

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 959 976**

51 Int. Cl.:

**H02H 3/32** (2006.01)

**H02H 3/33** (2006.01)

**H02H 3/347** (2006.01)

**H02M 7/04** (2006.01)

**H02H 7/20** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.01.2018 E 18150887 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2023 EP 3509177**

54 Título: **Método para detectar condiciones de falta a tierra en un aparato de conversión de energía**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**29.02.2024**

73 Titular/es:

**ABB SCHWEIZ AG (100.0%)  
Bruggerstrasse 66  
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**SCALETTI, SILVIO;  
GUERRIERO, ALESSANDRO y  
GARGIULO, MATTEO**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 959 976 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 para detectar condiciones de falta a tierra en un aparato de conversión de energía

5 La presente invención se refiere al campo de las centrales de generación de energía eléctrica.

Más particularmente, la presente invención se refiere a un método para detectar condiciones de falta a tierra en un aparato de conversión de energía, por ejemplo, un inversor fotovoltaico.

10 Como es sabido, las centrales de generación de energía eléctrica (por ejemplo, centrales fotovoltaicas) incluyen un número (incluso cientos o miles) de aparatos de conversión de energía (por ejemplo, aparatos de conversión de energía) asociados operativamente a los correspondientes sistemas de generación de energía eléctrica (por ejemplo, paneles fotovoltaicos o cadenas fotovoltaicas).

15 En muchas aplicaciones, un aparato de conversión de energía comprende una sección de CC y una sección de CA conectadas eléctricamente con un sistema de generación de energía eléctrica correspondiente y con una red de distribución de energía eléctrica por medio de buses eléctricos de CC y CA, respectivamente.

20 La mayoría de los aparatos de conversión de energía tradicionales tienen sus secciones de CC y CA acopladas y aisladas eléctricamente entre sí por un transformador de tensión.

Los aparatos de conversión de energía de este tipo presentan importantes limitaciones en términos de eficiencia debido a los fenómenos de disipación de energía en los devanados del transformador. Además, generalmente son voluminosos y caros de fabricar a nivel industrial.

25 En los últimos años, se han desarrollado aparatos de conversión de energía del tipo sin transformador. Estos dispositivos no incluyen una etapa de transformador aislante para acoplar sus secciones de CC y CA.

30 Los aparatos de conversión de energía del tipo sin transformador son cada vez más populares en el mercado, ya que se caracterizan por una mayor eficiencia, tamaño y peso reducidos y menores costes industriales respecto a los dispositivos más tradicionales mencionados anteriormente. Sin embargo, estos dispositivos presentan algunos inconvenientes en términos de seguridad eléctrica ya que no existe aislamiento eléctrico entre sus circuitos de CC y CA y corrientes de fuga hacia tierra, potencialmente peligrosas para la salud humana, pueden estar presentes.

35 Para mitigar estas preocupaciones, los aparatos de conversión de energía del tipo sin transformador normalmente están equipados con dispositivos de conmutación dispuestos para interrumpir las líneas eléctricas del bus eléctrico de CA al recibir órdenes de disparo adecuadas.

40 Cuando se determinan condiciones de falta a tierra, los dispositivos de conmutación mencionados anteriormente se disparan y el aparato de conversión de energía (junto con el sistema de generación de energía eléctrica acoplado eléctricamente al mismo) queda eléctricamente segregado de la red de distribución de energía eléctrica.

45 En los aparatos de conversión de energía del tipo sin transformador, las condiciones de falta a tierra habitualmente se detectan midiendo los valores RMS (media cuadrática, Root Mean Square) de la corriente de fuga a tierra en el aparato y verificando el comportamiento de dicha cantidad eléctrica sobre la base de criterios de identificación adecuados.

La experiencia ha demostrado que este enfoque técnico proporciona rendimientos deficientes en términos de precisión de detección de faltas.

50 Esta circunstancia a menudo lleva a los fabricantes a establecer criterios de identificación estrictos (valores umbral de protección) para determinar la presencia de condiciones de falta a tierra con el fin de garantizar el pleno cumplimiento de los aparatos de conversión de energía con las normativas internacionales (por ejemplo, UL1998, CEI 62109-2).

55 Sin embargo, este remedio ha demostrado ser el origen de frecuentes desconexiones no deseadas de los aparatos de conversión de energía de la red de distribución de energía eléctrica con la consiguiente reducción de la cantidad de energía eléctrica suministrada a la red de distribución de energía eléctrica.

**El documento EP3128335A1 se refiere a un método conocido para detectar faltas a tierra en una línea eléctrica.**

60 En el estado de la técnica en él, se siente bastante la necesidad de soluciones que superen o mitiguen los inconvenientes del estado de la técnica ilustrados anteriormente.

65 La presente invención pretende responder a esta necesidad proporcionando un método para detectar condiciones de falta a tierra en un aparato de conversión de energía, de acuerdo con la siguiente reivindicación 1 y las reivindicaciones dependientes relacionadas.

En una definición general, el método, de acuerdo con la invención, comprende las siguientes etapas:

- adquirir una primera señal de detección indicativa de una corriente de fuga a tierra que fluye entre dicho aparato de conversión de energía y tierra;
- 5 - procesar dicha primera señal de detección para calcular una primera señal de procesamiento indicativa de un componente variable en el tiempo de dicha corriente de fuga a tierra para una o más bandas de frecuencia de interés seleccionadas;
- procesar dicha primera señal de detección para calcular una segunda señal de procesamiento indicativa de un componente invariable en el tiempo de dicha corriente de fuga a tierra;
- 10 - procesar dichas primera y segunda señales de procesamiento para calcular una tercera señal de procesamiento indicativa de un componente resistivo de dicha corriente de fuga a tierra **de acuerdo con la relación propuesta a continuación.**
- procesar dicha tercera señal de procesamiento para determinar si están presentes condiciones de falta a tierra. Preferentemente, dicha etapa de procesar dicha primera señal de detección para calcular dicha primera señal de procesamiento comprende filtrar dicha primera señal de detección para calcular el contenido armónico de CA de dicha corriente de fuga a tierra filtrada para dichas bandas de frecuencia de interés seleccionadas.
- 15

Preferentemente, dicha etapa de procesar dicha primera señal de detección para calcular dicha segunda señal de procesamiento comprende filtrar dicha primera señal de detección para calcular un contenido armónico de CC de dicha corriente de fuga a tierra.

20

De acuerdo con un aspecto de la invención, el cálculo de dicha primera señal de procesamiento incluye el cálculo de la energía activa promedio intercambiada entre el aparato de conversión de energía y tierra debido a la presencia de la corriente de fuga a tierra.

25

Preferentemente, dicha etapa de procesar dicha primera señal de detección para calcular dicha primera señal de procesamiento comprende las siguientes etapas:

- filtrar dicha primera señal de detección para calcular una primera señal de procesamiento preliminar indicativa del contenido armónico de CA de dicha corriente de fuga a tierra para dichas bandas de frecuencia de interés seleccionadas;
- adquirir una segunda señal de detección indicativa de una tensión de desequilibrio entre un componente de dicho aparato de conversión de energía y tierra;
- filtrar dicha segunda señal de detección para obtener una segunda señal de procesamiento preliminar indicativa del contenido armónico de CA de dicha tensión de desequilibrio para dichas bandas de frecuencia de interés seleccionadas;
- procesar dichas primera y segunda señales de procesamiento preliminares para calcular una tercera señal de procesamiento preliminar indicativa de un valor promedio de la energía activa intercambiada entre dicho aparato de conversión de energía y tierra debido a la presencia de dicha corriente de fuga a tierra, para dichas bandas de frecuencia de interés seleccionadas;
- 40 - procesar dicha segunda señal de procesamiento preliminar para calcular una cuarta señal de procesamiento preliminar indicativa de valores RMS de dicha segunda señal de procesamiento preliminar, en la práctica, indicativa de la tensión de desequilibrio filtrada por CA para dichas bandas de frecuencia de interés seleccionadas;
- procesar dichas tercera y cuarta señales de procesamiento preliminares para calcular dicha primera señal de procesamiento.
- 45

