

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 934 620**

21 Número de solicitud: 202230943

51 Int. Cl.:

G01R 31/08

(2010.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

31.10.2022

43 Fecha de publicación de la solicitud:

23.02.2023

Fecha de concesión:

15.09.2023

45 Fecha de publicación de la concesión:

22.09.2023

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
(100.0%)**

**Avda. Ramiro de Maeztu 7
28040 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**GUERRERO GRANADOS, José Manuel y
JIMÉNEZ CARRIZOSA, Miguel**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

54 Título: **Sistema y método de localización de faltas a tierra en una instalación eléctrica de corriente continua y corriente alterna con convertidor modular multinivel**

57 Resumen:

Método y sistema de localización de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con convertidores modulares multinivel (6), basados en la medida de tensión de una impedancia de puesta a tierra (11), bien en el punto neutro de un lado de corriente alterna (100), o bien en un punto medio de corriente continua (200) que registra la tensión en los terminales de la impedancia de puesta a tierra (11) y que mediante, al menos, el análisis en frecuencia de dichos registros de tensión es capaz de localizar la falta a tierra en el lado de corriente alterna (100), en el lado de corriente continua (200) o en el submódulo (61) de conmutadores (9) del convertidor, con la instalación eléctrica en funcionamiento, e indicando la posición de la falta a tierra y la resistencia de falta (3).

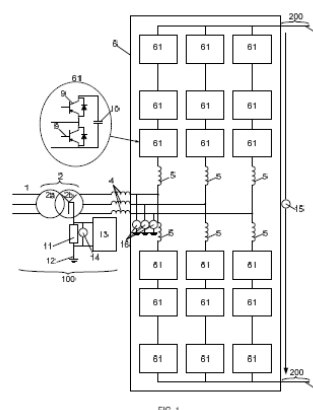


FIG. 1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 934 620 B2

DESCRIPCIÓN

Sistema y método de localización de faltas a tierra en una instalación eléctrica de corriente continua y corriente alterna con convertidor modular multinivel

5 Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un sistema y a un método mediante los cuales se permite detectar y localizar faltas (o cortocircuitos) a tierra en instalaciones eléctricas de corriente continua y corriente alterna dotadas de, al menos, un convertidor modular multinivel.

10

El sistema y el método de la presente invención permiten localizar la falta a tierra en cualquier punto dentro de la instalación eléctrica (lado de AC, lado de DC o submódulo de conmutación dentro del propio convertidor modular multinivel), con la instalación eléctrica en funcionamiento.

15

El método y sistema de la presente invención es de particular relevancia en instalaciones eléctricas con convertidores modulares multinivel, como por ejemplo, aquellas instalaciones eléctricas en donde existen enlaces de corriente continua de alta tensión (HVDC, por las siglas en inglés de *High Voltage Direct Current*) para el transporte de energía eléctrica entre dos
20 redes de corriente alterna separadas por una larga distancia o para el enlace entre dos redes de corriente alterna con diferentes frecuencias nominales.

Antecedentes de la invención y problema técnico a resolver

25 Los sistemas con electrónica de potencia están teniendo un desarrollo considerable en el sistema eléctrico de potencia introduciendo grandes cambios en él. Los convertidores modulares multinivel (MMC por sus siglas en inglés) están siendo considerados cada vez más en sistemas tales como enlaces de corriente continua en alta tensión (HVDC), sistemas de almacenamiento de energía eléctrica o compensadores estáticos, STATCOM.

Los convertidores modulares multinivel (MMC) permiten un control mucho más eficiente y preciso de los parámetros como corriente del lado de corriente alterna (AC) o tensión en la zona de corriente continua (DC). Estos convertidores se componen de múltiples submódulos de IGBTs que cargan y descargan condensadores intermedios en función de las condiciones que se quieran implantar tanto aguas arriba como aguas debajo de dicho convertidor. Sin embargo, la introducción de tantos elementos en un convertidor hace que el diagnóstico y protección de los mismos frente a distintos tipos de faltas sea difícil. Entre otras faltas, las faltas eléctricas a tierra son las más comunes en instalaciones eléctricas de potencia y por eso es necesario disponer de métodos y sistemas para la detección y localización de las mismas, tanto en la etapa de corriente alterna, como en la etapa de corriente continua o entre diferentes submódulos dentro del convertidor modular multinivel.

El documento CN 105406500 B divulga un método de control para MMC monopolares una vez se detectan faltas a tierra aguas arriba o aguas abajo del circuito. El método considera distintos tipos de puesta a tierra para su operación entre los que destacan un neutro artificial inductivo, la puesta a tierra mediante impedancia del transformador de alimentación principal o el punto medio del bus de corriente continua a tierra. En cualquiera de los casos, el método analiza si la falta se produce en el lado de corriente continua o alterna durante un transitorio de falta para tomar decisiones en el control, pero en ningún caso localiza la posición exacta de dichos defectos en la instalación eléctrica.

El documento CN 107069679 B describe la utilización de cambios repentinos en las medidas de tensiones, corrientes, potencia activa y reactiva respecto de los valores de consigna en los distintos MMC bipolares con punto medio a tierra para detectar faltas en el lado de corriente continua de la instalación eléctrica, y permite conocer en qué convertidor MMC se produce. Atendiendo a la desviación en la distribución de dichos parámetros, el cable en falta puede ser localizado y desconectado de la corriente eléctrica. Este sistema únicamente detecta faltas en el lado de corriente continua de la instalación eléctrica.

Otros métodos son capaces de localizar el defecto en el lado de corriente continua (DC) usando inteligencia artificial y métodos de "*machine learning*" utilizando únicamente la medida de tensión en la zona de DC como es el caso del artículo: J. -Y. Wu, S. Lan, S. -J. Xiao and Y. -B. Yuan, "Single Pole-to-Ground Fault Location System for MMC-HVDC Transmission

Lines Based on Active Pulse and CEEMDAN," in IEEE Access, vol. 9, pp. 42226-42235, 2021. Aunque para utilizar este tipo de métodos se requieren múltiples simulaciones de carácter muy semejante a la realidad para su puesta en marcha en instalaciones reales.

- 5 Por otra parte, el documento ES 2798348 B2 describe un sistema y método para la distinción de la zona de falta en AC o en DC en instalaciones eléctricas con convertidores mediante la puesta a tierra de una impedancia en el neutro del lado de AC de la red. Utilizando la forma de onda registrada en dicho dispositivo el sistema es capaz de distinguir si la falta tiene lugar en AC o en DC, pero no considera faltas intermedias en el convertidor, ni localiza la posición
10 exacta del defecto.

- Otros métodos contemplan la protección de los MMC frente a faltas en los conmutadores de forma que estos puedan quedarse inintencionadamente abiertos, como es el caso del artículo: C. Liu et al., "Fault Localization Strategy for Modular Multilevel Converters Under Submodule
15 Lower Switch Open-Circuit Fault," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 35, no. 5, pp. 5190-5204, May 2020. Pero no se considera el estudio para el fenómeno de faltas a tierra.

- En caso de querer distinguir si existe o no falta a tierra dentro del MMC uno de los métodos más utilizados es el de observación de descargas parciales para buscar deterioro en el
20 aislamiento de los interruptores, pero por lo general la instalación objeto de estudio tiene que estar desconectada de la red eléctrica. Por lo que sólo es viable realizar este tipo de ensayos durante el mantenimiento de dichas instalaciones. Aunque técnicas más avanzadas consideran ya su uso de forma online: C. Liu, Z. Liu, C. Zhan, L. Zhu and T. Hou, "An Online Monitoring Scheme for Partial Discharge Signal of Sub-module IGBTs Used in MMC," 2020
25 8th International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), 2020, pp. 230-233. El problema de este tipo de métodos también viene achacado a la necesidad de frecuencias de muestreo muy altas.

- Por todo ello, es necesario disponer de métodos que sean capaces de desarrollar una tarea
30 de detección y localización de faltas a tierra tanto en los lados de AC y DC como dentro del propio MMC, con la instalación eléctrica en funcionamiento o en servicio, de forma económica

y eficaz. Para ello, se requiere utilizar por ejemplo, un menor número de aparatos de medida o una menor frecuencia de muestreo de los mismos.

Descripción de la invención

5

Con objeto de solucionar los inconvenientes anteriormente mencionados, la presente invención se refiere a un sistema y a un método de localización de faltas a tierra en una instalación eléctrica de corriente continua y corriente alterna con convertidor modular multinivel.

10

El sistema de localización de faltas a tierra en una instalación eléctrica de corriente continua y corriente alterna con convertidor modular multinivel, objeto de la presente invención, está especialmente indicado para instalaciones eléctricas en donde el convertidor modular multinivel (convertidor MMC) divide la instalación eléctrica en un lado de corriente continua (lado de DC) y un lado de corriente alterna (lado de AC).

15

La instalación eléctrica en donde se aplica el sistema de localización de faltas a tierra objeto de la presente invención comprende una conexión a tierra a través de una impedancia de puesta a tierra.

