

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 905 541**

51 Int. Cl.:

H02H 1/00 (2006.01)

H02H 3/33 (2006.01)

G01R 31/00 (2006.01)

H02S 50/00 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.12.2017 PCT/CN2017/120040**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.07.2019 WO19127440**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.12.2017 E 17936310 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.12.2021 EP 3723218**

54 Título: **Método y dispositivo para manejar el arco de corriente continua**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.04.2022

73 Titular/es:
**HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. (100.0%)
Huawei Administration Building, Bantian,
Longgang District
Shenzhen, Guangdong 518129, CN**

72 Inventor/es:
**LIU, FANGCHENG;
XIN, KAI y
LIU, YUNFENG**

74 Agente/Representante:
SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 905 541 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

Método y dispositivo para manejar el arco de corriente continua

5 Campo técnico

Esta solicitud se relaciona con el campo fotovoltaico, y específicamente, con un método y un aparato para procesar un arco eléctrico de corriente continua y un aparato.

10 Antecedentes

Con la aplicación a gran escala de la generación de energía fotovoltaica, se produjeron accidentes de incendio en el sistema fotovoltaico en una pluralidad de regiones en sucesión, lo que causó algunas pérdidas financieras y puso en peligro la seguridad personal. La investigación posterior de tales accidentes encontró que la mayoría de los incendios eléctricos resultan de un arco eléctrico defectuoso en un extremo de corriente continua. Una vez que se produce un arco eléctrico defectuoso en un extremo de corriente continua de un sistema de generación de energía fotovoltaica, el arco eléctrico defectuoso es relativamente difícil de determinar porque el arco eléctrico defectuoso no tiene una característica de punto de cruce por cero como un arco eléctrico defectuoso de corriente alterna. Además, debido a la emisión continua de luz solar, se inyecta energía continuamente en el arco eléctrico defectuoso, lo que hace que la temperatura de una porción de contacto aumente bruscamente. Con la alta temperatura, los componentes circundantes se carbonizan. En consecuencia, los fusibles y los cables pueden fusionarse, o incluso los componentes y dispositivos pueden quemarse y provocar un incendio.

Actualmente se encuentra que una falla por arco eléctrico de corriente continua puede causar un aumento del ruido de corriente en un cable de corriente continua de un sistema fotovoltaico. Por lo tanto, una idea principal de un método existente de detección de fallas de arco eléctrico de corriente continua es que, con base en una relación indirecta entre el ruido de corriente y la falla de arco eléctrico de corriente continua, se determina si ocurre una falla de arco eléctrico de corriente continua con base en una magnitud de ruido de corriente en el cable de corriente continua. Un método para obtener el ruido de corriente en el cable de corriente continua es: primero muestrear una corriente del cable de corriente continua y luego realizar la FFT o la transformada ondícula en un resultado de muestreo, para obtener un componente de corriente de frecuencia de ruido correspondiente.

Sin embargo, en el sistema fotovoltaico, un panel de celdas fotovoltaicas con un área relativamente grande puede formar una capacitancia de conexión a tierra relativamente grande, lo que provoca un aparente bucle de corriente de fuga a tierra. Por lo tanto, en el cable de corriente continua, no solo hay una corriente defectuosa sino también una corriente de modo común relativamente grande. Si el ruido de corriente de modo común es relativamente grande, un sistema de detección de arco eléctrico se ve afectado cuando en realidad no ocurre una falla de arco eléctrico de corriente continua y, en consecuencia, se genera una falsa alarma que afecta el funcionamiento normal del sistema fotovoltaico.

Los sistemas de detección de fallas de arco para instalaciones fotovoltaicas se describen en los documentos CN 106 771 691, US 2015/309 104 y US 2009/284 265.

45 Resumen

La presente invención está definida por las reivindicaciones adjuntas y proporciona un método para procesar un arco eléctrico de corriente continua y un aparato para resolver el problema de que una falsa alarma provocada por un ruido de corriente de modo común relativamente grande en un sistema fotovoltaico afecta el funcionamiento normal del sistema fotovoltaico.

Un primer aspecto de la presente invención proporciona un método para procesar un arco eléctrico de corriente continua. En este método, en primer lugar, se obtiene una primera corriente, donde la primera corriente es una corriente de entrada de corriente continua de un cable de corriente continua conectado a un panel de celdas fotovoltaicas de un sistema de celdas fotovoltaicas. Luego, se obtiene una segunda corriente, donde la segunda corriente es una corriente de modo común de corriente continua de un cable de corriente continua en un lado del puerto de corriente continua de un inversor del sistema de celdas fotovoltaicas o una corriente de modo común de corriente alterna de un cable de corriente alterna en un lado del puerto de corriente alterna del inversor. Después de obtener las corrientes, se puede calcular un coeficiente de correlación entre una componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y una componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente con base en la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente. Luego, se realiza la determinación basada en la condición, y si se encuentra que la primera corriente cumple una condición de aparición de arco eléctrico y el coeficiente de correlación calculado es mayor que un umbral de coeficiente preestablecido, no se envía una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua.

Se puede aprender que, se puede determinar que aún no se requiere una alarma en algunos casos cuando la primera corriente cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico. Aunque el ruido de corriente total es relativamente

grande, el ruido de modo diferencial es en realidad relativamente pequeño y el ruido de modo común es relativamente grande. Debido a que el ruido de modo común en realidad afecta muy levemente a un circuito, el circuito se encuentra en un estado de funcionamiento normal. En esta modalidad de esta solicitud, el coeficiente de correlación calculado entre la componente en dominio la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente se usa para reflejar una proporción del ruido de modo común generado por la segunda corriente y se establece el umbral de coeficiente preestablecido. Si el coeficiente de correlación es mayor que el umbral del coeficiente, indica que la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico porque el ruido de modo común es relativamente grande. En este caso, no es necesario enviar ninguna alarma. Esto evita una falsa alarma en este caso, lo que reduce de esta manera la interferencia en el funcionamiento normal del inversor y mejora el rendimiento del producto. Además, la corriente del cable de corriente continua y la corriente de modo común que se usan para calcular el coeficiente de correlación se pueden muestrear sincrónicamente y ambos son resultados de muestreo bajo la misma condición de trabajo. Por lo tanto, se puede aliviar el impacto de un cambio en las condiciones de trabajo de un sistema de generación de energía fotovoltaica sobre el resultado de la detección.

En algunas modalidades, determinar que la primera corriente cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico puede ser: primero, realizar una descomposición en el dominio de la frecuencia en la primera corriente para obtener un primer rango de frecuencia, donde el primer rango de frecuencia es una banda de frecuencia en la que se produce el ruido del arco eléctrico; luego, calcular una desviación estándar de un valor de frecuencia de corriente en el primer rango de frecuencia; y obtener una cantidad N de veces que la desviación estándar es mayor que un primer umbral en un período de tiempo preestablecido, y cuando N es mayor que un segundo umbral, determinar que la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico, donde N es un número entero que es mayor o igual a 0. Si la primera corriente tiene un arco eléctrico de corriente continua puede determinarse con relativa precisión al determinar la cantidad de veces.

En algunas modalidades, la cantidad N de veces que la desviación estándar es mayor que el primer umbral en el período de tiempo preestablecido se obtiene mediante el conteo de una ventana móvil. De esta manera se puede obtener una cantidad relativamente precisa N de veces.

En algunas modalidades, el coeficiente de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente se puede calcular de la siguiente manera: primero, calcular por separado una desviación estándar de la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y una desviación estándar la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente; luego, calcular una covarianza entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente; y finalmente, calcular el coeficiente de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente con base en las desviaciones estándar y la covarianza. El coeficiente de correlación puede reflejar un grado de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de frecuencia de la segunda corriente. Se puede determinar con relativa precisión si el sistema debe enviar una alarma con base en el grado de correlación.

En algunas modalidades, la desviación estándar s_x de la componente en el dominio de la frecuencia de la primera

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

corriente x se calcula mediante el uso la siguiente fórmula: donde n es una cantidad de tiempos de muestreo de la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente;

la desviación estándar s_y de la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente y se calcula

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$$

mediante el uso de la siguiente fórmula: donde n es una cantidad de tiempos de muestreo de la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente;

la covarianza s_{xy} entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente se calcula mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$s_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1};$$

y

el coeficiente de correlación r_{xy} entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente se calcula mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

5 En algunas modalidades, cuando la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico y el coeficiente de correlación calculado es mayor que el umbral del coeficiente preestablecido, no se envía ninguna alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua. Además, cuando la primera corriente cumple la condición de aparición de arco eléctrico y el coeficiente de correlación es menor que el umbral del coeficiente preestablecido, se envía una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua. Por lo tanto, se envía una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua normal después de que la determinación basada en la condición tenga éxito. De esta manera, el rendimiento de la alarma del sistema no se ve afectado.

15 En algunas modalidades, la primera corriente es una corriente obtenida al realizar un muestreo en una barra colectora positiva o una barra colectora negativa del cable de corriente continua, y la segunda corriente es una corriente obtenida al realizar un muestreo en todos los cables de corriente alterna en el lado del puerto de corriente alterna del inversor. En otras palabras, la primera corriente es una corriente de entrada de corriente continua y la segunda corriente es una corriente de modo común de corriente alterna.

20 En algunas modalidades, si la primera corriente es una corriente de entrada de corriente continua y la segunda corriente es una corriente de modo común de corriente alterna, el análisis del arco eléctrico se realiza en la primera corriente antes que se calcule el coeficiente de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente. El coeficiente de correlación se calcula solo cuando la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico, es decir, cuando se determina, con base solo en la primera corriente, que es probable que ocurra una falla de arco eléctrico de corriente continua. De lo contrario, no es necesario calcular el coeficiente de correlación.

25 En algunas modalidades, si la primera corriente es una corriente de entrada de corriente continua y la segunda corriente es una corriente de modo común de corriente alterna, cuando se determina que la primera corriente cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico, el coeficiente de correlación es mayor o igual al umbral del coeficiente preestablecido, y la segunda corriente cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico, no se envía ninguna alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua.

30 En algunas modalidades, si la primera corriente es una corriente de entrada de corriente continua y la segunda corriente es una corriente de modo común de corriente alterna, cuando se determina que la primera corriente cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico, el coeficiente de correlación es mayor o igual al umbral del coeficiente preestablecido, y la segunda corriente no cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico, se envía una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua.

35 En algunas modalidades, la primera corriente es una corriente obtenida al realizar un muestreo en una barra colectora positiva o una barra colectora negativa del cable de corriente continua, y la segunda corriente es una corriente obtenida al realizar un muestreo en todos los cables de corriente continua en el lado del puerto de corriente alterna del inversor. En otras palabras, la primera corriente es una corriente de entrada de corriente continua y la segunda corriente es una corriente de modo común de corriente continua.

40 En algunas modalidades, si la primera corriente es una corriente de entrada de corriente continua, y la segunda corriente es una corriente de modo común de corriente continua, después de que se calcula el coeficiente de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente, si se encuentra que el coeficiente de correlación es menor que el umbral del coeficiente preestablecido, se realiza un análisis de arco eléctrico en la primera corriente.

45 Un segundo aspecto de la presente invención proporciona además un aparato para detectar un arco eléctrico de corriente continua. El aparato incluye un módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico y un primer módulo de muestreo y un segundo módulo de muestreo que se conectan a la unidad de procesamiento. El primer módulo de muestreo se configura para realizar un muestreo para obtener una primera corriente, y el segundo módulo de muestreo se configura para realizar un muestreo para obtener una segunda corriente. Puede haber dos casos de configuración de ubicación para el primer módulo de muestreo y el segundo módulo de muestreo en un sistema de celdas fotovoltaicas. En un primer caso, tanto el primer módulo de muestreo como el segundo módulo de muestreo se disponen en cables de corriente continua. En un segundo caso, el primer módulo de muestreo se dispone en un cable de corriente continua, pero el segundo módulo de muestreo se dispone en un cable de corriente alterna en un lado del puerto de corriente alterna de un inversor. Luego, el módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico recibe la primera corriente y la segunda corriente, y ejecuta la lógica de determinación correspondiente: primero, calcular una componente en el dominio de frecuencia de la primera corriente y una componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente; luego, calcular un coeficiente de correlación entre las dos componentes en el dominio de la frecuencia, donde la componente en el dominio de la frecuencia es un valor de frecuencia de una corriente dentro de una banda de frecuencia preestablecida en el dominio de la frecuencia, y el coeficiente de correlación refleja un grado de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el

dominio de la frecuencia de la segunda corriente; y finalmente, realizar la determinación basada en la condición, donde cuando el módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico determina que la primera corriente cumple una condición de ocurrencia del arco eléctrico y el coeficiente de correlación es mayor o igual a un umbral del coeficiente preestablecido, el módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico no envía una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua.

