

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 021 834**

21 Número de solicitud: 202330975

51 Int. Cl.:

**G01R 31/52** (2010.01)

**H02H 3/16** (2006.01)

**G01R 27/18** (2006.01)

12

## SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**24.11.2023**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**27.05.2025**

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO / EUSKAL  
HERRIKO UNIBERTSITATEA (100.00%)  
Barrio Sarriena, S/N  
48940 Leioa (Bizkaia) ES**

72 Inventor/es:

**GUERRERO GRANADOS, José Manuel;  
VALVERDE SANTIAGO, Víctor y  
EGUÍA LÓPEZ, Pablo**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

54 Título: **MÉTODO Y SISTEMA DE DETECCIÓN DE FASE Y RAMA PARALELO CON FALTA A TIERRA EN SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA CON INVERSORES**

57 Resumen:

Método y sistema de detección de faltas a tierra en el lado de corriente alterna de frecuencia variable de sistemas eléctricos con convertidores basado en la medida de tensión en una resistencia de puesta a tierra y en la conmutación de una impedancia, preferiblemente de carácter capacitivo y monofásica, entre las distintas fases y ramas paralelos que penden de los terminales de al menos un inversor del sistema que permite mediante dicha medida de tensión en cada posición de conmutación evaluar en qué fase de dicha parte de corriente alterna del circuito y en que rama paralelo se encuentra la falta a tierra con el sistema en funcionamiento.

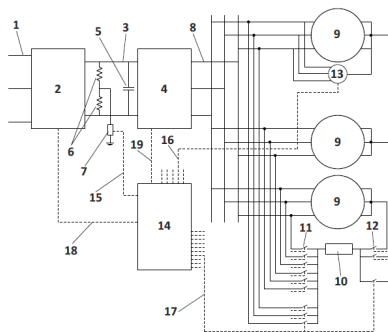


FIG. 1

**DESCRIPCIÓN**

**MÉTODO Y SISTEMA DE DETECCIÓN DE FASE Y RAMA PARALELO CON  
FALTA A TIERRA EN SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA CON  
INVERSORES**

5

**OBJETO DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere a un método y sistema de detección de rama paralelo y fase con falta a tierra en la zona de corriente alterna del inversor de sistemas eléctricos de corriente continua / corriente alterna con inversores capaz  
10 de distinguir en caso de varios accionamientos conectados en paralelo, que accionamiento y que fase de dicho accionamiento albergan el defecto.

El método y sistema de la presente invención es de particular relevancia en sistemas donde se dispongan varias máquinas eléctricas conectadas en paralelo  
15 a terminales del inversor/convertidor de potencia. Por ejemplo, y sin carácter limitativo de la invención, en sistemas ferroviarios donde cada convertidor de tracción suele albergar entre dos y cuatro motores en paralelo.

20 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

Los sistemas eléctricos con convertidores para su uso en procesos controlados como la variación del punto de operación en tensión-frecuencia de una o varias máquinas eléctricas está aumentando considerablemente por ejemplo con el aumento de las tecnologías de generación de energía eléctrica de origen  
25 renovable o la electrificación del transporte.

El uso de estas tecnologías implica un desgaste del aislamiento más acelerado que en sistemas de corriente continua y/o alterna convencionales debido a la inserción de pulsos de tensión modulados en ancho de pulso (PWM) para obtener  
30 dicho punto de operación necesario.

Este desgaste provoca antes o después una falta de dicho aislamiento pudiendo

originar una falta a tierra en cualquiera de los puntos del sistema, aunque con mayor probabilidad en la parte de corriente alterna accionada por el inversor/convertidor de potencia donde hay una o varias máquinas conectadas entre sus terminales.

5

Para detectar o incluso localizar dichas faltas, son varias las invenciones propuestas en el estado de la técnica actual. Entre ellas, algunas de las más representativas con respecto a la invención son:

- 10 La patente norteamericana US 7560935 B2 propone un sistema de medida de la resistencia de falta para sistemas con convertidores donde se acopla una máquina eléctrica que consta de un condensador conectado entre el sistema y tierra con un sistema de inyección de tensión alterna. El sistema es capaz de cuantificar, mediante la evaluación de la tensión en el condensador cuando se carga y  
15 descarga, el estado de la resistencia de aislamiento.

