

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 798 348**

21 Número de solicitud: 202030579

51 Int. Cl.:

**G01R 31/08** (2010.01)

**H02H 3/32** (2006.01)

**G01R 31/52** (2010.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

**15.06.2020**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**10.12.2020**

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

**16.06.2021**

Fecha de concesión:

**29.07.2021**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**05.08.2021**

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  
PLATERO GAONA, Carlos Antonio**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

54 Título: **MÉTODO Y SISTEMA DE DETECCIÓN DE FALTAS A TIERRA EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS CON CONVERSIÓN ENTRE CORRIENTE CONTINUA Y CORRIENTE ALTERNA**

57 Resumen:

Método y sistema de detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente continua y corriente alterna, basados en la medida de tensión o en la medida de corriente, de un dispositivo de puesta a tierra conectable entre un punto neutro del transformador de alimentación y tierra o entre un neutro artificial y tierra, que permite detectar faltas a tierra, discriminando si la falta está en corriente continua o corriente alterna.

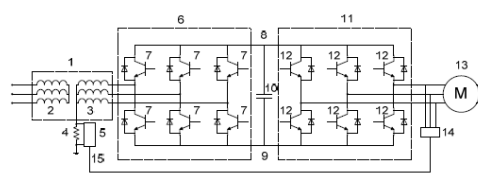


Fig. 1

ES 2 798 348 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 detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente continua y corriente alterna

5

### Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un sistema y método de la detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas de conversión entre corriente alterna y corriente continua capaz de detectar este tipo de defecto estando en cualquier punto del circuito eléctrico, con este en funcionamiento.

10

El sistema y método de detección de faltas a tierra según la presente invención es de utilidad en instalaciones eléctricas conectadas a una red eléctrica por medio de un transformador que disponga en el secundario de conexión para el neutro, o en su defecto, se disponga de un neutro artificial. La presente invención tiene aplicación, por ejemplo y sin carácter limitativo, en el sector de los accionamientos de velocidad variable, las energías renovables en tecnología eólica o solar fotovoltaica entre otras.

15

### Antecedentes de la invención

20

Todo sistema eléctrico instalado ha de ser protegido tanto para garantizar la seguridad de las personas como para asegurar el correcto funcionamiento de las instalaciones y evitar daños que puedan producir posibles faltas debidas a numerosos factores.

25

Entre las posibles faltas, las más comunes son las faltas a tierra, que se pueden dar por ejemplo por defectos en el aislamiento por envejecimiento o altas temperaturas de operación, cables sin aislamiento en contacto con superficies a potencial de tierra, etc... Estas faltas a tierra por sí solas pueden no producir daños significativos en caso de que el defecto esté limitado o se trate de sistemas con neutro aislado donde el circuito de retorno está abierto o las capacidades a tierra que lo permiten son pequeñas y limitan considerablemente la corriente de retorno por tierra. Sin embargo, una segunda falta a tierra puede cerrar el circuito con baja impedancia, produciéndose una alta corriente que podría dañar a equipos y personas.

30

En el campo del diagnóstico y la protección de defectos eléctricos, la detección de faltas a tierra es un campo con numerosas invenciones ya diseñadas. Aunque la mayoría de estos dispositivos están configurados para detectar únicamente en corriente continua o corriente alterna.

35

La creciente introducción de electrónica de potencia en los sistemas eléctricos con el objetivo de controlar distintos accionamientos eléctricos hace que los sistemas ahora tengan una parte importante de redes híbridas en cuanto a combinación de corriente alterna (AC) y corriente continua (DC) se refiere. Por lo que, los elementos de protección han de ser numerosos si estos solo son capaces de detectar en ciertas partes del sistema donde la corriente sea únicamente AC o DC.

40

45

En los sistemas de detección de faltas a tierra ya conocidos es habitual disponer de los siguientes medios:

50

- Detección por inyección de corriente alterna de una frecuencia distinta a la de operación entre un punto de la instalación eléctrica y tierra que da lectura de dicha corriente si existe una derivación a tierra. Este sistema es válido para sistemas de corriente continua y alterna.

- Detección por inyección de corriente continua en la instalación eléctrica que da lectura de dicha corriente si existe una derivación a tierra. Es válido para sistemas en corriente alterna perdiendo eficacia en sistemas de corriente continua.

5 Además, se pueden considerar las siguientes invenciones como sistemas más actuales de protecciones y detección de faltas a tierra:

US6992490 B2 (31.01.2006) Honda Motor Co., Ltd. (100%), GROUND FAULT DETECTION DEVICE.

10 US6927955 B2 (09.08.2005) Canon Kabushiki Kaisha (100%), APPARATUS AND METHOD OF DETECTING GROUND FAULTS IN POWER CONVERSION SYSTEM.

15 EP2856591 B1 (19.04.2017) Li, Huagiang, SYSTEM AND METHOD FOR HIGH RESISTANCE GROUND FAULT DETECTION AND PROTECTION IN POWER DISTRIBUTION SYSTEMS.

20 En la primera de las invenciones mencionadas (US6992490 B2), el aparato es capaz de detectar faltas en corriente continua con el sistema de detección en la zona de corriente continua mediante la lectura en resistencias puestas en serie con los IGBTs de los convertidores. Sin embargo, la invención no contempla la detección de faltas en corriente alterna.

25 Una segunda invención a tener en cuenta (US6927955 B2) es un detector de faltas a tierra en corriente continua que mediante la inyección de corriente alterna con un interruptor conmutador y la lectura de la onda en ambos polos del lado de corriente continua permite distinguir si el fallo está en el polo positivo o en el polo negativo del bus de corriente continua de un convertidor.

30 Finalmente, en la última invención (EP2856591 B1) un sistema de posicionamiento a tierra en la fuente de corriente alterna de un lado de corriente alterna está planteado. Sin embargo, el sistema únicamente detecta fallos en el accionamiento eléctrico que se sitúa en el lado opuesto convertidor. En esta invención, se registran las corrientes de fase y por tierra, así como la tensión en el bus de corriente continua o la velocidad del accionamiento entre otros, lo que implica bastante instrumentación de medida.

35 Asimismo, es conveniente desarrollar nuevos sistemas y métodos de detección de faltas a tierra, capaces de detectar en que zona del sistema se encuentra la falta en cuestión (corriente alterna o corriente continua), puesto que eso agilizaría las tareas de reparación y/o mantenimiento. Además, sería ventajoso que dichos sistemas y métodos de detección fuesen capaces de detectar las faltas a tierra utilizando únicamente mediciones de tensión o corriente, puesto que esto reduciría de forma considerable su coste de fabricación y/o implantación y mejoraría su modularidad.

45 Algunos de esos métodos se ven reflejados en el estado de la técnica en las siguientes patentes.

ES2716482 A1 (18.12.2018) Platero Gaona, Carlos Antonio, SISTEMA Y MÉTODO DE DETECCIÓN DE FALTAS A TIERRA O CONTRA EL CHASIS EN SISTEMAS DE CORRIENTE CONTINUA CON INVERSORES ALIMENTADOS A PARTIR DE BATERÍAS.