Preferentemente, dicha etapa de procesar dichas primera y segunda señales de procesamiento preliminares para calcular dicha tercera señal de procesamiento preliminar comprende las siguientes etapas:

- 50 - procesar dichas primera y segunda señales de procesamiento preliminares para calcular una quinta señal de procesamiento preliminar indicativa de un valor instantáneo de la energía activa intercambiada entre dicho aparato de conversión de energía y tierra debido a la presencia de dicha corriente de fuga a tierra, para dichas una o más bandas de frecuencia de interés;
- procesar dicha quinta señal de procesamiento preliminar para calcular dicha tercera señal de procesamiento preliminar.
- 55

De acuerdo con un aspecto de la invención, dicha etapa de procesar dicha primera señal de detección para calcular dicha segunda señal de procesamiento comprende las siguientes etapas:

- 60 - filtrar dicha primera señal de detección para calcular una sexta señal de procesamiento preliminar indicativa de un contenido armónico de CC de dicha corriente de fuga a tierra;
- procesar dicha sexta señal de procesamiento preliminar para calcular dicha segunda señal de procesamiento.

Preferentemente, dicha etapa de procesar dicha sexta señal de procesamiento preliminar incluye el cálculo de valores RMS de dicha sexta señal de procesamiento preliminar, en la práctica de la corriente de fuga a tierra filtrada por CC.

65

De acuerdo con un aspecto de la invención, dicha etapa de procesar dicha tercera señal de procesamiento comprende comparar dicha tercera señal de procesamiento con uno o más valores umbral. De acuerdo con un aspecto de la invención, el método comprende las siguientes etapas:

- 5
- procesar dicha primera señal de detección para calcular una cuarta señal de procesamiento indicativa de valores RMS de dicha corriente de fuga a tierra;
  - procesar dicha cuarta señal de procesamiento y dicha tercera señal de procesamiento para calcular una quinta señal de procesamiento indicativa de un componente capacitivo de dicha corriente de fuga a tierra.

10 En un aspecto adicional, la presente invención se refiere a un aparato de conversión de energía, de acuerdo con la siguiente reivindicación 11 y las reivindicaciones dependientes relacionadas.

Preferentemente, dicho aparato de conversión de energía es un inversor fotovoltaico, por ejemplo, del tipo sin transformador.

15 De acuerdo con posibles realizaciones de la invención, dicho aparato de conversión de energía comprende una primera unidad de control adaptada para controlar el funcionamiento de una etapa de conversión CC/CC y una segunda unidad de control adaptada para controlar el funcionamiento de una etapa de conversión CC/CA. Preferentemente, cada una de dichas primera y segunda unidades de control comprende recursos de procesamiento de datos correspondientes configurados para ejecutar el método de la invención y generar señales de disparo correspondientes para los medios de protección incluidos o asociados operativamente con dicho aparato de conversión de energía, si se determinan condiciones de falta a tierra tras la ejecución de dicho método.

20 Otras características y ventajas de la presente invención serán evidentes en la siguiente descripción de realizaciones no limitativas con referencia a las figuras de los dibujos adjuntos, en los que:

- 25
- la figura 1 muestra un diagrama de bloques esquemático de un aparato de conversión de energía que implementa el método para detectar condiciones de falta a tierra, de acuerdo con la presente invención;
  - la figura 2 muestra un diagrama de bloques esquemático que describe el método, de acuerdo con la presente invención;
  - la figura 3 muestra un diagrama de bloques esquemático que describe una realización preferida del método, de acuerdo con la presente invención.

30 Haciendo referencia a las cifras citadas, la presente invención se refiere a un método para detectar condiciones de falta a tierra en un aparato de conversión de energía 100 para una central de generación de energía eléctrica de baja tensión.

35 Para aportar mayor claridad, se especifica que el término "baja tensión" se refiere a tensiones de funcionamiento inferiores a 1 kV CA y 1,5 kV CC.

40 En principio, el aparato de conversión de energía 100 puede ser de cualquier tipo.

45 El método de la invención, de hecho, puede implementarse generalmente en aparatos de conversión de energía de cualquier tipo, por ejemplo, en aparatos de conversión de energía diseñados para sistemas de generación fotovoltaicos, sistemas de generación eólicos, sistemas de generación de pilas de combustible, sistemas de generación de baterías, y similares.

50 De todos modos, el método de la invención está particularmente adaptado para su implementación en inversores fotovoltaicos y se describirá a continuación con referencia particular a esta aplicación sin pretender limitar el alcance de la invención de ninguna manera.

Por tanto, en una implementación preferida del método 1, el aparato de conversión de energía 100 es un inversor fotovoltaico.

55 Con particular referencia a la figura 1, el aparato de conversión de energía 100 comprende una sección de CC 101, que está destinada a conectarse eléctricamente con un sistema de generación de energía eléctrica 200 (por ejemplo, un conjunto que incluye uno o más paneles fotovoltaicos o cadenas fotovoltaicas) a través de una o más líneas eléctricas de CC dispuestas en un bus eléctrico de CC 109 y una sección de CA 103, que está destinada a conectarse eléctricamente con una red de distribución de energía eléctrica 300 (por ejemplo, de tipo monofásico o multifásico) a través de una o más líneas eléctricas de CA dispuestas en un bus eléctrico de CA 110.

60 Preferentemente, la sección de CC 101 comprende una etapa de conversión CC/CC 104 (por ejemplo, que incluye un convertidor de conmutación CC/CC) que tiene un puerto de entrada conectado eléctricamente con el bus eléctrico de CC 109.

65 Preferentemente, la sección de CA 103 comprende una etapa de conversión CC/CA 106 (por ejemplo, que incluye un

## ES 2 959 976 T3

convertidor de conmutación CC/CA) que tiene un puerto de salida conectado eléctricamente con el bus eléctrico de CA 110.

5 El aparato de conversión de energía 100 comprende una sección de acoplamiento 102 para acoplar eléctricamente las secciones de CC y CA 101, 103.

10 Preferentemente, la sección de acoplamiento 102 comprende una etapa de enlace de CC 105 que acopla eléctricamente un puerto de salida de la etapa de conversión CC/CC 104 y un puerto de entrada de la etapa de conversión CC/CA 106. A modo de ejemplo, la etapa de enlace de CC 105 puede incluir uno o más condensadores conectados eléctricamente en paralelo entre los terminales de salida de la etapa de conversión CC/CC 104 y los terminales de entrada de la etapa de conversión CC/CA 106.

15 Preferentemente, el aparato de conversión de energía 100 es del tipo sin transformador. En este caso, no incluye ningún transformador (por ejemplo, incluido en una o las secciones 101, 102, 103) para aislar eléctricamente las secciones de CC y CA 101, 103.

Preferentemente, el aparato de conversión de energía 100 comprende medios de control 107, 108 para controlar el funcionamiento de las etapas de conversión 104, 106.

20 Preferentemente, los medios de control 107, 108 incluyen recursos de procesamiento de datos 117, 118 para llevar a cabo sus funcionalidades.

25 Los recursos de procesamiento de datos 117, 118 pueden implementarse industrialmente de manera analógica y/o digital.

Si se implementan de manera analógica, comprenden circuitos electrónicos de tipo analógico adecuadamente dispuestos.

30 Si se implementan de manera digital, comprenden unidades informatizadas adecuadamente dispuestas (por ejemplo, DSP o microprocesadores) configuradas para ejecutar conjuntos de instrucciones de software almacenadas o almacenables en un medio.

35 Como una alternativa adicional, los recursos de procesamiento de datos 117, 118 pueden comprender circuitos integrados u otros arreglos electrónicos (por ejemplo, FPGA, SoCs, y similares) capaces de procesar señales analógicas y/o digitales.

