminología anglosajona) de muestras digitales.

45 Una unidad 22 de extracción de señal secundaria temporal digital correspondiente a un intervalo de tiempo de deslizamiento, definido entre un instante T_0 temporal y un instante $T_0 + \Delta t$ temporal, se aplica para extraer una señal S_f secundaria temporal digital. Por ejemplo, $\Delta t = 0,2$ segundos, lo que corresponde a K muestras de la señal digital.

La unidad 22 de extracción se aplica sucesivamente aplicando el intervalo de deslizamiento, dos extracciones sucesivas que tienen preferentemente una zona de solapamiento de dt segundos que corresponde a r muestras.

50 Por ejemplo, la zona de solapamiento es igual a $dt = 0,5 \times \Delta t$. De manera más general, dt está comprendido entre $0,1 \times \Delta t$ y $0,9 \times \Delta t$.

En la figura 4, las muestras S_i de la señal temporal digital se memorizan en la memoria 21, y señales Sw_1 , Sw_2

ES 2 640 396 T3

secundarias temporales digitales, y así sucesivamente se extraen de la memoria 21 intermedia, para intervalos W_1 , W_2 con un solapamiento de $r=2$ muestras en este ejemplo.

Las señales secundarias temporales digitales se tratan seguidamente por los módulos 24 y 26 a 28 de tratamiento respectivos.

- 5 El módulo 24 de filtrado aplica un filtrado de paso banda, entre una primera frecuencia F_1 y una segunda frecuencia F_2 , por ejemplo, $F_1=50$ kHz (kilohercios) y $F_2=90$ kHz.

Se pueden seleccionar otros valores de primera frecuencia y de segunda frecuencia para la definición del filtrado de paso de banda.

- 10 De una manera más general, la primera frecuencia se selecciona en función de la frecuencia de corte de la carga 6, y la segunda frecuencia se selecciona en función de la frecuencia de muestreo de la conversión analógica digital aplicada a la señal temporal que representa la corriente eléctrica. Por ejemplo, para un muestreo a 200 kHz, una segunda frecuencia de 90 kHz se selecciona.

En un primer modo de realización, el módulo 24 de filtrado se implementa por el dispositivo 14 de cálculo tal como se describió anteriormente.

- 15 En un modo de realización preferente alternativo, el módulo 24 de filtrado se implementa por un circuito analógico de filtrado.

Una señal secundaria temporal digital filtrada se obtiene en la salida del módulo 24 de filtrado.

- 20 El módulo 26 de cálculo estadístico efectúa un cálculo de un valor estadístico de orden 4 o curtosis, igualmente llamado coeficiente de aplanamiento, de cada señal secundaria temporal digital filtrada, y el módulo 28 de cálculo de la suma efectúa el cálculo de la suma máxima de cada señal secundaria temporal digital filtrada, como se explica en mayor detalle a continuación.

El módulo 30 de cálculo de variación efectúa un cálculo de coeficiente de variación de la señal secundaria temporal antes del filtrado de paso de banda, para cada señal secundaria temporal digital extraída por la unidad 22 de extracción.

- 25 En un modo de realización, los módulos 26 de cálculo estadístico, de cálculo 28 de la suma y de cálculo 30 de variación se implementan sustancialmente en paralelo. Cada uno de los módulos de cálculo proporciona un indicador de detección de presencia de arco eléctrico, en caso de fracaso, para cada señal secundaria temporal digital que corresponde a un intervalo de tiempo, a un módulo 32 de decisión.

- 30 En un modo de realización preferente alternativo, el módulo 26 de cálculo se aplica en un primer tiempo, y, los módulos de cálculo 28 de suma y de cálculo 30 de variación se aplican posteriormente, en función del resultado del módulo 26 de cálculo estadístico.

El módulo 32 de decisión memoriza indicaciones de detección de presencia de arco para una pluralidad de señales secundarias temporales digitales que corresponde cada una a un intervalo de tiempo, y efectúa una determinación de detección de arco eléctrico en función de la pluralidad de las indicaciones de detección de arco.

- 35 En un modo de realización, las indicaciones de detección de arco se representan en forma de banderas que toman un valor binario que indica la respectivamente la detección de presencia o de ausencia de arco eléctrico para una señal secundaria temporal digital que corresponde a un intervalo de tiempo dado, y se memorizan en una memoria intermedia de detección de arco, de tipo circular y de capacidad N dada.

- 40 El módulo 32 de decisión decide la presencia de un arco eléctrico cuando la memoria intermedia de detección de arco contiene, al menos, n indicaciones positivas entre las N indicaciones memorizadas.

