

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 926 002**

21 Número de solicitud: 202230244

51 Int. Cl.:

G01R 31/52 (2010.01)

H02M 1/32 (2007.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

21.03.2022

43 Fecha de publicación de la solicitud:

20.10.2022

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

21.10.2022

Fecha de concesión:

28.03.2023

45 Fecha de publicación de la concesión:

04.04.2023

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;
PLATERO GAONA, Carlos Antonio;
VALIÑO LÓPEZ, Vanesa y
SERRANO JIMÉNEZ, Daniel**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

54 Título: **Método y Sistema de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua y corriente alterna**

57 Resumen:

Sistema y método de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente continua y corriente alterna (AC) basados en la medida de la tensión en un subsistema de puesta a tierra (8) instalado en un punto medio/neutro de la instalación eléctrica, en la medida de tensión fase-neutro de las fases de corriente alterna y en el cálculo fasorial a distintas frecuencias que estima primero la resistencia de falta mediante las componentes a frecuencia de conmutación del inversor y posteriormente calcula la posición del defecto utilizando la frecuencia fundamental de corriente alterna del sistema.

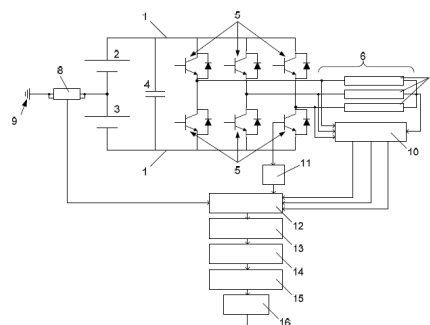


FIG. 1

ES 2 926 002 B2

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).

DESCRIPCIÓN

Método y Sistema de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua y corriente alterna

Objeto de la invención

5

La presente invención se refiere a un método y un sistema de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua y corriente alterna. El método y el sistema de localización de faltas a tierra objeto de la presente invención es capaz de localizar faltas a tierra en cualquier punto del lado de corriente alterna (AC) con la instalación en funcionamiento.

10

El método y sistema de localización de faltas a tierra según la presente invención es de particular utilidad en instalaciones eléctricas donde un lado de corriente alterna sea alimentado desde un lado de corriente continua (DC). La presente invención tiene aplicación, por ejemplo y sin carácter limitativo, en accionamientos de velocidad variable como coches eléctricos donde la máquina eléctrica del lado de corriente alterna es alimentada desde unas baterías en el lado de corriente continua a partir de un inversor.

15

Antecedentes de la invención y problema técnico a resolver

20

Cada vez más procesos tienen la necesidad de instalar sistemas eléctricos de potencia que permitan controlar accionamientos eléctricos de forma eficiente. Esto implica la presencia de convertidores que modulen la corriente alterna para una determinada operación.

25

Esta electrónica de potencia hace difícil la protección de los equipos, ya que los relés pueden verse afectados por la influencia de la corriente continua del bus de corriente continua del inversor en la medida de las variables eléctricas necesarias para su operación. Por lo que es necesario el uso de nuevas protecciones en este campo.

Por otro lado, no solamente es de vital importancia proteger instalaciones eléctricas con corriente continua y alterna, sino que también se requiere de un correcto diagnóstico de detección y localización de la falta, especialmente frente a faltas a tierra, que son el tipo de falta más común en sistemas eléctricos de potencia. Éstas se originan debido a un defecto en el aislamiento eléctrico que crea una corriente de derivación o fuga hacia tierra y puede retornar por otro punto del sistema que ya esté puesto a tierra previamente o por un punto que posteriormente cierre el circuito (por ejemplo, un contacto humano posterior a una primera falta).

5

10 Actualmente, modelos de utilidad como el de ES 1257934 U permiten la detección de la falta en el bus de DC o en el lado de AC de un sistema DC/AC, sin embargo, no permite localizar el defecto en posición ni en resistencia de falta.

15

Otras invenciones como son las descritas en las patentes ES 2736412 B2 o ES 2758531 B2 sí que localizan la posición de los defectos en el lado de AC, pero presentan problemas de resolución en los extremos del lado del inversor o próximos al punto neutro de la carga del lado de AC, respectivamente.

20

Otras invenciones relevantes relativas a la localización de defectos en instalaciones AC/DC son las mostradas a continuación:

25

- La patente EP 2856591 B1 muestra una invención para localizar faltas a tierra de alta resistencia de falta donde se limita la resistencia de defecto mediante una resistencia de puesta a tierra de alta impedancia y midiendo las corrientes en cada etapa de AC y DC, así como las tensiones se puede localizar donde se encuentra dicha falta, y;

30

- La invención divulgada en EP 2860838 B1 pone a tierra mediante neutros artificiales y resistencias a tierra las distintas partes de un sistema AC/DC/AC. Después, mediante variaciones en las corrientes que circulan por estas resistencias en estado sano o en falta se localiza la falta.

Otra forma de localizar faltas a tierra es mediante métodos activos que recurren a la inserción de ondas pulsadas y observando su deformación antes y después de una falta a tierra (JP 4830376 B2) o instalando múltiples sensores de corriente diferenciales y estableciendo estrategias de disparo atendiendo a la casuística de la falta (US 8289664 B2).

5

Los sistemas y métodos señalados previamente utilizan un exceso de instrumentación de control para el diagnóstico del accionamiento, hacen circular corrientes por la red de tierras incluso en estado sano o solo detectan la falta en caso de haberla. Además, la resistencia de falta, que depende inversamente de la severidad de dicha falta, puede influir en el diagnóstico de forma negativa, provocando incluso la no operación durante el estado de falta por parte de las protecciones o de los equipos de diagnóstico.

10

Por estos motivos, es de importancia disponer de nuevos métodos y sistemas de localización de faltas a tierra en el lado de AC de sistemas DC/AC que permitan un diagnóstico rápido, eficaz y económico de este tipo de faltas sin necesidad de recurrir a exceso de instrumentación o a métodos activos de diagnóstico.

15

Descripción de la invención

20

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

25

El sistema de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna (AC) de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua (DC) y corriente alterna (AC), objeto de la presente invención, es de especial aplicación en instalaciones eléctricas en donde la conversión entre corriente continua (DC) y corriente alterna (AC) se realiza mediante un inversor con transistores.

30

El sistema de localización de faltas a tierra comprende:

- un subsistema de puesta a tierra configurado para conectarse a un punto de un bus de corriente continua de la instalación eléctrica o a un punto del lado de corriente alterna de la instalación eléctrica; el subsistema de puesta a tierra comprende una resistencia de puesta a tierra y medios de medición de una caída de tensión ($u_{gnd}(t)$) en dicha resistencia de puesta a tierra, y;
- un módulo de media de tensiones fase-neutro que está conectado a cada una de las tres fases y al punto neutro del lado de corriente alterna (AC) de la instalación eléctrica, para la medida de las tensiones de fase (U_{an} , U_{bn} y U_{cn}) en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) de la instalación eléctrica.