En algunas modalidades, el primer módulo de muestreo es un módulo de muestreo de corriente del cable de corriente continua, y la primera corriente es una corriente de entrada de corriente continua obtenida por el módulo de muestreo de corriente del cable de corriente continua al realizar el muestreo en una barra colectora positiva o una barra colectora negativa de un cable de corriente continua. El segundo módulo de muestreo es un módulo de muestreo de corriente de modo común, y cuando el módulo de muestreo de corriente de modo común se dispone en un cable de corriente continua en un lado del puerto de corriente continua del inversor, el módulo de muestreo de corriente de modo común realiza el muestreo en todos los cables de corriente continua, para obtener una corriente de modo común de corriente continua, o cuando el módulo de muestreo de corriente de modo común se dispone en el cable de corriente alterna en el lado del puerto de corriente alterna del inversor, el módulo de muestreo de corriente de modo común realiza el muestreo en todos los cables de corriente alterna, para obtener una corriente de modo común de corriente alterna.

En algunas modalidades, el módulo de muestreo de corriente del cable de corriente continua tiene una pluralidad de implementaciones. En una de las implementaciones, el módulo de muestreo de corriente del cable de corriente continua incluye una primera bobina de muestreo y una primera unidad de control de muestreo, la barra colectora positiva o la barra colectora negativa del cable de corriente continua pasa a través de la primera bobina de muestreo, y la unidad de control de muestreo se configura para convertir una corriente muestreada por la primera bobina de muestreo en la corriente de entrada de corriente continua.

En algunas modalidades, el módulo de muestreo de corriente de modo común tiene una pluralidad de implementaciones. En una de las implementaciones, el módulo de muestreo de corriente en modo común incluye una segunda bobina de muestreo y una segunda unidad de control de muestreo, y cuando el módulo de muestreo de corriente en modo común realiza el muestreo en los cables de corriente continua, todos los cables de corriente continua pasan por la segunda bobina de muestreo, o cuando el módulo de muestreo de corriente de modo común realiza un muestreo en los cables de corriente alterna, todos los cables de corriente alterna pasan por la segunda bobina de muestreo.

En algunas modalidades, que el módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico determine que la primera corriente cumple una condición de ocurrencia del arco eléctrico puede ser: primero, realizar una descomposición en el dominio de la frecuencia en la primera corriente para obtener un primer rango de frecuencia, donde el primer rango de frecuencia es una banda de frecuencia en la que se produce el ruido del arco eléctrico; luego, calcular una desviación estándar de un valor de frecuencia de corriente en el primer rango de frecuencia; y obtener una cantidad N de veces que la desviación estándar es mayor que un primer umbral en un período de tiempo preestablecido, y cuando N es mayor que un segundo umbral, determinar que la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico, donde N es un número entero que es mayor o igual a 0. Si la primera corriente tiene un arco eléctrico de corriente continua puede determinarse con relativa precisión al determinar la cantidad de veces.

En algunas modalidades, el módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico obtiene, mediante el conteo de una ventana móvil, la cantidad N de veces que la desviación estándar es mayor que el primer umbral en el período de tiempo preestablecido. De esta manera se puede obtener una cantidad relativamente precisa N de veces.

En algunas modalidades, el módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico puede calcular el coeficiente de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente de la siguiente manera: primero, calcular por separado una desviación estándar de la componente en el dominio de frecuencia de la primera corriente y una desviación estándar de la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente; luego, calcular una covarianza entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente; y finalmente, calcular el coeficiente de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente con base en las desviaciones estándar y la covarianza. El coeficiente de correlación puede reflejar un grado de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente. Se puede determinar con relativa precisión si el sistema debe enviar una alarma con base en el grado de correlación.

En algunas modalidades, la desviación estándar s_x de la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente x se calcula mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

donde n es una cantidad de tiempos de muestreo de la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente;

la desviación estándar s_y de la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente y se calcula mediante el uso de la siguiente fórmula:

5
$$s_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$$
, donde n es una cantidad de tiempos de muestreo de la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente;

la covarianza s_{xy} entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente se calcula mediante el uso de la siguiente fórmula:

10
$$s_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1};$$

y el coeficiente de correlación r_{xy} entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente se calcula mediante el uso de la siguiente fórmula:

15
$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y}$$

20 En algunas modalidades, cuando la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico y el coeficiente de correlación calculado es mayor que el umbral del coeficiente preestablecido, el módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico no envía una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua. Además, al determinar que la primera corriente cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico y el coeficiente de correlación es menor que el umbral de coeficiente preestablecido, el módulo de procesamiento de falla de arco eléctrico envía una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua. Por lo tanto, se envía una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua normal después de que la determinación basada en la condición tenga éxito. De esta manera, el rendimiento de la alarma del sistema no se ve afectado.

30 En algunas modalidades, cuando la segunda corriente es una corriente de modo común de corriente alterna, el módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico realiza además un análisis de arco eléctrico en la primera corriente y luego realiza la determinación. El coeficiente de correlación se calcula solo cuando la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico, es decir, cuando se determina, con base solo en la primera corriente, que es probable que ocurra una falla de arco eléctrico de corriente continua. De lo contrario, no es necesario calcular el coeficiente de correlación.

35 En algunas modalidades, cuando la segunda corriente es una corriente de modo común de corriente alterna, al determinar que la primera corriente cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico, el coeficiente de correlación es mayor o igual al umbral de coeficiente preestablecido, y la segunda corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico, el módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico no envía una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua.

45 En algunas modalidades, cuando la primera corriente es una corriente de entrada de corriente continua, y la segunda corriente es una corriente de modo común de corriente alterna, el módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico se configura además para: al determinar que la primera corriente cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico, el coeficiente de correlación es mayor o igual al umbral del coeficiente preestablecido, y la segunda corriente no cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico, envía una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua.

50 En algunas modalidades, cuando la segunda corriente es una corriente de modo común de corriente continua, después de calcular el coeficiente de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente, si el módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico encuentra que el coeficiente de correlación es menor que el umbral del coeficiente preestablecido, el módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico realiza un análisis de arco eléctrico en la primera corriente.

55 Breve descripción de los dibujos

- La Figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema de generación de energía fotovoltaica;
 La Figura 2a es un diagrama esquemático de la detección de un arco eléctrico de corriente continua;
 La Figura 2b es otro diagrama esquemático de detección de un arco eléctrico de corriente continua;
 60 La Figura 3 es un diagrama estructural esquemático de un método de supresión diferencial de ramas fotovoltaicas adyacentes;
 La Figura 4 es un diagrama estructural esquemático de un método de supresión diferencial de una barra colectora de corriente continua positiva y una barra colectora de corriente continua negativa;
 La Figura 5 es un diagrama esquemático de un transformador de tres bobinados o de tres columnas;
 65 La Figura 6 es un diagrama arquitectónico esquemático de un método para procesar una falla de arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con una modalidad de esta solicitud;

La Figura 7a es un diagrama esquemático en el que una unidad de muestreo de corriente de modo común se conecta a un puerto de corriente continua en una arquitectura de acuerdo con una modalidad de esta solicitud;

La Figura 7b es un diagrama esquemático en el que una unidad de muestreo de corriente de modo común se conecta a un lado del puerto de corriente alterna en una arquitectura de acuerdo con una modalidad de esta solicitud;

La Figura 8 es un diagrama de una modalidad de un método para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con una modalidad de esta solicitud;

La Figura 9 es un diagrama esquemático de un método de cálculo del coeficiente de correlación en un método para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con una modalidad de esta solicitud;

La Figura 10 es un diagrama esquemático de un método para determinar si una corriente cumple una condición de ocurrencia del arco eléctrico en un método para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con una modalidad de esta solicitud;

La Figura 11 es un diagrama de flujo esquemático de una ventana móvil en un método para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con una modalidad de esta solicitud;

La Figura 12 es un diagrama arquitectónico esquemático de un sistema para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con una modalidad de esta solicitud;

La Figura 13 es un diagrama de una modalidad de un método para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con una modalidad de esta solicitud;

La Figura 14 es un diagrama arquitectónico esquemático de un sistema para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con una modalidad de esta solicitud; y

La Figura 15 es un diagrama de una modalidad de un método para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con una modalidad de esta solicitud.

Descripción de las modalidades

Las modalidades de esta solicitud proporcionan un método para procesar un arco eléctrico de corriente continua y un aparato para resolver el problema de que una falsa alarma provocada por un ruido de corriente de modo común relativamente grande en un sistema fotovoltaico afecta el funcionamiento normal del sistema fotovoltaico.

A continuación, para que los expertos en la técnica entiendan mejor las soluciones técnicas de esta solicitud, se describen las modalidades de esta solicitud con referencia a los dibujos adjuntos en las modalidades de esta solicitud.

En la descripción, las reivindicaciones y los dibujos adjuntos de esta solicitud, los términos "primero", "segundo", "tercero", "cuarto" y similares (si existen) pretenden distinguir entre objetos similares, pero no necesariamente pretenden describir un orden o secuencia específicos. Debe entenderse que los datos que se denominan de esta manera son intercambiables en circunstancias adecuadas, de modo que las modalidades descritas en la presente descripción se pueden implementar en otros órdenes distintos al orden ilustrado o descrito en la presente descripción. Además, los términos "incluyen", "tienen" y cualquier otra variante de los mismos pretenden cubrir la inclusión no exclusiva. Por ejemplo, un proceso, método, sistema, producto o dispositivo que incluye una serie de etapas o unidades no se limita necesariamente a las etapas o unidades que se enumeran expresamente, pero puede incluir otras etapas o unidades que no se enumeran expresamente o no son inherentes a dicho proceso, método, sistema, producto o dispositivo.

En 2011, NEC Corporation formuló una regulación que establece que se debe agregar un aparato de detección de arco eléctrico defectuoso y un interruptor a un sistema fotovoltaico, y formuló un estándar industrial del sistema fotovoltaico, para garantizar un funcionamiento estable, seguro y confiable del sistema fotovoltaico. Las causas de un arco eléctrico de corriente continua del sistema fotovoltaico son muy aleatorias, y tanto el lugar de ocurrencia como el tiempo de ocurrencia del arco eléctrico de corriente continua son impredecibles. Una falla de arco eléctrico puede ser causada por el desgaste severo del cable y la línea, la rotura de la línea de corriente continua, el envejecimiento de los componentes electrónicos, la holgura del punto de contacto de conexión, la mordedura de animales o similares. Una cantidad relativamente grande de factores incidentales hacen imposible establecer con precisión un modelo matemático para determinar directamente si ocurre una falla de arco eléctrico de corriente continua en el sistema fotovoltaico.

En la investigación existente, al comparar una pluralidad de resultados experimentales, los investigadores encuentran que una falla de arco eléctrico de corriente continua puede causar un aumento en el ruido de corriente en un cable de corriente continua del sistema fotovoltaico. Por lo tanto, una idea principal de un método existente de detección de fallas de arco eléctrico de corriente continua es que, con base en una relación indirecta entre el ruido de corriente y la falla de arco eléctrico de corriente continua, se determina si ocurre una falla de arco eléctrico de corriente continua con base en una magnitud de ruido de corriente en el cable de corriente continua. Un método para obtener el ruido de corriente en el cable de corriente continua es: primero muestrear una corriente del cable de corriente continua y luego realizar la FFT o la transformada ondícula en un resultado de muestreo, para obtener una componente de corriente de frecuencia de ruido correspondiente. Sin embargo, en el sistema fotovoltaico, un panel de celdas fotovoltaicas con un área relativamente grande puede formar una capacitancia de conexión a tierra relativamente grande, lo que provoca un aparente bucle de corriente de fuga a tierra. Por lo tanto, en el cable de corriente continua, no solo hay una corriente defectuosa sino también una corriente de modo común relativamente grande. La Figura 1 es un diagrama esquemático

de un sistema de generación de energía fotovoltaica. Si el ruido de corriente de modo común es relativamente grande, un sistema de detección de arco eléctrico se ve afectado cuando en realidad no se produce una falla de arco eléctrico de corriente continua y, en consecuencia, se genera una falsa alarma que afecta el funcionamiento normal del sistema fotovoltaico. Por lo tanto, durante la detección de arco eléctrico de corriente continua del sistema fotovoltaico, cómo suprimir la interferencia de corriente de modo común para mejorar la precisión del sistema de detección es un tema muy importante.