Preferentemente, n está comprendido entre 30 % de N y 100% de N .

En caso de decisión positiva por el módulo 32 de decisión, este módulo envía una señal de desencadenamiento a un módulo 34 de desencadenamiento de la unidad 18 de seguridad, con el fin de provocar una abertura del circuito eléctrico.

- 45 La figura 5 es un diagrama de bloques de las principales etapas de un procedimiento de detección de arcos eléctricos para instalaciones eléctricas con una fuente de corriente continua según un modo de realización de la invención.

En una primera etapa 40 de adquisición de la señal eléctrica, la señal temporal que representa la corriente eléctrica continua emitida por la fuente de corriente continua se adquiere.

- 50 Esta señal temporal se digitaliza por un conversor analógico/digital en el momento de la etapa 42 de digitalización, y

las muestras de la señal temporal digital obtenidas se memorizan en una memoria intermedia de muestras digitales. En un ejemplo de realización, una digitalización de 200 kHz se efectúa.

Una señal temporal digital se extrae en el momento de la etapa 44 de extracción de la señal secundaria, para un intervalo de tiempo corriente comprendido entre un instante T_0 inicial y un instante $T_0 + \Delta t$ final dados.

- 5 La señal temporal digital se filtra en el momento de una etapa 46 de filtrado de paso de banda, por ejemplo, por un filtro Butterworth de orden 6 entre una primera frecuencia 50 kHz y una segunda frecuencia de 90 kHz.

El conjunto de las muestras digitales de la señal secundaria digital temporal digital extraída se proporciona igualmente en la entrada de una etapa de cálculo 48 de coeficiente de variación.

- 10 Para una señal S_w secundaria temporal digital compuesta de muestras $S_w(1)$ a $S_w(K)$, el coeficiente $C_v(S_w)$ de variación se da por:

$$C_v(S_w) = 100 \times \frac{\mu(S_w)}{\sigma(S_w)} \quad (\text{Eq 1})$$

Donde $\mu(S_w)$ es la media de la señal S_w secundaria temporal digital, o estadística de primer orden:

$$\mu(S_w) = E[S_w] = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K S_w(i) \quad (\text{Eq 2})$$

$E[x]$ designando el valor matemático de una viable X .

- 15 Y $\sigma(S_w)$ es la desviación estándar de la señal S_w secundaria temporal digital, o estadística de segundo orden:

$$\sigma(S_w) = \sqrt{E[(S_w - \mu(S_w))^2]} = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (S_w(i) - \mu(S_w))^2} \quad (\text{Eq 3})$$

Después del filtrado de la señal secundaria temporal digital en el momento de la etapa 46 de filtrado de paso de banda, la media y la varianza de la señal S_{WF} secundaria temporal digital filtrada se calculan en la etapa 50 del cálculo de las estadísticas de orden 1 y 2 después del filtrado:

20
$$\mu(S_{WF}) = E[S_{WF}] = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K S_{WF}(i) \quad (\text{Eq 4})$$

$$\sigma^2(S_{WF}) = E[(S_{WF} - \mu(S_{WF}))^2] \quad (\text{Eq 5})$$

El valor estadístico de orden 4 o curtosis del tiempo de la señal S_{WF} secundaria temporal digital filtrada se calcula en el momento de la etapa 52 de cálculo de estadística de orden superior, efectuado después del cálculo de las estadísticas de orden 1 y 2.

- 25 El curtosis se define, para una señal S_{WF} secundaria temporal digital filtrada, por:

$$K(S_{WF}) = \frac{E[(S_{WF} - \mu(S_{WF}))^4]}{\sigma^4(S_{WF})} \quad (\text{Eq 6})$$

Para una señal S_{WF} secundaria temporal digital filtrada dada, se obtiene de esta manera un valor de curtosis. Cuando la distribución de las muestras de la señal S_{WF} secundaria temporal digital filtrada es una gaussiana normalizada, el valor de curtosis es $K=3$.

- 30 El valor de curtosis obtenido por una señal S_{WF} secundaria temporal digital se proporciona a una etapa 54 de detección para un intervalo de tiempo dado.

La etapa 54 de detección implementa pruebas de detección de arco que proporciona cada una un indicador de

detección de presencia o ausencia de arco eléctrico, para la señal secundaria temporal digital que corresponde al intervalo de tiempo corriente.