40 De acuerdo con algunas realizaciones de la invención, los medios de control mencionados anteriormente comprenden dos unidades de control distintas, a saber, una primera unidad de control 107 incluida en la sección de CC 101 para controlar la etapa de conversión 104 y una segunda unidad de control 108 incluida en la sección de CA 103 para controlar la etapa de conversión 106.

45 De acuerdo con algunas realizaciones de la invención, el aparato de conversión de energía 100 comprende medios de protección 400 adaptados para desconectar eléctricamente dicho aparato de la red de distribución de energía eléctrica 300 tras recibir señales de disparo adecuadas T1, T2.

Preferentemente, los medios de protección 400 comprenden uno o más dispositivos de conmutación (por ejemplo, de tipo mecánico o electromecánico tales como relés, contactores o similares) asociados operativamente a las líneas eléctricas del bus eléctrico de CA 110.

50 Preferentemente, los medios de protección 400 comprenden un primer grupo 401 y un segundo grupo 402 de dispositivos de conmutación, que pueden intervenir independientemente uno del otro tras recibir una primera señal de disparo T1 y una segunda señal de disparo T2, respectivamente.

55 De acuerdo con realizaciones alternativas de la invención, los medios de protección 400 no están incluidos en el aparato de conversión de energía 100 sino que sólo están asociados operativamente a este último. En este caso, pueden disponerse a lo largo de las líneas eléctricas que conectan eléctricamente la sección de CA 103 con la red de distribución de energía eléctrica 300.

60 Preferentemente, los medios de control 107, 108 mencionados anteriormente del aparato están configurados para proporcionar las señales de disparo T1, T2 a los grupos 401, 402 de dispositivos de conmutación.

65 De acuerdo con algunas realizaciones de la invención, el aparato de conversión de energía 100 comprende primeros medios de detección 500 adaptados para proporcionar una primera señal de detección DS1 indicativa de una corriente de fuga a tierra IG que fluye entre el aparato de conversión de energía 100 y tierra.

Preferentemente, los primeros medios de detección 500 comprenden uno o más transformadores de corriente o

sensores de corriente de diferente tipo dispuestos para detectar una corriente de desequilibrio entre las líneas eléctricas del bus eléctrico 110.

5 De acuerdo con realizaciones alternativas de la invención, los primeros medios de detección 500 no están incluidos en el aparato de conversión de energía 100 sino que sólo están asociados operativamente a este último. En este caso, pueden disponerse a lo largo de las líneas eléctricas que conectan eléctricamente la sección de CA 103 con la red de distribución de energía eléctrica 300.

10 Preferentemente, los medios de control 107, 108 mencionados anteriormente del aparato están configurados para recibir y procesar la primera señal de detección DS1 enviada por los primeros medios de detección 500.

15 De acuerdo con realizaciones preferidas de la invención, el aparato de conversión de energía 100 comprende segundos medios de detección 600 adaptados para proporcionar una segunda señal de detección DS2 indicativa de una tensión de desequilibrio VG entre un componente dado 800 del aparato de conversión de energía 100 y tierra.

20 A modo de ejemplo, el componente 800 del aparato de conversión de energía 100 puede ser un conductor del bus de CC 100, un terminal adecuado de la sección de CC o etapa de enlace de CC 105. Preferentemente, los medios de detección 600 comprenden uno o más circuitos resistivos o sensores de tensión de diferente tipo dispuestos para detectar una diferencia de tensión entre el componente 800 del aparato de conversión de energía 100 y tierra.

De acuerdo con otras realizaciones de la invención, los segundos medios de detección 600 no están incluidos en el aparato de conversión de energía 100 sino que sólo están asociados operativamente a este último.

25 En este caso, pueden estar dispuestos entre un terminal externo del aparato de energía 100 y tierra.

Preferentemente, los medios de control 107, 108 mencionados anteriormente del aparato están configurados para recibir y procesar la segunda señal de detección DS2 enviada por los segundos medios de detección 600.

30 En general, la mayoría de los componentes y circuitos de la sección de CC 101, de la sección de acoplamiento 102 y de la sección de CA 103 así como los medios de protección 400 y los primeros y segundos medios de detección 500, 600 pueden ser de tipo conocido y no se describirán aquí con más detalles en aras de la brevedad.

Con particular referencia a las figuras 2-3, el método 1, de acuerdo con la invención, se describe ahora.

35 El método 1 comprende una etapa 11 de adquisición de una primera señal de detección DS1 indicativa de una corriente de fuga a tierra IG que fluye entre el aparato de conversión de energía 100 y tierra.

40 Como se ha mencionado anteriormente, la primera señal de detección DS1 puede ser proporcionada adecuadamente por los primeros medios de detección 500 incluidos en o asociados operativamente con el aparato de conversión de energía 100.

De acuerdo con la invención, el método 1 comprende las siguientes etapas de procesamiento adicionales:

- 45
- una etapa 13 de procesar las primeras señales de detección DS1 así adquiridas para calcular una primera señal de procesamiento PS1 indicativa de un componente variable en el tiempo  $IG_{CA-BOI}$  de la corriente de fuga a tierra IG para una o más bandas de frecuencia de interés;
  - una etapa 14 de procesar la primera señal de detección DS1 para calcular una segunda señal de procesamiento PS2 indicativa de un componente invariable en el tiempo  $IG_{CC}$  de la corriente de fuga a tierra IG;
  - 50 - una etapa 15 de procesar las tercera y segunda señales de procesamiento PS1, PS2 para calcular una tercera señal de procesamiento PS3 indicativa de un componente resistivo  $IG_{RES}$  de la corriente de fuga a tierra IG;
  - una etapa 16 de procesar la tercera señal de procesamiento PS3 para determinar si están presentes condiciones de falta a tierra.

55 La etapa de procesamiento 13 mencionada anteriormente está dirigida a calcular una señal PS1 indicativa de un componente variable en el tiempo  $IG_{CA-BOI}$  de la corriente de fuga a tierra IG detectada para una o más bandas de frecuencia de interés seleccionadas.

Esta solución encuentra su fundamento en las siguientes consideraciones.

60 En un aparato de conversión de energía, la corriente de fuga a tierra IG detectada puede considerarse generalmente dada por la siguiente relación:

$$IG = IG_{CA} + IG_{CC}$$

65 donde  $IG_{CA}$  es el componente variable en el tiempo de la corriente de fuga a tierra IG, que es indicativo del contenido armónico de CA de la corriente de fuga a tierra IG, y donde  $IG_{CC}$  es el componente invariable en el tiempo de la

corriente de fuga a tierra IG, que es indicativo del contenido armónico de CC de la corriente de fuga a tierra IG.

Para aportar mayor claridad, los términos "componente invariable en el tiempo" y "componente variable en el tiempo" de la corriente de fuga a tierra IG detectada significan respectivamente el componente de CC y el componente de CA de dicha corriente.

El componente variable en el tiempo mencionado anteriormente  $I_{G_{CA}}$  de la corriente de fuga a tierra IG puede considerarse dado por la siguiente relación:

$$I_{G_{CA}} = I_{G_{CA-BOI}} + I_{G_{CA-NS}}$$

donde  $I_{G_{CA-NS}}$  son componentes de CA de alta frecuencia y/o componentes de ruido de la corriente de fuga a tierra IG que pueden cortarse como no interesantes para detectar condiciones de falta a tierra del aparato 100 e  $I_{G_{CA-BOI}}$  es un componente variable en el tiempo  $I_{G_{CA-BOI}}$  de la corriente de fuga a tierra IG para una o más bandas de frecuencia de interés.

Las bandas de frecuencia de interés para el componente variable en el tiempo  $I_{G_{CA-BOI}}$  pueden seleccionarse adecuadamente dependiendo de las características funcionales y de circuito de la red de distribución de energía eléctrica 300 y el aparato de conversión de energía 100.