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

- un módulo de media de frecuencias configurado para medir la frecuencia de conmutación (f_k) de al menos uno de los transistores del inversor y para medir la frecuencia fundamental (f_1) de las corrientes y/o tensiones de fase en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) de la instalación eléctrica;
- un módulo de cálculo de fasores conectado al subsistema de puesta a tierra, al módulo de medida de frecuencias y al módulo de medida de tensiones fase-neutro donde el módulo de cálculo de fasores está configurado para calcular unos fasores de la tensión ($u_{gnd}(t)$) en el subsistema de puesta a tierra y unos fasores de las tensiones fase-neutro (U_{an} , U_{bn} y U_{cn}) en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) de la instalación eléctrica, donde los fasores se calculan de la siguiente manera:

$$a_j = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^N u(n\Delta t) \cos\left(\frac{2\pi nj}{N}\right)$$

$$b_j = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^N u(n\Delta t) \sin\left(\frac{2\pi nj}{N}\right)$$

$$\hat{U}_j = \sqrt{a_j^2 + b_j^2}$$

$$\theta_j = \arctan \frac{b_j}{a_j}$$

donde:

a_j : es la componente en filtro coseno de la onda para una frecuencia “j” determinada en una onda de tensión con valores instantáneos u ;

b_j : es la componente en filtro seno de la onda para una frecuencia “j” determinada en una onda de tensión con valores instantáneos u ;

N : es el número de muestras de la onda de tensión u ;

n : es el número de muestra instantánea de la onda de tensión u ;

\hat{U}_j : es la amplitud del fasor a frecuencia “j” de la onda de tensión u ;

θ_j : es el ángulo del fasor a frecuencia “j” de la onda de tensión u ;

de forma que se obtengan los fasores de tensión U_{gnd} en el subsistema de puesta a tierra para f_1 y f_k y los fasores de las tensiones fase-neutro U_{an} , U_{bn} y U_{cn} para f_1 , f_k , f_1 y f_k ;

- un módulo de determinación de fase con defecto a tierra conectado al módulo de cálculo de fasores, donde si la caída de tensión ($u_{gnd}(t)$) en el subsistema de puesta a tierra de la instalación eléctrica supera un valor umbral predeterminado, el módulo de determinación de fase con defecto a tierra está configurado para determinar que la fase con falta a tierra es aquella fase en la que se cumple:

$$\theta_{in} - \theta_{gnd} \cong 180^\circ$$

donde θ_{gnd} es el argumento del fasor de la tensión en el subsistema de puesta a tierra y θ_{in} es el argumento del fasor de la tensión de la fase con falta a tierra en el lado de corriente alterna (AC) de la instalación eléctrica, donde la tensión de la fase con falta a tierra dispone de una diferencia de fase igual o sustancialmente igual a 180° respecto a la tensión en el subsistema de puesta a tierra;

- un módulo de cálculo de la resistencia de falta a tierra conectado al módulo de determinación de fase con defecto a tierra, donde el módulo de cálculo de la resistencia de falta a tierra está configurado para determinar la resistencia de falta a tierra, R_f , mediante:

$$R_f = R_{gnd} \cdot \left[\frac{2 \cdot (U_{in(f_k - f_1)} + U_{in(f_k + f_1)})}{U_{gnd(f_k)}} - 1 \right]$$

donde:

- 5 R_f : es el valor de la resistencia de falta a tierra;
 R_{gnd} : es el valor de la resistencia del subsistema de puesta a tierra;
 U_{gnd} : es el valor del fasor de tensión en el subsistema de puesta a tierra, a la frecuencia de conmutación del inversor (f_k);
 U_{in} : es la tensión de la fase en falta donde el subíndice $f_k - f_1$ y $f_k + f_1$ indica las
10 frecuencias de los fasores a aplicar, y;

- un módulo de cálculo de la posición de falta a tierra conectado al módulo de cálculo de la resistencia de falta a tierra, donde el módulo de cálculo de la posición de falta a tierra está configurado para determinar la posición en donde se ha producido la
15 falta a tierra, dentro de la fase en falta, mediante:

$$x = \left(1 + \frac{R_f}{R_{gnd}} \right) \cdot \frac{U_{gnd(f_1)}}{U_{in(f_1)}}$$

con fasores de frecuencia fundamental para su determinación.

- 20 De manera preferente, el sistema de localización de faltas a tierra comprende un módulo de emisión de alarma conectado al módulo de cálculo de la posición de falta a tierra, donde el módulo de emisión de alarma está configurado para generar una señal de alarma que comprende información acerca de la fase con falta a tierra, la resistencia de falta, R_f , y la
25 posición de la falta, x , dentro de la fase con falta a tierra.

Asimismo, de manera preferente, el módulo de emisión de alarma está configurado para enviar la señal de alarma a un dispositivo (ajeno a la presente invención) de monitorización

y/o de protección, para la monitorización y/o para la activación de mecanismos de protección de la instalación eléctrica por parte de dicho dispositivo.

5 Tal y como ya sea ha comentado, la presente invención se refiere también a un método de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna (AC) de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua (DC) y corriente alterna (AC). El método está especialmente indicado para instalaciones eléctricas en donde la conversión entre corriente continua (DC) y corriente alterna (AC) se realice mediante un inversor con transistores.

10 El método de localización de faltas a tierra, objeto de la presente invención, comprende:

- una etapa de medida de tensiones y frecuencias, para la medida de tensiones en un subsistema de puesta a tierra conectado a un bus de corriente continua de la instalación eléctrica o a un lado de corriente alterna de la instalación eléctrica, para
15 la medida de las tensiones fase-neutro ($u_{an}(t)$, $u_{bn}(t)$ y $u_{cn}(t)$) en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) de la instalación eléctrica y para la medida de la caída de tensión ($u_{gnd}(t)$) en el subsistema de puesta a tierra de la instalación eléctrica, así como para la medida de la frecuencia de conmutación, f_k , de los transistores del inversor, y la medida de la frecuencia fundamental, f_1 , en las
20 corrientes y tensiones en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) de la instalación eléctrica, donde si la medida de tensión, $u_{gnd}(t)$, en el subsistema de puesta a tierra es mayor que un valor umbral predeterminado, el método comprende;

25 - una etapa de obtención de fasores, en donde se estiman los fasores complejos correspondientes a la caída de tensión, $u_{gnd}(t)$, en el subsistema de puesta a tierra y a las tensiones fase-neutro ($u_{an}(t)$, $u_{bn}(t)$ y $u_{cn}(t)$) en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) de la instalación eléctrica, donde los fasores se calculan de la siguiente manera:

30

$$a_j = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^N u(n\Delta t) \cos\left(\frac{2\pi nj}{N}\right)$$

$$b_j = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^N u(n\Delta t) \sin\left(\frac{2\pi nj}{N}\right)$$

$$\hat{U}_j = \sqrt{a_j^2 + b_j^2}$$

$$\theta_j = \arctan \frac{b_j}{a_j}$$

5 donde:

a_j : es la componente en filtro coseno de la onda para una frecuencia “j” determinada en una onda de tensión con valores instantáneos u ;

10 b_j : es la componente en filtro seno de la onda para una frecuencia “j” determinada en una onda de tensión con valores instantáneos u ;

N : es el número de muestras de la onda de tensión u ;

n : es el número de muestra instantánea de la onda de tensión u ;

\hat{U}_j : es la amplitud del fasor a frecuencia “j” de la onda de tensión u ;

θ_j : es el ángulo del fasor a frecuencia “j” de la onda de tensión u ;

15

de forma que se obtengan los fasores de tensión U_{gnd} en el subsistema de puesta a tierra para f_1 y f_k y los fasores de las tensiones fase-neutro U_{an} , U_{bn} y U_{cn} para f_1 , $f_k - f_1$ y $f_k + f_1$;

20 - una etapa de distinción de fase con falta a tierra, donde se determina la fase con falta a tierra como aquella fase en la que se cumple:

$$\theta_{in} - \theta_{gnd} \cong 180^\circ$$

25 donde θ_{gnd} es el argumento del fasor de la tensión en el subsistema de puesta a tierra y θ_{in} es el argumento del fasor de la tensión de la fase con falta a tierra en el lado de corriente alterna (AC) de la instalación eléctrica, donde la tensión de la fase con falta a tierra dispone de una diferencia de fase igual o sustancialmente igual a 180° respecto a la tensión en el subsistema de puesta a tierra;

- una etapa de obtención de la resistencia de falta a tierra, donde se determina la resistencia de falta a tierra, R_f , mediante:

$$5 \quad R_f = R_{gnd} \cdot \left[\frac{2 \cdot (U_{in(f_k-f_1)} + U_{in(f_k+f_1)})}{U_{gnd(f_k)}} - 1 \right]$$

donde:

R_f : es el valor de la resistencia de falta a tierra;

10 R_{gnd} : es el valor de la resistencia del subsistema de puesta a tierra;

U_{gnd} : es el valor del fasor de tensión en el subsistema de puesta a tierra, a la frecuencia de conmutación del inversor (f_k);

U_{in} : es la tensión de la fase en falta donde el subíndice $f_k - f_1$ y $f_k + f_1$ indica las frecuencias de los fasores a aplicar, y;

15

- una etapa de cálculo de la posición de la falta a tierra, donde se determina la posición en donde se ha producido la falta a tierra, dentro de la fase en falta, mediante:

$$20 \quad x = \left(1 + \frac{R_f}{R_{gnd}} \right) \cdot \frac{U_{gnd(f_1)}}{U_{in(f_1)}}$$

con fasores de frecuencia fundamental para su determinación.

De manera preferente, el método de localización de faltas a tierra, objeto de la presente
 25 invención, comprende una etapa de emisión de alarma, en donde se genera una señal de alarma que comprende información acerca de la fase con falta a tierra, la resistencia de falta, R_f , y la posición de la falta, x , dentro de la fase con falta a tierra.

Asimismo, de manera preferente, el método de localización de faltas a tierra, objeto de la presente invención, comprende enviar la señal de alarma a un dispositivo (ajeno a la presente invención) de monitorización y/o de protección, para la monitorización y/o para la activación de mecanismos de protección de la instalación eléctrica por parte de dicho dispositivo.

5

Breve descripción de las figuras

Se describen aquí de forma breve una serie de figuras, de ejemplos no limitativos, que ayudan a comprender mejor la invención:

10

La Figura 1 muestra una posible configuración de una instalación AC/DC con el lado de AC a diagnosticar por la invención.

15

La Figura 2 muestra, según una posible forma de realización de la invención, el flujograma de las etapas o fases del método de localización de faltas a tierra.

20

La Figura 3a, la Figura 3b y la Figura 3c muestran un ejemplo práctico de diagnóstico de falta a tierra en el lado de AC de un sistema DC/AC a partir de una posible realización de la invención.

Descripción detallada

25

Se procede a continuación a hacer una descripción de una posible aplicación de la invención, para una instalación eléctrica AC/DC, a modo de ejemplo no limitativo de una posible implementación del sistema y el método de la invención.

En la Figura 1 se muestra una instalación eléctrica DC/AC formada por un bus de corriente continua (1) y un lado de corriente alterna (6) de frecuencia variable. Existen dos fuentes de corriente continua (2, 3) o baterías, conectadas en serie al bus de corriente continua (1): una

primera fuente de corriente continua (2) y una segunda fuente de corriente continua (3). Ambas fuentes de corriente continua (2, 3) tienen igual valor, si bien la primera fuente de corriente continua (2) corresponde al polo positivo de generación de corriente continua y la segunda fuente de corriente continua (3) corresponde al polo negativo de generación de corriente continua. El punto del bus de corriente continua (1) situado entre ambas fuentes de corriente continua (2, 3) es accesible, por ejemplo, para la conexión de un subsistema de puesta a tierra (8), el cual comprende una resistencia de puesta a tierra y unos medios de medición de una caída de tensión ($u_{gnd}(t)$) en dicha resistencia de puesta a tierra.

10 El bus de corriente continua (1) dispone de un condensador (4) y un inversor de seis pulsos con unos transistores bipolares de puerta aislada (IGBTs) (5) que convierten la corriente continua en alterna. En el lado de corriente alterna (6) se sitúa una carga trifásica (por ejemplo, un motor) con sus impedancias de fase (7).

15 Como ya se ha comentado, en el ejemplo de instalación eléctrica AC/DC de la Figura 1, el punto medio de las baterías se ha conectado a un subsistema de puesta a tierra (8) con conexión a tierra (9).

20 El sistema de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna (6) de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua y corriente alterna objeto de la presente invención comprende un módulo de medida de tensiones (10) fase-neutro que está conectado a cada una de las tres fases y al punto neutro del lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica, para la medida de las tensiones de fase en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica. Así pues, el módulo de medida de tensiones (10) fase neutro está configurado para medir las tensiones de fase (U_{an} , U_{bn} y U_{cn}) en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica

30 El sistema de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna (6) de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua y corriente alterna objeto de la presente invención comprende un módulo de medida de frecuencias (11) conectado a al menos uno de los transistores bipolares de puerta aislada (IGBTs) (5) y configurado para medir la frecuencia

de conmutación (f_k) de los transistores así como la frecuencia fundamental (f_1) (frecuencia del primer armónico) de las corrientes y/o tensiones de fase en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica.