5 Se ha constatado, después de las pruebas experimentales realizados por los inventores, que cuando el valor $K(S_{WF})$ del curtosis calculado para una señal S_{WF} secundaria temporal digital filtrada dada es inferior a un primer umbral K_1 estadístico, o es superior a un segundo umbral K_2 estadístico, la detección de presencia de arco eléctrico es positiva.

Preferentemente, el primer umbral estadístico es $K_1=2,1$ y el segundo umbral estadístico es $K_2=5$.

De manera general $K_1=2,1\pm\Delta K_1$ y $K_2=5\pm\Delta K_2$ aquí ΔK_1 y ΔK_2 se definen para que la detección del arco sea siempre óptima, con $\Delta K_1=0,1$ y $\Delta K_2=0,1$.

10 Una primera prueba efectuada en la etapa 54 de detección consiste en comprar el valor del curtosis $K(S_{WF})$ calculado en el primer umbral K_1 y el segundo umbral K_2 .

Si la primera prueba indica que $K(S_{WF}) \leq K_1$ o que $K(S_{WF}) \geq K_2$, un primer indicador Ind_1 binario se pone entonces a 1.

De manera más general, un primer indicador Ind_1 se pone a un valor que indica una detección de arco eléctrico positivo para la señal S_W secundaria temporal digital considerada.

15 El procedimiento comprende igualmente una etapa 56 de cálculo de una señal de suma de la señal S_W temporal digital considerada y una etapa 58 de cálculo de suma máxima de esta señal secundaria.

La etapa 56 se efectúa sustancialmente en paralelo con la etapa 52 de cálculo de estadística de orden superior o tras la etapa de cálculo de la estadística 52 de orden superior.

Consta del cálculo de una señal de suma a partir de la señal S_{WF} secundaria temporal digital filtrada:

$$20 \quad Y(n) = S_{WF}(i) + j \cdot H(S_{WF}(i)) \quad (\text{Eq 7})$$

Donde j es la unidad de ámbito imaginario y $H(X)$ es la transformada de Hilbert de una señal X .

Después, en el momento de la etapa 58, el máximo en valor absoluto de la señal $Y(i)$ analítica se calcula.

La suma máxima, señalada como $MaxEnv(S_{WF})$, se calcula como sigue:

$$MaxEnv(S_{WF}) = MAX(|Y(i)|) \quad (\text{Eq 8})$$

25 Donde $MAX(\cdot)$ es la función máxima y $|Y(i)|$ es el valor absoluto de la amplitud de la señal $Y(i)$.

El valor máximo de suma obtenido se proporciona igualmente en la etapa 54 de detección.

En la etapa 54 de detección, el valor $MaxEnv(S_{WF})$ de suma máximo se utiliza con el valor $K(S_{WF})$ de curtosis calculado para la señal secundaria temporal digital filtrada corriente para efectuar una segunda prueba de detección de presencia de arco eléctrico.

30 Si el valor de $K(S_{WF})$ está comprendido entre el primer umbral K_1 estadístico es un valor K_{int} de umbral estadístico intermedio y, si el valor de suma máxima de la señal $MaxEnv(S_{WF})$ secundaria es superior a un primer umbral ME_1 a un primer umbral, entonces, un segundo indicador Ind_2 se pone a un valor que indica una detección de arco eléctrico positivo para la señal S_W secundaria temporal digital considerada.
Preferentemente $K_{int}=3,3$ a $ME_1=0,3$

35 Si el valor de $K(S_{WF})$ está comprendido entre el valor K_{int} de umbral estadístico intermedio y el segundo umbral K_2 estadístico, y si el valor de la suma $MaxEnv(S_{WF})$ máxima es superior a un segundo umbral ME_2 de suma, entonces, el segundo indicador Ind_2 se pone a un valor que indica una detección de arco eléctrico positivo para la señal S_W secundaria temporal digital considerada.
Preferentemente $K_{int}=3,3$ a $ME_2=0,03$

40 Se señalará igualmente que $K_2 > K_1$.

Por último, en la etapa 54 de detección, el valor del coeficiente de variación calculado en el momento de la etapa 48 de cálculo de coeficiente de variación se utiliza para efectuar una tercera prueba de detección de presencia de formación de arco eléctrico.

El valor del coeficiente de variación calculado se compara a un valor V de umbral de variación, por ejemplo, igual a

15, y preferentemente comprendido entre 15 % y 100 %.

En caso de sobrepasar el umbral de variación, entonces se $C_V(S_W) > V$, entonces un tercer indicador Ind_3 se pone a un valor que indica una detección de arco eléctrico positivo para la señal S_{WF} secundaria considerada.