20

El sistema de localización de faltas a tierra objeto de la presente invención comprende:

25

- un primer medidor de tensión configurado para medir una tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) en la impedancia de puesta a tierra;

30

- un segundo medidor de tensión configurado para medir una tensión en el lado de corriente continua (U_{DC}) entre un terminal positivo y un terminal negativo del lado de corriente continua de la instalación eléctrica (lado de DC del convertidor), y;

- un tercer medidor de tensión configurado para medir una tensión de fase (U_{AC}) en el lado de corriente alterna de la instalación eléctrica (lado de AC del convertidor);

De manera novedosa, el sistema de localización de faltas a tierra objeto de la presente invención comprende un bloque de localización de falta a tierra configurado para determinar si se ha producido una falta a tierra en la instalación eléctrica y para localizar dicha falta a tierra en el lado de corriente alterna, en el lado de corriente continua o en el interior del convertidor modular multinivel.

El bloque de localización de falta a tierra está también configurado para determinar la resistencia de falta de la falta a tierra.

El bloque de localización de falta a tierra comprende:

- un sub-bloque de registro de tensión de puesta a tierra configurado para registrar la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) en el dominio del tiempo y para enviar el valor de tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) a un sub-bloque de transformación a dominio de la frecuencia, en caso de que la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) supere un valor umbral predeterminado indicativo de que se ha producido una falta a tierra en la instalación eléctrica;
- el sub-bloque de transformación a dominio de la frecuencia, configurado para transformar a dominio de frecuencia la tensión de puesta a tierra (U_{gnd});
- un sub-bloque de obtención de armónicos configurado para obtener una componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) y una componente de corriente continua (U_{gndf_0}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd});
- un sub-bloque de medida de tensión de AC y DC, configurado para registrar la tensión de fase (U_{AC}) en el lado de corriente alterna y la tensión en el lado de corriente continua (U_{DC}) de la instalación eléctrica, y;
- un sub-bloque de localización de falta a tierra y estimación de la resistencia de falta configurado para calcular la posición de la falta a tierra dentro de la instalación eléctrica como:

$$x = \frac{1}{2} - \frac{U_{gndf_0}}{2 \cdot (|U_{gndf_0}| + |U_{gndf_1}|)}$$

donde:

- 5 ○ si la componente de corriente continua (U_{gndf_0}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) es cero, el valor de la posición “x” de falta a tierra es 0,5, indicando que la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente alterna de la instalación eléctrica;
- 10 ○ si la componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) es cero, el valor de la posición “x” de falta a tierra es 0 ó 1, indicando que la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente continua de la instalación eléctrica, donde x=0 es indicativo de que la falta a tierra se ha producido en el terminal negativo del lado de corriente continua y donde x=1 es indicativo de que la falta a tierra se ha
15 producido en el terminal positivo del lado de corriente continua, y;
- 20 ○ si tanto la componente de corriente continua (U_{gndf_0}) como la componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) son distintas de cero, el valor de la posición “x” de falta a tierra es $0 < x < 0,5$ ó $0,5 < x < 1$, indicando que la falta a tierra se ha producido entre submódulos del convertidor modular multinivel, y donde “x” expresa, en
25 tanto por uno, la posición de la falta a tierra en una rama de submódulos del convertidor modular multinivel, tal que $0 < x < 0,5$ es indicativo de que la falta a tierra se ha producido entre el lado de corriente alterna y el terminal negativo del lado de corriente continua, y $0,5 < x < 1$ es indicativo de que la
falta a tierra se ha producido entre el lado de corriente alterna y el terminal positivo del lado de corriente continua;

30 donde la conexión del último submódulo de la parte inferior del convertidor MMC al polo negativo es $x = 0$; la conexión del último submódulo de la parte superior del convertidor MMC al polo positivo es $x = 1$, y; la conexión de AC a la rama del convertidor es $x = 0,5$ si dicha rama queda dividida en mitad de submódulos en la parte superior y mitad de los submódulos en la parte inferior.

donde:

- si la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente alterna, el sub-bloque de localización de falta a tierra y estimación de la resistencia de falta está configurado para calcular la resistencia de falta a tierra como:

$$R_f = \frac{|U_{AC}| - |U_{gndf_1}|}{|U_{gndf_1}|} \cdot R_{gnd}$$

- si la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente continua, el sub-bloque de localización de falta a tierra y estimación de la resistencia de falta está configurado para calcular la resistencia de falta a tierra como:

$$R_f = \frac{\left| \frac{U_{DC}}{2} \right| - |U_{gndf_0}|}{|U_{gndf_0}|} \cdot R_{gnd}$$

- si la falta a tierra se ha producido entre submódulos del convertidor modular multinivel, el sub-bloque de localización de falta a tierra y estimación de la resistencia de falta está configurado para calcular la resistencia de falta a tierra como:

$$R_f = \frac{\left| \left(x - \frac{1}{2} \right) U_{DC} \right| - |U_{gndf_0}|}{|U_{gndf_0}|} \cdot R_{gnd}$$

donde R_f es el valor óhmico de la resistencia de falta a tierra y R_{gnd} es el valor óhmico resistivo de la impedancia de puesta a tierra.

Mediante el sistema de localización de faltas a tierra descrito anteriormente, se permite no sólo detectar si se ha producido una falta a tierra en la instalación eléctrica, sino también detectar si dicha falta a tierra se ha producido del lado de AC o del lado de DC del convertidor

MMC, o incluso si dicha falta a tierra se ha producido en el interior del convertidor MMC, entre submódulos de dicho convertidor.

5 El sistema de localización de faltas a tierra descrito anteriormente permite estimar la posición, “x”, del defecto o de la falta a tierra, así como el valor óhmico de la resistencia de falta, y todo ello mientras la instalación eléctrica se encuentra en funcionamiento.

10 Según una realización preferente del sistema de localización de faltas a tierra objeto de la presente invención, el sub-bloque de localización de falta a tierra y estimación de la resistencia de falta está configurado para emitir una señal de alarma con, al menos, la información de la posición de la falta a tierra, “x”, y/o la resistencia de falta. Esta señal de alarma puede ser enviada a dispositivos de protección de la instalación eléctrica.

15 La conexión a tierra a través de una impedancia de puesta a tierra puede estar conectada bien en el lado de corriente continua o bien en el lado de corriente alterna de la instalación eléctrica (es decir, bien del lado de DC o bien del lado de AC del convertidor MMC).

20 En caso de que el punto neutro del lado de AC no esté disponible, se puede proceder a la creación de un punto neutro artificial, preferentemente mediante impedancias resistivas de alto valor óhmico. En caso de que el punto medio del lado de DC no esté disponible, se puede proceder a la creación de un punto medio artificial mediante impedancias idénticas, preferentemente resistivas de alto valor óhmico.

25 Como ya se ha mencionado, la presente invención se refiere también a un método de localización de faltas a tierra en una instalación eléctrica de corriente continua y corriente alterna con convertidor modular multinivel, donde el convertidor modular multinivel (convertidor MMC) divide la instalación eléctrica en un lado de corriente continua y un lado de corriente alterna.

30 La instalación eléctrica comprende una conexión a tierra (en el lado de DC o en el lado de AC de la instalación eléctrica) a través de una impedancia de puesta a tierra.

De manera novedosa, el método de localización de faltas a tierra objeto de la presente invención comprende:

- una etapa de medida de tensión en la impedancia de puesta a tierra, que comprende efectuar una medida y registro de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) medida en la impedancia de puesta a tierra;

5

- una etapa de comparación de falta con un umbral de actuación, donde si la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) es mayor que dicho umbral de actuación predeterminado, se determina que se ha producido una falta a tierra y se procede a una etapa de transformación de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) a dominio de la frecuencia, y donde si la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) no es mayor que dicho umbral de actuación predeterminado, se retrocede a la etapa de medida de tensión en la impedancia de puesta a tierra;

10

- la etapa de transformación de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) a dominio de la frecuencia, que comprende transformar la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia;

15

- una etapa de obtención de armónicos a frecuencia fundamental y componente de continua y detección de falta a tierra, que comprende obtener la componente de corriente continua (U_{gndf_0}) y de la componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd});

20

- una etapa de localización de la falta a tierra que comprende calcular la posición, "x", de la falta a tierra como:

25

$$x = \frac{1}{2} - \frac{U_{gndf_0}}{2 \cdot (|U_{gndf_0}| + |U_{gndf_1}|)}$$

donde:

30

- o si la componente de corriente continua (U_{gndf_0}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) es cero, el valor de la posición "x" de falta a tierra es 0,5,

indicando que la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente alterna de la instalación eléctrica;