Actualmente, las tecnologías usadas para detectar el arco eléctrico de corriente continua incluyen principalmente dos sistemas. La Figura 2a es un diagrama esquemático de la detección de un arco eléctrico de corriente continua, y la Figura 2b es otro diagrama esquemático de detección de un arco eléctrico de corriente continua. Puede verse que en la Figura 2a, una unidad de muestreo de corriente del cable de corriente continua muestrea principalmente una corriente del cable de corriente continua, y luego una unidad de determinación de falla de arco eléctrico determina, con base en la corriente del cable de corriente continua, si ocurre una falla de arco eléctrico. En la Figura 2b, en comparación con la Figura 2a, se agrega una unidad de cálculo diferencial para procesar las corrientes muestreadas, y luego se determina si ocurre una falla de arco eléctrico con base en un resultado de cálculo diferencial de la corriente del cable de corriente continua. Se puede aprender que solo se usa el mismo tipo de unidad de muestreo de corriente (la cantidad de unidades de muestreo de corriente varía con la cantidad de ramas de cadena fotovoltaica) se usa en ambos casos, y el diagnóstico de fallas se realiza directamente con base en un resultado de muestreo o se realiza el diagnóstico de fallas después de realizar el cálculo diferencial en el resultado del muestreo (para reducir la interferencia de corriente de modo común). En el sistema fotovoltaico, un resultado de determinación del método de la Figura 2a puede verse afectado por la corriente de modo común, y un resultado de determinación del método en la Figura 2b también se ve afectado por la corriente de modo común porque es difícil implementar un cálculo preciso. El método de la Figura 2b se analiza para ilustrar una razón por la que es difícil implementar un cálculo preciso. A continuación, se describen dos métodos de medición existentes:

Método 1: la Figura 3 es un diagrama estructural esquemático de un método de supresión diferencial de ramas fotovoltaicas adyacentes. En este método, se muestrean las corrientes del cable de corriente continua de las ramas del panel de celdas fotovoltaicas adyacentes; luego, las corrientes muestreadas de las ramas adyacentes se envían a una unidad diferencial para realizar el cálculo diferencial, para cancelar una componente de corriente de modo común en las corrientes medidas; y finalmente, una corriente del cable de corriente continua calculada que no incluye la componente de corriente de modo común se envía a una unidad de determinación de fallas de arco eléctrico para realizar la detección de ruido, para determinar si ocurre una falla de arco eléctrico de corriente continua en un sistema.

Sin embargo, esta manera tiene dos desventajas relativamente obvias. Una desventaja es que esta manera es aplicable únicamente a un sistema de generación de energía fotovoltaica que tenga una pluralidad de entradas fotovoltaicas, específicamente, un sistema de generación de energía fotovoltaica centralizado. Si un sistema fotovoltaico tiene solo una cadena, no hay ramas de paneles de celdas fotovoltaicas adyacentes y, por lo tanto, no se puede obtener una pluralidad de corrientes de detección para realizar el cálculo diferencial. Por ejemplo, esta manera no se puede aplicar a un sistema de generación de energía fotovoltaica en cadena y a un sistema de generación de energía fotovoltaica doméstico de tamaño pequeño y, por lo tanto, los escenarios de aplicación de esta manera son muy limitados. La otra desventaja es que el cálculo diferencial en tiempo real de las corrientes de las ramas adyacentes se implementa con gran dificultad y muy poca precisión en la aplicación real. Es muy probable que los estados operativos de las cadenas fotovoltaicas adyacentes difieran mucho entre sí debido a la sombra, una cubierta, la dirección y la inconsistencia de los paneles fotovoltaicos y, en consecuencia, las corrientes de modo común que fluyen a través de las cadenas fotovoltaicas adyacentes difieren en magnitud. Además, un cambio de luz solar del sistema de generación de energía fotovoltaica da como resultado un cambio del punto de funcionamiento del sistema, y se puede decir que el estado de todo el sistema cambia en tiempo real. Todos estos factores hacen que el cálculo diferencial sea muy difícil y, por lo tanto, las ganancias diferenciales deben equilibrarse con mucha precisión en tiempo real.

Método 2: la Figura 4 es un diagrama estructural esquemático de un método de supresión diferencial de una barra colectora de corriente continua positiva y una barra colectora de corriente continua negativa, y la Figura 5 es un diagrama esquemático de un transformador de tres bobinados o tres columnas. En este método, se muestrean una corriente de barra colectora positiva y una corriente de barra colectora negativa de las barras colectoras de corriente continua del panel de celdas fotovoltaicas; luego, las corrientes muestreadas de ramas de corriente de barra colectora positiva y barra colectora negativa similares adyacentes se envían a una unidad diferencial para realizar un cálculo diferencial, para cancelar una componente de corriente de modo común en las corrientes medidas; y finalmente, una corriente del cable de corriente continua calculada que no incluye la componente de corriente de modo común se envía a una unidad de determinación de fallas de arco eléctrico para realizar la detección de ruido, para determinar si ocurre una falla de arco eléctrico de corriente continua en un sistema. La unidad diferencial tiene diferentes implementaciones: usar la unidad de cálculo diferencial para realizar la cancelación en una porción de muestreo, o usar el transformador de tres bobinados o tres columnas que se muestra en la Figura 5 para realizar directamente la cancelación del circuito magnético.

Este método es relativamente aplicable a un sistema de suministro de energía normal. Sin embargo, en el sistema fotovoltaico, un sistema de celdas fotovoltaicas se instala de varias maneras, por ejemplo, la barra colectora positiva se conecta a tierra, la barra colectora negativa se conecta a tierra y ni la barra colectora positiva ni la barra colectora

negativa están conectadas a tierra. Como un resultado, la barra colectora positiva y la barra colectora negativa de corriente continua en un bucle de corriente de modo común son inconsistentes en la impedancia de modo común equivalente y, por lo tanto, también son inconsistentes en la corriente de modo común. Esto dificulta el cálculo diferencial. Los problemas en la aplicación real son similares a los del método 1, para ser específicos, el estado operativo del sistema de generación de energía fotovoltaica se ve muy afectado por factores externos y cambios en tiempo real. Por lo tanto, es difícil equilibrar las ganancias durante el cálculo diferencial, lo que provoca una precisión de cálculo relativamente baja.

Se puede aprender de las varias maneras anteriores que una solución general es obtener, a través de cálculos numéricos, una corriente del cable de corriente continua relativamente precisa que no incluye una componente de corriente de modo común, y luego determinar si ocurre una falla de arco eléctrico de corriente. Sin embargo, debido a un cambio relativamente grande en el estado de funcionamiento real del sistema fotovoltaico, es difícil implementar un método de cálculo numérico preciso, lo que provoca un error de cálculo relativamente grande.

En vista del problema anterior, para el sistema de generación de energía fotovoltaica sujeto a una cantidad relativamente grande de factores incidentales, esta solicitud proporciona un método para detectar un arco eléctrico de corriente continua. Este método se basa en una teoría de correlación en estadística, y las diferentes variables usadas para calcular la correlación se pueden muestrear sincrónicamente. Por lo tanto, este método es insensible a un cambio de una condición de trabajo real del sistema fotovoltaico y, por lo tanto, tiene mayor precisión que el método de cálculo numérico exacto existente.

A continuación, se describe una arquitectura usada en una modalidad de esta solicitud. La Figura 6 es un diagrama arquitectónico esquemático de un método para procesar una falla de arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con esta modalidad de esta solicitud. En este método, se usan dos unidades de muestreo, específicamente, una unidad de muestreo de corriente del cable de corriente continua y una unidad de muestreo de corriente de modo común, para obtener dos tipos diferentes de corrientes de muestreo. La unidad de muestreo de corriente del cable de corriente continua muestrea principalmente una corriente del cable de corriente continua, y la unidad de muestreo de corriente de modo común muestrea principalmente datos de una corriente de modo común. La unidad de muestreo de corriente de modo común puede conectarse a un lado del puerto de corriente continua de un inversor para muestrear una corriente de modo común de corriente continua, o se puede conectar a un lado del puerto de corriente alterna del inversor para muestrear una corriente de modo común de corriente alterna. Para obtener más información, consulte la Figura 7a y la Figura 7b. La Figura 7a es un diagrama esquemático en el que la unidad de muestreo de corriente de modo común se conecta al lado del puerto de corriente continua en la arquitectura de acuerdo con esta modalidad de esta solicitud; y la Figura 7b es un diagrama esquemático en el que la unidad de muestreo de corriente de modo común se conecta al lado del puerto de corriente alterna en la arquitectura de acuerdo con esta modalidad de esta solicitud. Luego, se usa una unidad de procesamiento de fallas de arco eléctrico para calcular la correlación entre la corriente del cable de corriente continua y la corriente de modo común. Finalmente, cuando se encuentra que la corriente del cable de corriente continua cumple con una condición de ocurrencia de arco eléctrico, es necesario determinar finalmente si se requiere una alarma con referencia a un resultado de correlación.

Además, debido al impacto de un entorno operativo, una dirección, una cubierta, una forma de puesta a tierra y similares de un panel de celdas fotovoltaicas, la unidad de muestreo de corriente de modo común no puede obtener con precisión un valor numérico específico de una corriente de modo común real. En esta modalidad de esta solicitud, opcionalmente, se obtiene una tendencia de cambio de un valor de muestreo de corriente de modo común para aliviar el impacto.

A continuación, se analiza la corriente del cable de corriente continua. Los casos sobre si se produce un arco eléctrico se clasifican aproximadamente en los siguientes cuatro tipos, como se enumeran en la Tabla 1.

Tabla 1

Caso	Ruido de modo diferencial	Ruido de modo común	Ruido total (modo diferencial + modo común)	Estado real
1	Pequeño	Pequeño	Pequeño	Operación normal
2	Pequeño	Grande	Grande	Operación normal
3	Grande	Pequeño	Grande	Se produce un arco eléctrico
4	Grande	Grande	Grande	Se produce un arco eléctrico

En el caso 1, aunque existe interferencia de ruido de modo común, debido a que el ruido total es relativamente pequeño, en un algoritmo de detección de fallas, generalmente no se activa una condición de determinación de falla de arco eléctrico de corriente continua, y no es probable que se active una falsa alarma.

En el caso 2, el ruido total es relativamente grande y, por lo tanto, normalmente se activa una condición de determinación de fallo de arco eléctrico de corriente continua y se activa una alarma de arco eléctrico de corriente continua. Sin embargo, en este caso, el ruido del modo diferencial es en realidad relativamente pequeño y el sistema está realmente en funcionamiento normal. Por lo tanto, es muy probable que se genere una falsa alarma.

5 En el caso 3, el ruido total es relativamente grande y el ruido de modo común es relativamente pequeño. Por lo tanto, se activa una alarma de arco eléctrico de corriente continua, y es muy probable que ocurra una falla de arco eléctrico de corriente continua en el sistema, y por lo tanto, la probabilidad de falsa alarma es muy baja.

10 En el caso 4, aunque el ruido de modo común es relativamente grande, el ruido de modo diferencial también es relativamente grande. Aunque el ruido de modo común puede causar alguna interferencia, es muy probable que ocurra una falla de arco eléctrico de corriente continua en el circuito en este caso y, por lo tanto, la probabilidad de falsa alarma también es relativamente baja.

15 Se puede aprender del análisis anterior que la probabilidad de falsa alarma es relativamente alta solo en el caso 2. Aunque existe interferencia en los otros tres casos, la probabilidad de falsa alarma es realmente relativamente baja. Por lo tanto, el problema de falsa alarma de alta probabilidad en el caso 2 debe resolverse como un punto clave. En el caso 2, se puede aprender que una componente de ruido principal en la corriente del cable de corriente continua es el ruido de modo común, y el ruido de modo común está correlacionado con la corriente de modo común en el sistema de generación de energía fotovoltaica en este caso hasta cierto punto, y tiene una tendencia de cambio relativamente similar a la corriente de modo común. Aunque no se puede obtener una correspondencia uno a uno mediante un cálculo preciso, se puede calcular una correlación lineal entre la corriente del cable de corriente continua y la corriente de modo común mediante un método estadístico. En este caso, la corriente del cable de corriente continua está altamente correlacionada con la corriente de modo común en el sistema fotovoltaico y, por lo tanto, se establece un coeficiente de correlación entre los dos tipos de corrientes como condición determinante en esta modalidad de esta solicitud, para reducir la falsa probabilidad de alarma del sistema. A continuación, se describe un método para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con una modalidad de esta solicitud.

20 La Figura 8 es un diagrama de una modalidad de un método para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con una modalidad de esta solicitud. En esta modalidad de esta solicitud, el método puede incluir las siguientes etapas.

801. Obtener una primera corriente.

35 La primera corriente es una corriente obtenida de un cable de corriente continua conectado a un panel de celdas fotovoltaicas. La primera corriente es una corriente de entrada de corriente continua, el panel de celdas fotovoltaicas usa el cable de corriente continua para generar una corriente continua a un inversor, y la corriente de entrada de corriente continua es la salida de corriente continua del panel de celdas fotovoltaicas al inversor.

40 802. Obtener una segunda corriente.