5 Finalmente, en el momento de la etapa 54 de detección, varios valores calculados para la señal secundaria temporal digital que corresponden al intervalo de tiempo corriente se comparan a unos umbrales, y tres indicadores de detección de presencia de arco eléctrico se actualizan.

Los tres indicadores que permiten proporcionar una indicación de detección de arco eléctrico, positivo o negativo, para el intervalo de tiempo corriente.

10 Si uno de los tres indicadores Ind_1 , Ind_2 e Ind_3 actualizados es positivo, entonces se indica una detección positiva de presencia de arco eléctrico, entonces, la indicación de detección de arco eléctrico para el intervalo de tiempo corriente es positivo.

Si los tres indicadores Ind_1 , Ind_2 e Ind_3 son negativos, entonces la indicación de detección de arco eléctrico para el intervalo de tiempo corriente es negativa.

15 Si la indicación de detección de arco eléctrico para el intervalo de tiempo corriente es positiva, entonces, la etapa 54 de detección se sigue de la etapa 60 de decisión de presencia de arco en función de las pruebas efectuadas para una pluralidad de señales secundarias temporales digitales extraídas.

20 Según un modo de realización, la indicación de detección de arco eléctrico para el intervalo de tiempo corriente se actualiza en una memoria intermedia circular, llamada memoria intermedia de detección de arco, que permite almacenar los resultados de las pruebas de detección para un número N predeterminado de señales secundarias temporales digitales, extraídas sucesivamente utilizando un intervalo de tiempo de deslizamiento en el tiempo de duración ΔT predeterminada.

En la práctica, la indicación de detección de arco eléctrico para el intervalo de tiempo corriente se realiza por la puesta a 1 de un bit que corresponde a la memoria intermedia de detección de arco, mientras que una indicación de detección negativa se traduce por la puesta a 0 del bit correspondiente.

25 Por ejemplo, el tamaño N de la memoria intermedia de detección de arco se da por la fórmula:

$$N = \left\lceil \left\lfloor \frac{f_s}{\Delta T - dt} \right\rfloor \right\rceil \quad (\text{Eq 9})$$

Donde $\lceil x \rceil$ es el redondeo numérico del valor x , f_s es la frecuencia de muestreo, ΔT es la duración del intervalo de tiempo y dt la duración de solapamiento entre dos intervalos temporales sucesivos.

30 Se determina, en el momento de la etapa 60 de decisión de presencia de arco si el número n de indicaciones de detección positiva por la señal secundaria temporal digital es superior o igual a un umbral de detección calculado en función N , por ejemplo $0,3 \times N$.

De manera general, un coeficiente P representativo de una tasa de indicaciones de detecciones positivas entre las N últimas detecciones de presencia de arco efectuadas se utiliza y se verifica si $n \geq P \times N$.

35 En la práctica, cuando la indicación de detección de arco eléctrico es un bit igual a 1, es suficiente con sumar el conjunto de los valores memorizados en la memoria intermedia de detección de arco para calcular el valor n .

Cuando la decisión es positiva, una señal de desencadenamiento de la unidad de seguridad se envía a la etapa 62 de desencadenamiento de seguridad, para inducir una abertura del circuito.

40 En caso de decisión negativa, la etapa 60, así como la etapa 54 de detección en caso de detección negativa para el conjunto de pruebas efectuadas, se sigue de la etapa 44 de extracción de muestras de una señal secundaria temporal digital para un nuevo intervalo de tiempo corriente, comprendido entre $T_0 + dt$ y $T_0 + dt + \Delta T$.

En una variante, solo la primera prueba de detección basada en la estadística de orden cuatro calculada para cada señal secundaria temporal digital extraída se utiliza. Esta variante es más rápida desde el punto de vista computacional.

45 En otra variante, la etapa 48 solo se efectúa si el valor de curtosis calculado para una señal secundaria temporal digital considerada está comprendido entre el primer umbral y el segundo K_1 umbral K_2 . Después, las etapas 56 y 58 solo se efectúan si el valor de curtosis calculado para una señal secundaria temporal digital filtrada considerada está comprendido entre el primer umbral K_1 y el segundo umbral y el valor de coeficiente de variación es inferior al umbral K_2 de variación. En esta variante, la primera, segunda y tercera prueba de detección no se efectúan

sistemáticamente, se efectúan de manera separada y condicionalmente al resultado de una prueba anterior. El tiempo y los recursos computacionales se ahorran en esta variante de realización.