50

ES27/36412 At (07.10.2019) Platero Gaona, Carlos Antonio y Guerrero Granados, Jose Manuel, SISTEMA Y MÉTODO DE LOCALIZACIÓN DE FALTAS A TIERRA EN CORRIENTE ALTERNA EN SISTEMAS DE CORRIENTE CONTINUA CON INVERSORES.

5 En la primera invención se valora la conexión del punto medio de un bus de corriente continua a tierra mediante una resistencia de puesta a tierra para distintos accionamientos eléctricos. Este sistema es apto para detectar faltas a tierra en sistemas aislados donde la alimentación se hace en corriente continua no siendo así en sistemas con alimentación desde una red de corriente alterna con rectificador previo.

10 En la segunda invención, "*Sistema y método de localización de faltas a tierra en corriente alterna en sistemas de corriente continua con inversores*", el sistema se refiere a la localización de faltas en el lado de corriente alterna controlado, dado que necesita ondas pulsadas de tensión en un dispositivo de puesta a tierra para proceder a la estimación de la falta en porcentaje de impedancia equivalente del lado de frecuencia variable. Este sistema es solo  
15 válido para circuitos controlados no siendo así eficaz para la localización de faltas en corriente continua o en corriente alterna del lado de red.

Por esto, la principal ventaja proporcionada por la presente invención es la posibilidad de  
20 distinguir, mediante un solo elemento pasivo puesto a tierra en el secundario de un transformador del sistema de alimentación al convertidor o neutro artificial en el que se acopla un sistema detector de falla, que existe una falta a tierra en cualquier punto de la instalación y que además es capaz de distinguir entre zonas de corriente continua, o alterna y el tramo en el que está, reduciendo considerablemente el tiempo de mantenimiento frente a este tipo de faltas  
25 así como la instrumentación necesaria para la detección del defecto.

### **Descripción de la invención**

En una realización de la invención, esta pretende abordar todas las limitaciones, desventajas e  
30 inconvenientes de los sistemas y métodos comentados en el estado de la técnica anterior.

Por ello, el método y el sistema de detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente continua y corriente alterna aquí descritos están configurados para medir tensión/corriente en un punto neutro de la zona de alimentación de las instalaciones  
35 eléctricas o en su defecto, medir en un neutro artificial entre la instalación eléctrica y tierra. De esta forma, el método/dispositivo de la presente invención detecta la corriente de defecto/falta cuando esta se produce. Adicionalmente después se realiza el correspondiente tratamiento para la emisión de la señal final informativa sobre falta a tierra si hubiere. La presente invención es aplicable a conversión de corriente alterna a corriente continua y viceversa.

40 Para la detección de faltas a tierra en sistemas donde hay varias etapas de transformación de energía eléctrica como pueden ser rectificadores para pasar de corriente alterna a corriente continua, o inversores para convertir la corriente continua a corriente alterna, la invención contempla tener al menos un transformador de alimentación principal al circuito con neutro  
45 accesible o en su defecto un neutro artificial en terminales del secundario de un transformador del lado de red.

En cualquier caso, un dispositivo de puesta a tierra será emplazado entre el neutro (potencial nulo del circuito) del sistema y tierra. En caso de defecto en cualquier punto del sistema, ya sea  
50 corriente alterna o corriente continua, una corriente de defecto circulará por el conductor en falta y retornará por la red de tierras hasta el dispositivo de detección de puesta a tierra.

Para detectar la corriente de defecto en el dispositivo de puesta a tierra se pueden contemplar al menos dos realizaciones de la invención, ya sea midiendo la corriente circulante a través del dispositivo, o corriente de defecto, o la tensión entre sus terminales.

5 La presente invención pretende entonces abordar y mejorar las prestaciones de otras invenciones en el estado de la técnica presentes. La principal mejora que aporta este sistema de detección de faltas a tierra en sistemas eléctricos es la necesidad de pocos instrumentos de medida para la detección de faltas en un sistema eléctrico con amplias transformaciones y deformaciones en sus ondas de tensión y corriente. Además de detectar faltas adicionalmente  
10 hasta el punto de inyección de potencia a red.

Para llevar a cabo lo anterior, la presente invención divulga en un primer aspecto de la invención, un método de detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente alterna y corriente continua, y en un segundo aspecto de la invención, un sistema de detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente alterna y corriente continua que está configurado para llevar a cabo el método del primer aspecto de la invención.  
15

Por tanto, en un primer aspecto de la presente invención, se divulga un método de detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente alterna y corriente continua. El método de la presente invención comprende las siguientes etapas:  
20

a) medir una señal seleccionada entre una tensión entre terminales de un dispositivo de puesta a tierra conectable entre un neutro y una tierra, y una corriente circulante a través del dispositivo de puesta a tierra;  
25

b) calcular unos armónicos de la señal previamente medida;

c) calcular unas amplitudes de la señal previamente medida a las siguientes frecuencias fundamentales para cada uno de los armónicos:  
30

- o frecuencia cero,  $f_0$ , para corriente continua;
- o frecuencia de red,  $f_1$ , para una alimentación con corriente alterna;
- o frecuencia variable,  $f_1^3$ , de corriente alterna en un lado controlado;

d) comparar las amplitudes de cada frecuencia con unos valores predeterminados de ajustes de disparo para corriente continua, corriente alterna de red y corriente alterna en el lado controlado;  
35

e) calcular una polaridad de falta en caso de que la amplitud para frecuencia cero (corriente continua) supere el valor predeterminado; y  
40

f) emitir una señal de falta a tierra, cuando se cumpla al menos una de las siguientes condiciones:  
45

- o la amplitud para frecuencia cero (corriente continua) supere el valor predeterminado;
- o la amplitud para frecuencia de red (corriente alterna) supere el valor predeterminado; y,
- o la amplitud para frecuencia variable (corriente alterna en lado controlado) supere el valor predeterminado.

50

En una forma de realización, la etapa de calcular los armónicos se lleva a cabo mediante la Transformada Rápida de Fourier FFT a la señal de tensión medida de la siguiente forma:

$$A_{Uk,j} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=1}^N u_{gnd,j}(n) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot n}{N}\right)$$

$$B_{Uk,j} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=1}^N u_{gnd,j}(n) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot n}{N}\right)$$

$$U_{k,j} = \sqrt{A_{Uk,j}^2 + B_{Uk,j}^2}$$

5 donde:

j: es la zona de operación del sistema atendiendo a la frecuencia de la onda;

10 k: es el armónico a evaluar atendiendo a la zona de operación siendo estos múltiplos y submúltiplos de la frecuencia fundamental de la zona en cuestión; en caso de corriente continua este valor es 0 y el valor de amplitud de onda se obtiene de hacer la media aritmética de los valores muestreados, pudiendo también obtener el valor eficaz de la misma;

15 N: es el número de muestras por periodo de onda;

n: es el número de muestra a evaluar comprendido entre 0 y el número de muestras por periodo de onda;

20  $U_{gnd,j}$ : es el valor instantáneo de la tensión entre terminales de al menos un dispositivo de puesta a tierra proveniente de un defecto en la zona j;

$A_{Uk,j}$ : es el valor del filtro coseno aplicado para la transformada rápida de Fourier en la onda de tensión para el armónico k de la zona j;

25  $B_{Uk,j}$ : es el valor del filtro seno aplicado para la transformada rápida de Fourier en la onda de tensión para el armónico k de la zona j;

30  $U_{k,j}$ : es el valor en amplitud, o valor eficaz si queda atenuado por un factor de 1.4142, de la onda de tensión registrada en terminales de al menos un dispositivo de puesta a tierra para el armónico k de la zona j en caso de corriente continua el valor se obtendrá como la media aritmética de los valores instantáneos registrados de tensión.