A modo de ejemplo, si la red de distribución de energía eléctrica 300 es del tipo monofásico (por ejemplo, el aparato de conversión de energía 100 es un aparato de conversión de energía monofásico), la señal de detección PS1 puede ser indicativa del componente variable en el tiempo  $I_{G_{CA}}$  en bandas de frecuencia centradas en las frecuencias múltiplo de  $F_g$  (por ejemplo,  $2F_g$ ), donde  $F_g$  es la frecuencia de la red (por ejemplo, 50 o 60 Hz).

A modo de ejemplo adicional, si la red de distribución de energía eléctrica 300 es del tipo trifásico (por ejemplo, el aparato de conversión de energía 100 es un aparato de conversión de energía trifásico), la señal de detección PS1 indicativa del componente variable en el tiempo  $I_{G_{CA}}$  en una sola banda de frecuencia centrada en la frecuencia de  $3F_g$ .

Este enfoque técnico proporciona un alto nivel de flexibilidad al proceso de determinación de faltas a tierra dado que el componente variable en el tiempo  $I_{G_{CA}}$  puede ajustarse adecuadamente dependiendo de las condiciones operativas reales del aparato de conversión de energía real 100.

Adicionalmente, componentes de CA de alta frecuencia y/o componentes de ruido  $I_{G_{CA-NS}}$  derivados de las condiciones operativas reales del aparato de conversión de energía real 100 pueden cortarse efectivamente.

De acuerdo con el razonamiento ilustrado anteriormente, la etapa de procesamiento 13 mencionada anteriormente para calcular la primera señal de procesamiento PS1 comprende preferentemente filtrar la primera señal de detección DS1 para calcular el contenido de armónicos de CA  $I_{G_{CA-BOI}}$  de la corriente de fuga a tierra IG para las bandas de frecuencia de interés seleccionadas.

De forma similar, la etapa 14 mencionada anteriormente de procesar dicha primera señal de detección DS1 para calcular la segunda señal de procesamiento PS2 comprende preferentemente filtrar la primera señal de detección DS1 para calcular un contenido armónico de CC  $I_{G_{CC}}$  de la corriente de fuga a tierra IG.

En una realización preferida de la invención, que se ilustra en la figura 3, el componente variable en el tiempo  $I_{G_{CA-BOI}}$  mencionado anteriormente de la corriente de fuga a tierra IG se obtiene calculando, para las bandas de frecuencia de interés seleccionadas, la energía activa promedio  $P_{A-BOI}$  intercambiada entre el aparato de conversión de energía 100 y tierra debido a la presencia de la corriente de fuga a tierra IG.

En otras palabras, el componente variable en el tiempo  $I_{G_{CA-BOI}}$  de la corriente de fuga a tierra IG se obtiene calculando, para las bandas de frecuencia de interés seleccionadas, la energía activa promedio de la perturbación eléctrica de CA representada por la corriente de fuga a tierra IG.

Esta solución se basa en la observación de que la energía activa instantánea  $P_{CA-BOI}(t)$  de dicha perturbación eléctrica, para las bandas de frecuencia de interés seleccionadas, generalmente viene dada por la siguiente relación:

$$P_{CA-BOI}(t) = V_{G_{CA-BOI}}(t) * I_{G_{CA-BOI}}(t)$$

donde  $V_{G_{CA-BOI}}(t)$  e  $I_{G_{CA-BOI}}(t)$  son los valores instantáneos de los componentes variables en el tiempo de la tensión de desequilibrio VG detectada y de la corriente de fuga a tierra IG filtrada para las bandas de frecuencia de interés seleccionadas, respectivamente.

En la práctica,  $V_{G_{CA-BOI}}(t)$  e  $I_{G_{CA-BOI}}(t)$  representan los valores instantáneos del contenido armónico de CA de la tensión de desequilibrio VG y de la corriente de fuga a tierra IG en las bandas de frecuencia de interés seleccionadas.

La energía activa promedio  $P_A$  de dicha perturbación eléctrica de CA, para las bandas de frecuencia de interés seleccionadas, generalmente viene dada por la siguiente relación:

$$P_{A-BOI} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{G_{CA-BOI}}(t) * I_{G_{CA-BOI}}(t) dt$$

donde T es un intervalo de tiempo genérico, por ejemplo,  $T=T_g=1/F_g$  (por ejemplo, 20 o 16 ms).

El componente variable en el tiempo  $I_{CA-BOI}$  de la corriente de fuga a tierra IG, para las bandas de frecuencia de interés seleccionadas, viene dada por la siguiente relación:

$$I_{G_{CA-BOI}} = P_{A-BOI}/V_{G_{CA-BOI}}$$

donde  $V_{G_{CA-BOI}}$  es el componente variable en el tiempo  $V_{G_{CA-BOI}}$  de la tensión de desequilibrio VG detectada.

De acuerdo con el razonamiento ilustrado anteriormente, en esta realización de la invención, la etapa de procesamiento 13 mencionada anteriormente comprende preferentemente:

- la etapa 131 de filtrar la primera señal de detección DS1 para calcular una primera señal de procesamiento preliminar PPS1 indicativa del contenido armónico de CA  $I_{G_{CA-BOI}}$  de la corriente de fuga a tierra IG para las bandas de frecuencia de interés seleccionadas;
- la etapa 139 de adquirir una segunda señal de detección DS2 indicativa de una tensión de desequilibrio VG entre un componente del aparato de conversión de energía 100 y tierra. Como se ha mencionado anteriormente, la señal de detección DS2 puede ser proporcionada adecuadamente, respectivamente, por los segundos medios de detección 600 convenientemente incluidos o asociados operativamente con el aparato de conversión de energía 100 en esta realización de la invención;
- la etapa 132 de filtrar la segunda señal de detección DS2 para calcular una segunda señal de procesamiento preliminar PPS2 indicativa del contenido armónico de CA  $V_{G_{CA-BOI}}$  de la tensión de desequilibrio VG para las bandas de frecuencia de interés seleccionadas.

En la práctica, para las bandas de frecuencia de interés seleccionadas, las primera y segunda señales de procesamiento preliminares PPS1, PPS2 son indicativas de la corriente de fuga a tierra IG y de la tensión de desequilibrio VG filtrada para las bandas de frecuencia de interés seleccionadas, respectivamente.

Para llevar a cabo las etapas de procesamiento 131 y 132, las funciones de filtrado de paso de banda adecuadamente sintonizadas en las bandas de frecuencia de interés seleccionadas pueden llevarse a cabo convenientemente mediante los recursos de procesamiento de datos mencionados anteriormente.

La etapa de procesamiento 13 mencionada anteriormente comprende preferentemente la etapa 133 de procesar las primera y segunda señales de procesamiento preliminares PPS1, PPS2 para calcular una tercera señal de procesamiento preliminar PPS3 indicativa del valor promedio  $P_{A-BOI}$  de la energía activa intercambiada entre el aparato de conversión de energía 100 y tierra debido a la presencia de la corriente de fuga a tierra IG para dichas una o más bandas de frecuencia de interés.

Preferentemente, la etapa de procesamiento 133 mencionada anteriormente comprende una etapa 1331 de procesar las primera y segunda señales de procesamiento preliminares PPS1, PPS2 para calcular una tercera señal de procesamiento preliminar PPS3 indicativa del valor instantáneo  $P_{CA-BOI}(t)$  de la energía activa intercambiada entre el aparato de conversión de energía 100 y tierra para dichas una o más bandas de frecuencia de interés.

Para llevar a cabo la etapa de procesamiento 1331, las funciones de multiplicación pueden llevarse a cabo convenientemente mediante los recursos de procesamiento de datos mencionados anteriormente.

Preferentemente, la etapa de procesamiento 133 mencionada anteriormente comprende una etapa 1332 de procesar la quinta señal de procesamiento preliminar PPS5 para calcular la tercera señal de procesamiento preliminar PPS1.