Una forma común de detectar faltas a tierra es mediante la instalación de sensores toroidales de corriente con relés diferenciales. En ese caso, cuando existe una corriente de fuga el relé dispara protegiendo el sistema de una segunda falta a  
20 tierra que provoque un cortocircuito más severo. Esta metodología es únicamente aplicable a sistemas puestos a tierra como se describe en la patente europea EP 2851692 B1, o en la patente rusa RU 2648494 C1.

En la patente española ES 2798348 B2 se propone la puesta a tierra con una  
25 resistencia de alto valor del secundario del transformador del lado de red de un accionamiento de velocidad variable conectado a la red que, mediante el análisis en el dominio de la frecuencia de la onda de tensión en dicha resistencia permite detectar si existe falta a tierra y discriminar la zona (corriente continua o corriente alterna) donde ocurre.

30

Sin embargo, ninguna de las invenciones anteriores permite la localización del defecto dentro de la zona en falta. La patente española ES 2869451 B2 resuelve el problema para la zona de corriente continua, mientras que otras como la patente

española ES 2758531 B2 lo hacen para el lado controlado del accionamiento eléctrico.

5 Sin embargo, estos métodos no son aplicables para sistemas donde el inversor alimenta varias máquinas eléctricas al no poder discernir cuál de ellas es la que alberga la máquina una vez detectada la zona de corriente alterna del lado controlado del inversor como la zona en falta, como es el caso de las unidades de tracción ferroviaria eléctrica que suelen disponer de tres o cuatro motores asíncronos por inversor.

10

Por lo tanto, es necesario disponer en el estado de la técnica actual de sistemas y/o métodos de protección o diagnóstico de faltas a tierra en sistemas con inversores con múltiples ramas en paralelo conectadas en el lado de corriente alterna de dicho inversor, como pueden ser múltiples máquinas eléctricas, para  
15 reducir tiempos de mantenimiento y costes de los mismos.

## DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

20 La presente invención resuelve los inconvenientes observados en el estado de la técnica previamente enunciado. Para esto, la invención propone un sistema y método que son capaces de detectar en que motor conectado en paralelo a un mismo convertidor de potencia se encuentra una falta a tierra además de la fase donde se localiza.

25 Un primer aspecto de la invención se refiere a un sistema de detección de faltas a tierra en máquinas eléctricas conectadas en paralelo a un mismo sistema de convertidores de potencia, capaz de detectar la máquina en falta con las máquinas funcionando que tiene los siguientes subsistemas:

- 30 - Un subsistema de reconocimiento de fase con falta que compara el fasor de primer armónico de  $U_{gnd}$  y  $U_{fn}$ , donde la falta corresponderá a la fase cuyo fasor esté en contrafase con  $U_{gnd}$ .
- Un subsistema de detección de zona en falta que distingue la zona en falta

realizando un análisis en frecuencia en la tensión de la impedancia de puesta a tierra,  $U_{gnd}$ .

Y que se caracteriza porque comprende al menos los siguientes subsistemas:

- 5           - Una impedancia de puesta a tierra en un punto medio de corriente continua o en un punto neutro de corriente alterna.
- Un subsistema de medida de tensión en la impedancia de puesta a tierra,  $U_{gnd}$ .
- Un subsistema de medida de tensión fase-neutro en cada máquina eléctrica,  $U_{fn}$ .
- 10       - Una impedancia de desequilibrio conectada con distintos conmutadores que permite conectarse entre cada fase de una máquina eléctrica y su neutro, fase por fase o entre fases y en todas las máquinas.
- Un detector de máquina con falta a tierra que adquiere al menos la información de las frecuencias de operación de los convertidores involucrados, la tensión en la impedancia de puesta a tierra  $U_{gnd}$  y las tensiones fase-neutro  $U_{fn}$  de cada máquina que engloba a su vez al menos los siguientes subsistemas:
  - 15           ○ Un subsistema de conmutaciones y registros de tensión que envía comandos de apertura y cierre a los conmutadores de la impedancia de desequilibrio y vuelve a registrar la tensión  $U_{gnd}$  para cada posición de dicha impedancia. Este subsistema se acciona si el subsistema de detección de la zona en falta indica que la falta se produce en el lado de las máquinas,
  - 20           ○ Un subsistema de realización de histogramas sobre  $U_{gnd}$  para cada posición de la impedancia de desequilibrio.
  - 25           ○ Un subsistema de reconocimiento de máquina con falta atendiendo a características clave que presentan los histogramas de  $U_{gnd}$ .
  - Un subsistema de emisión de alarma a aparatos externos de monitorización y/o mantenimiento del accionamiento.