- 5
- si la componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) es cero, el valor de la posición “x” de falta a tierra es 0 ó 1, indicando que la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente continua de la instalación eléctrica, donde $x=0$ es indicativo de que la falta a tierra se ha producido en un terminal negativo del lado de corriente continua y donde $x=1$ es indicativo de que la falta a tierra se ha
- 10
- producido en un terminal positivo del lado de corriente continua, y;
- si tanto la componente de corriente continua (U_{gndf_0}) como la componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) son distintas de cero, el valor de la posición “x” de falta a tierra
- 15
- es $0 < x < 0,5$ ó $0,5 < x < 1$, indicando que la falta a tierra se ha producido entre submódulos del convertidor modular multinivel, y donde “x” expresa, en tanto por uno, la posición de la falta a tierra en una rama de submódulos del convertidor modular multinivel, tal que $0 < x < 0,5$ es indicativo de que la falta a tierra se ha producido entre el lado de corriente alterna y el terminal
- 20
- negativo del lado de corriente continua y $0,5 < x < 1$ es indicativo de que la falta a tierra se ha producido entre el lado de corriente alterna y el terminal positivo del lado de corriente continua;
- una etapa de lectura de tensiones AC y/o DC, que comprende medir y registrar
- 25
- una tensión de fase (U_{AC}) en el lado de corriente alterna y una tensión en el lado de corriente continua (U_{DC}) de la instalación eléctrica, y;
- una etapa de estimación de resistencia de falta que comprende calcular la resistencia de falta a tierra, donde:
- 30
- si la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente alterna, la resistencia de falta a tierra se calcula como:

$$R_f = \frac{|U_{AC}| - |U_{gndf_1}|}{|U_{gndf_1}|} \cdot R_{gnd}$$

- si la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente continua, la resistencia de falta a tierra se calcula como:

5

$$R_f = \frac{\left| \frac{U_{DC}}{2} \right| - |U_{gndf_0}|}{|U_{gndf_0}|} \cdot R_{gnd}$$

- si la falta a tierra se ha producido entre submódulos del convertidor modular multinivel, la resistencia de falta a tierra se calcula como:

10

$$R_f = \frac{\left| \left(x - \frac{1}{2} \right) U_{DC} \right| - |U_{gndf_0}|}{|U_{gndf_0}|} \cdot R_{gnd}$$

donde R_f es el valor óhmico de la resistencia de falta a tierra y R_{gnd} es el valor óhmico resistivo de la impedancia de puesta a tierra.

15

De manera preferente, el método de localización de faltas a tierra objeto de la presente invención comprende también una etapa de emisión de alarma que a su vez comprende enviar una señal de alarma con al menos la información de la posición de la falta a tierra, "x", y/o la resistencia de falta.

20

Otra realización preferente de la invención considera la medida de las tensiones fase-tierra del lado de AC del convertidor MMC para poder caracterizar la fase en falta del sistema, siendo dicha fase en falta la que se encuentre en contrafase con la tensión U_{gndf_1} . Esta comparación para la identificación de fase tiene lugar en la etapa de localización de falta a tierra y estimación de la resistencia de falta a tierra.

25

Breve descripción de las figuras

Se describe aquí de forma breve una figura a modo de ejemplo no limitativo, que ayuda a comprender mejor la invención:

5

Figura 1: muestra una posible configuración del sistema de la invención aplicado a una instalación eléctrica con un convertidor modular multinivel conectado a la red eléctrica de corriente alterna mediante un transformador con neutro puesto a tierra mediante una impedancia.

10

Figura 2: muestra una posible configuración del sistema de la invención aplicado a una instalación eléctrica con un convertidor modular multinivel conectado a la red eléctrica de corriente alterna mediante un transformador en donde se ha instalado un neutro artificial puesto a tierra mediante una impedancia.

15

Figura 3: muestra una posible configuración del sistema de la invención aplicado a una instalación eléctrica con un convertidor modular multinivel conectado a la red eléctrica a través de un transformador, y en donde el punto medio del lado de corriente continua es accesible y está puesto a tierra mediante una impedancia.

20

Figura 4: muestra los sub-bloques del bloque de localización de falta a tierra del sistema de localización de faltas a tierra en una instalación eléctrica de corriente continua y corriente alterna con convertidor modular multinivel, según una posible forma de realización de la invención.

25

Figura 5: muestra un flujograma de las etapas del método de localización de faltas a tierra en una instalación eléctrica de corriente continua y corriente alterna con convertidor modular multinivel según una posible forma de realización de la invención.

Figura 6: muestra una posible falta a tierra que tiene lugar entre los submódulos de una de las ramas del convertidor modular multinivel, según la configuración mostrada en la Figura 1.

Figura 7a: muestra una gráfica que representa, en el dominio del tiempo, la tensión en la impedancia de puesta a tierra, durante una falta a tierra, según la configuración mostrada en la Figura 6.

Figura 7b: muestra una gráfica que representa, en el dominio de la frecuencia, la tensión en la impedancia de puesta a tierra, durante una falta a tierra, según la configuración mostrada en la Figura 6.

Descripción detallada

La presente invención se refiere, como se ha mencionado anteriormente, a un sistema y a un método de localización de faltas a tierra en una instalación eléctrica de corriente continua y corriente alterna con convertidor modular multinivel (6) (convertidor MMC).

En la Figura 1 se muestra una instalación eléctrica con un convertidor modular multinivel (6) formado por una pluralidad de submódulos (61) conectados en serie y agrupados en tres ramas. El convertidor modular multinivel (6) está conectado a una red eléctrica (1) de corriente alterna, trifásica, mediante un transformador (2) cuyo circuito primario (2a) está conectado a la red eléctrica (1) y su circuito secundario (2b) está conectado al convertidor modular multinivel.

El transformador (2) de la instalación eléctrica mostrada en la Figura 1 dispone de un punto neutro accesible en su circuito secundario (2b), estando dicho punto neutro conectado a tierra (12) a través de una impedancia de puesta a tierra (11).

En correspondencia con la impedancia de puesta a tierra (11) existe un primer medidor de tensión (14) configurado para medir la caída de tensión en la impedancia de puesta a tierra (11) (tensión de puesta a tierra U_{gnd}).

- 5 El primer medidor de tensión (14) está conectado a un bloque de localización de falta a tierra (13).

Los terminales del circuito secundario (2a) del transformador (2) están conectados en el lado de corriente alterna (100) (lado de AC) del convertidor modular multinivel (6) mediante unos
10 cables (modelados con inductancias (4)). Posteriormente, esos cables son conectados en serie con unos filtros inductivos (5) antes de llegar a las ramas del convertidor modular multinivel (6) trifásico.

Generalmente el convertidor modular multinivel (6) comprende la misma cantidad de
15 submódulos (61) hacia el terminal positivo (7) que hacia el terminal negativo (8), desde el punto de acceso del lado de corriente alterna (100).

Un segundo medidor de tensión (15) está configurado para medir la caída de tensión entre el terminal positivo (7) y el terminal negativo (8) del convertidor modular multinivel (6), es decir,
20 la caída de tensión (U_{DC}) en el lado de corriente continua (200) (lado de DC) del convertidor modular multinivel (6).

Por otra parte, un tercer medidor de tensión (16) está configurado para medir la tensión de línea y/o la tensión de fase-tierra (U_{AC}) en el lado de corriente alterna (100) del convertidor
25 modular multinivel (6).

Tanto el segundo medidor de tensión (15) como el tercer medidor de tensión (16) están conectados al bloque de localización de falta a tierra (13).

Cada submódulo (61) del convertidor modular multinivel (6) comprende dos, o más, conmutadores (9) que cargan o descargan un condensador (10) de forma que se pueda controlar tanto la forma de onda de corriente en el lado de corriente alterna (100) como la tensión en el lado de corriente continua (200) del convertidor modular multinivel (6).

5

La Figura 2 muestra una instalación eléctrica similar a la de la Figura 1, con la única diferencia relativa a que en la instalación eléctrica de la Figura 2 el circuito secundario (2b) del transformador (2) no tiene acceso al punto neutro, por lo que se ha instalado un neutro artificial (17) en el que se conecta de forma semejante a la Figura 1 la impedancia de puesta a tierra (11).

10

La Figura 3 sin embargo contempla la instalación de la impedancia de puesta a tierra (11) en el punto medio del lado de corriente continua (200) del convertidor modular multinivel (6). Para ello se colocan dos resistencias (18) en serie desde el terminal positivo (7) y desde el terminal negativo (8) del lado de corriente continua (200) del convertidor modular multinivel (6) y su punto medio se conecta a tierra (12) a través de la impedancia de puesta a tierra (11).

15

En la Figura 4 se muestran al menos los sub-bloques principales del bloque de localización de falta a tierra (13), según una posible forma de realización del sistema de localización de faltas a tierra en una instalación eléctrica de corriente continua y corriente alterna con convertidor modular multinivel (6), objeto de la presente invención.

20

La tensión de puesta a tierra U_{gnd} (la caída de tensión en la impedancia de puesta a tierra (11) medida por el primer medidor de tensión (14)) se registra en un sub-bloque de registro de tensión de puesta a tierra (19).

25

Cuando la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) es superior a un valor umbral prefijado por el usuario (señal de que se ha producido una falta a tierra), entonces el sub-bloque de registro de tensión de puesta a tierra (19) envía el valor registrado de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) a un sub-bloque de transformación a dominio de la frecuencia (20).