- 5 El sistema de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna (6) de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua y corriente alterna objeto de la presente invención comprende también un módulo de cálculo de fasores (12) conectado al subsistema de puesta a tierra (8), al módulo de medida de frecuencias (11) y al módulo de medida de tensiones (10) fase-neutro. El módulo de cálculo de fasores (12) está configurado para
- 10 calcular unos fasores de la tensión ($u_{gnd}(t)$) en el subsistema de puesta a tierra (8) y unos fasores de las tensiones fase-neutro (U_{an} , U_{bn} y U_{cn}) en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica, donde los fasores se calculan de la siguiente manera:

15

$$a_j = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^N u(n\Delta t) \cos\left(\frac{2\pi nj}{N}\right)$$

$$b_j = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^N u(n\Delta t) \sin\left(\frac{2\pi nj}{N}\right)$$

$$\hat{U}_j = \sqrt{a_j^2 + b_j^2}$$

$$\theta_j = \arctan \frac{b_j}{a_j}$$

20

Donde:

a_j : es la componente en filtro coseno de la onda para una frecuencia "j" determinada en una onda de tensión con valores instantáneos u .

- 25 b_j : es la componente en filtro seno de la onda para una frecuencia "j" determinada en una onda de tensión con valores instantáneos u .

N : es el número de muestras de la onda u .

n : es el número de muestra instantánea de la onda u .

\hat{U}_j : es la amplitud del fasor a frecuencia "j" de la onda u .

θ_j : es el ángulo del fasor a frecuencia "j" de la onda u .

de forma que se obtengan los fasores de tensión U_{gnd} en el subsistema de puesta a tierra (8)
5 para f_1 y f_k y los fasores de las tensiones fase-neutro U_{an} , U_{bn} y U_{cn} para f_1 , f_k , f_1 y f_k+f_1 .

El sistema de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna (6) de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua y corriente alterna objeto de la presente invención comprende también un módulo de determinación de fase con defecto a tierra (13)
10 conectado al módulo de cálculo de fasores (12) y configurado para determinar, en caso de existir una falta a tierra en el lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica, en cuál de las tres fases de la carga se ha producido la falta a tierra. El módulo de determinación de fase con defecto a tierra (13) está configurado para determinar que la fase con falta a tierra es aquella fase en la que se cumple:

15

$$\theta_{in} - \theta_{gnd} \cong 180^\circ$$

donde θ_{gnd} es el argumento del fasor de la tensión en el subsistema de puesta a tierra (8) y θ_{in} es el argumento del fasor de la tensión de la fase con falta a tierra en el lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica. La tensión de la fase con falta a tierra dispone de
20 una diferencia de fase igual o sustancialmente igual a 180° respecto a la tensión en el subsistema de puesta a tierra (8).

Una vez se sabe cuál es la fase con defecto a tierra se supone que las tensiones de fase-neutro no varían en caso de falta si el dispositivo de puesta a tierra es de alta impedancia
25 (aquella que limite la corriente de falta al menos hasta un máximo de 50 mA). Sin embargo, la fase en falta queda dividida en dos tensiones, aguas arriba de la falta y aguas debajo de la falta de forma que:

$$\underline{U}_{in} = \underline{U}'_{in} + \underline{U}''_{in}$$

donde:

30

U_{in}' : es la tensión desde el terminal del inversor hasta el punto de falta de la fase en falta, o $x \cdot U_{in}$.

U_{in}'' : es la tensión desde el punto de falta hasta el punto neutro de la fase en falta, o $(1-x) \cdot U_{in}$.

5

Aplicando la segunda ley de Kirchoff al circuito de falta (aquel circuito que encierra la corriente de falta) se tiene que:

$$\underline{U}_{in} = \underline{U}_{in}' + \underline{U}_f + \underline{U}_{gnd}$$

10 Con U_f siendo la caída de tensión en la resistencia de falta, que se relaciona con U_{gnd} mediante la corriente de falta, que es la misma en ambas resistencias:

$$I_f = \frac{U_f}{R_f} = -\frac{U_{gnd}}{R_{gnd}}$$

De estas dos expresiones y sabiendo que U_{in} está en contrafase con U_{gnd} , se obtiene que:

15

$$xU_{in} = \left(1 + \frac{R_f}{R_{gnd}}\right) \cdot U_{gnd}$$

Donde x es la posición de falta indicada en tanto por uno, donde 1 corresponde con terminales del inversor y 0 con el punto neutro de la carga.

20

O despejando R_f , se obtiene que:

$$R_f = R_{gnd} \left(\frac{xU_{in}}{U_{gnd}} - 1 \right)$$

25 Así pues, el sistema de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna (6) de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua y corriente alterna objeto de la presente invención comprende también un módulo de cálculo de la resistencia de falta a tierra

(14) conectado al módulo de determinación de fase con defecto a tierra (13). El módulo de cálculo de la resistencia de falta a tierra (14) está configurado para determinar la resistencia de falta a tierra, R_f .

5 Para el cálculo de la resistencia de defecto o resistencia de falta a tierra, R_f , se aplican los fasores correspondientes a la frecuencia de conmutación, donde la posición del defecto no influye en el circuito de falta ya que se trata de una componente de secuencia cero, pero sí que lo hace R_f , que atenúa la señal de U_{gnd} ya que esta resistencia hace de divisor de tensión con el subsistema de puesta a tierra (8). Comparando la componente de conmutación de U_{in}
 10 y la de U_{gnd} , se puede ver cuánto se ha atenuado dicha componente debido al efecto de R_f . Sin embargo, U_{in} no tiene armónico de conmutación fase-neutro porque se anula con los disparos del resto de ramas. El resultado de la convolución de las frecuencias $f_k - f_1$ y $f_k + f_1$ según el teorema de Leblanc hacen posible dicho cálculo, de tal forma que se obtiene la expresión:

$$R_f = R_{gnd} \cdot \left[\frac{2 \cdot (U_{in(f_k - f_1)} + U_{in(f_k + f_1)})}{U_{gnd(f_k)}} - 1 \right]$$

15 donde:

R_f : es el valor de la resistencia de falta a tierra;

R_{gnd} : es el valor de la resistencia de puesta a tierra;

U_{gnd} : es el valor del fasor de tensión de puesta a tierra, a la frecuencia de conmutación del inversor (subíndice f_k);

20 U_{in} : es la tensión de la fase en falta donde el subíndice $f_k - f_1$ y $f_k + f_1$ indica las frecuencias de los fasores a aplicar.

El sistema de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna (6) de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua y corriente alterna objeto de la presente
 25 invención comprende también un módulo de cálculo de la posición de falta a tierra (15) conectado al módulo de cálculo de la resistencia de falta a tierra (14). El módulo de cálculo de la posición de falta a tierra (15) está configurado para determinar la posición en donde se ha producido la falta a tierra, dentro de la fase en falta.