30

El subsistema de detección de zona en falta que distingue la zona en falta realizando un análisis en frecuencia en la tensión de la impedancia de puesta a tierra,  $U_{\text{gnd}}$  es previo a la inicialización del subsistema de conmutaciones y registros de tensión.

5

La actuación del subsistema de reconocimiento de fase con falta que compara el fasor de primer armónico de  $U_{\text{gnd}}$  y  $U_{\text{fn}}$ , donde la falta corresponderá a la fase cuyo fasor esté en contrafase con  $U_{\text{gnd}}$ , se produce después de que el subsistema de reconocimiento de máquina con falta distinga dicha máquina.

10

Otra realización del sistema de la invención se contempla que si el punto medio de corriente continua o neutro de corriente alterna no está accesible, se puede utilizar uno creado de forma artificial.

15

Adicionalmente, la impedancia de puesta a tierra puede ser de valor alto, lo que permite limitar la corriente de defecto a definir por el propietario y por consiguiente esto permite que las máquinas conectadas al convertidor puedan operar con normalidad con una primera falta a tierra.

20

Otra realización del sistema de la invención contempla que la impedancia de desequilibrio pueda ser de manera preferente un condensador.

25

En otra realización del sistema de la invención las características de los histogramas de  $U_{\text{gnd}}$  son principalmente un número de muestras concentrado en determinados valores (tantos como pulsos tenga el convertidor de potencia que dirige las máquinas eléctricas) para una posición que englobe una máquina sana y un número de muestras repartido a lo largo de los valores positivo y negativo del valor de la tensión en barras de DC para máquinas con falta.

30

En una realización preferente, el sistema de la invención comprende:

- un convertidor trifásico AC/DC para convertir una corriente trifásica en una corriente continua,

- un convertidor trifásico DC/AC para convertir una corriente continua en una corriente trifásica,
  - una zona de DC tiene una línea de conexión de polaridad positiva y una línea de conexión de polaridad negativa, donde las líneas de conexión positiva y negativa conectan la salida del convertidor trifásico AC/DC con la entrada del convertidor trifásico DC/AC de corriente continua en corriente alterna;
  - dos resistencias de igual valor conectadas en serie entre las líneas de conexión positiva y negativa, y donde la impedancia de puesta a tierra está conectada entre la conexión central entre las dos resistencias y tierra,
  - al menos dos máquinas eléctricas conectadas en paralelo a la salida del convertidor trifásico DC/AC,
  - una impedancia de desequilibrio y unos medios para conectar y desconectar la impedancia de desequilibrio entre las tres fases y neutro de cada máquina eléctrica,
  - medios para medir la tensión en cada fase respecto a neutro de cada máquina eléctrica, y
  - medios de procesamiento conectados para recibir las medias de tensión en: la impedancia de puesta a tierra, las medidas de tensión de cada fase de cada máquina eléctrica, donde los medios de procesamiento están adaptados para procesar dichas medidas de tensión, y para actuar sobre los medios para conectar y desconectar la resistencia de desequilibrio.
- 25 Otro aspecto de la invención se refiere a un método de detección de faltas a tierra en máquinas eléctricas conectadas en paralelo a un mismo sistema de convertidores de potencia, capaz de detectar la máquina en falta con las máquinas funcionando. El método comprende de las siguientes etapas:
- Una etapa de recogida de medidas de tensión en una impedancia de puesta a tierra,  $U_{\text{gnd}}$ , de las tensiones de fase-neutro de los motores del sistema,  $U_{\text{fn}}$ , y de las frecuencias fundamentales,  $f_1$ , y de conmutación,  $f_k$ ,

de operación de los convertidores del sistema.