En el caso en el que tres pruebas de detección de presencia de arcos se efectúen, es posible detectar diversos tipos de arcos eléctricos, controlando diversas características de la señal eléctrica.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de detección de arcos eléctricos para instalaciones eléctricas con fuente de corriente continua, implementado por un dispositivo de detección que consta de un procesador de cálculo, dispuesto entre la fuente de corriente continua y una carga, **caracterizado porque** consta de las etapas de:
- 5 - obtención (40, 42) de una señal temporal digital a partir de la corriente eléctrica proporcionada por la fuente de corriente continua,
 - para una pluralidad de intervalos de tiempo sucesivos de duración temporal predeterminada:
- extracción (44) de una señal secundaria temporal digital de dicha señal temporal digital que corresponde a un intervalo de tiempo corriente,
- 10 - aplicación (46) de un filtrado de paso de banda a dicha señal secundaria temporal digital,
 - cálculo (50, 52) de un valor estadístico de orden cuatro de la señal secundaria temporal digital filtrada,
 - comparación (54) del valor estadístico de orden cuatro calculado con un primer umbral estadístico y/o con un segundo umbral estadístico, y en el caso en el que el valor estadístico de orden cuatro sea inferior al primer umbral estadístico, o en el caso en el que el valor estadístico de orden cuatro sea superior al segundo umbral estadístico, memorización de una indicación de detección positiva para el intervalo de tiempo corriente,
- 15 - detección (60) de presencia de arco eléctrico cuando el número de indicaciones de detección positiva memorizadas sobrepase un umbral de detección predeterminado.
- 20 2. Procedimiento de detección de arcos eléctricos según la reivindicación 1, **caracterizado porque** consta de, para una dicha señal secundaria temporal digital que corresponde a un intervalo de tiempo corriente, una determinación (56, 58) de un valor de suma máximo de la señal secundaria temporal digital, y una actualización de dicha indicación de detección positiva en función del valor estadístico de orden cuatro calculado y del valor de suma máximo calculado.
- 25 3. Procedimiento de detección de arcos eléctricos según la reivindicación 2, **caracterizado porque** la determinación de un valor de suma máximo de la señal secundaria temporal digital se efectúa cuando dicho valor estadístico de orden cuatro es superior al primer umbral estadístico e inferior al segundo umbral estadístico.
- 30 4. Procedimiento de detección de arcos eléctricos según una de las reivindicaciones 2 o 3, **caracterizado porque** consta de:
- cuando el valor estadístico de orden cuatro es superior al primer umbral estadístico e inferior a un umbral estadístico intermedio, una comparación del valor de suma máximo con un primer umbral de desarrollo, y una detección de presencia de arco eléctrico si el valor máximo de la suma es superior a dicho primer umbral de suma.
- 35 5. Procedimiento de detección de arcos eléctricos según la reivindicación 4, **caracterizado porque** consta de:
- cuando el valor estadístico de orden cuatro es superior al umbral estadístico intermedio e inferior al segundo umbral estadístico, una comparación del valor de suma máximo con un segundo umbral de desarrollo, y una detección de presencia de arco eléctrico si el valor máximo de la suma es superior a dicho segundo umbral de suma.
- 40 6. Procedimiento de detección de arcos eléctricos según una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** consta de un cálculo (48) de un coeficiente de variación sobre la media y del valor estadístico de orden dos de la señal secundaria temporal digital que corresponde al intervalo de tiempo corriente antes del filtrado de paso de banda, y una actualización de dicha indicación de detección positiva cuando dicho coeficiente de variación sobrepasa un umbral de variación predeterminado.
- 45 7. Procedimiento de detección de arcos eléctricos según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** consta, para cada intervalo de tiempo corriente, de la memorización de una indicación de detección de arco eléctrico en una memoria intermedia circular de tamaño predeterminado.
8. Procedimiento de detección de arcos eléctricos según la reivindicación 7, **caracterizado porque** dicho umbral de detección se calcula en función del tamaño de la memoria intermedia circular.
9. Procedimiento de detección de arcos eléctricos según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** dos intervalos de tiempo sucesivos presentan un solapamiento de una duración de solapamiento predeterminada.
- 50 10. Procedimiento de detección de arcos eléctricos según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** el filtrado (46) de paso de banda se define por una primera frecuencia F1 y una segunda frecuencia F2, siendo la dicha primera frecuencia función de una frecuencia de corte de dicha carga, siendo la dicha segunda frecuencia función de una frecuencia de muestreo de un convertidor analógico-digital que permite obtener

dicha señal temporal digital.