30 Para el cálculo de la posición de falta a tierra dentro de la fase en falta, se aplica la ecuación:

$$x = \left(1 + \frac{R_f}{R_{gnd}} \right) \cdot \frac{U_{gnd}(f_1)}{U_{in}(f_1)}$$

con fasores de primer armónico para su estimación.

- 5 Por último, el sistema de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna (6) de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua y corriente alterna objeto de la presente invención comprende también un módulo de emisión de alarma (16) conectado al módulo de cálculo de la posición de falta a tierra (15). El módulo de emisión de alarma (16) está configurado para enviar al menos la información de la fase con defecto o falta a tierra, la
- 10 resistencia de falta, R_f , y la posición de la falta, x , dentro de la fase con falta a tierra, a dispositivos ajenos a la invención encargados de proteger y monitorizar la instalación eléctrica DC/AC.

- La Figura 2 muestra un diagrama de bloques con las fases o etapas de una posible forma de
- 15 realización del método de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna (6) de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua y corriente alterna.

- Así pues, el método de localización de faltas a tierra propuesto para una posible realización de la invención consta de una primera etapa de medida de tensiones y frecuencias (17), para
- 20 la medida de tensiones entre los terminales del subsistema de puesta a tierra (8) y la medida de tensiones fase-neutro de cada fase del lado de corriente alterna (AC) (6), para la obtención de las tensiones fase-neutro ($u_{an}(t)$, $u_{bn}(t)$ y $u_{cn}(t)$) en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica y la caída de tensión ($u_{gnd}(t)$) en el subsistema de puesta a tierra (8) de la instalación eléctrica, así como para la medida de la
- 25 frecuencia de conmutación, f_k , de los transistores bipolares de puerta aislada (IGBTs) (5) del inversor, y la medida de la frecuencia fundamental o de primer armónico, f_1 , en las corrientes y tensiones en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica.

- 30 Si la medida de tensión, $u_{gnd}(t)$, en el subsistema de puesta a tierra (8) es mayor que un valor umbral predeterminado, se inicia el proceso de localización de la falta a tierra.

Una vez iniciado el proceso de localización de la falta a tierra, se procede a una segunda etapa de obtención de fasores (18) en donde se estiman los fasores complejos correspondientes a la caída de tensión, $u_{gnd}(t)$, en el subsistema de puesta a tierra (8) y a las tensiones fase-neutro ($u_{an}(t)$, $u_{bn}(t)$ y $u_{cn}(t)$) en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica. En esta etapa, se calculan los fasores de tensión U_{gnd} , U_{an} , U_{bn} y U_{cn} para las distintas frecuencias, f_1 , f_k-f_1 , f_k y f_k+f_1 .

Tras la etapa de obtención de fasores (18), se pasa a una etapa de distinción de fase con falta a tierra (19), donde la fase con falta tendrá una diferencia angular de alrededor de 180° eléctricos entre fasor fase-neutro y el fasor propio del subsistema de puesta a tierra (8).

Tras las etapa de distinción de fase con falta a tierra (19) y una vez se sabe cuál es la fase con falta a tierra, se pasa a una etapa de obtención de la resistencia de falta a tierra (20). Se utilizan los valores de $U_{in}(f_k-f_1)$ y $U_{in}(f_k+f_1)$ en conjunto con el de $U_{gnd}(f_k)$ para estimar la resistencia de falta, R_f .

Tras la etapa de obtención de la resistencia de falta a tierra (20), se pasa a una etapa de cálculo de la posición de la falta a tierra (21). Con el valor de R_f , se estima la posición de falta utilizando los fasores a frecuencia fundamental, f_1 , de la tensión fase-neutro de la fase en falta y con U_{gnd} .

Finalmente, tras la etapa de cálculo de la posición de la falta a tierra (21), se pasa a una etapa de emisión de alarma (22). En esta etapa, se envía una alarma a dispositivos de seguridad y/o protección de la instalación eléctrica, ajenos a la invención, donde dicha alarma comprende al menos la información de la fase en falta, de la resistencia de falta, R_f , y de la posición, x , de la falta a tierra dentro de la fase en falta.

Finalmente, la Figura 3a, la Figura 3b y la Figura 3c muestran un ejemplo numérico experimental de una falta a tierra en un sistema DC/AC de 140 kW. En este sistema se pone en el punto medio del bus de corriente continua (1) un subsistema de puesta a tierra (8) con

una resistencia de puesta a tierra de $R_{gnd} = 4700 \Omega$ y se realiza una falta en terminales del inversor de la fase "a" ($x = 100\%$). En la parte superior, se muestran los registros temporales para 40 ms de las tensiones fase-neutro y U_{gnd} de dicho sistema. Una vez se llevan a cabo las etapas correspondientes se estipula que la fase con defecto es la fase "a" al estar a 180.72° respecto U_{gnd} . Realizando el cálculo de los fasores para el armónico fundamental (50 Hz) se tiene que $U_{an(50Hz)} = 126.407 \text{ V}$ y $U_{gnd(50Hz)} = 87.2083 \text{ V}$. Para las componentes convolutivas de la frecuencia de conmutación (5000 Hz) se tiene que $U_{an(4950Hz)} = 40.4459 \text{ V}$ y $U_{an(5050Hz)} = 37.2545 \text{ V}$ y $U_{gnd(5kHz)} = 106.209 \text{ V}$. Por lo tanto, la resistencia de falta es de:

$$R_f = R_{gnd} \cdot \left[\frac{2 \cdot (U_{an(4950Hz)} + U_{an(5050Hz)})}{U_{gnd(5kHz)}} - 1 \right] = 2176.85 [\Omega]$$

Y con dicho valor, la posición se estima como:

$$x = \left(1 + \frac{R_f}{R_{gnd}} \right) \cdot \frac{U_{gnd(50Hz)}}{U_{an(50Hz)}} = 1.0094$$

Los errores relativos resultantes de este ensayo son, por lo tanto, -5.35% para la estimación de R_f y 0.94% para la posición de la falta.