- Una etapa de análisis de la zona en falta que detecta la zona donde se ha producido la falta a tierra llevando a cabo un análisis en el dominio de la frecuencia en  $U_{gnd}$ . Observando las frecuencias  $f_1$  y  $f_k$  de cada convertidor consigue distinguir la zona en falta donde las componentes armónicas a dichas frecuencias sean las distinguidas en el espectro de frecuencias de  $U_{gnd}$ .
- Una etapa de cálculo de fasores de primer armónico de  $U_{gnd}$  y  $U_{fn}$ .
- Una etapa de análisis de la fase en falta una vez se localiza la máquina en falta dentro de varias máquinas accionadas en paralelo por el mismo convertidor, que detecta la fase en falta como aquella donde su correspondiente  $U_{fn}$  queda en contrafase con  $U_{gnd}$  para el armónico fundamental de operación de las máquinas.

El método está caracterizado porque comprende al menos las siguientes etapas:

- Una etapa de recogida de medidas de tensión en una impedancia de puesta a tierra,  $U_{gnd}$ , de las tensiones de fase-neutro de los motores del sistema,  $U_{fn}$ , y de las frecuencias fundamentales,  $f_1$ , y de conmutación,  $f_k$ , de operación de los convertidores del sistema.
- Una etapa de inicialización de detección de máquina en paralelo con falta a tierra que se activa cuando la etapa de análisis de zona en falta manda la señal de que está en la zona controlada del convertidor que controla las máquinas.
- Una etapa de emisión de señales de conmutación a cada uno de los interruptores conectados a la impedancia de desequilibrio de forma secuencial y de medición de registros de  $U_{gnd}$  para cada posición.
- Una etapa de análisis de  $U_{gnd}$  mediante histogramas para cada posición de conmutación.
- Una etapa de detección de máquina en paralelo con falta a tierra que detecta que máquina se encuentra en falta analizando características presentes en el histograma indicadoras de falta. Las máquinas sanas



presentarán en sus histogramas picos de valores de tensión, mientras que las máquinas con falta dispondrán de histogramas más suavizados con parámetros extendidos a lo largo del rango de valores de la tensión AC inyectada en la máquina.

- 5        -    Una etapa de emisión de alarma que envía al menos la información de que existe una falta a tierra en el sistema, de la máquina paralelo que dispone dicha falta y la fase afectada a equipos externos a la invención.

### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

10

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

15        La figura 1 muestra una posible configuración del sistema de la invención para un ejemplo de convertidor con  $n$  motores en paralelo.

La figura 2 muestra el conjunto de procesos y señales dentro del subsistema de detección de motor en falta de la invención.

20        La figura 3 muestra el flujograma de las etapas propias de una posible realización de un método de la invención.

25        La figura 4 muestra un registro tensiones medidas en la impedancia de puesta a tierra de la figura 1 para un ejemplo de 2 máquinas eléctricas en paralelo, una sana y con falta a tierra. La Fig. 4.A se refiere a un sistema en falta midiendo en la posición del motor en falta mientras que la Fig. 4.B se refiere a un sistema en falta midiendo en la posición del motor sano.

30        La figura 5 muestra un ejemplo de análisis de señales de la fig. 4 por histogramas para el reconocimiento del motor en falta.