30

El sub-bloque de transformación a dominio de la frecuencia (20) está configurado para transformar a dominio de frecuencia la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) medida en el dominio del tiempo.

- 5 Los datos salientes de dicho sub-bloque de transformación a dominio de la frecuencia (20) se envían a un sub-bloque de obtención de armónicos (21).

El sub-bloque de obtención de armónicos (21) está configurado para obtener los armónicos a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) y componente de corriente continua (U_{gndf_0}) de la tensión de
10 puesta a tierra (U_{gnd}).

Así pues, este sub-bloque de obtención de armónicos (21) permite conocer si la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente alterna (100) de la instalación eléctrica o en el lado de corriente continua (200) de la instalación eléctrica, atendiendo respectivamente a si sólo
15 aparece la componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) o si sólo aparece la componente de corriente continua (U_{gndf_0}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}).

En caso de que aparezca tanto una componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) como una componente de corriente continua (U_{gndf_0}) de la tensión de puesta a tierra
20 (U_{gnd}), esto quiere decir que la falta a tierra se ha producido en algún punto entre submódulos (61) de alguna de las ramas del convertidor modular multinivel (6).

Estos dos armónicos (U_{gndf_0} , U_{gndf_1}) se envían a un sub-bloque de localización de falta a tierra y estimación de la resistencia de falta (23) que requiere previamente de los datos de un
25 sub-bloque de medida de tensión de AC y/o DC (22) que registra la caída de tensión en el lado de corriente continua (U_{DC}) y la tensión de fase-tierra (U_{AC}) medidas respectivamente por el segundo medidor de tensión (15) y por el tercer medidor de tensión (16).

El sub-bloque de localización de falta a tierra y estimación de la resistencia de falta (23) calcula
30 la posición del defecto como:

$$x = \frac{1}{2} - \frac{U_{gndf_0}}{2 \cdot (|U_{gndf_0}| + |U_{gndf_1}|)}$$

Donde “x” es la posición del defecto (o posición de la falta a tierra), en tanto por uno, de la rama de submódulos (61).

5

En caso de que la falta sea en el lado de corriente continua (200) de la instalación eléctrica, la componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) será nula y por lo tanto las dos posiciones posibles son $x = 1$ (terminal positivo (7) del convertidor modular multinivel (6)) o $x = 0$ (terminal negativo (8) del convertidor modular multinivel (6)).

10

Si, por el contrario, solamente aparece la componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}), y la componente de corriente continua (U_{gndf_0}) es nula, entonces la falta a tierra se encuentra en el lado de corriente alterna (100) de la instalación eléctrica, lo que implica $x = 0.5$.

15

Finalmente, en caso de que la falta a tierra se localice dentro del convertidor modular multinivel (6), en un submódulo (61) específico, esto produce que tanto la componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) como la componente de corriente continua (U_{gndf_0}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) sean distintos de cero. En este caso, el valor obtenido de la posición de defecto, “x”, indica el valor, en tanto por uno, de la posición de la rama de submódulos (61) en donde se ha producido la falta a tierra, teniendo como referencias los valores: $x = 1$ (falta a tierra en el terminal positivo (7) del lado de corriente continua (200) del convertidor modular multinivel (6)); $x = 0$ (falta a tierra en el terminal negativo (8) del lado de corriente continua (200) del convertidor modular multinivel (6)), y; $x = 0.5$ (falta a tierra en el lado de corriente alterna (100) del convertidor modular multinivel (6)).

20

25

Posteriormente, la resistencia de falta (3) requiere de las medidas de la tensión en el lado de corriente continua (U_{DC}) y la tensión fase-tierra (U_{AC}) en el lado de corriente alterna (100), atendiendo al resultado de la posición de defecto, “x”.

30

Para faltas en el lado de corriente alterna (100), se estima la resistencia de falta (3) como:

$$R_f = \frac{|U_{AC}| - |U_{gndf_1}|}{|U_{gndf_1}|} \cdot R_{gnd}$$

5 Para faltas en el lado de corriente continua (200), se estima la resistencia de falta (3) como:

$$R_f = \frac{\left| \frac{U_{DC}}{2} \right| - |U_{gndf_0}|}{|U_{gndf_0}|} \cdot R_{gnd}$$

10 Y para faltas en zonas intermedias (entre submódulos (61)) del convertidor modular multinivel (6), se estima la resistencia de falta (3) como:

$$R_f = \frac{\left| \left(x - \frac{1}{2} \right) U_{DC} \right| - |U_{gndf_0}|}{|U_{gndf_0}|} \cdot R_{gnd}$$

Donde:

15

U_{AC} : es una tensión de fase-tierra medida en el lado de corriente alterna (100).

U_{DC} : es la tensión entre terminales del lado de corriente continua (200).

R_{gnd} : es el valor resistivo de la impedancia de puesta a tierra (11).

R_f : es el valor óhmico de la resistencia de falta (3).

20

Finalmente, se emite una señal de alarma (24) desde el sub-bloque de localización de falta a tierra y estimación de la resistencia de falta (23) a dispositivos externos a la invención con al menos la información de la posición de defecto, "x", y/o la resistencia de falta (3).

La Figura 5 muestra las etapas de una posible realización del método de la invención. Primeramente, el método comprende una etapa de medida de tensión en la impedancia de puesta a tierra (25). De esta etapa se procede a una etapa de comparación de falta con un umbral de actuación (26), donde si la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) (tensión en la impedancia de puesta a tierra (11)) es mayor que dicho umbral (prefijado por el usuario), se
5 procede al resto del método, de lo contrario, se retrocede a la etapa anterior.

En caso de que la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) sea mayor que el umbral prefijado por el usuario, se procede a una etapa de transformación de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) a dominio de la frecuencia (27). Esto permite la obtención posterior de la componente de corriente continua (U_{gndf_0}) y de la componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) de la onda de tensión de puesta a tierra (U_{gnd}), respectivamente en una etapa de obtención de armónicos a frecuencia fundamental y componente de continua (28).

Como se ha explicado anteriormente, si existe componente de corriente continua (U_{gndf_0}) pero no existe componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}), esto es indicativo de que la falta a tierra se produce en el lado de corriente continua (200) (atendiendo a la polaridad de U_{gndf_0} , el defecto se encontrará en el polo contrario al signo, positivo o negativo, de U_{gndf_0}); si existe componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) pero no existe
15 componente de corriente continua (U_{gndf_0}), esto es indicativo de que la falta a tierra se encuentra en el lado de corriente alterna (100), y; si existe una combinación de ambas componentes (U_{gndf_0} , U_{gndf_1}), esto es indicativo de que la falta se encuentra en un submódulo (61) del convertidor modular multinivel (6) a monitorizar.

A continuación se ejecuta una etapa de localización de la falta a tierra (29), donde la posición de la falta se diagnostica como:

$$x = \frac{1}{2} - \frac{U_{gndf_0}}{2 \cdot (|U_{gndf_0}| + |U_{gndf_1}|)}$$

Con este dato, se ejecuta a continuación una etapa de lectura de tensiones AC y/o DC (30), que permite la obtención de las tensiones de fase, U_{AC} , en el lado de corriente alterna (100) y la tensión U_{DC} en el lado de corriente continua (200). De manera combinada, ambos datos se introducen en una etapa de estimación de resistencia de falta (31) que estima la resistencia de falta (3) de tal forma que, para faltas a tierra en el lado de corriente alterna (100) se estima el valor óhmico de la resistencia de falta (R_f) como:

$$R_f = \frac{|U_{AC}| - |U_{gndf_1}|}{|U_{gndf_1}|} \cdot R_{gnd}$$

- 10 Para faltas a tierra en el lado de corriente continua (200), se estima el valor óhmico de la resistencia de falta (R_f) como:

$$R_f = \frac{\left| \frac{U_{DC}}{2} \right| - |U_{gndf_0}|}{|U_{gndf_0}|} \cdot R_{gnd}$$

- 15 y para faltas a tierra en zonas intermedias del convertidor modular multinivel (6) se estima el valor óhmico de la resistencia de falta (R_f) como:

$$R_f = \frac{\left| \left(x - \frac{1}{2} \right) U_{DC} \right| - |U_{gndf_0}|}{|U_{gndf_0}|} \cdot R_{gnd}$$

- 20 Con los datos de posición, "x", y resistencia de falta (3) (R_f), finalmente se procede a una etapa de emisión de alarma (32) que envía al menos dicha información a sistemas externos a la invención para la protección y/o monitorización de la instalación eléctrica diagnosticada.

- 25 La Figura 6 muestra un ejemplo de falta a tierra en el convertidor modular multinivel (6) de la Figura 1. La falta a tierra se emula con una resistencia de falta (3) en la parte superior de una de las ramas del convertidor modular multinivel (6).