Las aplicaciones del sistema y el método de la invención se orientan preferentemente a instalaciones DC/AC como pueden ser los sistemas eléctricos de potencia instalados en coches eléctricos u otros accionamientos eléctricos que funcionan alimentados a partir de baterías u otras fuentes de corriente continua y que alberguen una etapa de inversión de corriente o en sistemas AC/DC/AC como por ejemplo aerogeneradores o accionamientos eléctricos de frecuencia variable conectados a la red mediante convertidor e inversor.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna (6) de una instalación eléctrica con conversión, entre corriente continua (DC) y corriente alterna (AC) mediante un inversor con transistores, donde el sistema comprende:
- un subsistema de puesta a tierra (8) configurado para conectarse a un punto de un bus de corriente continua (1) de la instalación eléctrica o a un punto del lado de corriente alterna (6) de la instalación eléctrica, donde el subsistema de puesta a tierra (8) comprende una resistencia de puesta a tierra y medios de medición de una caída de tensión ($u_{gnd}(t)$) en dicha resistencia de puesta a tierra, y;
 - un módulo de medida de tensiones (10) fase-neutro que está conectado a cada una de las tres fases y al punto neutro del lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica, para la medida de las tensiones de fase (U_{an} , U_{bn} y U_{cn}) en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica;
- donde el sistema de localización de faltas a tierra está **caracterizado** por que comprende:
- un módulo de medida de frecuencias (11) configurado para medir la frecuencia de conmutación (f_k) de al menos uno de los transistores del inversor y para medir la frecuencia fundamental (f_l) de las corrientes y/o tensiones de fase en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica;
 - un módulo de cálculo de fasores (12) conectado al subsistema de puesta a tierra (8), al módulo de medida de frecuencias (11) y al módulo de medida de tensiones (10) fase-neutro donde el módulo de cálculo de fasores (12) está configurado para calcular unos fasores de la tensión ($u_{gnd}(t)$) en el subsistema de puesta a tierra (8) y unos fasores de las tensiones fase-neutro (U_{an} , U_{bn} y U_{cn}) en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica, donde los fasores se calculan de la siguiente manera:

$$a_j = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^N u(n\Delta t) \cos\left(\frac{2\pi nj}{N}\right)$$

$$b_j = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^N u(n\Delta t) \sin\left(\frac{2\pi nj}{N}\right)$$

$$\hat{U}_j = \sqrt{a_j^2 + b_j^2}$$

$$\theta_j = \arctan \frac{b_j}{a_j}$$

5

donde:

a_j : es la componente en filtro coseno de la onda para una frecuencia "j" determinada en una onda de tensión con valores instantáneos u ;

10

b_j : es la componente en filtro seno de la onda para una frecuencia "j" determinada en una onda de tensión con valores instantáneos u ;

N : es el número de muestras de la onda de tensión u ;

n : es el número de muestra instantánea de la onda de tensión u ;

\hat{U}_j : es la amplitud del fasor a frecuencia "j" de la onda de tensión u ;

15

θ_j : es el ángulo del fasor a frecuencia "j" de la onda de tensión u ;

de forma que se obtengan los fasores de tensión U_{gnd} en el subsistema de puesta a tierra (8) para f_l y f_k y los fasores de las tensiones fase-neutro U_{an} , U_{bn} y U_{cn} para f_l , f_k-f_l y f_k+f_l ;

20

- un módulo de determinación de fase con defecto a tierra (13) conectado al módulo de cálculo de fasores (12), donde si la caída de tensión ($u_{gnd}(t)$) en el subsistema de puesta a tierra (8) de la instalación eléctrica supera un valor umbral predeterminado, el módulo de determinación de fase con defecto a tierra (13) está configurado para determinar que la fase con falta a tierra es aquella fase en la que se cumple:

25

$$\theta_{in} - \theta_{gnd} \cong 180^\circ$$

donde θ_{gnd} es el argumento del fasor de la tensión en el subsistema de puesta a tierra (8) y θ_{in} es el argumento del fasor de la tensión de la fase con falta a tierra en el lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica, donde la tensión de la fase con falta a tierra dispone de una diferencia de fase igual o sustancialmente igual a 180° respecto a la tensión en el subsistema de puesta a tierra (8);

5

- un módulo de cálculo de la resistencia de falta a tierra (14) conectado al módulo de determinación de fase con defecto a tierra (13), donde el módulo de cálculo de la resistencia de falta a tierra (14) está configurado para determinar la resistencia de falta a tierra, R_f , mediante:

10

$$R_f = R_{gnd} \cdot \left[\frac{2 \cdot (U_{in(f_k - f_1)} + U_{in(f_k + f_1)})}{U_{gnd(f_k)}} - 1 \right]$$

donde:

15

R_f : es el valor de la resistencia de falta a tierra;

R_{gnd} : es el valor de la resistencia del subsistema de puesta a tierra (8);

U_{gnd} : es el valor del fasor de tensión en el subsistema de puesta a tierra (8), a la frecuencia de conmutación del inversor (f_k);

20

U_{in} : es la tensión de la fase en falta donde el subíndice $f_k - f_1$ y $f_k + f_1$ indica las frecuencias de los fasores a aplicar, y;

- un módulo de cálculo de la posición de falta a tierra (15) conectado al módulo de cálculo de la resistencia de falta a tierra (14), donde el módulo de cálculo de la posición de falta a tierra (15) está configurado para determinar la posición en donde se ha producido la falta a tierra, dentro de la fase en falta, mediante:

25

$$x = \left(1 + \frac{R_f}{R_{gnd}} \right) \cdot \frac{U_{gnd(f_1)}}{U_{in(f_1)}}$$

con fasores de frecuencia fundamental para su determinación, donde x es la posición de falta indicada en tanto por uno, donde 1 corresponde con terminales del inversor y 0 con el punto neutro de la carga.

- 5 2. Sistema de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna (6) de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua (DC) y corriente alterna (AC) según la reivindicación 1, **caracterizado** por que comprende un módulo de emisión de alarma (16) conectado al módulo de cálculo de la posición de falta a tierra (15), donde el módulo de emisión de alarma (16) está configurado para generar una
- 10 señal de alarma que comprende información acerca de la fase con falta a tierra, la resistencia de falta, R_f , y la posición de la falta, x , dentro de la fase con falta a tierra.
3. Sistema de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna (6) de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua (DC) y corriente alterna
- 15 (AC) según la reivindicación 2, **caracterizado** por que el módulo de emisión de alarma (16) está configurado para enviar la señal de alarma a un dispositivo de monitorización y/o de protección, para la monitorización y/o para la activación de mecanismos de protección de la instalación eléctrica por parte de dicho dispositivo.
- 20 4. Método de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna (6) de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua (DC) y corriente alterna (AC) mediante un inversor con transistores, **caracterizado** por que comprende:
-
- 25 una etapa de medida de tensiones y frecuencias (17) para la medida de tensiones en un subsistema de puesta a tierra (8) conectado a un bus de corriente continua (1) de la instalación eléctrica o a un lado de corriente alterna (6) de la instalación eléctrica, para la medida de las tensiones fase-neutro ($u_{an}(t)$, $u_{bn}(t)$ y $u_{cn}(t)$) en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica y para la medida de la caída de tensión ($u_{gnd}(t)$) en el subsistema de
- 30 puesta a tierra (8) de la instalación eléctrica, así como para la medida de la frecuencia de conmutación, f_k , de los transistores del inversor, y la medida de la frecuencia fundamental, f_s , en las corrientes y tensiones en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica, donde si la medida de tensión, $u_{gnd}(t)$, en el subsistema de puesta a tierra (8) es mayor que
- 35 un valor umbral predeterminado, el método comprende;