**REFERENCIAS NUMÉRICAS DE LAS FIGURAS**

- (1) Red eléctrica AC;
- (2) Convertidor del lado de red AC/DC;
- (3) Zona de DC;
- 5 (4) Convertidor del lado del accionamiento DC/AC;
- (5) Condensador;
- (6) Resistencia;
- (7) Impedancia de puesta a tierra;
- (8) Zona AC controlada;
- 10 (9) Máquina eléctrica;
- (10) Impedancia de desequilibrio;
- (11) Interruptor a fase;
- (12) Interruptor a neutro;
- (13) Voltímetro;
- 15 (14) Subsistema de detección de máquina en falta;
- (15) Señal de tensión en una impedancia de puesta a tierra;
- (16) Señal de tensión de una máquina eléctrica;
- (17) Señales de conmutación de interruptores;
- (18) Señal de comunicación con el convertidor de red;
- 20 (19) Señal de comunicación con el convertidor del accionamiento;
- (20) Subsistema de detección de zona en falta;
- (21) Subsistema de conmutaciones y registros de tensión;
- (22) Subsistema de realización de histogramas;
- (23) Subsistema de reconocimiento de máquina con falta;
- 25 (24) Subsistema de reconocimiento de fase con falta;

- (25) Subsistema de emisión de alarma;
- (26) Etapa de recogida de medidas;
- (27) Etapa de análisis de zona en falta;
- (28) Etapa de inicialización de detección de máquina en falta;
- 5    (29) Etapa de emisión de señales de conmutación y medición de registros de tensión;
- (30) Etapa de análisis de realización de histogramas;
- (31) Etapa de detección de máquina con falta a tierra;
- (32) Etapa de cálculo de fasores de primer armónico;
- 10    (33) Etapa de detección de fase en falta;
- (34) Etapa de emisión de alarma;

#### **DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS Y REALIZACIONES PREFERENTES**

- 15    A continuación, se procede a describir de forma más detallada las figuras introducidas previamente, las cuales se tratan de realizaciones preferentes no limitativas de la invención.

- 20    La figura 1 muestra un ejemplo de  $n$  máquinas eléctricas (9) conectadas en paralelo a un accionamiento que es alimentado desde una red eléctrica (1) como puede ser el ejemplo de la parte eléctrica de tracción de una locomotora eléctrica. La red eléctrica (1) se conecta a un primer convertidor del lado de red AC/DC (2) que rectifica la corriente a una zona de DC (3), donde es habitual conectar un condensador (5) entre sus barras para reducir el rizado de la onda de tensión. En
- 25    esta zona de DC de forma preferente pero no limitativa se debe tener acceso al punto medio, en este caso mediante dos resistencias (6) de mismo valor que sea lo suficientemente alto para que su consumo sea pequeño (a definir por el usuario). En el punto medio se conecta una impedancia de puesta a tierra (7) a tierra. Por otro lado, la zona de DC (3) se conecta a un convertidor del lado del

accionamiento DC/AC (4) que invierte la corriente a la frecuencia y tensión requeridos. Este convertidor (4) alimenta las máquinas eléctricas (9) en paralelo.

5 Por otro lado, el sistema de detección de máquina eléctrica en falta dispone de una impedancia de desequilibrio (10), de forma recomendada pero no limitativa puede usarse un condensador, que se puede conectar y conmutar entre las distintas fases a neutro de cada máquina eléctrica (9) mediante interruptores a fase (11) e interruptores a neutro (12). Con estos interruptores el condensador se puede conectar y desconectar a cada fase provocando que ese motor se  
10 desequilibre en la fase deseada de forma controlada. También se han de tener los registros de tensión fase-neutro de cada motor (16) mediante un voltímetro (13) o sensor de tensión conectado entre terminal y neutro de cada máquina (9).

15 Las señales de comunicación con el convertidor de red (18) y convertidor del accionamiento (19) con al menos la información de la frecuencia fundamental y conmutación de cada inversor, la señal de tensión en una impedancia de puesta a tierra (15) y la señal de tensión de cada máquina eléctrica (16) entre terminal-neutro se envían a un subsistema de detección de máquina en falta (14) que ejecuta la labor de diagnóstico. Para ello, ha de recopilar las señales  
20 anteriormente mencionadas para cada posición de conmutación. Las posiciones de conmutación van variando gracias al envío y lectura de señales de conmutación de interruptores (17).