35 En caso de que la señal medida sea una señal de corriente, la etapa de calcular los armónicos se lleva a cabo mediante la Transformada Rápida de Fourier FFT a la señal de corriente medida de la siguiente forma:

$$A_{Ik,j} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=1}^N i_j(n) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot n}{N}\right)$$

$$B_{Ik,j} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=1}^N i_j(n) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot n}{N}\right)$$

$$I_{k,j} = \sqrt{A_{Ik,j}^2 + B_{Ik,j}^2}$$

donde:

j: es la zona de operación del sistema atendiendo a la frecuencia de la onda;

5 k: es el armónico a evaluar atendiendo a la zona de operación siendo estos múltiplos y submúltiplos de la frecuencia fundamental de la zona en cuestión; en caso de corriente continua este valor es 0 y el valor de amplitud de onda se obtiene de hacer la media aritmética de los valores muestreados, pudiendo también obtener el valor eficaz de la misma;

10 N: es el número de muestras por periodo de onda;

n: es el número de muestra a evaluar comprendido entre 0 y el número de muestras por periodo de onda;

15  $i_j$ : es el valor instantáneo de la corriente que circula entre terminales de al menos un dispositivo de puesta a tierra proveniente de un defecto en la zona j;

20  $A_{Ik,j}$ : es el valor del filtro coseno aplicado para la transformada rápida de Fourier en la onda de corriente para el armónico k de la zona j;

$B_{Ik,j}$ : es el valor del filtro seno aplicado para la transformada rápida de Fourier en la onda de corriente para el armónico k de la zona j;

25  $I_{k,j}$ : es el valor en amplitud, o valor eficaz si queda atenuado por un factor de 1.4142, de la onda de corriente registrada que circula a través del dispositivo de puesta a tierra para el armónico k de la zona j en caso de corriente continua el valor se obtendrá como la media aritmética de los valores instantáneos registrados de corriente.

30 Por su parte, la etapa de comparación evalúa las amplitudes de la frecuencia fundamental de cada zona con su valor de ajuste, del que si se sobrepasa se emite una señal de falta con al menos información de donde ha ocurrido la falta que puede ser:

35 - Lado de corriente alterna de red comprendido entre el neutro del transformador o en su defecto un neutro artificial y los terminales del convertidor-rectificador si la frecuencia fundamental es la de la red.

- Polo positivo del lado de corriente continua si se detecta una componente de corriente continua de signo contrario (negativo).

- Polo positivo del lado de corriente continua si se detecta una componente de corriente continua de signo contrario (negativo).
- Lado de corriente alterna del accionamiento controlado si la onda de corriente registrada muestra una frecuencia fundamental diferente a la de la red.

En el caso de que la comparación se realice con señales de tensión, la etapa de comparación y los valores predeterminados se pueden representar de la siguiente forma:

$$U_{1,j} > U_{disparo.AC}$$

$$U_{0,j} > U_{disparo.DC}$$

donde:

$U_{1,j}$ : es el valor de la tensión en terminales de al menos un dispositivo de puesta a tierra a frecuencia fundamental de una zona j;

$U_{0,j}$ : es el valor de la tensión en terminales de al menos un dispositivo de puesta a tierra en componente de corriente continua de una zona j de corriente continua;

$U_{disparo.AC}$ : es el valor de ajuste en tensión previamente definido para que el sistema de detección emita señal de falta en zonas de corriente alterna;

$U_{disparo.DC}$ : es el valor de ajuste en tensión previamente definido para que el sistema de detección emita señal de falta en zonas de corriente continua.

En el caso de que la comparación se realice con señales de corriente, la etapa de comparación y los valores predeterminados se pueden representar de la siguiente forma:

$$I_{1,j} > I_{disparo.AC}$$

$$I_{0,j} > I_{disparo.DC}$$

donde:

$I_{1,j}$ : es el valor de la corriente circulante por al menos un dispositivo de puesta a tierra a frecuencia fundamental de una zona j;

$I_{0,j}$ : es el valor de corriente circulante por al menos un dispositivo de puesta a tierra en componente de corriente continua de una zona j de corriente continua;

$I_{disparo.AC}$ : es el valor de ajuste en corriente previamente definido para que el sistema de detección emita señal de falta en zonas de corriente alterna;

$I_{disparo.DC}$ : es el valor de ajuste en corriente previamente definido para que el sistema de detección emita señal de falta en zonas de corriente continua.



En una forma de realización de la invención, el método comprende la etapa en la que se detecta la polaridad de la falta en corriente continua, esta falta puede ser detectada debido al signo del valor medio calculado en el paso anterior (ver los pasos descritos para el primer aspecto de la invención) como la media aritmética de los valores instantáneos registrados. Es decir, la etapa de calcular la polaridad de falta en caso de que la amplitud para frecuencia cero supere el valor predeterminado, se lleva a cabo mediante:

Falta en el polo positivo cumple que:

$$U_{0,j} - |U_{0,j}| = 2 \cdot U_{0,j}$$

Falta en el polo negativo cumple que:

$$U_{0,j} - |U_{0,j}| = 0$$

Adoptando el criterio de medida de tensión desde neutro a tierra. En caso contrario (desde tierra a neutro) las condiciones de igualdad planteadas anteriormente serían los casos contrarios, aclarando queda:

- falta en el polo positivo cumple que:

$$U_{0,j} - |U_{0,j}| = 0$$

- falta en el polo negativo cumple que:

$$U_{0,j} - |U_{0,j}| = 2 \cdot U_{0,j}$$

En caso de medida de corriente las condiciones para detección de polaridad quedarían tal que tomando el sentido de la corriente de defecto circulante de tierra a neutro:

- falta en el polo positivo cumple que:

$$I_{0,j} - |I_{0,j}| = 0$$

- falta en el polo negativo cumple que:

$$I_{0,j} - |I_{0,j}| = 2 \cdot I_{0,j}$$

y de neutro a tierra:

- falta en el polo positivo cumple que:

$$I_{0,j} - |I_{0,j}| = 2 \cdot I_{0,j}$$

- falta en el polo negativo cumple que:

$$I_{0,j} - |I_{0,j}| = 0$$

En un segundo aspecto de la invención se divulga un sistema de detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente alterna y corriente continua. El sistema de la presente invención comprende:

- un dispositivo de puesta a tierra conectable entre un neutro de una instalación eléctrica y tierra;
- un medidor de frecuencia (opcional) situado en un lado controlado donde se sitúa un variador/controlador de frecuencia variable/inversor y que genera una señal de corriente alterna en el lado controlado; y,
- un procesador.