La segunda corriente es una corriente obtenida de un cable de corriente continua en un lado del puerto de corriente continua del inversor o una corriente obtenida de un cable de corriente alterna en un lado del puerto de corriente alterna del inversor. La segunda corriente es una corriente de modo común, y el inversor usa el cable de corriente alterna para generar una corriente alterna. Puede entenderse que la segunda corriente se obtiene de dos maneras. Como se muestra en la Figura 7a y la Figura 7b, la segunda corriente se obtiene del lado del puerto de corriente continua del inversor en la Figura 7a, y la segunda corriente se obtiene del lado del puerto de corriente alterna del inversor en la Figura 7b. La segunda corriente obtenida del lado del puerto de corriente continua es una corriente continua, y la segunda corriente obtenida del lado del puerto de corriente alterna es una corriente alterna.

50 Cabe señalar que la primera corriente en la etapa 801 y la segunda corriente en la etapa 802 se muestrean en un proceso continuo, el muestreo se puede realizar una vez en un intervalo de un ciclo, y los diferentes ciclos pueden tener la misma duración o una duración diferente. El muestreo puede durar un período de tiempo preestablecido, el período de tiempo preestablecido incluye al menos un ciclo, y los datos usados para calcular posteriormente un coeficiente de correlación son todos los datos recopilados en el período de tiempo preestablecido.

55 Cabe señalar que en la etapa 801 y la etapa 802, la corriente se puede muestrear del cable de corriente continua o del cable de corriente alterna en una pluralidad de maneras, pero todas las maneras deben seguir un proceso de muestreo, acondicionamiento y control. Hay una pluralidad de tipos de procesos de muestreo, por ejemplo:

60 Tipo 1: El muestreo se realiza mediante el uso de un transformador de corriente. Para ser específicos, un cable del que se va a tomar una muestra de corriente se coloca en una bobina dispuesta y, de acuerdo con la Ley de Inducción Electromagnética, el cable a través del cual fluye la corriente detectada se enrolla alrededor de la bobina. El cable se usa como un bobinado primario y la bobina de medición se usa como bobinado secundario. Específicamente, el cable genera un campo electromagnético tras ser electrificado, y por tanto se genera una corriente inducida en la bobina. Se puede obtener una corriente en el cable en una etapa de acondicionamiento intermedia en la que se realizan

algunas operaciones matemáticas sobre la corriente inducida. Por ejemplo, mediante experimentos se obtiene una correspondencia preestablecida entre la corriente inducida y la corriente real, y luego se puede obtener la corriente en el cable con base en la corriente inducida durante el muestreo real. Las unidades de muestreo de corriente de modo común en la Figura 7a y la Figura 7b usan esta manera.

5 Tipo 2: el muestreo se realiza de manera no conductora de resistencia pequeña. Para ser específicos, se conecta una resistencia de pequeña resistencia a un circuito de retorno de corriente en serie, se mide una diferencia de tensión entre dos extremos de la resistencia de pequeña resistencia y, de acuerdo con la ley de Ohm, se divide una tensión por una resistencia para obtener una corriente detectada. Cabe señalar que, en este método, para seleccionar un
10 valor de resistencia de la resistencia de muestreo, la potencia debe ser lo suficientemente grande y la inductancia de la resistencia debe ser pequeña para eliminar una caída de tensión causada por la reactancia inductiva en los dos extremos de la resistencia.

15 Tipo 3: El muestreo se realiza mediante el uso de un sensor de corriente Hall. De esta manera, el muestreo se realiza principalmente con base en el efecto Hall. Cuando una corriente es perpendicular a un campo magnético externo y fluye a través de un conductor, un portador de corriente se desvía y se puede generar un campo eléctrico adicional en una dirección perpendicular a la corriente y al campo magnético y, por lo tanto, se genera una diferencia de potencial eléctrico entre dos extremos del conductor. Este es el efecto Hall, y la diferencia de potencial eléctrico también se
20 denomina diferencia de potencial eléctrico de Hall.

La etapa de acondicionamiento debe agregarse entre la etapa de muestreo y la etapa de control para compensar y corregir un resultado medido. Esto se debe a que el ruido de alta frecuencia generalmente ocurre en una señal matemática que se obtiene en la etapa de muestreo y que está relacionada con una señal de corriente detectada, y la amplitud de la señal matemática es mayor o menor que la señal requerida en la etapa de control. En la etapa de
25 acondicionamiento se usan comúnmente un filtro, un amplificador operacional y similares.

Finalmente, la etapa de control es una etapa en la que se realiza el método de procesamiento de un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con esta modalidad de esta solicitud. El control se puede realizar solo después de obtener un valor de corriente condicionado.

30 803. Calcular un coeficiente de correlación entre una componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y una componente en el dominio de frecuencia de la segunda corriente.

La componente de dominio de frecuencia es un valor de frecuencia de una corriente dentro de una banda de frecuencia preestablecida en el dominio de la frecuencia. Debido a que en esta solicitud se investiga principalmente una prealarma de arco eléctrico de corriente continua, la componente en el dominio de la frecuencia en esta modalidad de esta solicitud está en una banda de frecuencia en la que existe una corriente de alta frecuencia cuando se produce un arco eléctrico, por ejemplo, entre 30 kHz y 80 kHz. Además, independientemente de una corriente continua o una corriente alterna, cualquier corriente que pueda generar un arco eléctrico puede generar una componente en el dominio de la
35 frecuencia, y cualquier corriente correspondiente al arco eléctrico se presenta de manera inestable y de alta frecuencia. Para la corriente continua, se simula una amplitud cambiante de la corriente continua en una componente de alta frecuencia de una manera como la expansión de Fourier. La corriente alterna se representa como una corriente alterna con un ciclo no sinusoidal. Además, el coeficiente de correlación es un indicador estadístico diseñado por un famoso estadístico Karl Pearson. En comparación con una tabla de correlación y un diagrama de correlación que pueden reflejar solo una correlación y una dirección de correlación entre dos variables, pero no pueden mostrar exactamente un grado de correlación entre las dos variables, el coeficiente de correlación es un indicador estadístico que se usa para reflejar un grado de correlación entre dos variables. El coeficiente de correlación se calcula mediante el uso de un método de producto-momento. Con base en las dispersiones entre dos variables y los valores promedio respectivos, las dos dispersiones se multiplican para reflejar un grado de correlación entre las dos variables. Se investiga un
40 coeficiente de correlación simple lineal como punto clave.

Cabe señalar que una correlación es una relación no determinista, y un coeficiente de correlación es una cantidad usada para investigar un grado de correlación lineal entre variables. Debido a los diferentes objetos de investigación, el coeficiente de correlación se puede definir de las siguientes maneras:

55 1. Coeficiente de correlación simple. El coeficiente de correlación simple también se conoce como coeficiente de correlación o coeficiente de correlación lineal, generalmente se representa con una letra P y es una cantidad usada para medir una relación lineal entre variables.

60 2. Coeficiente de correlación múltiple. El coeficiente de correlación múltiple también se denomina coeficiente de multicorrelación. Una correlación múltiple es una correlación entre una pluralidad de variables independientes. Por ejemplo, la demanda estacional de un tipo de artículo tiene una correlación múltiple con el nivel de precios del artículo, el nivel de ingresos de los empleados y similares.

65 3. Coeficiente de correlación canónica. Primero se realiza un análisis de componentes principales en cada grupo de variables originales, para obtener indicadores integrales de una nueva relación lineal, y se usa un coeficiente

de correlación lineal entre los indicadores integrales para investigar una correlación entre cada grupo de variables originales.

5 El coeficiente de correlación en esta modalidad de esta solicitud se implementa principalmente de las dos últimas maneras.

En esta modalidad, después de obtener la primera corriente y la segunda corriente, se puede calcular el coeficiente de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente. Para obtener detalles sobre el cálculo del coeficiente de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente, consulte la Figura 9. La Figura 9 es un diagrama esquemático de un método de cálculo del coeficiente de correlación en el método para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con esta modalidad de esta solicitud. La etapa 803 puede incluir las siguientes subetapas:

15 8031. Calcular por separado una desviación estándar de la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y una desviación estándar de la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente.

Para una pluralidad de primeras corrientes recolectadas, se calcula una desviación estándar de una componente en el dominio de la frecuencia de una de las primeras corrientes recolectadas. Específicamente, la desviación estándar s_x de la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente x se puede calcular mediante el uso la siguiente fórmula (1):

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

25 donde n es una cantidad de tiempos de muestreo de la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente, y x_i es un valor de la primera corriente x muestreada en un $i^{\text{ésimo}}$ ciclo.

Luego, para una pluralidad de segundas corrientes recolectadas, la desviación estándar s_y de la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente y se calcula mediante el uso de la siguiente fórmula (2):

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (2)$$

35 donde n es una cantidad de tiempos de muestreo de la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente, y y_i es un valor de la segunda corriente y muestreada en un $i^{\text{ésimo}}$ ciclo. Se puede aprender que la cantidad de tiempos de muestreo de datos de la primera corriente x es consistente con la cantidad de tiempos de muestreo de datos de la segunda corriente y , y ambos son n .

40 8032. Calcular una covarianza entre la componente en dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en dominio de la frecuencia de la segunda corriente.

Después de calcular la desviación estándar de la primera corriente x y la desviación estándar de la segunda corriente y en la etapa 8031, la covarianza s_{xy} entre la primera corriente x y la segunda corriente y puede calcularse mediante el uso de la siguiente fórmula (3):

$$s_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1} \quad (3)$$

8033. Calcular el coeficiente de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente.

55 Después de calcular la covarianza s_{xy} , el coeficiente de correlación r_{xy} entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente se puede calcular mediante el uso de la siguiente fórmula (4):

$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} \quad (4)$$

60 Se puede aprender que el coeficiente de correlación r_{xy} es en realidad una relación de la covarianza s_{xy} con un producto de la desviación estándar s_x de la primera corriente x y la desviación estándar s_y de la segunda corriente y . La relación puede reflejar una proporción del ruido de modo común generado por la segunda corriente en el ruido total. Por lo tanto, la relación puede usarse como base para determinar si un caso de corriente es el caso 2 en la Tabla 1. El ruido

65

total se obtiene al sumar el ruido de modo común generado por la segunda corriente y el ruido de modo diferencial de un sistema fotovoltaico.

5 804. Determinar si la primera corriente cumple con una condición de ocurrencia del arco eléctrico y si el coeficiente de correlación es menor que un umbral del coeficiente preestablecido, y realizar la etapa 805 cuando la primera corriente cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico y el coeficiente de correlación es mayor o igual que el umbral del coeficiente preestablecido.

10 A continuación, se describe cómo determinar si la primera corriente cumple una condición de aparición de arco eléctrico. La Figura 10 es un diagrama esquemático de un método para determinar si una corriente cumple una condición de aparición de arco eléctrico en el método para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con esta modalidad de esta solicitud. En primer lugar, se obtiene la primera o la segunda corriente a determinar. La primera corriente se usa como un ejemplo. Luego, se realiza la descomposición del dominio de la frecuencia en la primera corriente y se selecciona una banda de frecuencia específica de manera filtrada, por ejemplo, se selecciona un rango de 30 kHz a 80 kHz. Este rango se selecciona principalmente porque este rango es una banda de frecuencia en la que se produce ruido de corriente de arco eléctrico principal. Una vez completada la selección, se calcula la desviación estándar de la primera corriente y luego se compara la desviación estándar con un umbral de desviación estándar (es decir, un primer umbral). Si la desviación estándar es mayor que el umbral de desviación estándar, el conteo aumenta en 1 y se completa un proceso de cálculo de desviación estándar. Se cuenta una cantidad N de veces que la desviación estándar de la primera corriente seleccionada es mayor que el umbral de desviación estándar en un período de tiempo. Finalmente, la determinación se realiza sobre el N calculado y un segundo umbral, y cuando N es mayor que el segundo umbral, indica que la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico, o cuando N no es mayor que el segundo umbral, indica que la primera corriente no cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico.

25 Específicamente, la cantidad N de veces que la desviación estándar de la primera corriente seleccionada es mayor que el umbral de desviación estándar en el periodo de tiempo se puede contar de la siguiente manera: obtener, mediante el conteo de una ventana móvil, la cantidad N de veces que la desviación estándar es mayor que el primer umbral en el período de tiempo preestablecido. La Figura 11 es un diagrama de flujo esquemático de una ventana móvil en el método para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con esta modalidad de esta solicitud. Una implementación específica de esta tecnología de ventana móvil incluye dos fases: una fase de inicialización y una fase de comparación lógica y cálculo. En la fase de inicialización, todas las matrices N_1 se establecen en 0. Luego, en la fase de cálculo y comparación lógica, n se establece en 0. Primero, se determina si la desviación estándar es mayor que el primer umbral, y $N_1[n]=1$ si la desviación estándar es mayor que el primer umbral, o $N_1[n]=0$ si la desviación estándar no es mayor que el primer umbral. Una vez completada la determinación, se calcula una suma de las matrices N_1 y se emite un resultado para obtener N. Luego, N puede compararse con el segundo umbral, y si N es mayor que el segundo umbral, indica que la corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico, o si N no es mayor que el segundo umbral, indica que la corriente no cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico. Este proceso es un proceso de determinación de la condición de ocurrencia del arco eléctrico en un período de tiempo. Una vez completado este proceso, n se incrementa en 1, y comienza un proceso de determinación de la condición de ocurrencia del arco eléctrico en el siguiente período de tiempo.