Finalmente, la Figura 7a y la Figura 7b muestran un ejemplo de aplicación sobre el esquema de la Figura 6 para una mejor comprensión de la invención. En este caso se somete un convertidor modular multinivel (6) conectado a la red eléctrica de 50 Hz, que dispone de 10 submódulos (61) por rama, a una falta a tierra de $R_f = 10 \text{ k}\Omega$ en el terminal superior del tercer submódulo (61) de la parte superior de una de las ramas (a priori $R_f = 10 \text{ k}\Omega$, $x = 80\%$). La impedancia de puesta a tierra (11) es resistiva pura de valor $R_{gnd} = 4700 \text{ }\Omega$. En este caso, una vez ocurre el defecto o falta a tierra, se produce la lectura de U_{gnd} observada en la Figura 7a que es transformada al dominio de la frecuencia en la Figura 7b. Con este espectro se encuentra que $U_{gndf_0} = -14.3827 \text{ V}$ y $U_{gndf_1} = 9.49625 \text{ V}$ por lo que el sistema y el método de la invención detectan falta en el interior del convertidor modular multinivel (6). Cuya posición es:

$$x = \frac{1}{2} - \frac{-14.3827 \text{ [V]}}{2 \cdot (|-14.3827 \text{ [V]}| + |9.46625 \text{ [V]}|)} = 0.8015 = 80.15\%$$

Las lecturas de tensión en el segundo medidor de tensión (15) y en el tercer medidor de tensión (16) son, respectivamente, de $U_{DC} = 150.0105 \text{ V}$ y $U_{AC} = 73.7055 \text{ V}$, por lo que la resistencia de falta medida por la invención es de:

$$R_f = \frac{\left| \left(0.8015 - \frac{1}{2} \right) 150.0105 - |-14.3827 \text{ [V]}| \right|}{|-14.3827 \text{ [V]}|} \cdot 4700 = 10079.7 \text{ [}\Omega\text{]}$$

REIVINDICACIONES

1. Sistema de localización de faltas a tierra en una instalación eléctrica de corriente continua y corriente alterna con convertidor modular multinivel (6), donde el convertidor modular multinivel (6) divide la instalación eléctrica en un lado de corriente continua (200) y un lado de corriente alterna (100), donde la instalación eléctrica comprende una conexión a tierra (12) a través de una impedancia de puesta a tierra (11), donde el sistema de localización de faltas a tierra comprende:
 - un primer medidor de tensión (14) configurado para medir una tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) en la impedancia de puesta a tierra (11);
 - un segundo medidor de tensión (15) configurado para medir una tensión en el lado de corriente continua (U_{DC}) entre un terminal positivo (7) y un terminal negativo (8) del lado de corriente continua (200) de la instalación eléctrica, y;
 - un tercer medidor de tensión (16) configurado para medir una tensión de fase (U_{AC}) en el lado de corriente alterna (100) de la instalación eléctrica;
- donde el sistema de localización de faltas a tierra está **caracterizado** por que comprende un bloque de localización de falta a tierra (13) configurado para determinar si se ha producido una falta a tierra en la instalación eléctrica y para localizar dicha falta a tierra en el lado de corriente alterna (100), en el lado de corriente continua (200) o en el interior del convertidor modular multinivel (6), así como para determinar la resistencia de falta (3) de la falta a tierra, donde el bloque de localización de falta a tierra (13) comprende:
 - un sub-bloque de registro de tensión de puesta a tierra (19) configurado para registrar la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) en el dominio del tiempo y para enviar el valor de tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) a un sub-bloque de transformación a dominio de la frecuencia (20), en caso de que la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) supere un valor umbral predeterminado indicativo de que se ha producido una falta a tierra en la instalación eléctrica;

- el sub-bloque de transformación a dominio de la frecuencia (20), configurado para transformar a dominio de frecuencia la tensión de puesta a tierra (U_{gnd});
- un sub-bloque de obtención de armónicos (21) configurado para obtener una componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) y una componente de corriente continua (U_{gndf_0}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd});
- un sub-bloque de medida de tensión de AC y DC (22) configurado para registrar la tensión de fase (U_{AC}) en el lado de corriente alterna (100) y la tensión en el lado de corriente continua (U_{DC}) de la instalación eléctrica, y;
- un sub-bloque de localización de falta a tierra y estimación de la resistencia de falta (23) configurado para calcular la posición de la falta a tierra dentro de la instalación eléctrica como:

$$x = \frac{1}{2} - \frac{U_{gndf_0}}{2 \cdot (|U_{gndf_0}| + |U_{gndf_1}|)}$$

donde:

- si la componente de corriente continua (U_{gndf_0}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) es cero, el valor de la posición "x" de falta a tierra es 0,5, indicando que la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente alterna (100) de la instalación eléctrica;
- si la componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) es cero, el valor de la posición "x" de falta a tierra es 0 ó 1, indicando que la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente continua (200) de la instalación eléctrica, donde x=0 es indicativo de que la falta a tierra se ha producido en el terminal negativo (8) del lado de corriente continua (200) y donde x=1 es indicativo de que la

falta a tierra se ha producido en el terminal positivo (7) del lado de corriente continua (200), y;

- si tanto la componente de corriente continua (U_{gndf_0}) como la componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) son distintas de cero, el valor de la posición “x” de falta a tierra es $0 < x < 0,5$ ó $0,5 < x < 1$, indicando que la falta a tierra se ha producido entre submódulos (61) del convertidor modular multinivel (6), y donde “x” expresa, en tanto por uno, la posición de la falta a tierra en una rama de submódulos (61) del convertidor modular multinivel (6), tal que $0 < x < 0,5$ es indicativo de que la falta a tierra se ha producido entre el lado de corriente alterna (100) y el terminal negativo (8) del lado de corriente continua (200) y $0,5 < x < 1$ es indicativo de que la falta a tierra se ha producido entre el lado de corriente alterna (100) y el terminal positivo (7) del lado de corriente continua (200);

donde:

- si la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente alterna (100), el sub-bloque de localización de falta a tierra y estimación de la resistencia de falta (23) está configurado para calcular la resistencia de falta (3) a tierra como:

$$R_f = \frac{|U_{AC}| - |U_{gndf_1}|}{|U_{gndf_1}|} \cdot R_{gnd}$$

- si la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente continua (200), el sub-bloque de localización de falta a tierra y estimación de la resistencia de falta (23) está configurado para calcular la resistencia de falta (3) a tierra como:

$$R_f = \frac{\left| \frac{U_{DC}}{2} \right| - |U_{gndf_0}|}{|U_{gndf_0}|} \cdot R_{gnd}$$

- si la falta a tierra se ha producido entre submódulos (61) del convertidor modular multinivel (6), el sub-bloque de localización de falta a tierra y estimación de la resistencia de falta (23) está configurado para calcular la resistencia de falta (3) a tierra como:

$$R_f = \frac{\left| \left(x - \frac{1}{2} \right) U_{DC} \right| - |U_{gndf_0}|}{|U_{gndf_0}|} \cdot R_{gnd}$$

donde R_f es el valor óhmico de la resistencia de falta (3) a tierra y R_{gnd} es el valor óhmico resistivo de la impedancia de puesta a tierra (11).

2. Sistema de localización de faltas a tierra en una instalación eléctrica de corriente continua y corriente alterna con convertidor modular multinivel (6) según la reivindicación 1, **caracterizado** por que el sub-bloque de localización de falta a tierra y estimación de la resistencia de falta (23) está configurado para emitir una señal de alarma (24) con al menos la información de la posición de la falta a tierra, "x", y/o la resistencia de falta (3).
3. Sistema de localización de faltas a tierra en una instalación eléctrica de corriente continua y corriente alterna con convertidor modular multinivel (6) según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** por que la instalación eléctrica comprende una conexión a tierra (12) a través de una impedancia de puesta a tierra (11) en el lado de corriente alterna (100) del convertidor modular multinivel (6).
4. Sistema de localización de faltas a tierra en una instalación eléctrica de corriente continua y corriente alterna con convertidor modular multinivel (6) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que la instalación eléctrica comprende una conexión a tierra (12) a través de una impedancia de puesta a tierra (11) en el lado de corriente continua (200) del convertidor modular multinivel (6).