El procesador está especialmente configurado para:

- medir una señal de tensión/corriente entre los extremos del dispositivo de puesta a tierra;
- calcular unos armónicos de la señal previamente medida aplicando la Transformada rápida de Fourier FFT; y para calcular unas amplitudes de la señal previamente medida a las siguientes frecuencias fundamentales para cada uno de los armónicos: frecuencia cero para corriente continua; frecuencia de red para una alimentación con corriente alterna; y, frecuencia variable de corriente alterna en un lado controlado;
- comparar las amplitudes de cada frecuencia con unos valores predeterminados de ajustes de disparo para corriente continua, corriente alterna de red y corriente alterna en el lado controlado (este último sólo si hay medidor de frecuencia); y,
- calcular una polaridad de falta en caso de que la amplitud para frecuencia cero supere el valor predeterminado; y, emitir una señal de falta a tierra, cuando se cumpla al menos una de las siguientes condiciones: la amplitud para frecuencia cero (corriente continua) supere el valor predeterminado, la amplitud para frecuencia de red (corriente alterna) supere el valor predeterminado, y la amplitud para frecuencia variable (corriente alterna en lado controlado y sólo si hay medidor de frecuencia) supere el valor predeterminado.

### 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:

La figura 1 muestra un convertidor con etapa de continua para el control de un accionamiento eléctrico alimentado desde la red con el dispositivo de detección implantado en el centro estrella del secundario de un transformador trifásico.

La figura 2 muestra el diagrama de bloques del sistema de detección de faltas a tierra de la presente invención.

La figura 3 se muestran las posibles faltas en el lado de red de corriente alterna, en los polos positivo o negativo del bus de corriente continua entre rectificador e inversor y en la zona de corriente alterna del accionamiento eléctrico mostrado en la figura 1.

La figura 4 muestra un ejemplo de registros de tensión en bornes del dispositivo de puesta a tierra obtenidos para cada uno de los tipos de fallos mostrados en la figura 3.

La figura 5 muestra el diagrama de flujo correspondiente al método de la presente invención.

### Referencias numéricas de las figuras

- (1) Transformador del lado de red;  
 (2) Primario del transformador del lado de red;  
 5 (3) Secundario del transformador del lado de red;  
 (4) Dispositivo de puesta a tierra;  
 (5) Dispositivo detector de faltas;  
 (6) Convertidor rectificador;  
 (7) IGBTs del convertidor rectificador;  
 10 (8) Polo positivo del bus de corriente continua;  
 (9) Polo negativo del bus de corriente continua;  
 (10) Condensador del bus de corriente continua;  
 (11) Convertidor inversor,  
 (12) IGBTs del convertidor inversor;  
 15 (13) Accionamiento eléctrico;  
 (14) Dispositivo medidor de frecuencia;  
 (15) Medida de frecuencia del lado controlado de corriente alterna;  
 (16) Medida de tensión en el dispositivo de puesta a tierra;  
 (17) Etapa de realización de FFT;  
 20 (18) Etapa de extracción de componente de corriente continua;  
 (19) Etapa de extracción de componente de frecuencia fundamental del lado de red;  
 (20) Etapa de ajuste del valor para el disparo por componente de corriente continua;  
 (21) Etapa de ajuste del valor para el disparo por componente de corriente alterna;  
 (22) Etapa de extracción de componente de frecuencia fundamental del lado controlado de  
 25 corriente alterna;  
 (23) Etapa de comparación de la extracción de corriente continua con la magnitud de ajuste  
 para el disparo por corriente continua;  
 (24) Etapa de comparación de la extracción de corriente alterna del lado de red con la magnitud  
 de ajuste para el disparo por corriente alterna;  
 30 (25) Etapa de comparación de la extracción de corriente alterna del lado controlado de  
 corriente alterna con la magnitud de ajuste para el disparo por corriente alterna;  
 (26) Etapa de discriminación de polaridad de falta en corriente continua;  
 (27) Etapa de envío de información sobre la falta a tierra;  
 (28) Señal de información sobre la falta a tierra;  
 35 (29) Falta a tierra con resistencia de falta en el lado de red de corriente alterna;  
 (30) Falta a tierra con resistencia de falta en el polo positivo del bus de corriente continua;  
 (31) Falta a tierra con resistencia de falta en el polo negativo del bus de corriente continua;  
 (32) Falta a tierra con resistencia de falta en el lado controlado de corriente alterna;  
 (33) Tiempo de muestreo de la medida de tensión en el dispositivo de puesta a tierra.

40

### Formas de realización de la invención

Se procede a continuación a hacer una descripción de una realización preferente en un  
 accionamiento de velocidad variable con etapa de corriente continua, de forma no limitativa a  
 45 dicha realización.

La figura 1 utiliza un diseño de un sistema eléctrico de potencia para el accionamiento de una  
 máquina eléctrica de forma controlada. En él se ha instalado un sistema de detección de faltas  
 a tierra en sistemas eléctricos en el secundario del transformador del lado de red (3) que

consta de un dispositivo de puesta a tierra (4) en conjunto con un dispositivo detector de faltas (5).

5 El sistema tiene dos pasos de conversión de la corriente. El primero es a través de un convertidor rectificador (6) que a partir de la conmutación de IGBTs (Transistores Bipolares de Puerta Aislada, (7)), u otros posibles elementos de conmutación o semiconductores, crean una tensión con componente de corriente continua y rizado de alta frecuencia (frecuencia de conmutación de los IGBTs).

10 Una vez rectificada la onda, el sistema dispone de una etapa de corriente continua con un polo positivo del bus de corriente continua (8), un polo negativo del bus de corriente continua (9) y un condensador del bus de corriente continua (10) que mantiene la tensión en dicho bus.

15 Después, mediante un convertidor inversor (11) se crea una onda mediante la conmutación de tipo PVWM (Onda Modulada en Ancho de Pulso) de IGBTs del convertidor inversor que permite el control de un accionamiento eléctrico, generalmente con motor o generador de velocidad variable.

20 La figura 2 muestra un procesador (5) de señales configurado para detectar faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente alterna y corriente continua según la presente invención. El procesador (5) está conectado a los extremos del dispositivo de puesta a tierra (4), el cual está conectado entre el neutro del lado de red y tierra. Opcionalmente, el procesador (5) puede recibir una señal de frecuencia medida a la entrada de un inversor/variador desde el medidor de frecuencia (14). Primero se procede a la medida de la  
25 tensión y/o la corriente en el dispositivo de puesta a tierra (16).

Una vez obtenidas las medidas en el dominio del tiempo, esta señal se introduce en un algoritmo de obtención de los diferentes armónicos por ejemplo mediante una etapa de realización de FFT (17) donde se extraen los valores para la componente de corriente continua, frecuencia fundamental de red y frecuencia fundamental del lado de corriente alterna del accionamiento eléctrico, si hubiere (esta cambia según la velocidad del accionamiento por lo que se requiere de la medida de frecuencia del lado controlado de corriente alterna, 15). Estas se obtienen mediante una etapa de extracción de componente de corriente continua (18), una etapa de extracción de componente de frecuencia fundamental del lado de red (19), una etapa  
30 de extracción de componente de frecuencia fundamental del lado controlado de corriente alterna (22).