11. Dispositivo de detección de arcos eléctricos para instalaciones eléctricas con fuente de corriente continua, que consta de un procesador de cálculo, dispuesto entre la fuente de corriente continua y una carga, **caracterizado porque** consta de:

- 5 - un módulo de obtención de una señal temporal digital a partir de la corriente eléctrica proporcionada por la fuente de corriente continua, para aplicación a una pluralidad de intervalos de tiempo sucesivos de duración temporal predeterminada,
- una unidad (22) de extracción de una señal secundaria temporal digital de dicha señal temporal digital que corresponde a un intervalo de tiempo corriente,
- 10 - un módulo (24) de paso de banda a dicha señal secundaria temporal digital,
- un módulo (26) de cálculo de un valor estadístico de orden cuatro de la señal secundaria temporal digital filtrada,
- un módulo (32) de decisión apto para efectuar una comparación del valor estadístico de orden cuatro calculado con un primer umbral estadístico y/o con un segundo umbral estadístico, y en el caso en el que el
- 15 valor estadístico de orden cuatro sea inferior al primer umbral estadístico, o en el caso en el que el valor estadístico de orden cuatro sea superior al segundo umbral estadístico, una memorización de una indicación de detección positiva para el intervalo de tiempo corriente,
- siendo el módulo (32) de detección apto para detectar la presencia de arco eléctrico cuando el número de indicaciones de detección positiva memorizadas sobrepase un umbral de detección predeterminado.

20 12. Dispositivo de detección de arcos eléctricos según la reivindicación 11, **caracterizado porque** consta de un módulo (34) de desencadenamiento de una unidad de seguridad en respuesta a una señal de desencadenamiento enviada por el módulo (32) de decisión.

25 13. Dispositivo de detección de arcos eléctricos según una cualquiera de las reivindicaciones 11 o 12, **caracterizado porque** la unidad (22) de extracción de una señal secundaria temporal digital de dicha señal temporal digital que corresponde a un intervalo de tiempo corriente consta de un sensor de corriente eléctrica y un convertidor analógico-digital que tiene una frecuencia de muestreo dada.

30 14. Dispositivo de detección de arcos eléctricos según la reivindicación 13, **caracterizado porque** el módulo (24) de filtrado de paso de banda es apto para efectuar un filtrado entre una primera frecuencia F1 y una segunda frecuencia F2, siendo la dicha primera frecuencia función de una frecuencia de corte de dicha carga, dicha segunda frecuencia siendo función de la frecuencia de muestreo.

35 15. Dispositivo de detección de arcos eléctricos según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, **caracterizado porque** consta de un módulo (28) de cálculo de suma de dicha señal secundaria temporal digital que corresponde a un intervalo de tiempo corriente, un valor de suma máxima de la señal secundaria temporal digital transmitiéndose a dicho módulo (32) de decisión.

40 16. Dispositivo de detección de arcos eléctricos según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 15, **caracterizado porque** consta de un módulo (30) de cálculo de variación apto para calcular un coeficiente de variación sobre la media y del valor estadístico de orden dos de la señal secundaria temporal digital que corresponde al intervalo de tiempo corriente antes del filtrado de paso de banda, y para transmitir el coeficiente de variación calculado al dicho módulo (32) de decisión.