805. Omitir el envío de una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua.

45 Se puede aprender que, se puede determinar que aún no se requiere una alarma en algunos casos cuando la primera corriente cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico. Aunque el ruido de corriente total es relativamente grande, el ruido de modo diferencial es en realidad relativamente pequeño y el ruido de modo común es relativamente grande. Debido a que el ruido de modo común en realidad afecta muy levemente a un circuito, el circuito se encuentra en un estado de funcionamiento normal. En esta modalidad de esta solicitud, el coeficiente de correlación calculado entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente se usa para reflejar una proporción del ruido de modo común generado por la segunda corriente y se establece el umbral del coeficiente preestablecido. Si el coeficiente de correlación es mayor que el umbral del coeficiente, indica que la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico porque el ruido de modo común es relativamente grande. En este caso, no es necesario enviar ninguna alarma. Por lo tanto, en esta modalidad de esta solicitud, no se envía una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua cuando se encuentra que la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico y el coeficiente de correlación es mayor o igual al umbral preestablecido.

60 Opcionalmente, el método incluye además la siguiente etapa:

806. Enviar una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua.

Opcionalmente, la etapa 804 puede incluir además la siguiente subetapa. Por ejemplo, cuando la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico y el coeficiente de correlación es menor que el umbral del coeficiente preestablecido, se realiza la etapa 806. Ciertamente, cuando la primera corriente no cumple la condición

de ocurrencia del arco eléctrico, la etapa 805 se realiza independientemente de si el coeficiente de correlación es menor que el umbral del coeficiente preestablecido.

5 Cabe señalar que no existe un orden específico entre la etapa de determinación de la condición de ocurrencia del arco eléctrico de corriente continua y la etapa de cálculo del coeficiente de correlación. A continuación, se describen por separado dos casos con referencia a dos maneras de muestreo de corriente de modo común.

10 Caso 1: La segunda corriente en el lado del puerto de corriente alterna del inversor se muestrea como una corriente de modo común. En primer lugar, se determina si la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico y, a continuación, se calcula el coeficiente de correlación entre la primera corriente y la segunda corriente. La Figura 12 es un diagrama arquitectónico esquemático de un sistema para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con una modalidad de esta solicitud, y la Figura 13 es un diagrama de una modalidad de un método para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con esta modalidad de esta solicitud. En la Figura 12 y la Figura 13 se usa una forma de transformación de corriente. En la Figura 12, todos los cables de corriente alterna pasan por una segunda bobina de una unidad de muestreo de corriente de modo común, y una barra colectora positiva o una barra colectora negativa pasa por una primera bobina de una unidad de muestreo de corriente continua. Como se muestra en la Figura 13, el método incluye las siguientes etapas.

20 1301. Realizar un muestreo en un cable de corriente continua para obtener una primera corriente y realizar un muestreo en un cable de corriente alterna de un inversor para obtener una segunda corriente.

Para el proceso de muestreo, consulte la etapa 801 y la etapa 802 en la modalidad que se muestra en la Figura 8. Los detalles no se describen en la presente descripción de nuevo.

25 1302. Determinar si la primera corriente cumple una condición de ocurrencia del arco eléctrico y realizar la etapa 1303 si la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico, o realizar la etapa 1301 si la primera corriente no cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico.

30 Para saber si la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico, consulte la descripción de la etapa 804 en la modalidad que se muestra en la Figura 8. Los detalles no se describen en la presente descripción de nuevo.

35 1303. Calcular un coeficiente de correlación entre una componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y una componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente.

Para conocer el coeficiente de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente, consulte la descripción de la etapa 803 en la modalidad que se muestra en la Figura 8. Los detalles no se describen en la presente descripción de nuevo.

40 1304. Determinar si el coeficiente de correlación es menor que un umbral del coeficiente preestablecido y realizar la etapa 1305 si el coeficiente de correlación es menor que el umbral del coeficiente preestablecido, o realizar la etapa 1306 si el coeficiente de correlación no es menor que el umbral del coeficiente preestablecido.

45 Para el coeficiente de correlación, consulte la descripción de la etapa 803 en la modalidad que se muestra en la Figura 8. Los detalles no se describen en la presente descripción de nuevo.

1305. Enviar una señal de falla de arco eléctrico de corriente continua.

50 1306. Realizar un análisis de arco eléctrico en la segunda corriente.

Para el proceso de análisis del arco eléctrico, consulte la descripción de la etapa 804 en la modalidad que se muestra en la Figura 8. Los detalles no se describen en la presente descripción de nuevo.

55 1307. Determinar si la segunda corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico y realizar la etapa 1301 si la segunda corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico, o realizar la etapa 1305 si la segunda corriente no cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico.

60 De esta manera, cuando se encuentra que la primera corriente cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico y el coeficiente de correlación no es menor que el umbral del coeficiente preestablecido, se considera que una componente de corriente de modo común en la corriente del cable de corriente continua es relativamente grande. Una probabilidad de determinación errónea es relativamente alta cuando la determinación se realiza con base solamente en si la corriente del cable de corriente continua cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico. En este caso, se determina adicionalmente si la segunda corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico. Si la segunda corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico, se considera que la corriente del cable de corriente continua cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico porque la componente de modo común es relativamente grande y, por lo tanto, no se envía ninguna alarma y se realiza la etapa 1301. Si la segunda corriente no cumple la

condición de ocurrencia del arco eléctrico, para reducir los agujeros de cobertura de detección, se realiza la etapa 1305 para enviar una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua.

5 Caso 2: La segunda corriente en el lado del puerto de corriente continua del inversor se muestrea como una corriente de modo común. En primer lugar, se calcula el coeficiente de correlación entre la primera corriente y la segunda corriente, y luego se calcula si la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico. La Figura 14 es un diagrama arquitectónico esquemático de un sistema para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con una modalidad de esta solicitud, y la Figura 15 es un diagrama de una modalidad de un método para procesar un arco eléctrico de corriente continua de acuerdo con esta modalidad de esta solicitud. En la Figura 14, una barra colectora positiva o una barra colectora negativa pasan por una primera bobina de una unidad de muestreo de corriente continua, y una barra colectora positiva o una barra colectora negativa pasan por una segunda bobina de una unidad de muestreo de corriente de modo común. Como se muestra en la Figura 15, el método incluye las siguientes etapas.

15 1501. Realizar un muestreo en un cable de corriente continua para obtener una primera corriente y realizar un muestreo en un cable de corriente alterna de un inversor para obtener una segunda corriente.

20 Para el proceso de muestreo, consulte la etapa 801 y la etapa 802 en la modalidad que se muestra en la Figura 8. Los detalles no se describen en la presente descripción de nuevo.

1502. Calcular un coeficiente de correlación entre una componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y una componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente.

25 Para conocer el coeficiente de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente, consulte la descripción de la etapa 803 en la modalidad que se muestra en la Figura 8. Los detalles no se describen en la presente descripción de nuevo.

30 1503. Determinar si el coeficiente de correlación es menor que un umbral del coeficiente preestablecido y realizar la etapa 1504 si el coeficiente de correlación es menor que el umbral del coeficiente preestablecido, o realizar la etapa 1501 si el coeficiente de correlación no es menor que el umbral del coeficiente preestablecido.

Para el coeficiente de correlación, consulte la descripción de la etapa 803 en la modalidad que se muestra en la Figura 8. Los detalles no se describen en la presente descripción de nuevo.

35 1504. Realizar un análisis de arco eléctrico en la primera corriente.

Para el proceso de análisis del arco eléctrico, consulte la descripción de la etapa 804 en la modalidad que se muestra en la Figura 8. Los detalles no se describen en la presente descripción de nuevo.

40 1505. Determinar si la primera corriente cumple una condición de ocurrencia del arco eléctrico y realizar la etapa 1506 si la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico, o realizar la etapa 1501 si la primera corriente no cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico.

45 Para el proceso de análisis del arco eléctrico, consulte la descripción de la etapa 804 en la modalidad que se muestra en la Figura 8. Los detalles no se describen en la presente descripción de nuevo.

1506. Enviar una señal de falla de arco eléctrico de corriente continua.

50 Esta solicitud se basa en un método estadístico. El coeficiente de correlación entre la corriente del cable de corriente continua y la corriente de modo común se usa como base para la determinación. Esto puede evitar un error causado por diferentes condiciones de trabajo a un método de cálculo basado en valores numéricos precisos, y puede suprimir una falsa alarma causada por la corriente de modo común en una falla de arco eléctrico de corriente continua del inversor fotovoltaico, lo que mejora de esta manera la precisión de la detección de fallas de arco eléctrico de corriente continua, lo que reduce la interferencia en el funcionamiento normal del inversor y mejora el rendimiento del producto.

55 Además, la corriente del cable de corriente continua y la corriente de modo común que se usan para calcular el coeficiente de correlación se pueden muestrear sincrónicamente y ambos son resultados de muestreo bajo la misma condición de trabajo. Por lo tanto, se puede aliviar el impacto de un cambio en la condición de trabajo de un sistema de generación de energía fotovoltaica sobre el resultado de la detección.

60 Además, las modalidades de esta solicitud son aplicables a un producto inversor trifásico, un producto inversor monofásico, un producto inversor de cadena y un producto inversor centralizado y, por lo tanto, tienen un amplio alcance de cobertura.

65

Todas o algunas de las modalidades anteriores pueden implementarse mediante el uso de software, hardware, firmware, o cualquier combinación de los mismos. Cuando se utiliza software para implementar las modalidades, las modalidades pueden implementarse total o parcialmente en forma de un producto de programa informático.

- 5 Un experto en la técnica puede entender claramente que, con el propósito de una descripción conveniente y breve, para un proceso de trabajo detallado del sistema, aparato y unidad anteriores, puede hacerse referencia a un proceso correspondiente en las modalidades del método anterior, y los detalles no se describen en la presente descripción nuevamente.
- 10 En las diversas modalidades que se proporcionan en esta solicitud, debe entenderse que el sistema, el aparato y el método descritos pueden implementarse de otras maneras. Por ejemplo, la modalidad del aparato descrita es simplemente un ejemplo. Por ejemplo, la división de unidades es simplemente una división de función lógica y puede ser otra división en la implementación real. Por ejemplo, una pluralidad de unidades o componentes pueden combinarse o integrarse en otro sistema, o algunas características pueden ignorarse o no ejecutarse. Además, los acoplamientos mutuos mostrados o discutidos o los acoplamientos directos o las conexiones de comunicación pueden implementarse mediante el uso de algunas interfaces. Los acoplamientos indirectos o las conexiones de comunicación entre los aparatos o unidades pueden implementarse en forma eléctrica, mecánica u otras formas.
- 15 Las unidades descritas como partes separadas pueden o no estar físicamente separadas, y las partes mostradas como unidades pueden o no ser unidades físicas, para ser específicos, pueden estar ubicadas en una posición, o pueden distribuirse en una pluralidad de unidades de red. Puede seleccionarse una parte o la totalidad de las unidades con base en los requerimientos reales para lograr los objetivos de las soluciones de las modalidades.
- 20 Además, las unidades funcionales en las modalidades de esta solicitud pueden integrarse dentro de una unidad de procesamiento, o cada una de las unidades pueden existir físicamente solas, o dos o más unidades se integran dentro de una unidad. La unidad integrada puede implementarse en forma de hardware, o puede implementarse en forma de una unidad funcional de software.
- 25 Las modalidades anteriores están destinadas simplemente a describir las soluciones técnicas de esta solicitud, pero no a limitar el alcance de la presente invención, que se define por las reivindicaciones adjuntas.
- 30

REIVINDICACIONES

1. Un método para procesar un arco eléctrico de corriente continua, aplicado a un sistema de celdas fotovoltaicas, que comprende:

5 obtener (801) una primera corriente, en donde la primera corriente es una corriente de entrada de corriente continua de un cable de corriente continua conectado a un panel de celdas fotovoltaicas del sistema de celdas fotovoltaicas;
 10 obtener (802) una segunda corriente, en donde la segunda corriente es una corriente de modo común de corriente continua de un cable de corriente continua en un lado del puerto de corriente continua de un inversor del sistema de celdas fotovoltaicas o una corriente de modo común de corriente alterna de un cable de corriente alterna en un lado del puerto de corriente alterna del inversor;
 15 obtener (803) un coeficiente de correlación entre una componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y una componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente, en donde la componente en el dominio de la frecuencia es un valor de frecuencia de una corriente dentro de una banda de frecuencia preestablecida en el dominio de frecuencia, y el coeficiente de correlación refleja un grado de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente; y
 20 al determinar (804) que la primera corriente cumple una condición de ocurrencia del arco eléctrico y el coeficiente de correlación es mayor o igual a un umbral del coeficiente preestablecido, omitir el envío de una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde determinar que la primera corriente cumple una condición de ocurrencia del arco eléctrico comprende:

25 realizar la descomposición en el dominio de la frecuencia en la primera corriente para obtener un primer rango de frecuencia, en donde el primer rango de frecuencia es una banda de frecuencia en la que se produce ruido de arco eléctrico;
 30 calcular una desviación estándar de un valor de frecuencia de la corriente en el primer rango de frecuencia; y obtener una cantidad N de veces que la desviación estándar es mayor que un primer umbral en un período de tiempo preestablecido, y cuando N es mayor que un segundo umbral, determinar que la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico, en donde N es un número entero que es mayor o igual a 0.

3. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde calcular un coeficiente de correlación entre una componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y una componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente comprende:

35 calcular por separado una desviación estándar de la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y una desviación estándar de la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente; calcular una covarianza entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente; y
 40 calcular el coeficiente de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente con base en las desviaciones estándar y la covarianza.
 45

4. El método de acuerdo con la reivindicación 3, en donde la desviación estándar s_x de la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente se calcula mediante el uso de la siguiente fórmula:

50
$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$
 en donde n es una cantidad de tiempos de muestreo de la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente;
 la desviación estándar s_y de la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente y se calcula

55 mediante el uso de la siguiente fórmula: $s_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$, en donde n es una cantidad de tiempos de muestreo de la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente;
 la covarianza s_{xy} entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente se calcula mediante el uso de la siguiente fórmula:

60
$$s_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1};$$

 y

65 el coeficiente de correlación r_{xy} entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente se calcula mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

- 5 5. El método de acuerdo con la reivindicación 2, en donde la obtención de una cantidad N de veces que la desviación estándar es mayor que un primer umbral en un período de tiempo predeterminado comprende: obtener, mediante el conteo de una ventana móvil, la cantidad N de veces que la desviación estándar es mayor que el primer umbral en el período de tiempo preestablecido.
- 10 6. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el método comprende, además: al determinar que la primera corriente cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico y el coeficiente de correlación es menor que el umbral del coeficiente preestablecido, enviar una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua.
- 15 7. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde la primera corriente es una corriente obtenida al realizar un muestreo en una barra colectora positiva o una barra colectora negativa del cable de corriente continua, y la segunda corriente es una corriente obtenida al realizar un muestreo en todos los cables de corriente alterna en el lado del puerto de corriente alterna del inversor.
- 20 8. El método de acuerdo con la reivindicación 7, en donde antes de obtener un coeficiente de correlación entre una componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y una componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente, el método comprende, además:
- 25 realizar un análisis de arco eléctrico en la primera corriente; y cuando la primera corriente cumple la condición de ocurrencia del arco eléctrico, realizar el cálculo de un coeficiente de correlación.
- 30 9. El método de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el método comprende, además: al determinar que la primera corriente cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico, el coeficiente de correlación es mayor o igual al umbral del coeficiente preestablecido, y la segunda corriente cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico, omitir el envío de una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua.
- 35 10. El método de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el método comprende, además: al determinar que la primera corriente cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico, el coeficiente de correlación es mayor o igual al umbral del coeficiente preestablecido, y la segunda corriente no cumple con la condición de ocurrencia del arco eléctrico, enviar una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua.
- 40 11. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde la primera corriente es una corriente obtenida al realizar un muestreo en una barra colectora positiva o una barra colectora negativa del cable de corriente continua, y la segunda corriente es una corriente obtenida al realizar un muestreo en todos los cables de corriente continua en el lado del puerto de corriente continua del inversor.
- 45 12. El método de acuerdo con la reivindicación 11, en donde después de calcular un coeficiente de correlación entre una componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y una componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente, el método comprende, además: al determinar que el coeficiente de correlación es menor que el umbral del coeficiente preestablecido, realizar un análisis de arco eléctrico en la primera corriente.
- 50 13. Un aparato para detectar un arco eléctrico de corriente continua, que comprende un módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico, y un primer módulo de muestreo y un segundo módulo de muestreo que se conectan a la unidad de procesamiento, en donde
- 55 el primer módulo de muestreo se dispone en un cable de corriente continua detectado conectado a un panel de celdas fotovoltaicas de un sistema de celdas fotovoltaicas, y se configura para realizar muestreo en el cable de corriente continua, para obtener una primera corriente; y el segundo módulo de muestreo se dispone en un cable de corriente continua en un lado del puerto de corriente continua de un inversor del sistema de celdas fotovoltaicas o en un cable de corriente alterna en un lado del puerto de corriente alterna del inversor, y se configura para realizar muestreo en el cable de corriente continua en el lado del puerto de corriente continua del inversor o el cable de corriente alterna en el lado del puerto de corriente alterna del inversor, para obtener una segunda corriente;
- 60 después de recibir la primera corriente y la segunda corriente, el módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico obtiene una componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente con base en la primera corriente, y además se configura para: obtener una componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente con base en la segunda y calcular un coeficiente de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente,
- 65

- en donde la componente en el dominio de la frecuencia es un valor de frecuencia de una corriente dentro de una banda de frecuencia preestablecida en el dominio de frecuencia, y el coeficiente de correlación refleja un grado de correlación entre la componente en el dominio de la frecuencia de la primera corriente y la componente en el dominio de la frecuencia de la segunda corriente; y
- 5 cuando el módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico determina que la primera corriente cumple con una condición de ocurrencia del arco eléctrico y el coeficiente de correlación es mayor o igual a un umbral del coeficiente preestablecido, el módulo de procesamiento de fallas de arco eléctrico no envía una alarma de falla de arco eléctrico de corriente continua.
- 10 14. El aparato de acuerdo con la reivindicación 13, en donde el primer módulo de muestreo es un módulo de muestreo de corriente del cable de corriente continua, y el módulo de muestreo de corriente del cable de corriente continua realiza el muestreo en una barra colectora positiva o una barra colectora negativa del cable de corriente continua, para obtener una corriente de entrada de corriente continua; y el segundo módulo de muestreo es un módulo de muestreo de corriente de modo común, y cuando el módulo de muestreo de corriente de modo común se dispone
- 15 en el cable de corriente continua en el lado del puerto de corriente continua del inversor, el módulo de muestreo de corriente de modo común realiza el muestreo en todos los cables de corriente continua, para obtener una corriente de modo común de corriente continua, o cuando el módulo de muestreo de corriente de modo común se dispone en el cable de corriente alterna en el lado del puerto de corriente alterna del inversor, el módulo de muestreo de corriente de modo común realiza el muestreo en todos los cables de corriente alterna, para obtener
- 20 una corriente de modo común de corriente alterna.
15. El aparato de acuerdo con la reivindicación 14, en donde el módulo de muestreo de corriente del cable de corriente continua comprende una primera bobina de muestreo y una primera unidad de control de muestreo, la barra colectora positiva o la barra colectora negativa del cable de corriente continua pasa a través de la primera bobina de muestreo, y la unidad de control de muestreo se configura para convertir una corriente muestreada por la
- 25 primera bobina de muestreo en la corriente de entrada de corriente continua.