Posteriormente extraídos los valores de frecuencia anteriormente comentados se procede a la comparación de dichos valores con los ajustes de corriente continua y alterna fijados la etapa  
40 de ajuste del valor para el disparo por componente de corriente continua (20) y la etapa de ajuste del valor para el disparo por componente de corriente alterna (21). Las etapas de comparación a su vez son tres:

- 45 - (23) Etapa de comparación de la extracción de corriente continua con la magnitud de ajuste para el disparo por corriente continua;
- (24) Etapa de comparación de la extracción de corriente alterna del lado de red con la magnitud de ajuste para el disparo por corriente alterna;
- (25) Etapa de comparación de la extracción de corriente alterna del lado controlado de corriente alterna con la magnitud de ajuste para el disparo por corriente alterna, si  
50 hubiere.

5 Si el valor de tensión obtenido de la FFT es menor que la magnitud prefijada para el disparo el sensor no emite aviso de falta. Sin embargo, si las comparaciones son positivas (el valor obtenido es mayor que el de ajuste) se emite una señal de información sobre la falta a tierra (28) en caso de falta en corriente alterna mediante una etapa de envío de información sobre la falta a tierra (27) donde al menos se transmite si la falta existe y en que tramo se encuentra. En caso de corriente continua previamente ha de pasar una etapa de discriminación de polaridad de falta en corriente continua (26) atendiendo al valor previamente obtenido en la FFT en el apartado de corriente continua.

10 La figura 3 se remite a la figura 1 pero con faltas en cada tramo del sistema, es decir, una falta a tierra con resistencia de falta en el lado de red de corriente alterna (29), o una falta a tierra con resistencia de falta en el polo positivo del bus de corriente continua (30), o una falta a tierra con resistencia de falta en el polo negativo del bus de corriente continua (31), o una falta a tierra con resistencia de falta en el lado controlado de corriente alterna (32).

15 La figura 4 se refiere a los registros de las medida de tensión en el dispositivo de puesta a tierra (16) para una falta a tierra con resistencia de falta en el lado de red de corriente alterna (29), una falta a tierra con resistencia de falta en el polo positivo del bus de corriente continua (30), una falta a tierra con resistencia de falta en el polo negativo del bus de corriente continua (31), una falta a tierra con resistencia de falta en el lado controlado de corriente alterna (32) respectivamente con respecto al tiempo de muestreo de la medida de tensión en el dispositivo de puesta a tierra (33). Se observa que las medidas de corriente alterna del lado de red tienen una componente principal de 50 Hz, así como la predominante en las de corriente continua son las de armónico cero. En el lado del accionamiento variable, el ruido aumenta considerablemente y la frecuencia es distinta a la de la red.

25 Esta configuración de sistema se da mayoritariamente en sistemas de generación distribuida donde la presencia de los convertidores es imprescindible para la adecuación de la frecuencia de generación a la de red. Por ejemplo en aerogeneradores tipo de tecnología de rotor devanado, DFIG, o con tipo de tecnología de imanes permanentes, PMSG. En caso de corriente alterna de frecuencia variable, el dispositivo detector de falta (5) vendrá apoyado por la medida de frecuencia en la del lado controlado de corriente alterna (15) mediante un dispositivo medidor de frecuencia (14).

30 Finalmente, la figura 5 se refiere al diagrama de flujo llevado a cabo en el método de la invención. Donde se recopilan las variables y los ajustes de disparo para ser comparados y proceder a la detección de la sección con falta (lado de corriente continua, y de ser así polo negativo o polo positivo atendiendo al signo de la componente de corriente continua de la FFT, lado de corriente alterna de red o lado de corriente alterna controlado atendiendo a la frecuencia de la componente calculada).

40 El sistema también puede ser configurado para la detección de faltas a tierra en sistemas de generación fotovoltaica donde solamente una etapa de continua es requerida.

45

## REIVINDICACIONES

1. Método detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente alterna y corriente continua, caracterizado por que comprende las siguientes etapas:

- 5 a) medir (16) una señal seleccionada entre una tensión entre terminales de un dispositivo de puesta a tierra (4) conectable entre un neutro y una tierra, y una corriente circulante a través del dispositivo de puesta a tierra;
- b) calcular unos armónicos (17) de la señal previamente medida;
- 10 c) calcular unas amplitudes de la señal previamente medida a las siguientes frecuencias fundamentales para cada uno de los armónicos:
- o frecuencia cero,  $f_0$ , (18) para corriente continua;
  - o frecuencia de red,  $f_1$ , (19) para una alimentación con corriente alterna;
  - o frecuencia variable,  $f_1'$ , (22) de corriente alterna en un lado controlado;
- 15 d) comparar las amplitudes de tensión o corriente de cada frecuencia con unos valores predeterminados (20, 21) de ajustes de disparo para corriente continua (23), corriente alterna de red (24) y corriente alterna en el lado controlado (25), de tal forma que si se sobrepasa se emite una señal de falta con al menos información de donde ha ocurrido la falta que puede ser:
- 20 - lado de corriente alterna de red comprendido entre el neutro del transformador o en su defecto un neutro artificial y los terminales del convertidor-rectificador si la frecuencia fundamental es la de la red;
  - polo positivo del lado de corriente continua si se detecta una componente de corriente continua de signo contrario;
  - 25 - polo positivo del lado de corriente continua si se detecta una componente de corriente continua de signo contrario;
  - lado de corriente alterna del accionamiento controlado si la onda de corriente registrada muestra una frecuencia fundamental diferente a la de la red;
- e) calcular una polaridad de falta (26) en caso de que la amplitud para frecuencia cero supere el valor predeterminado (23); y
- 30 f) emitir (27) una señal de falta a tierra (28), cuando se cumpla al menos una de las siguientes condiciones:
- o la amplitud para frecuencia cero supere el valor predeterminado (23);
  - o la amplitud para frecuencia de red supere el valor predeterminado (24); y,
  - o la amplitud para frecuencia variable supere el valor predeterminado (25).
- 35

2. Método detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente alterna y corriente continua, según la reivindicación 1, caracterizado por que la etapa de calcular los armónicos se lleva a cabo mediante la Transformada Rápida de Fourier FFT a la señal de tensión medida de la siguiente forma:

40

$$A_{U_{k,j}} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=1}^N u_{gnd,j}(n) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot n}{N}\right)$$

$$B_{U_{k,j}} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=1}^N u_{gnd,j}(n) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot n}{N}\right)$$

$$U_{k,j} = \sqrt{A_{U_{k,j}}^2 + B_{U_{k,j}}^2}$$

donde:

j: es la zona de operación del sistema atendiendo a la frecuencia de la onda;

5 k: es el armónico a evaluar atendiendo a la zona de operación siendo estos múltiplos y submúltiplos de la frecuencia fundamental de la zona en cuestión;

N: es el número de muestras por periodo de onda;

n: es el número de muestra a evaluar comprendido entre 0 y el número de muestras por periodo de onda;

10  $U_{\text{gnd},j}$ : es el valor instantáneo de la tensión entre terminales de al menos un dispositivo de puesta a tierra proveniente de un defecto en la zona j;

$A_{Uk,j}$ : es el valor del filtro coseno aplicado para la transformada rápida de Fourier en la onda de tensión para el armónico k de la zona j;

$B_{Uk,j}$ : es el valor del filtro seno aplicado para la transformada rápida de Fourier en la onda de tensión para el armónico k de la zona j;

15  $U_{k,j}$ : es el valor en amplitud, o valor eficaz si queda atenuado por un factor de 1.4142, de la onda de tensión registrada en terminales de al menos un dispositivo de puesta a tierra para el armónico k de la zona j.