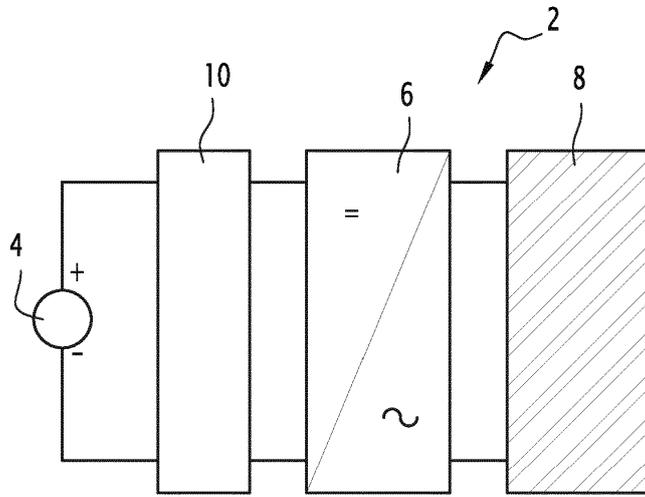


FIG.1

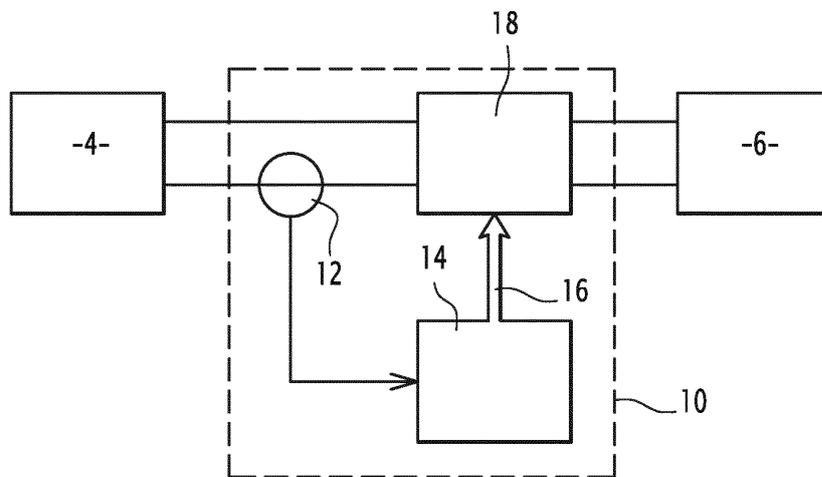


FIG.2

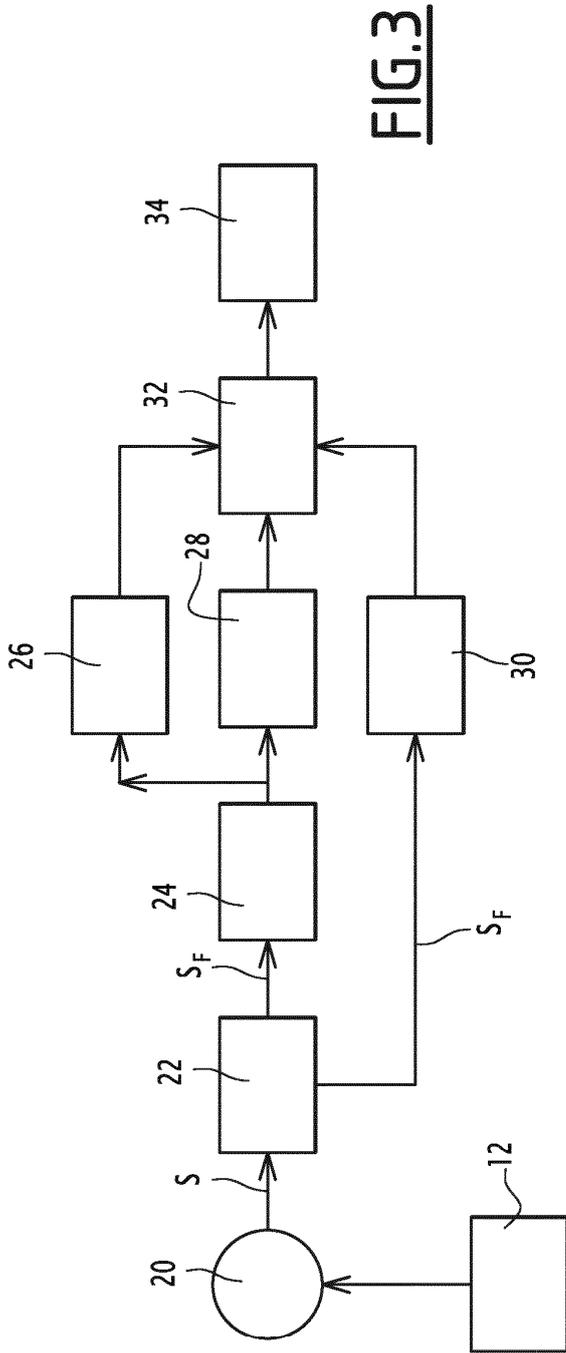