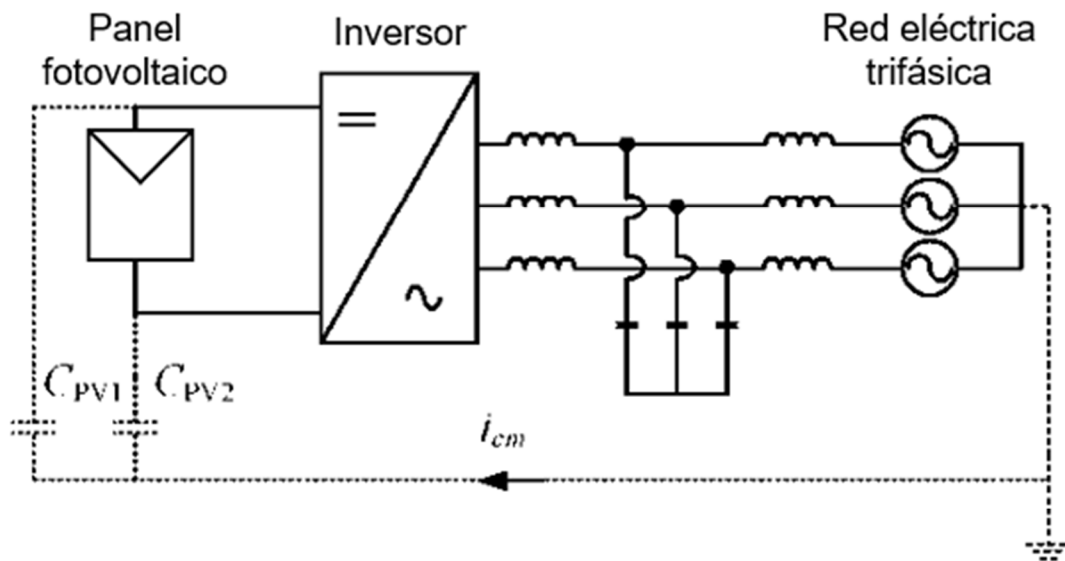


Figura 1

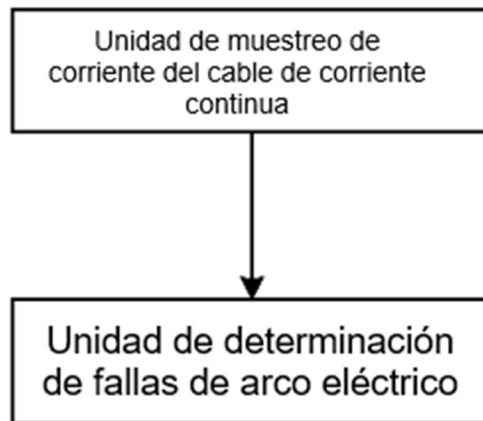


Figura 2a

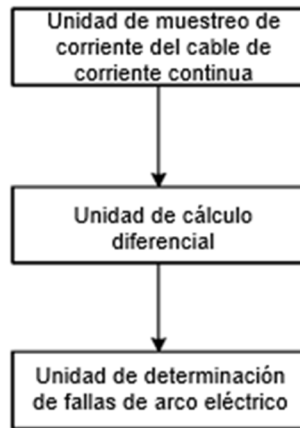


Figura 2b

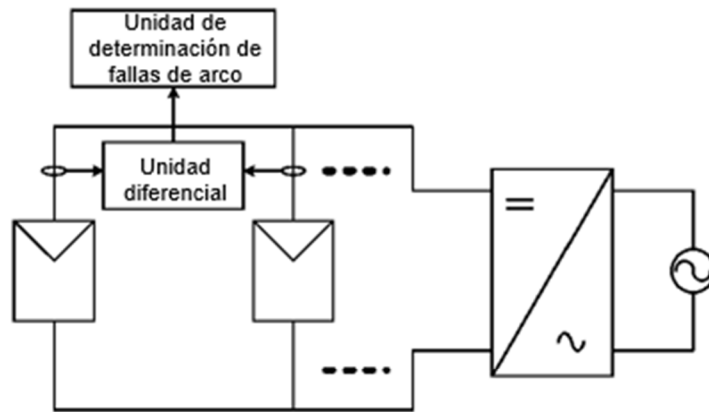


Figura 3

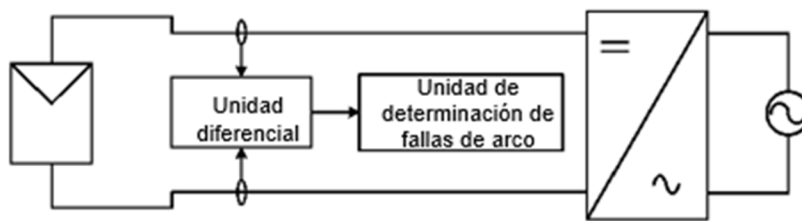


Figura 4

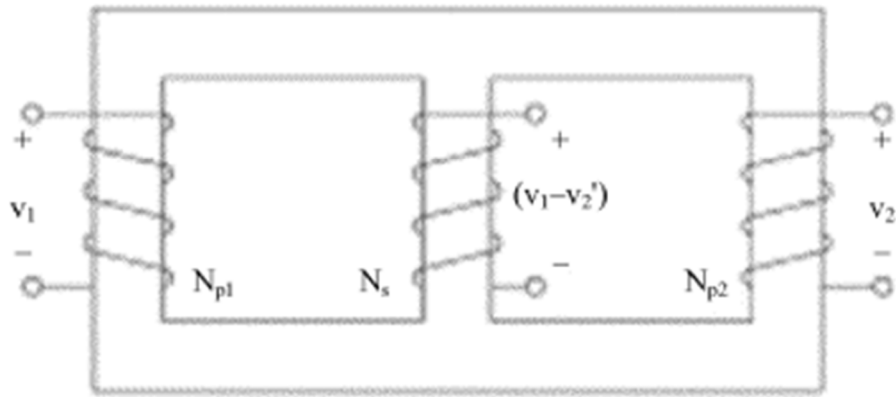


Figura 5

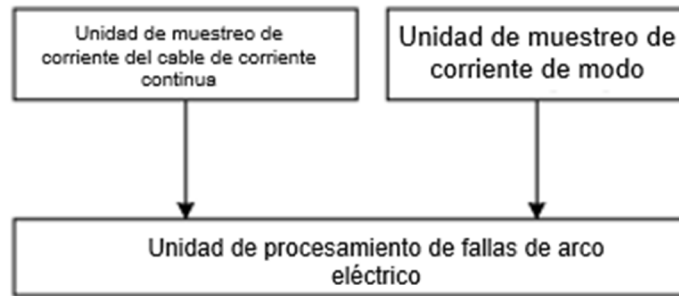


Figura 6

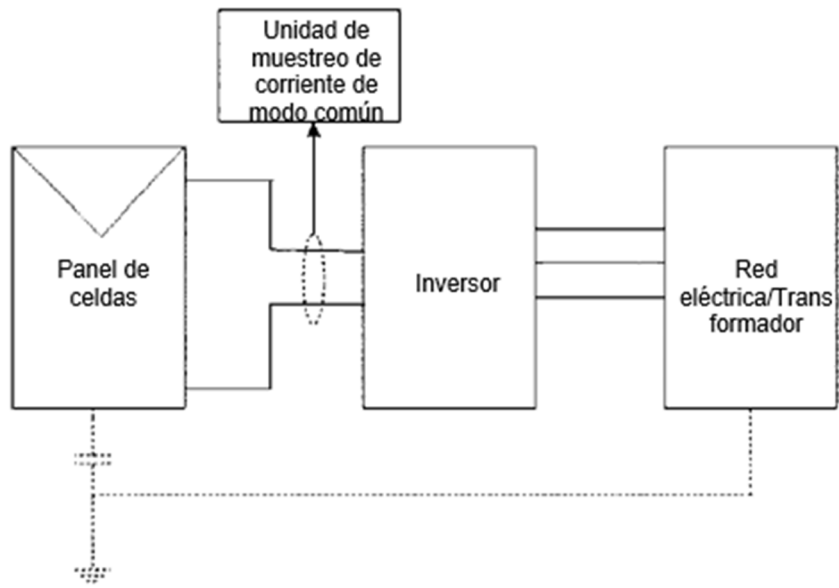


Figura 7a