20 3. Método detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente alterna y corriente continua, según la reivindicación 1, caracterizado por que la etapa de calcular los armónicos se lleva a cabo mediante la Transformada Rápida de Fourier FFT a la señal de corriente medida de la siguiente forma:

$$A_{Ik,j} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=1}^N i_j(n) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot n}{N}\right)$$

$$B_{Ik,j} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=1}^N i_j(n) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot n}{N}\right)$$

$$I_{k,j} = \sqrt{A_{Ik,j}^2 + B_{Ik,j}^2}$$

25

donde:

j: es la zona de operación del sistema atendiendo a la frecuencia de la onda;

30 k: es el armónico a evaluar atendiendo a la zona de operación siendo estos múltiplos y submúltiplos de la frecuencia fundamental de la zona en cuestión;

N: es el número de muestras por periodo de onda;

n: es el número de muestra a evaluar comprendido entre 0 y el número de muestras por periodo de onda;

35  $i_j$ : es el valor instantáneo de la corriente que circula entre terminales de al menos un dispositivo de puesta a tierra proveniente de un defecto en la zona j;

$A_{Ik,j}$ : es el valor del filtro coseno aplicado para la transformada rápida de Fourier en la onda de corriente para el armónico k de la zona j;

$B_{Ik,j}$ : es el valor del filtro seno aplicado para la transformada rápida de Fourier en la onda de corriente para el armónico k de la zona j;

40  $I_{k,j}$ : es el valor en amplitud, o valor eficaz si queda atenuado por un factor de 1.4142, de la onda de corriente registrada que circula a través del dispositivo de puesta a tierra para el armónico k de la zona j.

4. Método detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente alterna y corriente continua, según la reivindicación 1, caracterizado por que la etapa de comparación evalúa las amplitudes de la frecuencia fundamental de cada zona con su valor de ajuste, del que si se sobrepasa se emite una señal de falta con al menos información de donde ha ocurrido la falta.

5. Método detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente alterna y corriente continua, según la reivindicación 1, caracterizado por que la etapa de comparación y los valores predeterminados se representan de la siguiente forma:

10

$$U_{1,j} > U_{disparo.AC}$$

$$U_{0,j} > U_{disparo.DC}$$

donde:

15  $U_{1,j}$ : es el valor de la tensión en terminales de al menos un dispositivo de puesta a tierra a frecuencia fundamental de una zona j;

$U_{0,j}$ : es el valor de la tensión en terminales de al menos un dispositivo de puesta a tierra en componente de corriente continua de una zona j de corriente continua;

$U_{disparo.AC}$ : es el valor de ajuste en tensión previamente definido para que el sistema de detección emita señal de falta en zonas de corriente alterna;

20  $U_{disparo.DC}$ : es el valor de ajuste en tensión previamente definido para que el sistema de detección emita señal de falta en zonas de corriente continua.

6. Método detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente alterna y corriente continua, según la reivindicación 1, caracterizado por que la etapa de comparación y los valores predeterminados se representan de la siguiente forma:

25

$$I_{1,j} > I_{disparo.AC}$$

$$I_{0,j} > I_{disparo.DC}$$

30 donde:

$I_{1,j}$ : es el valor de la corriente circulante por al menos un dispositivo de puesta a tierra a frecuencia fundamental de una zona j;

35  $I_{0,j}$ : es el valor de corriente circulante por al menos un dispositivo de puesta a tierra en componente de corriente continua de una zona j de corriente continua;

$I_{disparo.AC}$ : es el valor de ajuste en corriente previamente definido para que el sistema de detección emita señal de falta en zonas de corriente alterna;

$I_{disparo.DC}$ : es el valor de ajuste en corriente previamente definido para que el sistema de detección emita señal de falta en zonas de corriente continua.

40

7. Método detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente alterna y corriente continua, según la reivindicación 1, caracterizado por que la etapa de calcular la polaridad de falta (26) en caso de que la amplitud para frecuencia cero supere el valor predeterminado (23), se lleva a cabo mediante el cálculo de:

45



$$U_{0,j} - |U_{0,j}| = 2 \cdot U_{0,j}$$

que determina falta en el polo positivo; y alternativamente:

5

$$U_{0,j} - |U_{0,j}| = 0$$

que determina falta en el polo negativo:

donde  $U_{0,j}$  es el valor de la tensión en terminales de al menos un dispositivo de puesta a tierra en componente de corriente continua de una zona  $j$  de corriente continua.

10

8. Método detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente alterna y corriente continua, según la reivindicación 1, caracterizado por que la etapa de calcular la polaridad de falta (26) en caso de que la amplitud para frecuencia cero supere el valor predeterminado (23), se lleva a cabo mediante el cálculo de:

15

$$I_{0,j} - |I_{0,j}| = 0$$

que determina falta en el polo positivo; y alternativamente:

20

$$I_{0,j} - |I_{0,j}| = 2 \cdot I_{0,j}$$

que determina falta en el polo negativo;

donde  $I_{0,j}$  es el valor de corriente circulante por al menos un dispositivo de puesta a tierra en componente de corriente continua de una zona  $j$  de corriente continua.

25

9. Método detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente alterna y corriente continua, según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la señal de falta a tierra (28), comprende al menos información de donde ha ocurrido la falta seleccionada entre:

30

- lado de corriente alterna de red comprendido entre el neutro del transformador y los terminales de un convertidor-rectificador si la frecuencia fundamental es la frecuencia de red;
- polo positivo del lado de corriente continua si se detecta una componente de corriente continua de signo contrario;
- polo positivo del lado de corriente continua si se detecta una componente de corriente continua de signo contrario;
- lado de corriente alterna del accionamiento controlado si la onda de corriente registrada muestra una frecuencia fundamental diferente a la frecuencia de red.