5. Método de localización de faltas a tierra en una instalación eléctrica de corriente continua y corriente alterna con convertidor modular multinivel (6) donde el convertidor modular multinivel (6) divide la instalación eléctrica en un lado de corriente continua (200) y un lado de corriente alterna (100), donde la instalación eléctrica comprende una conexión a tierra (12) a través de una impedancia de puesta a tierra (11), **caracterizado** por que comprende:

- una etapa de medida de tensión en la impedancia de puesta a tierra (25), que comprende efectuar una medida y registro de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) medida en la impedancia de puesta a tierra (11);

- una etapa de comparación de falta con un umbral de actuación (26), donde si la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) es mayor que dicho umbral de actuación predeterminado, se determina que se ha producido una falta a tierra y se procede a una etapa de transformación de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) a dominio de la frecuencia (27) y donde si la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) no es mayor que dicho umbral de actuación predeterminado, se retrocede a la etapa de medida de tensión en la impedancia de puesta a tierra (25);

- la etapa de transformación de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) a dominio de la frecuencia (27), que comprende transformar la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia;

- una etapa de obtención de armónicos a frecuencia fundamental y componente de continua (28), que comprende obtener la componente de corriente continua (U_{gndf_0}) y de la componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd});

- una etapa de localización de la falta a tierra (29) que comprende calcular la posición, "x", de la falta a tierra como:

$$x = \frac{1}{2} - \frac{U_{gndf_0}}{2 \cdot (|U_{gndf_0}| + |U_{gndf_1}|)}$$

donde:

- 5

 - si la componente de corriente continua (U_{gndf_0}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) es cero, el valor de la posición “x” de falta a tierra es 0,5, indicando que la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente alterna (100) de la instalación eléctrica;
- 10

 - si la componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) es cero, el valor de la posición “x” de falta a tierra es 0 ó 1, indicando que la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente continua (200) de la instalación eléctrica, donde $x=0$ es indicativo de que la falta a tierra se ha producido en un terminal negativo (8) del lado de corriente continua (200) y donde $x=1$ es indicativo de que la
- 15

 - si tanto la componente de corriente continua (U_{gndf_0}) como la componente de armónico a frecuencia fundamental (U_{gndf_1}) de la tensión de puesta a tierra (U_{gnd}) son distintas de cero, el valor de la posición “x” de falta a tierra
- 20

 - es $0 < x < 0,5$ ó $0,5 < x < 1$, indicando que la falta a tierra se ha producido entre submódulos (61) del convertidor modular multinivel (6), y donde “x” expresa, en tanto por uno, la posición de la falta a tierra en una rama de submódulos (61) del convertidor modular multinivel (6), tal que $0 < x < 0,5$ es
- 25

 - indicativo de que la falta a tierra se ha producido entre el lado de corriente alterna (100) y el terminal negativo (8) del lado de corriente continua (200) y $0,5 < x < 1$ es indicativo de que la falta a tierra se ha producido entre el lado de corriente alterna (100) y el terminal positivo (7) del lado de corriente continua (200);
- 30

 - una etapa de lectura de tensiones AC y/o DC (30), que comprende medir y registrar una tensión de fase (U_{AC}) en el lado de corriente alterna (100) y una tensión en el lado de corriente continua (U_{DC}) de la instalación eléctrica, y;

- una etapa de estimación de resistencia de falta (31) que comprende calcular la resistencia de falta (3) a tierra, donde:

5

- si la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente alterna (100), la resistencia de falta (3) a tierra se calcula como:

$$R_f = \frac{|U_{AC}| - |U_{gndf_1}|}{|U_{gndf_1}|} \cdot R_{gnd}$$

10

- si la falta a tierra se ha producido en el lado de corriente continua (200), la resistencia de falta (3) a tierra se calcula como:

$$R_f = \frac{\left| \frac{U_{DC}}{2} \right| - |U_{gndf_0}|}{|U_{gndf_0}|} \cdot R_{gnd}$$

15

- si la falta a tierra se ha producido entre submódulos (61) del convertidor modular multinivel (6), la resistencia de falta (3) a tierra se calcula como:

$$R_f = \frac{\left| \left(x - \frac{1}{2} \right) U_{DC} \right| - |U_{gndf_0}|}{|U_{gndf_0}|} \cdot R_{gnd}$$

20

donde R_f es el valor óhmico de la resistencia de falta (3) a tierra y R_{gnd} es el valor óhmico resistivo de la impedancia de puesta a tierra (11).

25

6. Método de localización de faltas a tierra en una instalación eléctrica de corriente continua y corriente alterna con convertidor modular multinivel (6) según la reivindicación 5, **caracterizado** por que comprende una etapa de emisión de alarma (32) que a su vez comprende enviar una señal de alarma con al menos la información de la posición de la falta a tierra, "x", y/o la resistencia de falta (3).