- una etapa de obtención de fasores (18), en donde se estiman los fasores complejos correspondientes a la caída de tensión, $u_{gnd}(t)$, en el subsistema de puesta a tierra (8) y a las tensiones fase-neutro ($u_{an}(t)$, $u_{bn}(t)$ y $u_{cn}(t)$) en cada una de las tres fases del lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica, donde los fasores se calculan de la siguiente manera:

5

10

$$a_j = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^N u(n\Delta t) \cos\left(\frac{2\pi nj}{N}\right)$$

$$b_j = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^N u(n\Delta t) \sin\left(\frac{2\pi nj}{N}\right)$$

$$\hat{U}_j = \sqrt{a_j^2 + b_j^2}$$

$$\theta_j = \arctan \frac{b_j}{a_j}$$

donde:

15

a_j : es la componente en filtro coseno de la onda para una frecuencia “j” determinada en una onda de tensión con valores instantáneos u ;

b_j : es la componente en filtro seno de la onda para una frecuencia “j” determinada en una onda de tensión con valores instantáneos u ;

N : es el número de muestras de la onda de tensión u ;

20

n : es el número de muestra instantánea de la onda de tensión u ;

\hat{U}_j : es la amplitud del fasor a frecuencia “j” de la onda de tensión u ;

θ_j : es el ángulo del fasor a frecuencia “j” de la onda de tensión u ;

25

de forma que se obtengan los fasores de tensión U_{gnd} en el subsistema de puesta a tierra (8) para f_l y f_k y los fasores de las tensiones fase-neutro U_{an} , U_{bn} y U_{cn} para f_l , $f_k - f_l$ y $f_k + f_l$;

- una etapa de distinción de fase con falta a tierra (19), donde se determina la fase con falta a tierra como aquella fase en la que se cumple:

$$\theta_{in} - \theta_{gnd} \cong 180^\circ$$

5 donde θ_{gnd} es el argumento del fasor de la tensión en el subsistema de puesta a tierra (8) y θ_{in} es el argumento del fasor de la tensión de la fase con falta a tierra en el lado de corriente alterna (AC) (6) de la instalación eléctrica, donde la tensión de la fase con falta a tierra dispone de una diferencia de fase igual o sustancialmente igual a 180° respecto a la tensión en el subsistema de puesta a tierra (8);

10

- una etapa de obtención de la resistencia de falta a tierra (20), donde se determina la resistencia de falta a tierra, R_f , mediante:

$$R_f = R_{gnd} \cdot \left[\frac{2 \cdot (U_{in(f_k - f_1)} + U_{in(f_k + f_1)})}{U_{gnd(f_k)}} - 1 \right]$$

15

donde:

R_f : es el valor de la resistencia de falta a tierra;

R_{gnd} : es el valor de la resistencia del subsistema de puesta a tierra (8);

20

U_{gnd} : es el valor del fasor de tensión en el subsistema de puesta a tierra (8), a la frecuencia de conmutación del inversor (f_k);

U_{in} : es la tensión de la fase en falta donde el subíndice $f_k - f_1$ y $f_k + f_1$ indica las frecuencias de los fasores a aplicar, y;

25

- una etapa de cálculo de la posición de la falta a tierra (21), donde se determina la posición en donde se ha producido la falta a tierra, dentro de la fase en falta, mediante:

$$x = \left(1 + \frac{R_f}{R_{gnd}} \right) \cdot \frac{U_{gnd(f_1)}}{U_{in(f_1)}}$$

con fasores de frecuencia fundamental para su determinación, donde x es la posición de falta indicada en tanto por uno, donde 1 corresponde con terminales del inversor y 0 con el punto neutro de la carga.

5

5. Método de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna (6) de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua (DC) y corriente alterna (AC) según la reivindicación 4, **caracterizado** por que comprende una etapa de emisión de alarma (22), en donde se genera una señal de alarma que comprende información acerca de la fase con falta a tierra, la resistencia de falta, R_f , y la posición de la falta, x , dentro de la fase con falta a tierra.

10

6. Método de localización de faltas a tierra en el lado de corriente alterna (6) de una instalación eléctrica con conversión entre corriente continua (DC) y corriente alterna (AC) según la reivindicación 5, **caracterizado** por que comprende enviar la señal de alarma a un dispositivo de monitorización y/o de protección, para la monitorización y/o para la activación de mecanismos de protección de la instalación eléctrica por parte de dicho dispositivo.