35

10. Sistema detección de faltas a tierra en instalaciones eléctricas con conversión entre corriente alterna y corriente continua, caracterizado por que comprende:

40

- un dispositivo de puesta a tierra (4) conectable entre un neutro de una instalación eléctrica y tierra;
- un medidor de frecuencia (14) situado en un lado controlado donde se sitúa un variador/controlador de frecuencia variable/inversor y que genera una señal de corriente alterna en el lado controlado;
- un procesador (5) configurado para:
  - medir una señal de tensión/corriente entre los extremos del dispositivo de puesta a tierra (4);

45

- calcular unos armónicos de la señal previamente medida aplicando la Transformada rápida de Fourier FFT; y para calcular unas amplitudes de la señal previamente medida a las siguientes frecuencias fundamentales para cada uno de los armónicos: frecuencia cero para corriente continua; frecuencia de red para una alimentación con corriente alterna; y, frecuencia variable de corriente alterna en un lado controlado;
- comparar las amplitudes de tensión o corriente de cada frecuencia con unos valores predeterminados de ajustes de disparo para corriente continua, corriente alterna de red y corriente alterna en el lado controlado, y emitir una señal de falta con al menos información de donde ha ocurrido la falta que puede ser:
  - lado de corriente alterna de red comprendido entre el neutro del transformador o en su defecto un neutro artificial y los terminales del convertidor-rectificador si la frecuencia fundamental es la de la red;
  - polo positivo del lado de corriente continua si se detecta una componente de corriente continua de signo contrario;
  - polo positivo del lado de corriente continua si se detecta una componente de corriente continua de signo contrario;
  - lado de corriente alterna del accionamiento controlado si la onda de corriente registrada muestra una frecuencia fundamental diferente a la de la red; y,
- calcular una polaridad de falta en caso de que la amplitud para frecuencia cero supere el valor predeterminado; y, emitir una señal de falta a tierra, cuando se cumpla al menos una de las siguientes condiciones: la amplitud para frecuencia cero supere el valor predeterminado, la amplitud para frecuencia de red supere el valor predeterminado, y la amplitud para frecuencia variable supere el valor predeterminado.