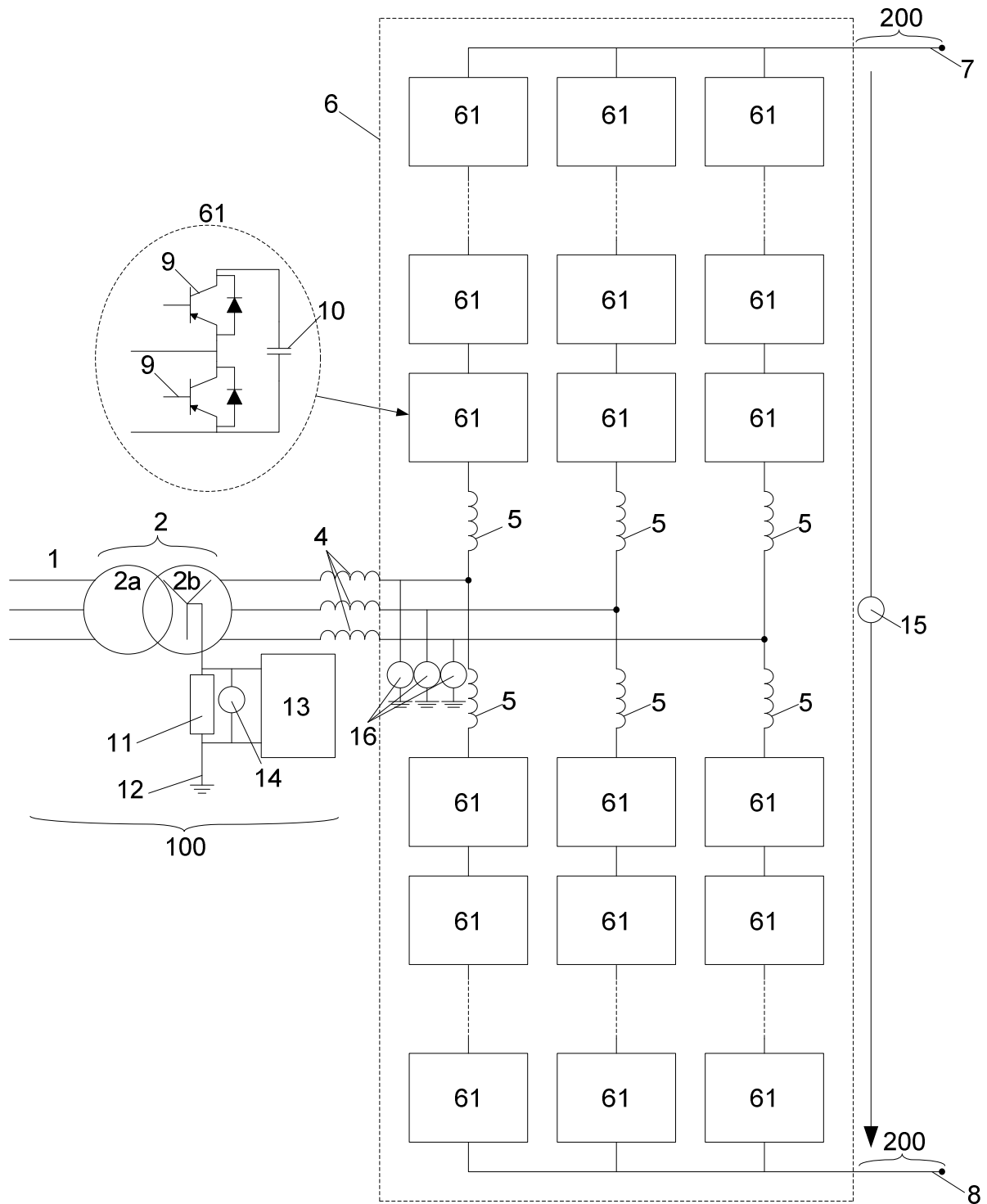


FIG. 1

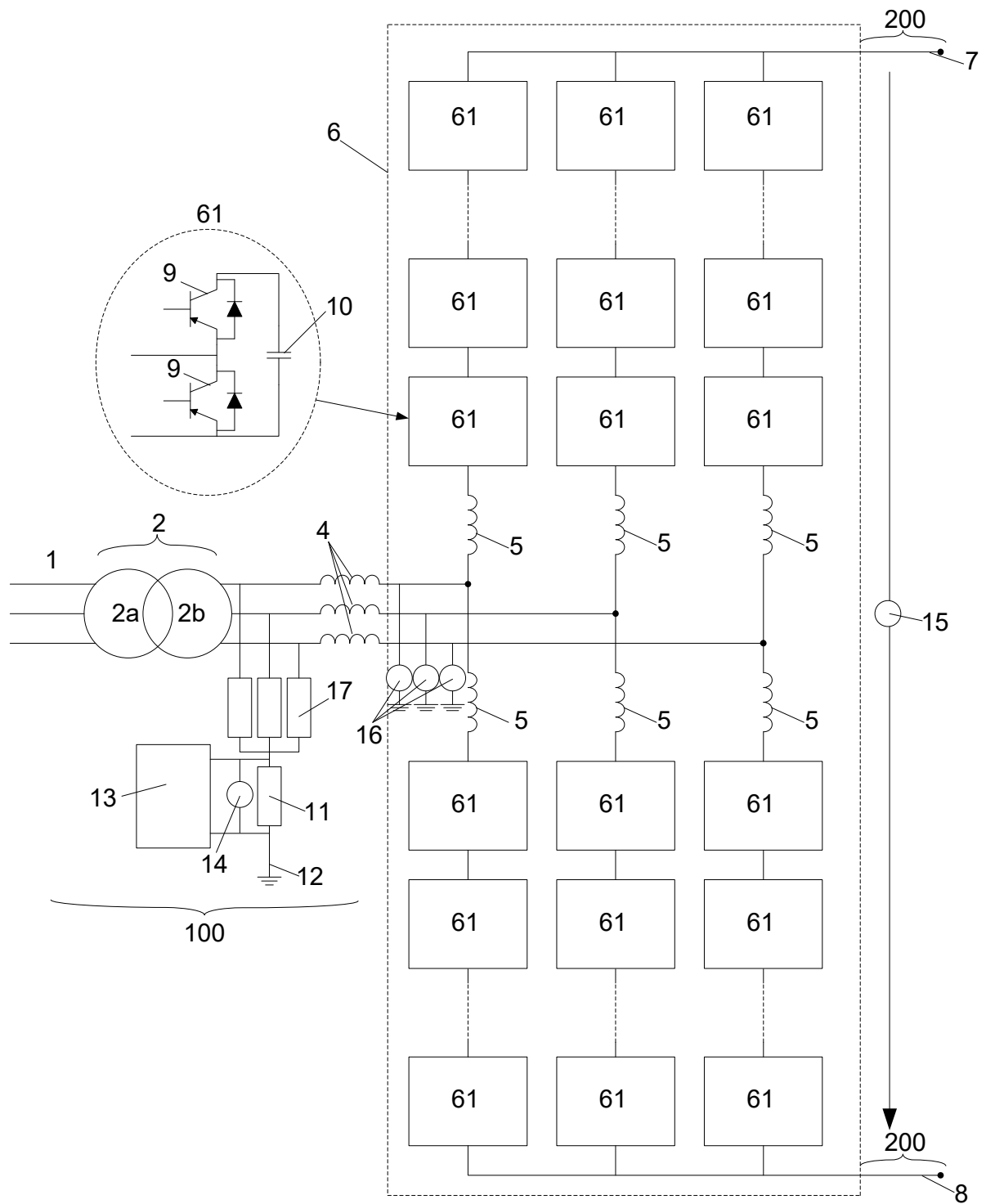


FIG. 2

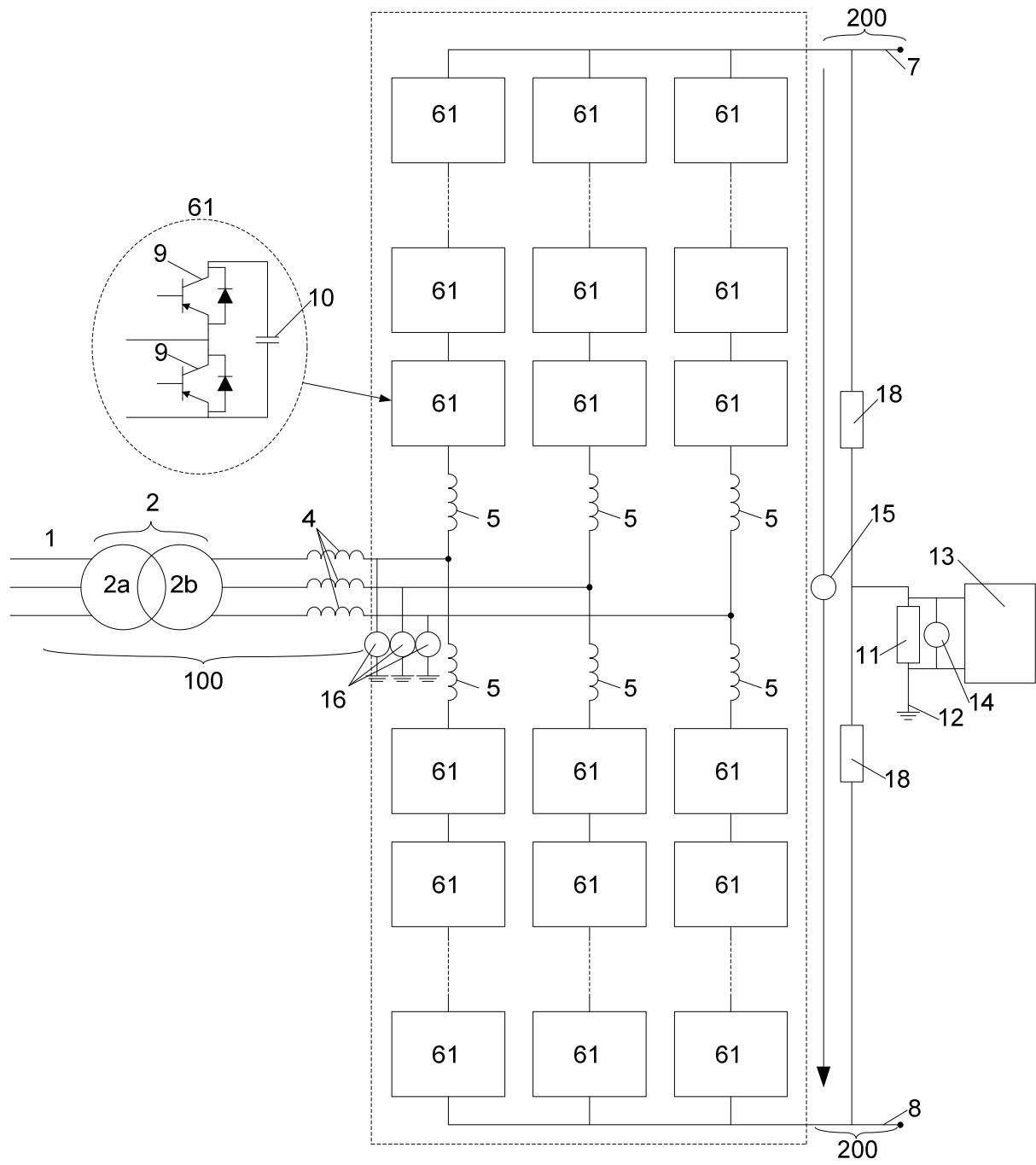


FIG. 3

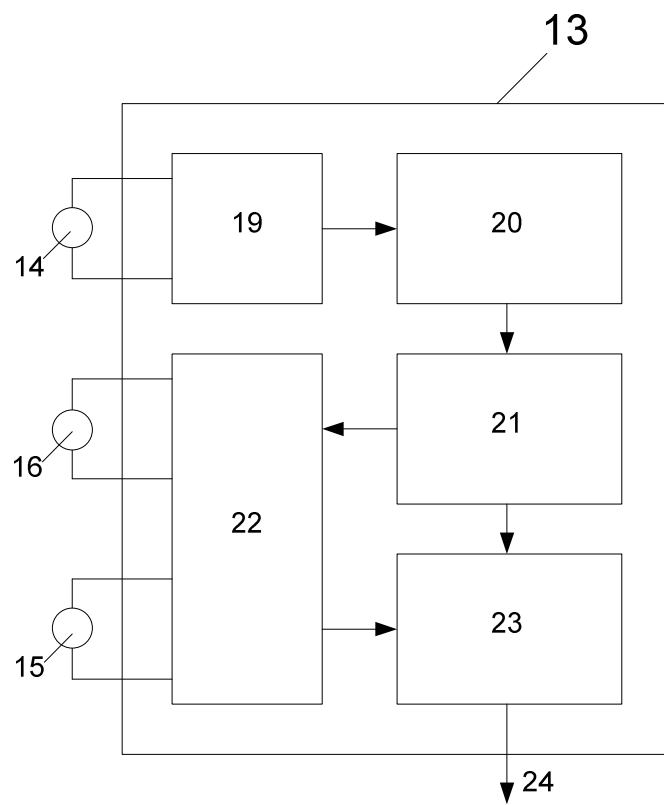


FIG. 4