Convenientemente, la etapa de procesamiento 1332 incluye el cálculo de un promedio en el tiempo (por ejemplo, en un intervalo de tiempo  $T=T_g=1/F_g$ ) de la quinta señal de procesamiento preliminar PPS5. Como una alternativa, la etapa de procesamiento 1332 puede incluir filtrar la quinta señal de procesamiento preliminar PPS3 por medio de un filtro de paso bajo.

Para llevar a cabo la etapa de procesamiento 1332, las funciones de integración pueden ser llevadas a cabo convenientemente por los recursos de procesamiento de datos mencionados anteriormente.

De acuerdo con esta realización de la invención, la etapa de procesamiento 13 mencionada anteriormente comprende preferentemente la etapa 134 de procesar la segunda señal de procesamiento preliminar PPS2, que es indicativa de

la tensión de desequilibrio VG filtrada por CA para las bandas de frecuencia de interés seleccionadas, para calcular una cuarta señal de procesamiento preliminar PPS4 indicativa de los valores RMS de la tensión de desequilibrio VG filtrada.

- 5 Instante a instante, los valores RMS de la tensión de desequilibrio filtrada por CA para las bandas de frecuencia de interés seleccionadas vienen dados por la siguiente relación:

$$VG_{CA-RMS-BOI}(t) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T |VG_{CA-BOI}(t)|^2 dt}$$

- 10 donde  $VG_{CA-BOI}(t)$  son los valores instantáneos de la tensión de desequilibrio VG filtrada por CA.

Para llevar a cabo la etapa de procesamiento 134, Las funciones de cálculo de RMS pueden llevarse a cabo convenientemente mediante los recursos de procesamiento de datos mencionados anteriormente.

- 15 De acuerdo con esta realización de la invención, la etapa de procesamiento 13 mencionada anteriormente comprende preferentemente la etapa 135 de procesar la tercera señal de procesamiento preliminar PPS3, que es indicativa del valor promedio  $P_A$ , y la cuarta señal de procesamiento preliminar PPS4, que es indicativa de los valores RMS de la tensión de desequilibrio VG filtrada por CA, para calcular la primera señal de procesamiento PS1, que es indicativa del componente variable en el tiempo  $IG_{CA}$ .

- 20 Para llevar a cabo la etapa de procesamiento 135, las funciones de división pueden ser llevadas a cabo convenientemente por los recursos de procesamiento de datos mencionados anteriormente.

- 25 La etapa de procesamiento 14 del método de la invención está dirigida a calcular una señal PS2 indicativa de un componente invariable en el tiempo  $IG_{CC}$  de la corriente de fuga a tierra IG detectada.

- 30 Convenientemente, esta cantidad se calcula eliminando todos los componentes armónicos de CA de la corriente de fuga a tierra IG detectada. En la práctica, los componentes armónicos de CA de la corriente de fuga a tierra IG detectada se tratan como ruido de alta frecuencia (figuras 2 y 3). Preferentemente, la etapa de procesamiento 14 comprende la etapa 141 de filtrar la primera señal de detección DS1 para calcular una sexta señal de procesamiento preliminar PPS6 indicativa de un contenido armónico de CC de la corriente de fuga a tierra IG (corriente de fuga a tierra IG filtrada por CC).

- 35 Para llevar a cabo la etapa de procesamiento 141, las funciones de filtrado de paso bajo pueden llevarse a cabo convenientemente mediante los recursos de procesamiento de datos mencionados anteriormente.

- 40 La etapa de procesamiento 14 mencionada anteriormente comprende a continuación la etapa 142 de procesar la sexta señal de procesamiento preliminar PPS6, que es indicativa de la corriente de fuga a tierra IG filtrada por CC, para calcular la segunda señal de procesamiento PS2, que es indicativa de un componente invariable en el tiempo  $IG_{CC}$  de la corriente de fuga a tierra IG.

- Convenientemente, la etapa de procesamiento 142 incluye el cálculo de los valores RMS de la corriente de fuga a tierra IG filtrada por CC, que pueden estar dados por una relación similar a la ilustrada anteriormente.

- 45 Para llevar a cabo la etapa de procesamiento 142, Las funciones de cálculo de RMS pueden llevarse a cabo convenientemente mediante los recursos de procesamiento de datos mencionados anteriormente.

- 50 La etapa de procesamiento 15 del método de la invención está dirigida a calcular el componente resistivo  $IG_{RES}$  de la corriente de fuga a tierra IG.

- Esta etapa de procesamiento encuentra su fundamento en la observación de que, en un aparato de conversión de energía, una corriente de fuga a tierra IG puede considerarse dada por la siguiente relación:

$$IG = IG_{RES} + IG_{CAP}$$

- 55 donde  $IG_{RES}$  es un componente resistivo de la corriente de fuga a tierra IG debido a la presencia de una trayectoria conductiva resistiva hacia tierra y potencialmente peligrosa para la salud humana y  $IG_{CAP}$  es un componente capacitivo de la corriente de fuga a tierra IG generalmente debido a la presencia de capacitancias parásitas (por ejemplo, capacitancias parásitas de los paneles fotovoltaicos) y normalmente tolerado a menos que alcance valores muy altos por encima de un límite de umbral máximo.

- 60 El método de la invención permite alcanzar mayores niveles de precisión en el proceso de detección de faltas a tierra, ya que los componentes espurios de la corriente de fuga a tierra (desde el punto de vista de la seguridad eléctrica) no se tienen en cuenta a diferencia de los métodos tradicionales de detección de faltas a tierra.

- 65

En el método de la invención, de hecho, el proceso de determinación de faltas no se basa genéricamente en el análisis de los valores RMS de la corriente de fuga a tierra IG.

5 En su lugar, el componente resistivo I<sub>GRES</sub> de la corriente de fuga a tierra IG, que es el más relevante ya que puede ser peligroso para la salud humana, se mide y se comprueba el comportamiento de esta magnitud eléctrica basándose en criterios de identificación adecuados para determinar si existen condiciones de falta a tierra.

El componente resistivo I<sub>GRES</sub> de la corriente de fuga a tierra IG viene dado por la siguiente relación:

10 
$$I_{GRES} = \sqrt{I_{GCC}^2 + I_{GCA-BOI}^2}$$

donde I<sub>GCC</sub> es el componente invariable en el tiempo de la corriente de fuga a tierra IG e I<sub>GCA-BOI</sub> es el componente variable en el tiempo de la corriente de fuga a tierra IG para las bandas de frecuencia de interés seleccionadas.

15 La etapa de procesamiento 15 consiste convenientemente en procesar las tercera y segunda señales de procesamiento PS1, PS2 de acuerdo con la relación mencionada anteriormente (figuras 2-3).

20 Para llevar a cabo la etapa de procesamiento 15, puede usarse convenientemente una función de cálculo que implemente la relación mencionada anteriormente.

La etapa de procesamiento 16 del método de la invención está dirigida a procesar la tercera señal de procesamiento PS3, que es indicativa del componente resistivo I<sub>GRES</sub> de la corriente de fuga a tierra IG, para determinar si están presentes condiciones de falta a tierra (figuras 2-3).

25 Preferentemente, la etapa 16 de procesar la tercera señal de procesamiento PS3 incluye una comparación de la tercera señal de procesamiento PS3 con uno o más valores umbral de protección.

30 Dichos valores umbral de protección pueden configurarse convenientemente para comprobar el comportamiento de la tercera señal de procesamiento PS3 y de sus derivadas en el tiempo.

Dichos valores umbral de protección pueden estar predefinidos (por ejemplo, almacenados en la memoria cuando se configuran los medios de control 107, 108) o calculados en el tiempo de ejecución dependiendo de la condición operativa del aparato de conversión de energía 100.

35 De acuerdo con un aspecto de la invención, el método 1 comprende algunas etapas de procesamiento dirigidas a calcular el componente capacitivo de la corriente de fuga a tierra IG.