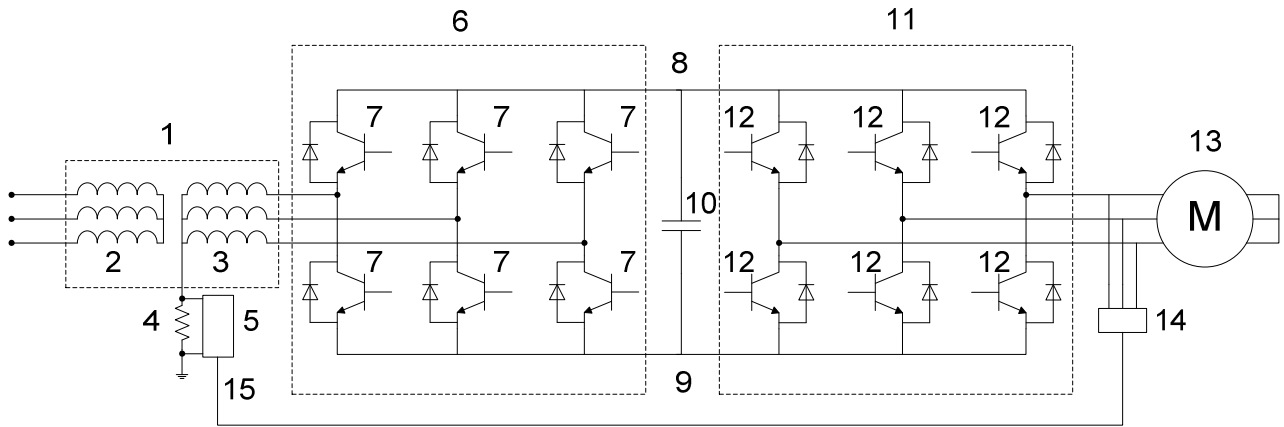


Fig. 1

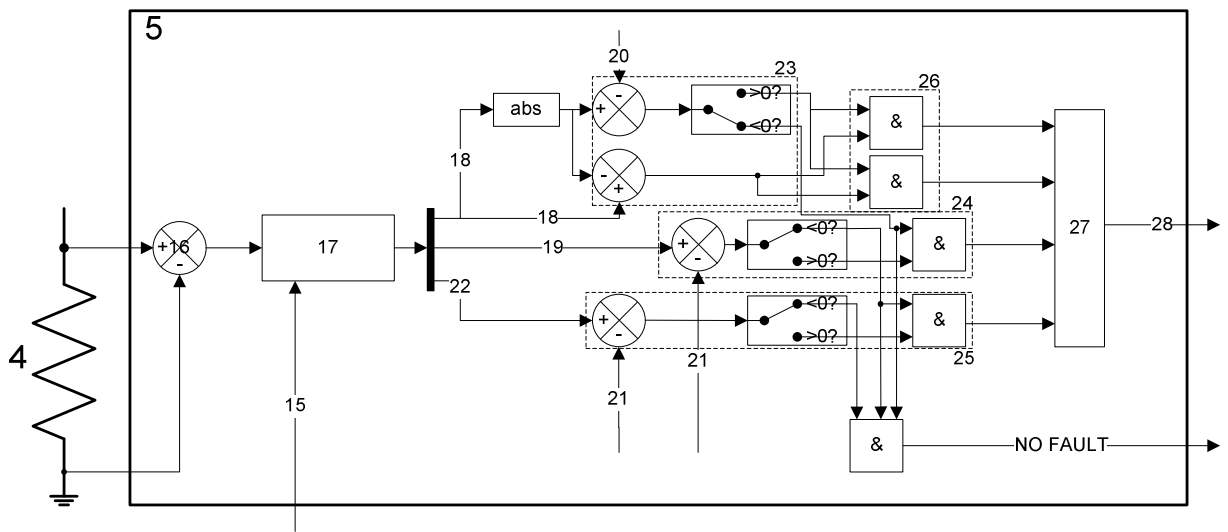


Fig. 2

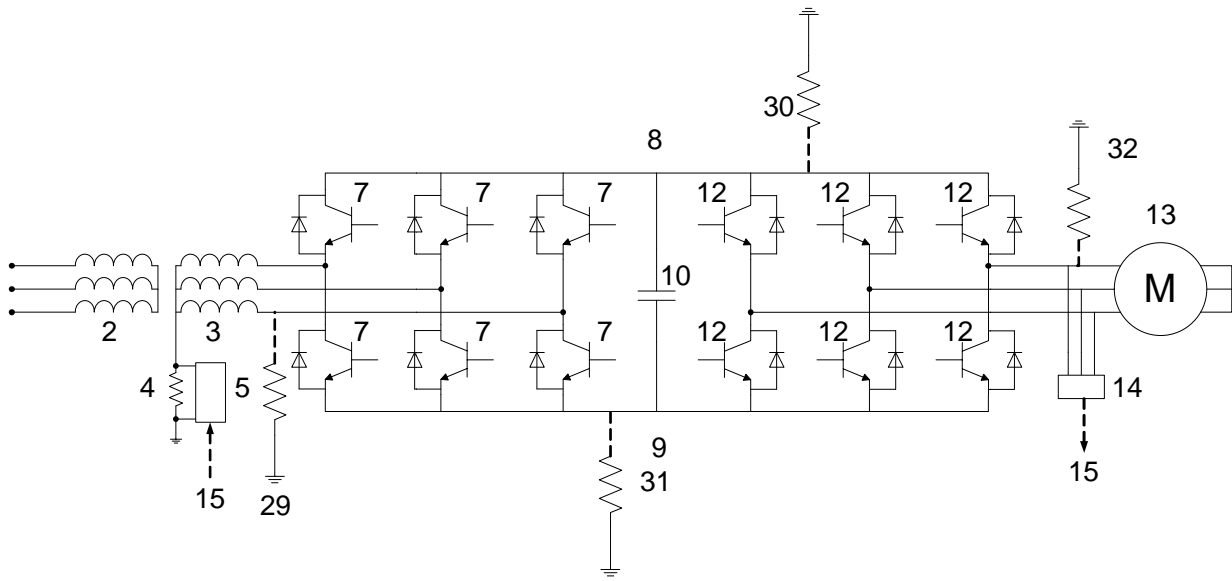


Fig. 3

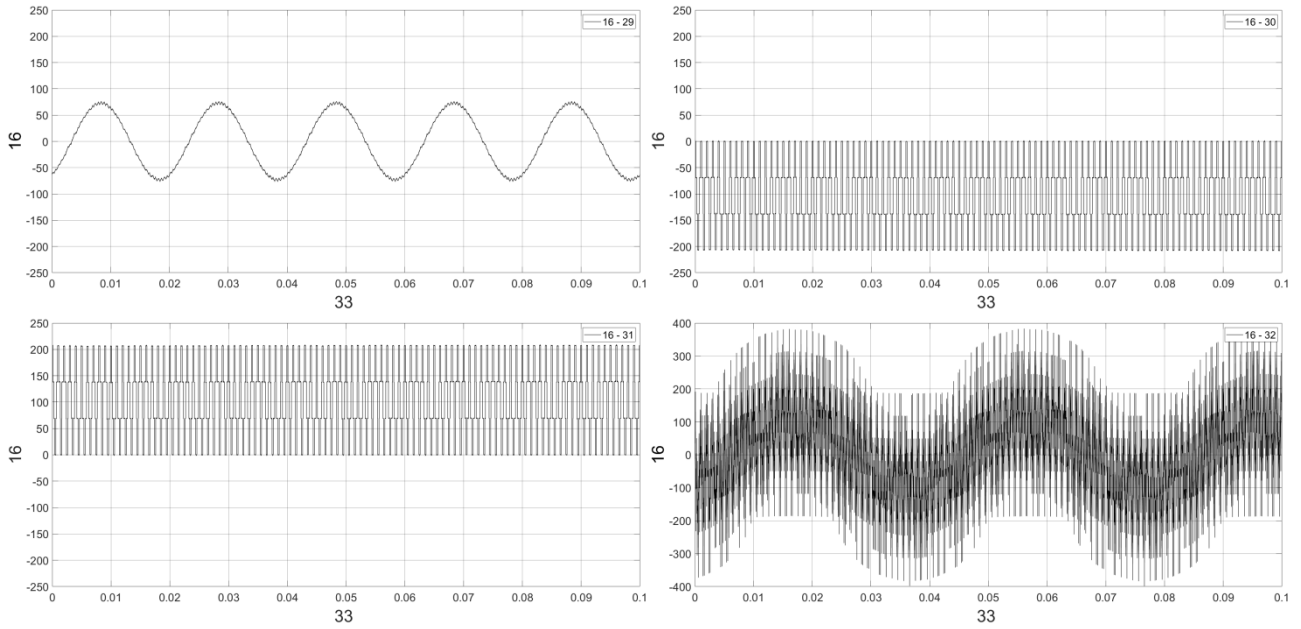


Fig. 4

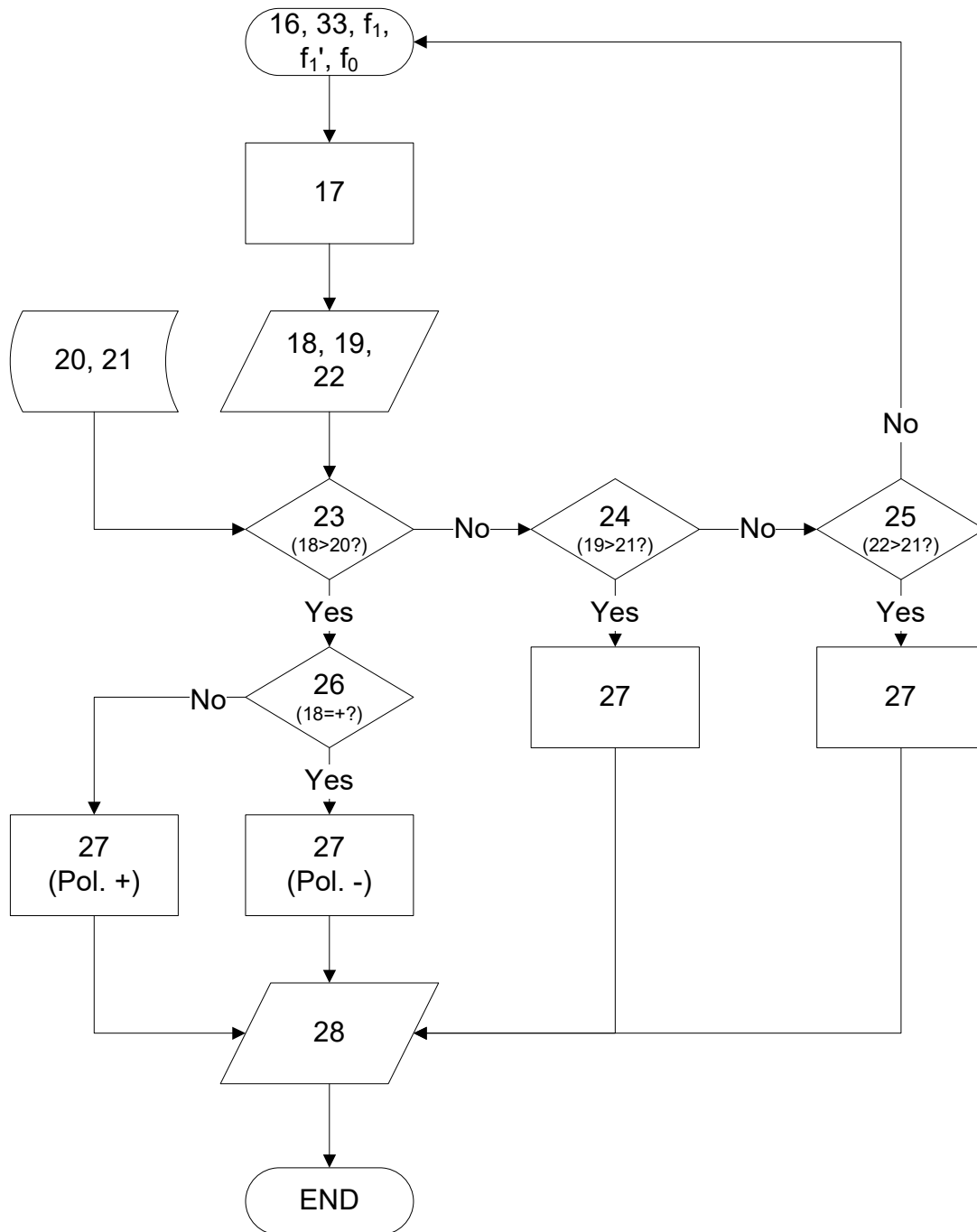


Fig. 5