FIG. 3

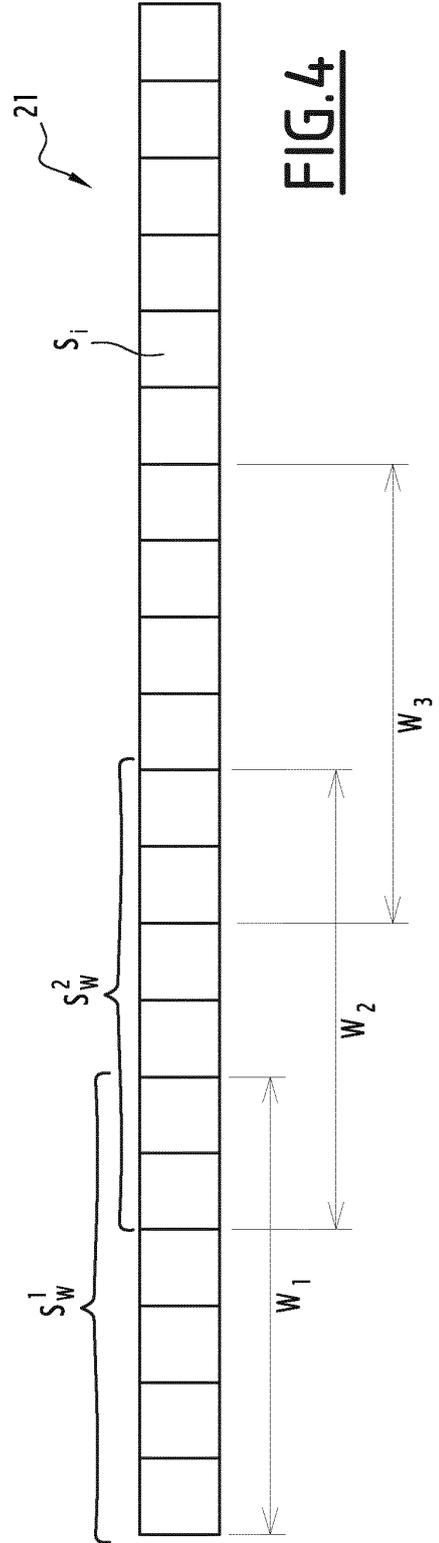


FIG. 4

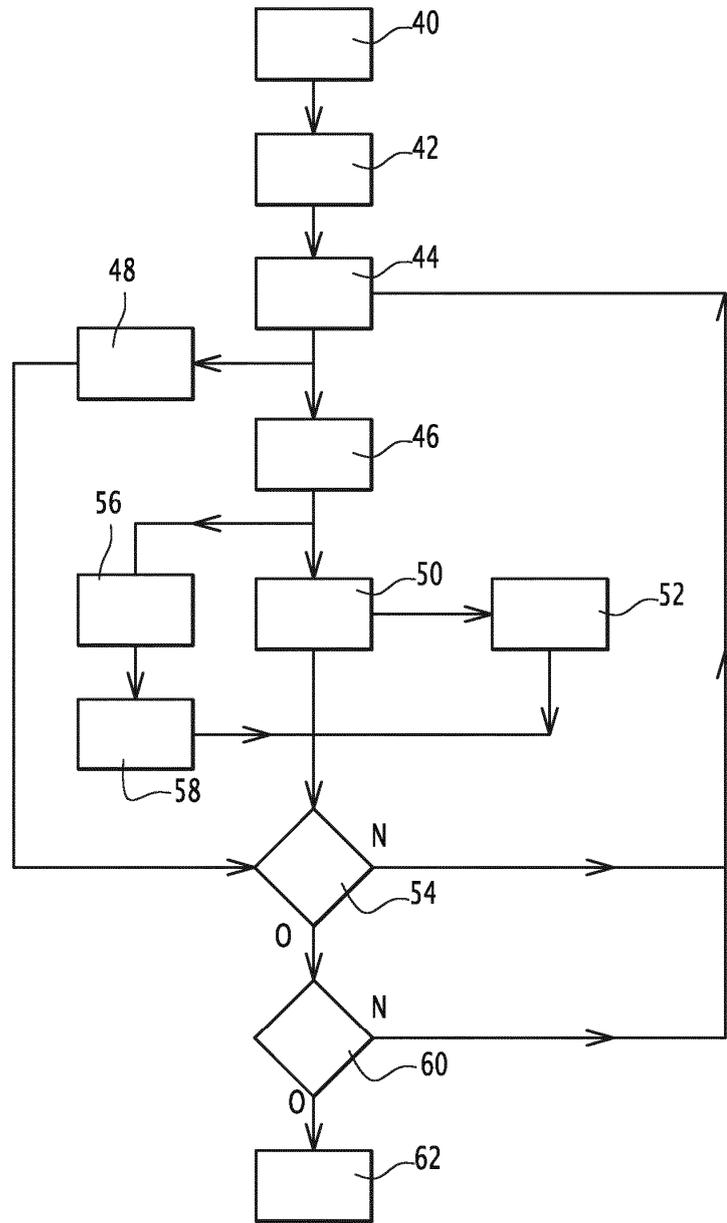


FIG. 5