40 Esta información podrá ser adecuadamente procesada para comprobar el comportamiento de posibles capacitancias parásitas hacia tierra.

Preferentemente, el componente capacitivo I<sub>G<sub>CAP</sub></sub> de la corriente de fuga a tierra IG viene dado por la siguiente relación:

45 
$$I_{GCAP} = \sqrt{IG^2 - I_{GRES}^2}$$

donde I<sub>GRES</sub> es el componente resistivo de la corriente de fuga a tierra IG.

50 Preferentemente, el método 1 comprende una etapa 17 de procesar la primera señal de detección DS1, que es indicativa de la corriente de fuga a tierra IG, para calcular una cuarta señal de procesamiento PS4 indicativa de los valores RMS de dicha corriente de fuga a tierra (figuras 2-3).

Para llevar a cabo la etapa de procesamiento 17, Las funciones de cálculo de RMS pueden llevarse a cabo convenientemente mediante los recursos de procesamiento de datos mencionados anteriormente.

55 Preferentemente, el método 1 comprende una etapa 18 de procesar la cuarta señal de procesamiento PS4 y la tercera señal de procesamiento PS3 para calcular una quinta señal de procesamiento PS5 indicativa de un componente capacitivo I<sub>G<sub>CAP</sub></sub> de la corriente de fuga a tierra IG (figuras 2-3).

60 La etapa de procesamiento 18 consiste convenientemente en procesar la tercera señal de procesamiento PS3 y la cuarta señal de procesamiento PS4 de acuerdo con la relación ilustrada anteriormente.

Para llevar a cabo la etapa de procesamiento 18, puede usarse convenientemente una función de cálculo que implemente la relación mencionada anteriormente.

Preferentemente, también la información traída por las señales de procesamiento PS4, PS5 puede usarse para

implementar o completar la etapa 16 ilustrada anteriormente dirigida a determinar si están presentes condiciones de falta a tierra.

5 Preferentemente, en su implementación práctica, el método 1 está particularmente adaptado para ser ejecutado por los recursos de procesamiento de datos 117, 118 de los medios de control 107, 108 del aparato de conversión de energía 100.

10 Preferentemente, dichos recursos de procesamiento de datos están configurados para ejecutar el método 1 a intervalos de tiempo regulares (por ejemplo, cada período de red  $T_g = 1/F_g$ ) y proporcionar señales de disparo T1, T2 para los medios de protección 400 para desconectar eléctricamente el aparato de conversión de energía 100 de la red de distribución de energía eléctrica 300, si determinan la presencia de condiciones de falta a tierra al ejecutar dicho método (figura 1).

15 Preferentemente, cuando dichos medios de control comprenden dos unidades de control como se ilustra anteriormente, cada unidad de control 107, 108 del aparato de conversión de energía 100 comprende recursos de procesamiento de datos 117, 118 para ejecutar el método 1.

20 Convenientemente, cada unidad de control 107, 108 es capaz de ejecutar el método 1 proporcionando las señales de disparo T1, T2 de forma autónoma, es decir, independientemente del comportamiento de la otra unidad de control.

Preferentemente, los recursos de procesamiento de datos 117, 118 también están configurados para proporcionar señales de disparo T1, T2 para los medios de protección 400, si la presencia de condiciones de falta a tierra se determina tras la ejecución de dicho método.

25 El método para detectar condiciones de falta a tierra en un aparato de conversión de energía, de acuerdo con la presente invención, ofrece varias ventajas con respecto al estado de la técnica.

30 El método, de acuerdo con la invención, proporciona altos niveles de precisión en la detección de condiciones de falta a tierra tanto en condiciones de prueba (es decir, cuando un dispositivo de prueba inyecta la corriente de fuga a tierra IG) como en condiciones operativas normales.

35 Por un lado, esta característica permite a los fabricantes establecer criterios de identificación de faltas óptimos (es decir, no excesivamente estrictos) para cumplir con las normativas con la consiguiente prolongación del tiempo promedio de servicio de los aparatos de conversión de energía ya que los eventos de desconexión no deseada de la red de distribución de energía eléctrica son menos frecuentes.

Por otro lado, se puede conseguir una notable mejora de las funciones de control global del aparato de conversión de energía.

40 El método, de acuerdo con la invención, tiene un alto nivel de flexibilidad en su implementación práctica. Por tanto, puede usarse con éxito para la detección de faltas a tierra en aparatos de conversión de energía que tienen diversas configuraciones, por ejemplo, en aparatos de conversión de energía monofásicos o aparatos de conversión de energía trifásicos.

45 El método, de acuerdo con la invención, es particularmente útil en aparatos de conversión de energía del tipo sin transformador. Sin embargo, también se puede implementar en la mayoría de los aparatos de conversión de energía tradicionales, incluso si estos últimos habitualmente son menos críticos en relación con los problemas de seguridad eléctrica ilustrados anteriormente.

50 El método 1 es de implementación relativamente fácil a nivel industrial. A modo de ejemplo, puede llevarse a cabo fácilmente mediante dispositivos de procesamiento a bordo del aparato de conversión de energía, tales como microcontroladores o DSP.

REIVINDICACIONES

1. Método (1) para detectar condiciones de falta a tierra en un aparato de conversión de energía (100) que comprende las siguientes etapas:

- adquirir (11) una primera señal de detección (DS1) indicativa de una corriente de fuga a tierra (IG) que fluye entre dicho aparato de conversión de energía y tierra;
- procesar (13) dicha primera señal de detección (DS1) para calcular una primera señal de procesamiento (PS1) indicativa de un componente variable en el tiempo ( $IG_{CA-BOI}$ ) de dicha corriente de fuga a tierra (IG) para una o más bandas de frecuencia de interés seleccionadas;
- procesar (14) dicha primera señal de detección (DS1) para calcular una segunda señal de procesamiento (PS2) indicativa de un componente invariable en el tiempo ( $IG_{CC}$ ) de dicha corriente de fuga a tierra (IG);
- procesar (15) dichas primera y segunda señales de procesamiento (PS1, PS2) para calcular una tercera señal de procesamiento (PS3) indicativa de un componente resistivo ( $IG_{RES}$ ) de dicha corriente de fuga a tierra (IG), en donde dicho componente resistivo ( $IG_{RES}$ ) de dicha corriente de fuga a tierra (IG) se calcula de acuerdo con la siguiente relación:

$$IG_{RES} = \sqrt{IG_{CC}^2 + IG_{CA-BOI}^2}$$

en donde  $IG_{CC}$  es dicho componente invariable en el tiempo de dicha corriente de fuga a tierra (IG) e  $IG_{CA-BOI}$  es dicho componente variable en el tiempo de dicha corriente de fuga a tierra (IG) para las una o más bandas de frecuencia de interés seleccionadas;

- procesar (16) dicha tercera señal de procesamiento (PS3) para determinar si están presentes condiciones de falta a tierra.

2. Método, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** dicha etapa (13) de procesar dicha primera señal de detección (DS1) para calcular dicha primera señal de procesamiento (PS1) comprende filtrar dicha primera señal de detección (DS1) para calcular el contenido armónico de CA de dicha corriente de fuga a tierra (IG) filtrada para dichas bandas de frecuencia de interés seleccionadas.

3. Método, de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** dicha etapa (14) de procesar dicha primera señal de detección (DS1) para calcular dicha segunda señal de procesamiento (PS2) comprende filtrar dicha primera señal de detección (DS1) para calcular un contenido armónico de CC de dicha corriente de fuga a tierra (IG).