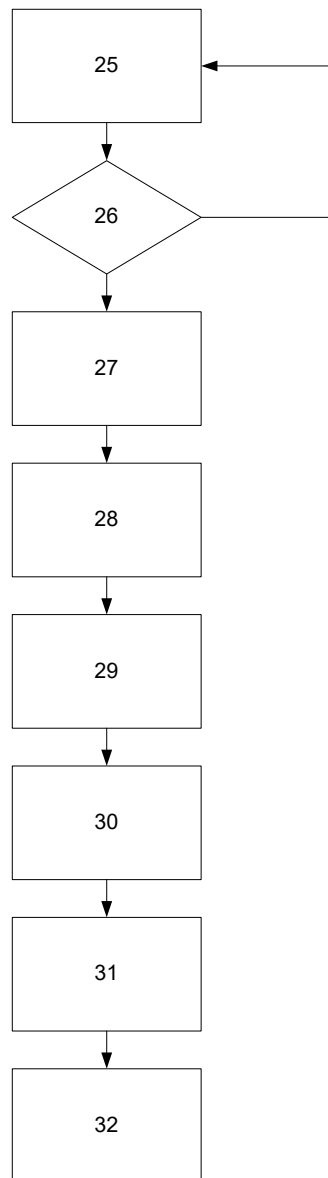


FIG. 5

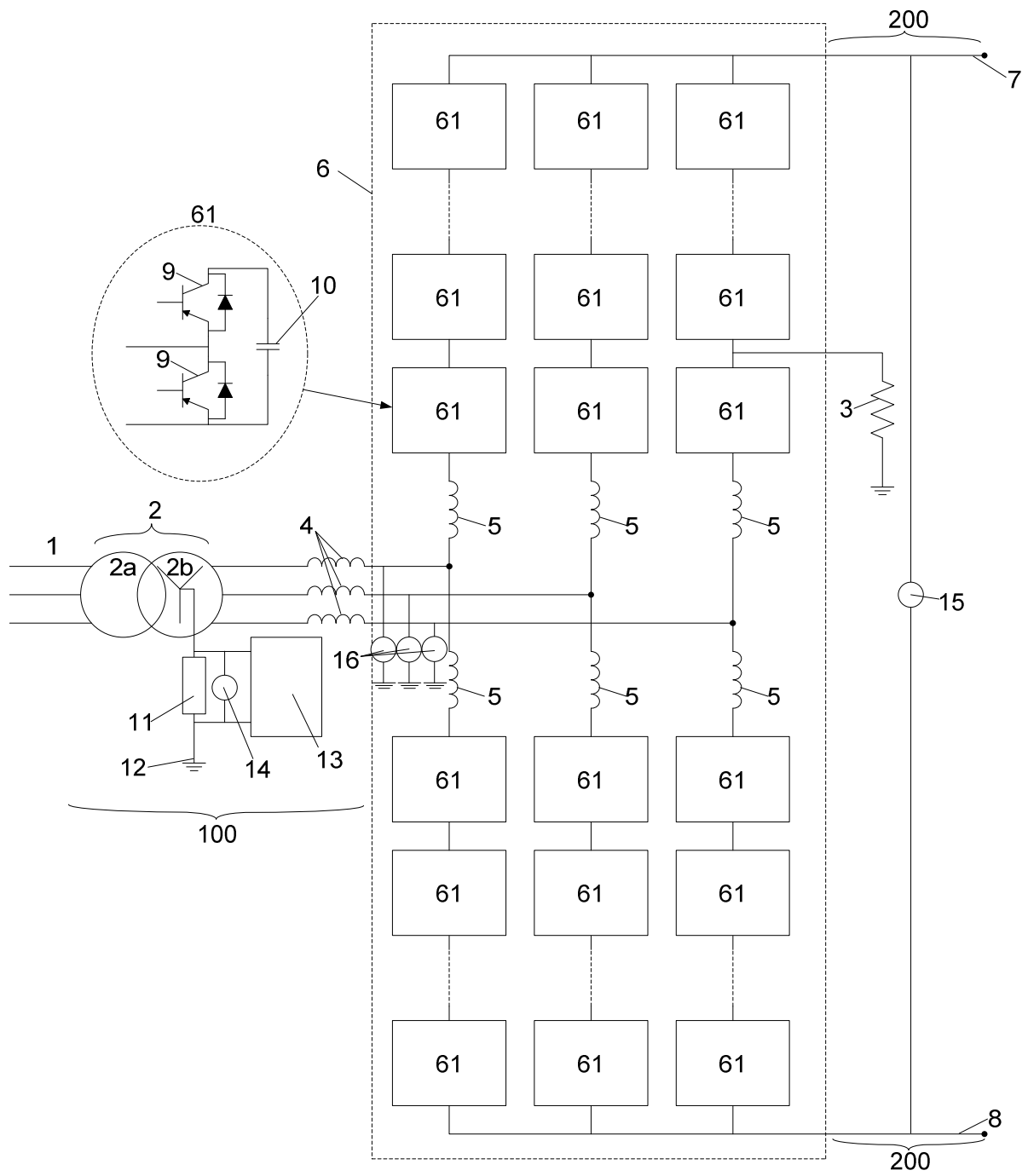


FIG. 6

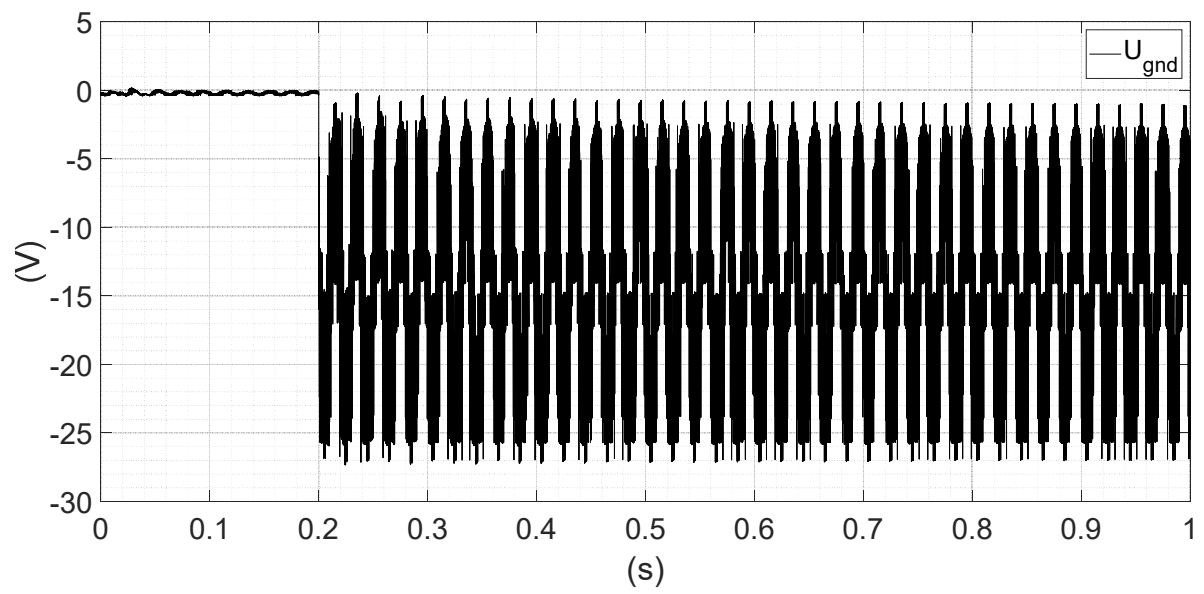


FIG. 7a

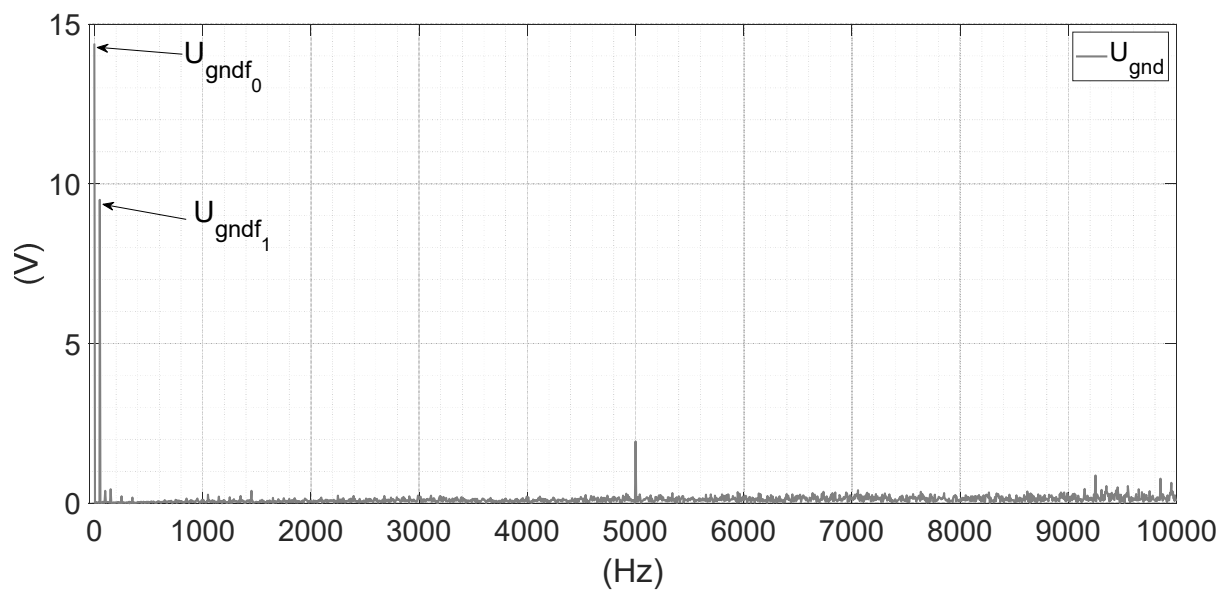


FIG. 7b