15

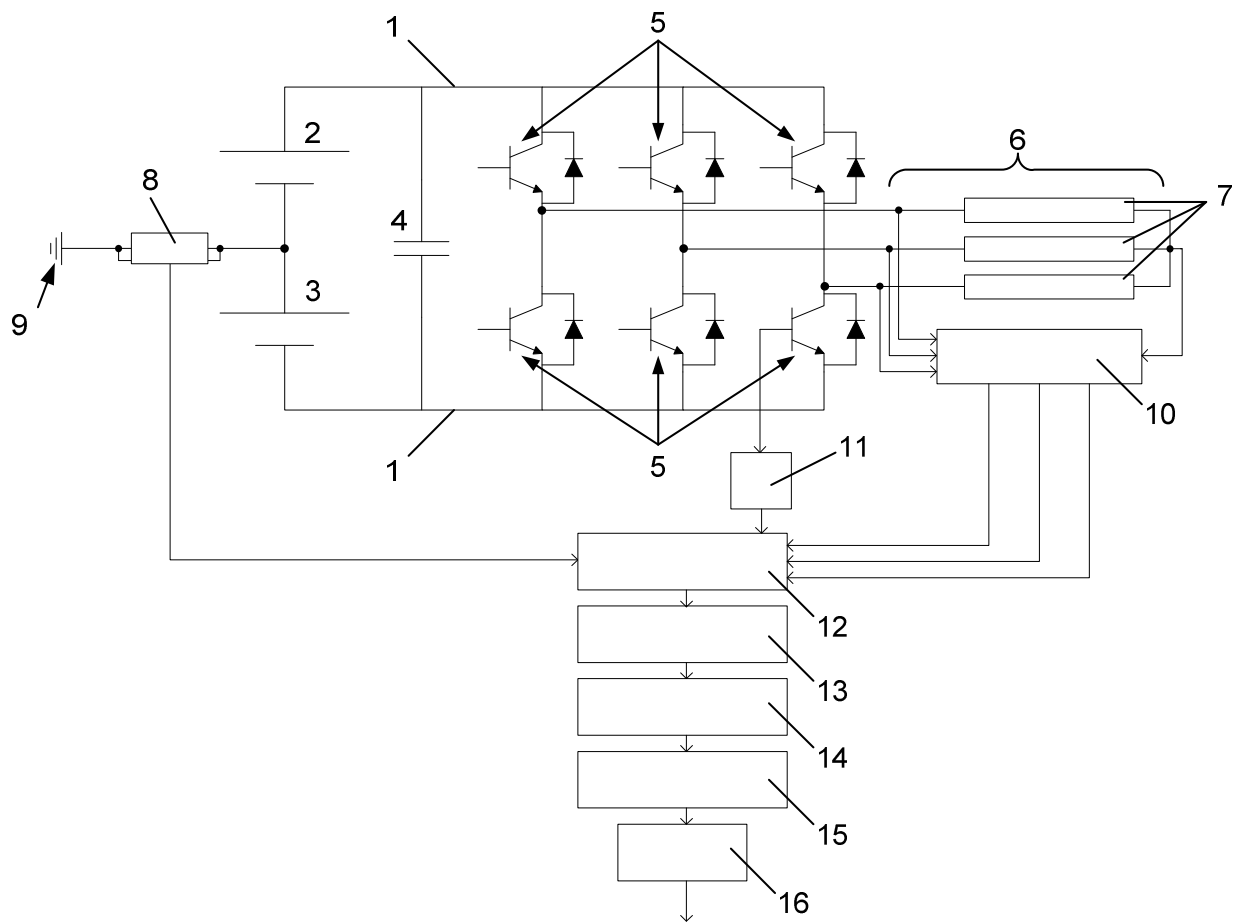


FIG. 1

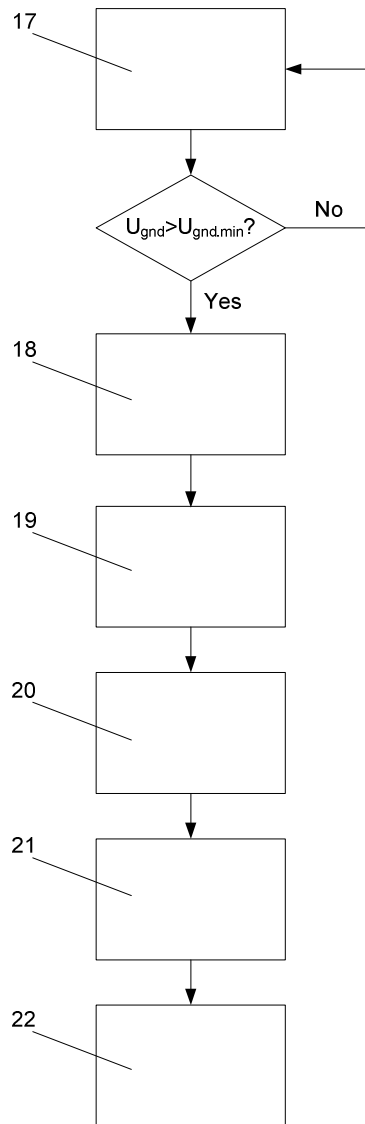


FIG. 2

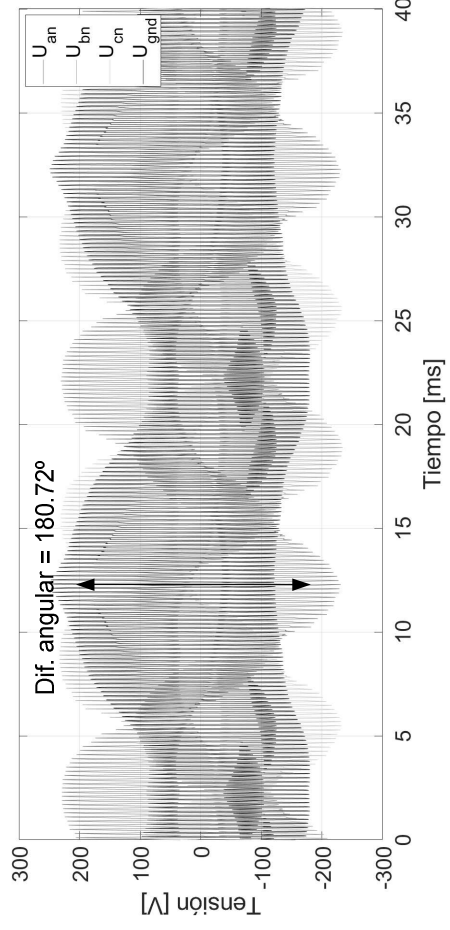


FIG. 3a

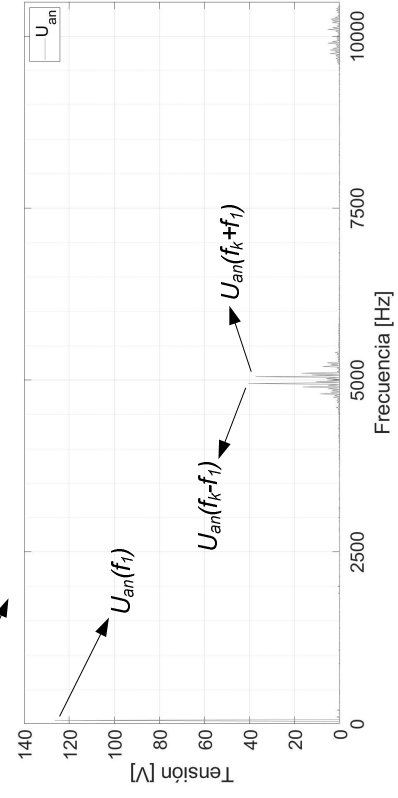


FIG. 3c

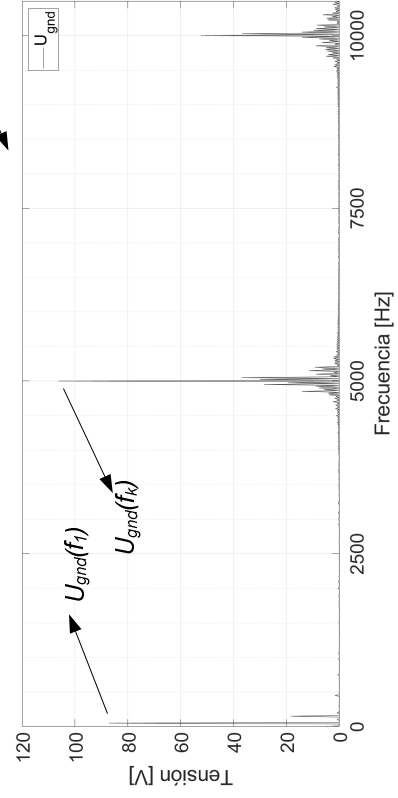


FIG. 3b