4. Método, de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** dicha etapa (13) de procesar dichas primeras señales de detección (DS1) para calcular dicha primera señal de procesamiento (PS1) comprende las siguientes etapas:

- filtrar (131) dicha primera señal de detección (DS1) para calcular una primera señal de procesamiento preliminar (PPS1) indicativa del contenido armónico de CA de dicha corriente de fuga a tierra (IG) filtrada para dichas bandas de frecuencia de interés seleccionadas;
- adquirir (139) una segunda señal de detección (DS2) indicativa de una tensión de desequilibrio (VG) entre un componente de dicho aparato de conversión de energía y tierra.
- filtrar (132) dicha segunda señal de detección (DS2) para obtener una segunda señal de procesamiento preliminar (PPS2) indicativa del contenido armónico de CA de dicha tensión de desequilibrio (VG) para dichas bandas de frecuencia de interés seleccionadas;
- procesar (133) dichas primera y segunda señales de procesamiento preliminares (PPS1, PPS2) para calcular una tercera señal de procesamiento preliminar (PPS3) indicativa de un valor promedio de la energía activa intercambiada entre dicho aparato de conversión de energía y tierra debido a la presencia de dicha corriente de fuga a tierra (IG), para dichas bandas de frecuencia de interés seleccionadas;
- procesar (134) dicha segunda señal de procesamiento preliminar (PPS2) para calcular una cuarta señal de procesamiento preliminar (PPS4) indicativa de valores RMS de dicha segunda señal de procesamiento preliminar;
- procesar (135) dichas tercera y cuarta señales de procesamiento preliminares (PPS3, PPS4) para calcular dicha primera señal de procesamiento (PS1).

5. Método, de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado por que** dicha etapa (133) de procesar dichas primera y segunda señales de procesamiento preliminares (PPS1, PPS2) para calcular dicha tercera señal de procesamiento preliminar (PPS3) comprende las siguientes etapas:

- procesar (1331) dichas primera y segunda señales de procesamiento preliminares (PPS1, PPS2) para calcular una quinta señal de procesamiento preliminar (PPS5) indicativa de un valor instantáneo de la energía activa intercambiada entre dicho aparato de conversión de energía y tierra debido a la presencia de dicha corriente de fuga a tierra (IG), para dichas una o más bandas de frecuencia de interés;
- procesar (1332) dicha quinta señal de procesamiento preliminar (PPS5) para calcular dicha tercera señal de

procesamiento preliminar (PPS3), comprendiendo dicha etapa de procesar (1332) dicha quinta señal de procesamiento preliminar (PPS3) calcular un promedio en el tiempo o llevar a cabo un filtrado de paso bajo de dicha quinta señal de procesamiento preliminar.

- 5 6. Método, de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** dicha etapa (14) de procesar dicha primera señal de detección (DS1) para calcular dicha segunda señal de procesamiento (PS2) comprende las siguientes etapas:
- 10 - filtrar (141) dicha primera señal de detección (DS1) para calcular una sexta señal de procesamiento preliminar (PPS6) indicativa de un contenido armónico de CC de dicha corriente de fuga a tierra (IG);
- procesar (142) dicha sexta señal de procesamiento preliminar (PPS6) para calcular dicha segunda señal de procesamiento (PS2), comprendiendo dicha etapa (142) de procesar dicha sexta señal de procesamiento preliminar (PPS6) calcular valores RMS de dicha sexta señal de procesamiento preliminar.
- 15 7. Método, de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** dicha etapa (16) de procesar dicha tercera señal de procesamiento (PS3) comprende comparar dicha tercera señal de procesamiento (PS3) con uno o más valores umbral de protección.
- 20 8. Método, de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** comprende las siguientes etapas:
- procesar (17) dicha primera señal de detección (DS1) para calcular una cuarta señal de procesamiento (PS4) indicativa de valores RMS de dicha corriente de fuga a tierra (IG);
- 25 - procesar (18) dicha cuarta señal de procesamiento (PS4) y dicha tercera señal de procesamiento (PS3) para calcular una quinta señal de procesamiento (PSS) indicativa de un componente capacitivo ( $I_{G_{CAP}}$ ) de dicha corriente de fuga a tierra (IG).
- 30 9. Un método, de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** dicho aparato de conversión de energía (100) es un inversor fotovoltaico.
10. Un método, de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado por que** dicho inversor fotovoltaico (100) es del tipo sin transformador.
- 35 11. Un aparato de conversión de energía (100) conectable eléctricamente con un sistema de generación de energía eléctrica (200) y una red de distribución de energía eléctrica (300) **caracterizado por que** comprende recursos de procesamiento de datos (117, 118) configurados para ejecutar un método (1), de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores.