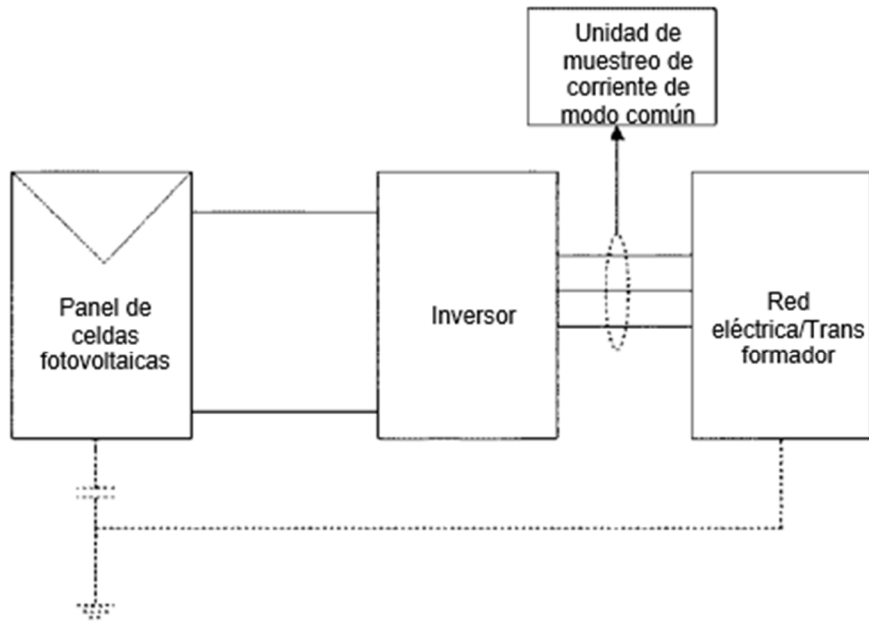


Figura 7b

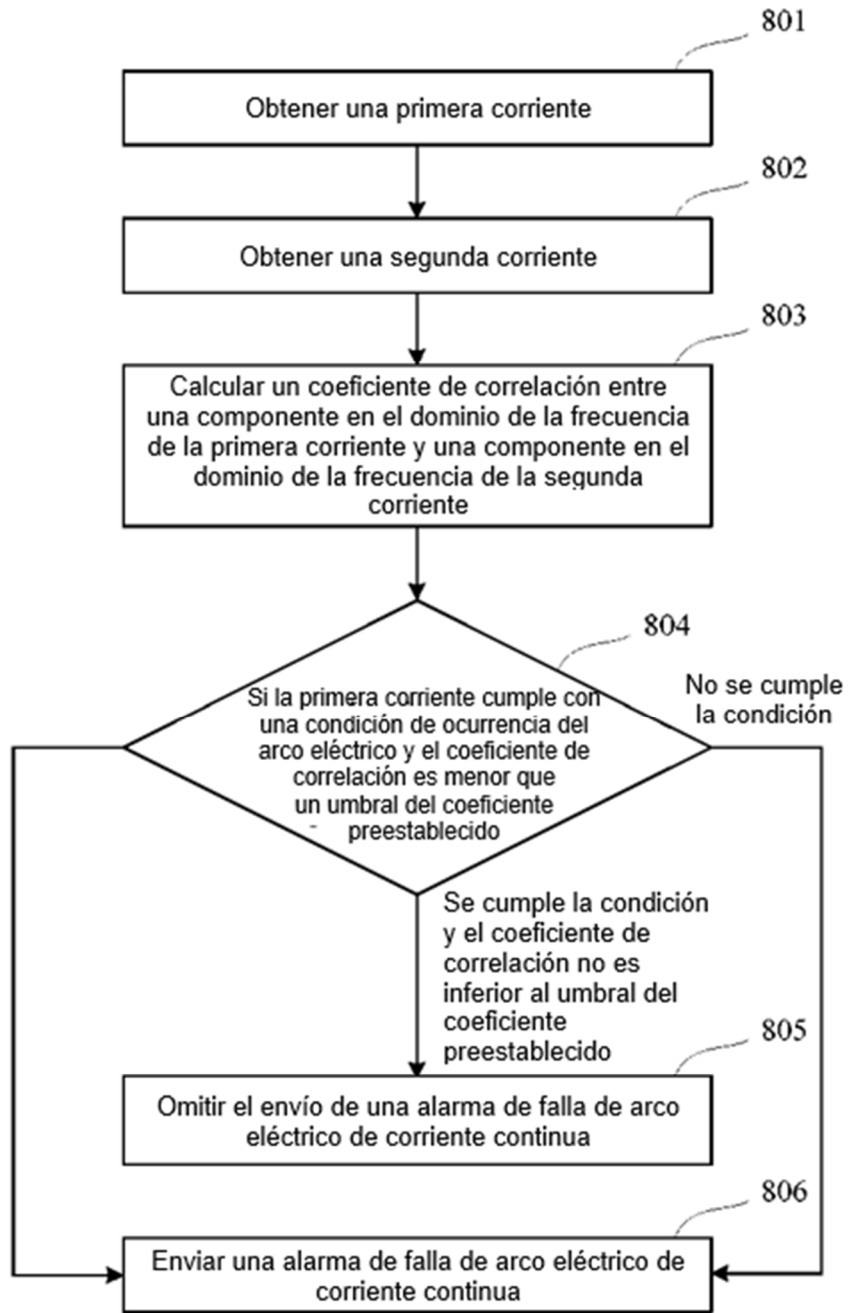


Figura 8

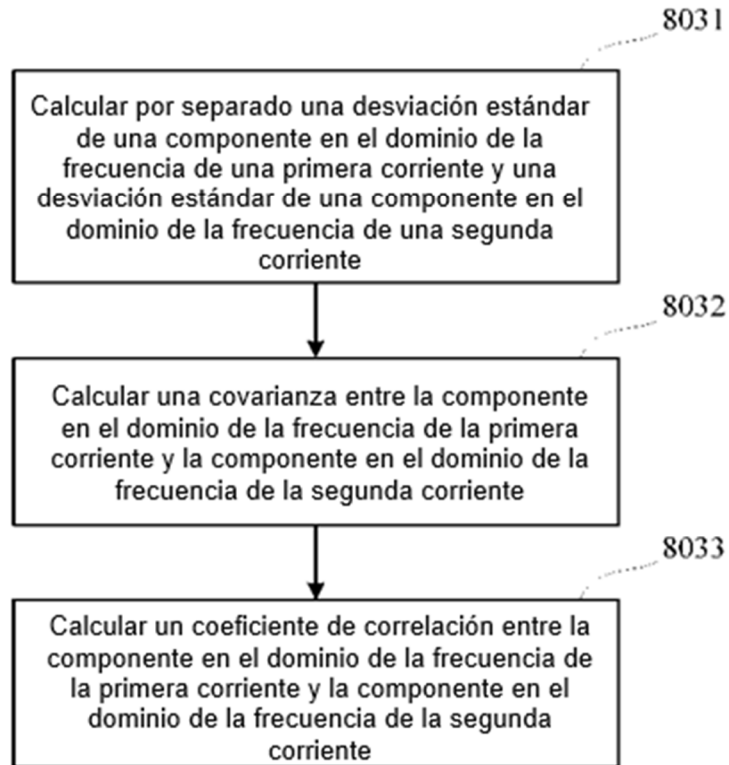


Figura 9



Figura 10

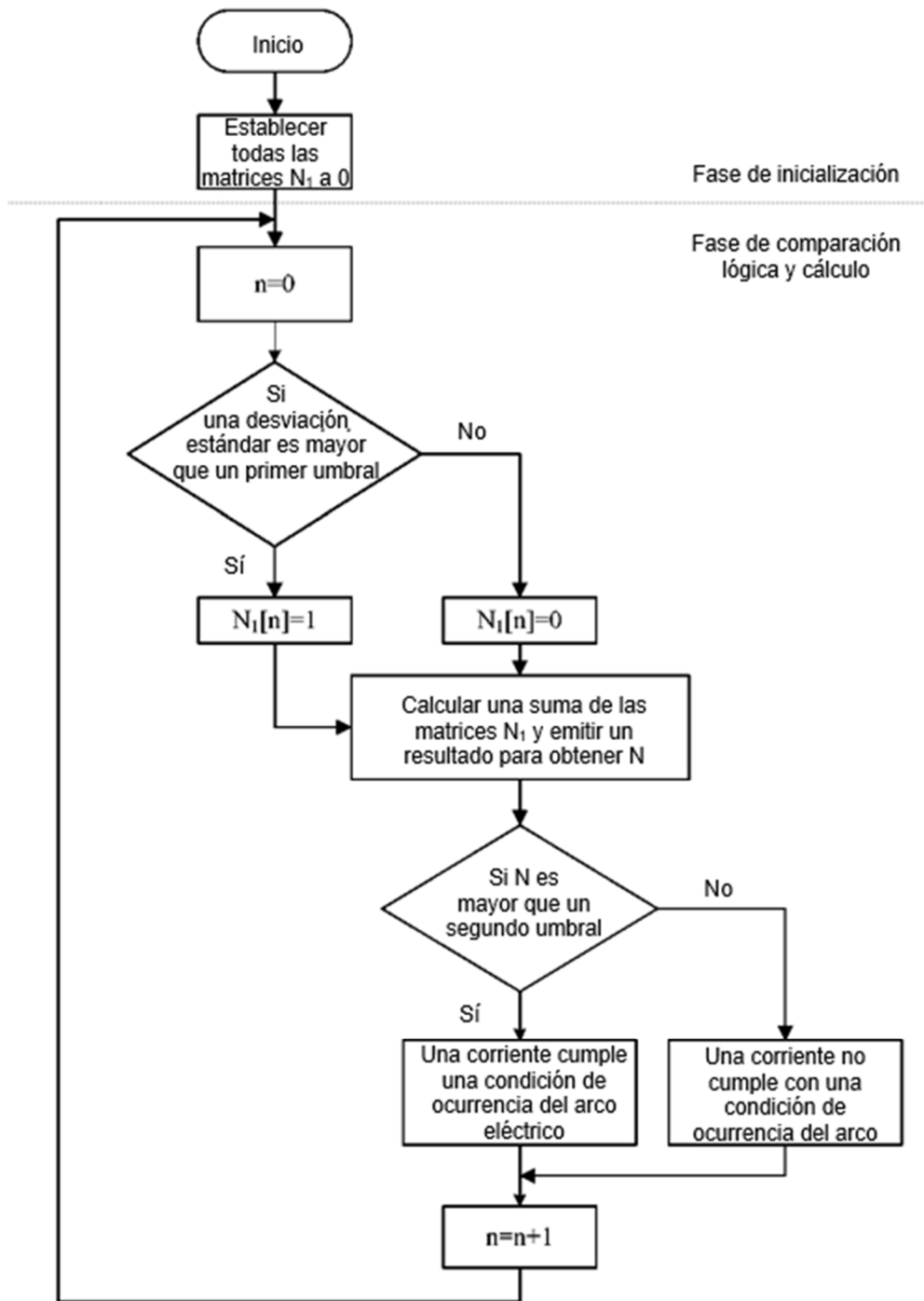


Figura 11

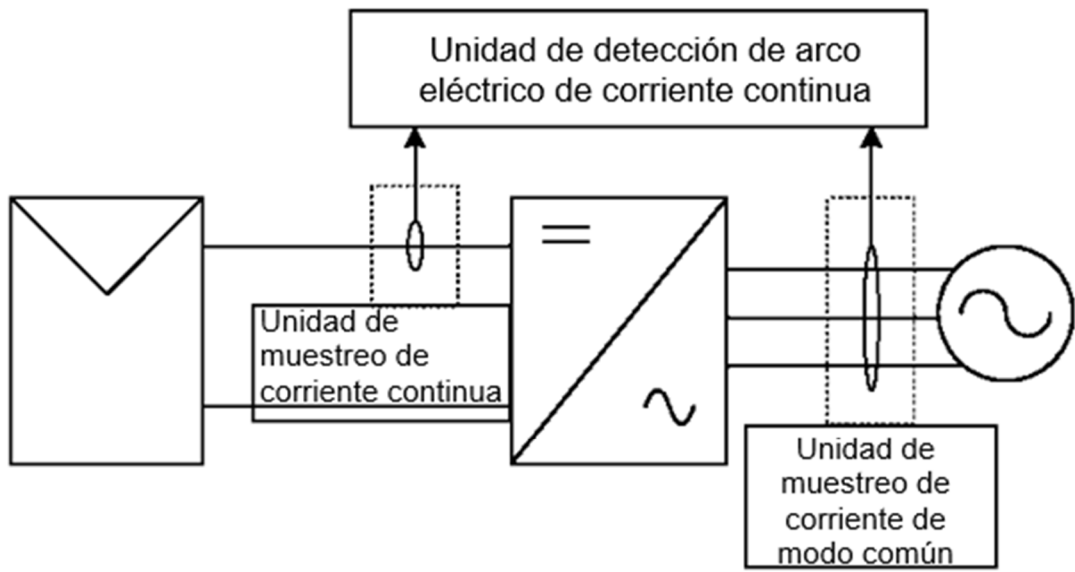


Figura 12

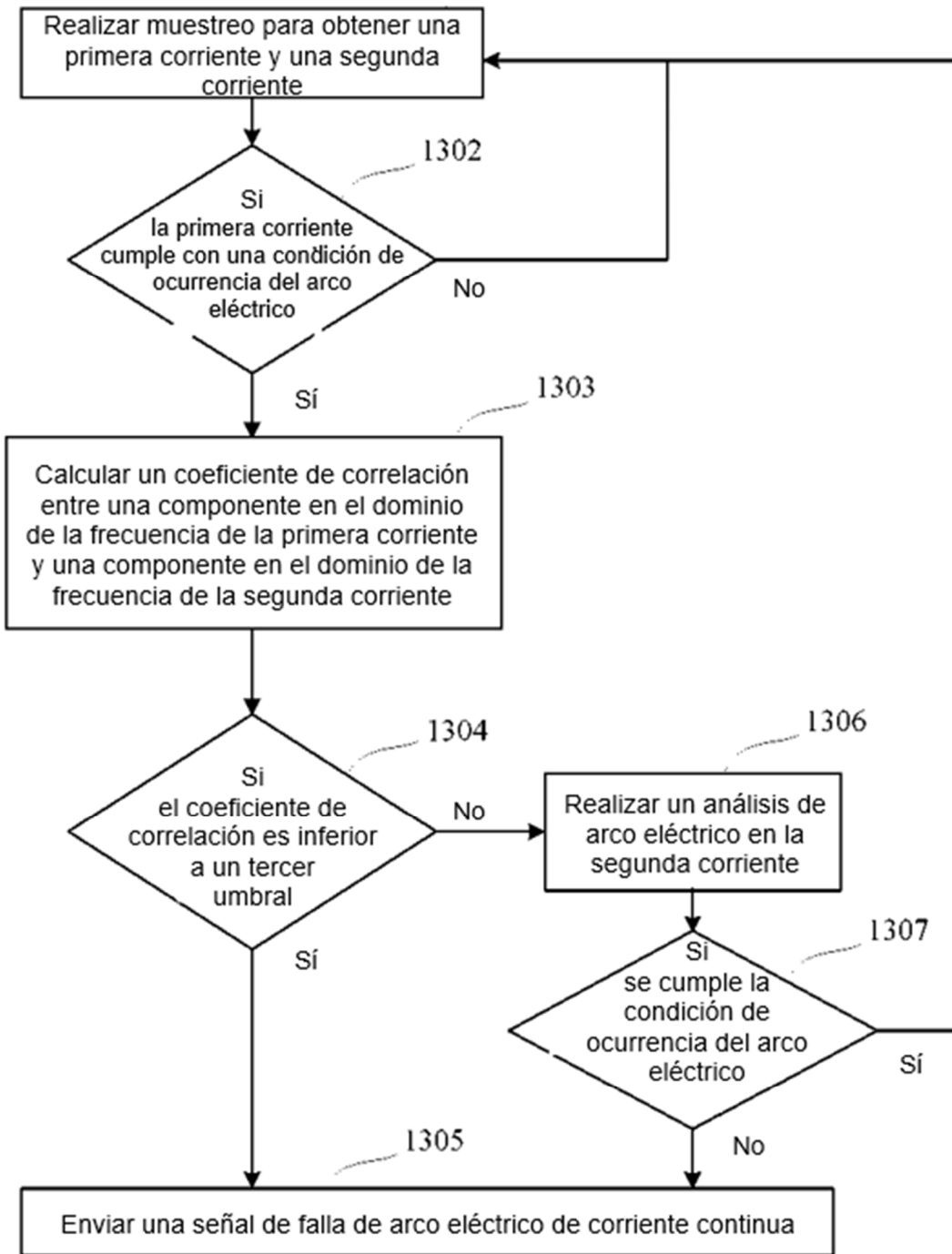


Figura 13

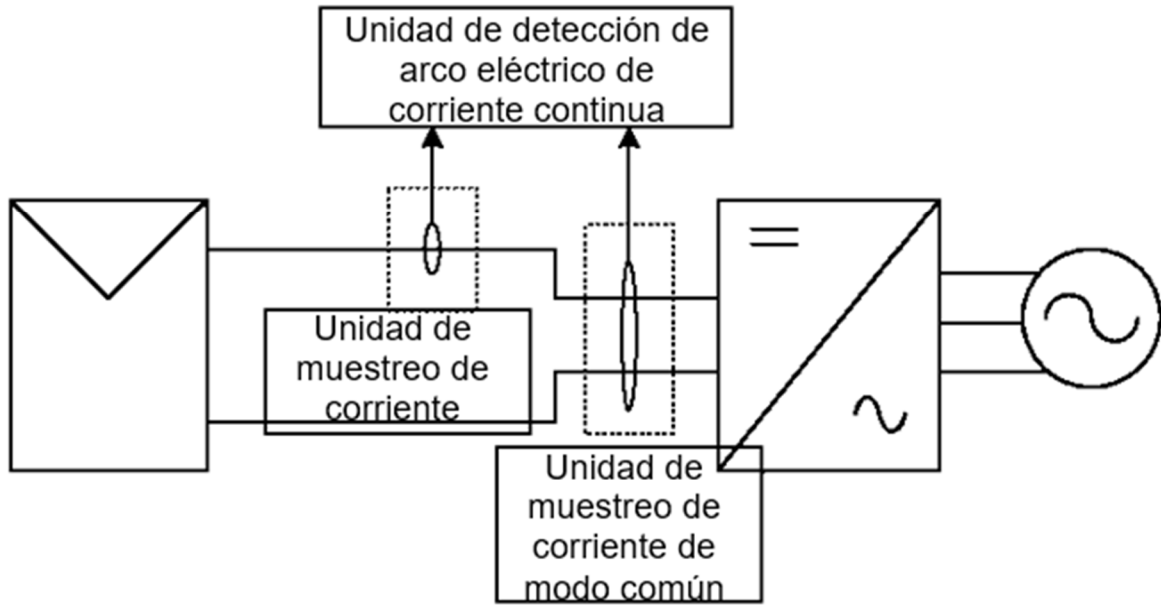


Figura 14

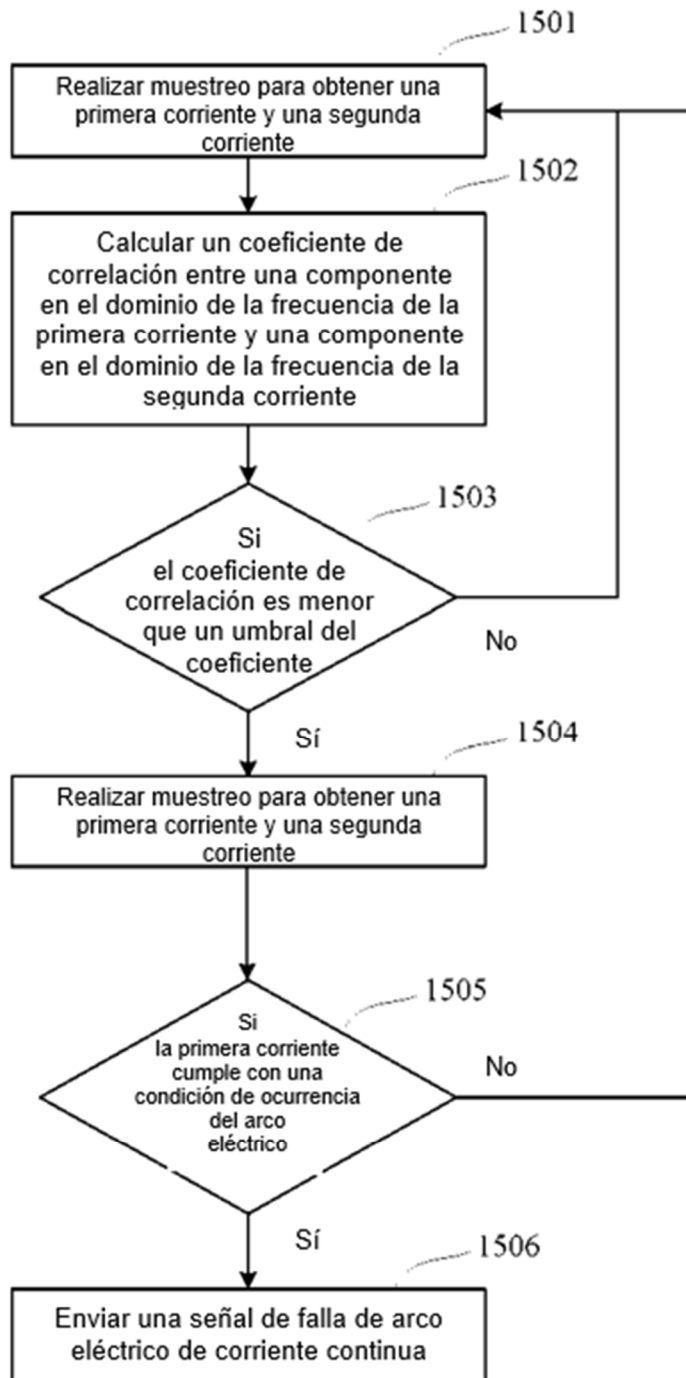


Figura 15