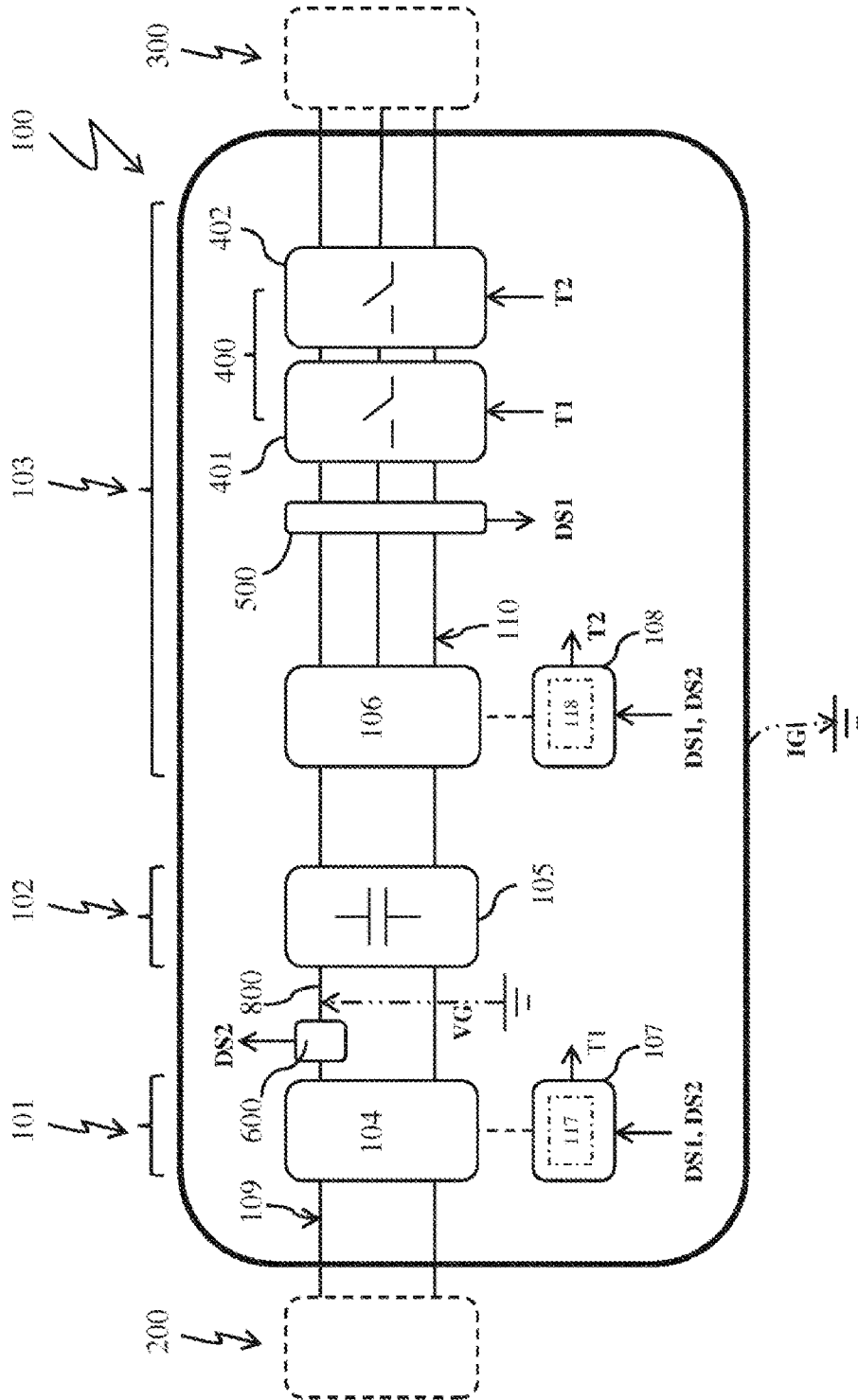


FIG. 1

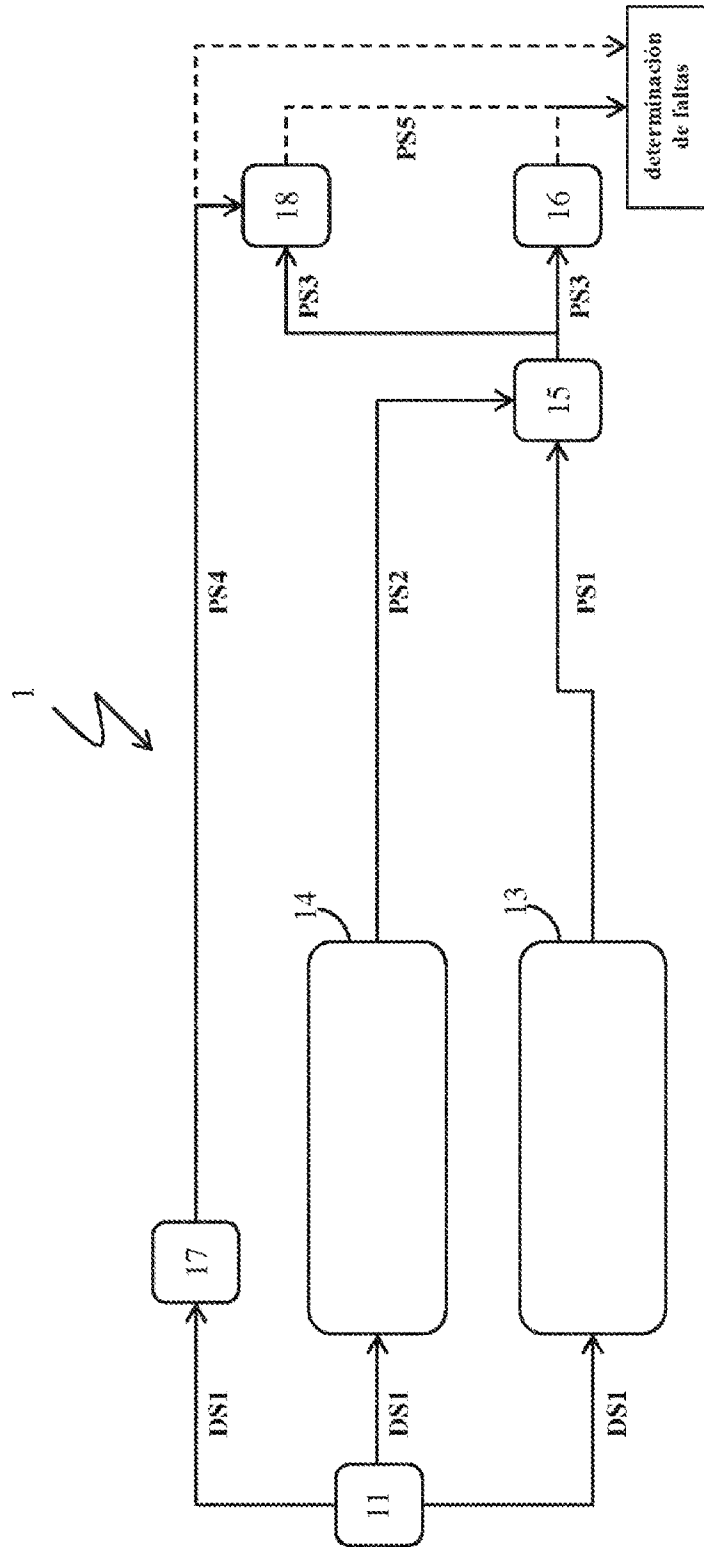


FIG. 2

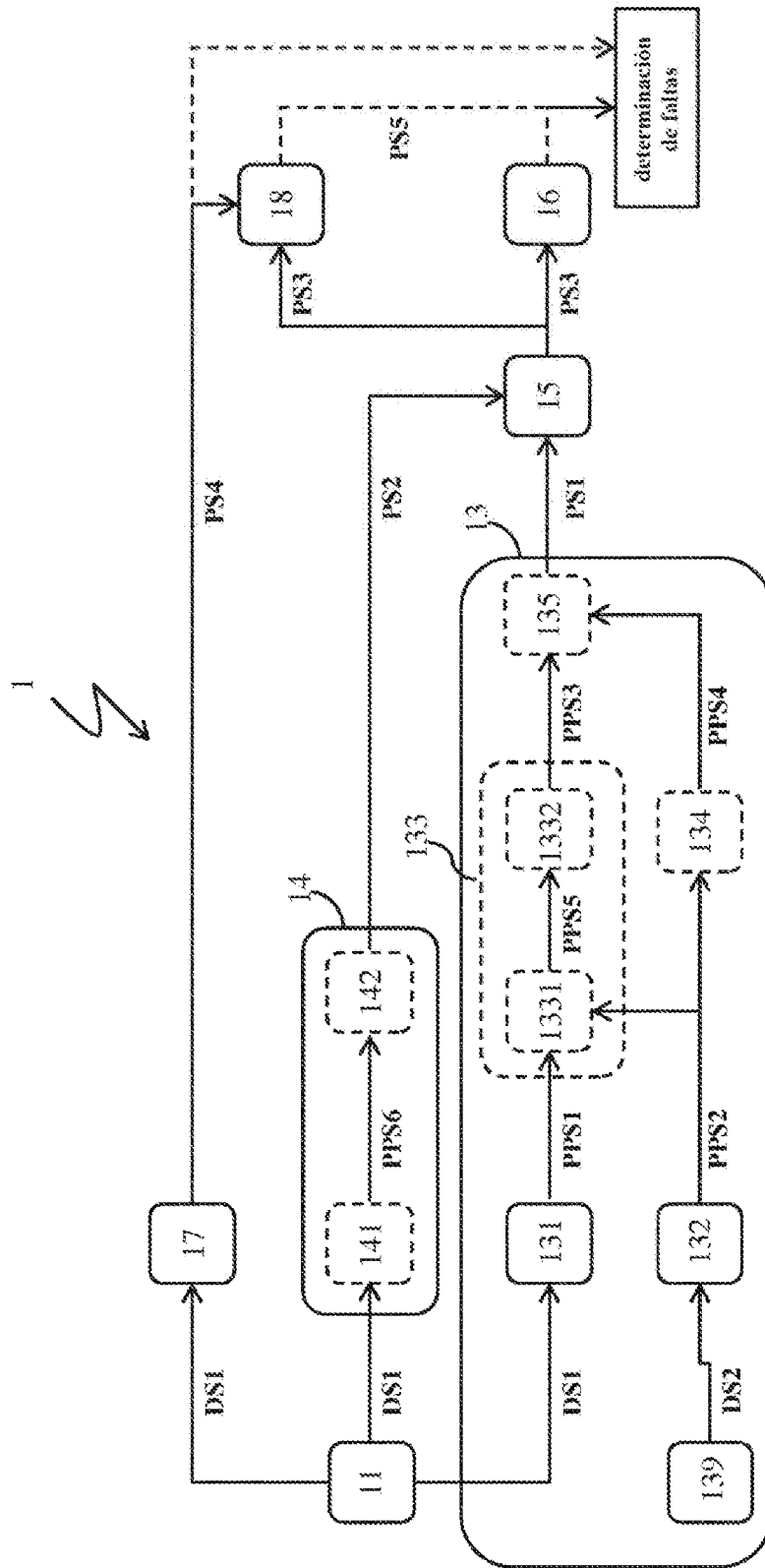


FIG. 3