25 La Figura 2 muestra un ejemplo de distribución de los subsistemas de los que dispone a su vez el subsistema de detección de máquina en falta (14). Primeramente, un subsistema de detección de zona en falta realiza un análisis en frecuencia de la tensión (15) medida en la impedancia de puesta a tierra. La falta se dispondrá en la zona que tenga las mismas características en frecuencia, para ello las señales de los convertidores son necesarias (18)-(19). Si resulta que la  
30 falta se encuentra en la zona del accionamiento, entonces en un subsistema de conmutaciones y registros de tensión (21) se adquieren de nuevo las señales de tensión (15)-(16) para cada posición de conmutación. Posteriormente, con un subsistema de realización de histogramas (22), los registros de tensión (15) son

analizados y en un subsistema de reconocimiento de máquina con falta (23) se selecciona el histograma con la posición de conmutación correspondiente al motor en falta mediante diferencias frente a los demás histogramas de los motores sanos y características que presentan los histogramas de motores desequilibrados. Un  
5 subsistema de reconocimiento de fase con falta (24) reconoce cual de las fases del motor porta el defecto mediante comparación de tensión fase-neutro (16) con la tensión en la impedancia de puesta a tierra (15). El defecto se dispondrá en la fase que disponga la tensión (16) de primer armónico en contrafase con la tensión en la impedancia de puesta a tierra (15). Finalmente, un subsistema de emisión  
10 de alarma (25) manda la información correspondiente a la falta ocurrida a aparatos externos a la invención para su posterior mantenimiento.

La Figura 3 muestra el flujograma de las etapas propias de una posible realización de un método de la invención. Inicialmente se recopilan los registros de tensión y  
15 frecuencia de las distintas señales (15)-(16)-(18)-(19) en una etapa de recogida de medidas (26). Se le realiza un análisis, preferentemente aplicando la transformada rápida de Fourier (FFT) a la señal de tensión en la impedancia de puesta a tierra (15) en una etapa de análisis de zona en falta (27), donde se discrimina la zona en falta cuando la señal (15) tiene las mismas características  
20 que las señales de frecuencia (18) o (19). En el caso de que se encuentre en la zona de los accionamientos se procede a una etapa de inicialización de detección de máquina en falta (28). Posteriormente, en una etapa de emisión de señales de conmutación y medición de registros de tensión (29) se mide la tensión (15) para cada una de las conmutaciones posibles de la impedancia de desequilibrio (10).

25 Cada registro de (15) es analizando creando un histograma separando al menos un periodo de la onda de tensión (definido con la frecuencia fundamental enviada desde el convertidor con la señal (19)) en una etapa de análisis de realización de histogramas (30). Las envolventes de los histogramas, o valores pico puntuales  
30 son ejemplos de las características analizadas en dicha etapa. Posteriormente, en una etapa de detección de máquina con falta a tierra (31) se selecciona cual de los registros es el que dispone la falta y a que posición de conmutación de la impedancia de desequilibrio (10) corresponde. Una vez se ha localizado la

máquina en falta, en una etapa de cálculo de fasores de primer armónico, con los valores de tensión fase-neutro recogidos (16) y la tensión en la impedancia de puesta a tierra (15) se calculan los valores de primer armónico respecto a la frecuencia de la señal (19). Posteriormente se detecta la fase del accionamiento en falta en una etapa de detección de fase en falta (33), sabiendo que esta tensión fase-neutro (15) de la fase en falta se encontrará a  $180^\circ$  eléctricos de diferencia respecto a (16) en sus fasores de primer armónico. Finalmente, al menos la información del accionamiento y la fase en falta se envían a dispositivos externos para realizar el correspondiente mantenimiento mediante una etapa de emisión de alarma (34).

La figura 4 muestra dos registros ejemplo de la tensión medida en una impedancia de puesta a tierra (15) para el sistema de la figura 1 con dos motores en paralelo. La primera de las máquinas (9) se encuentra en falta mientras que la segunda está sana. El primero de los registros (Fig. 4.A) muestra un registro de la tensión (15) cuando la impedancia de desequilibrio (10) se conecta a la máquina (9) en falta, mientras que el segundo de los registros (Fig. 4.B) muestra un registro de la tensión (15) cuando la impedancia de desequilibrio (10) se conecta a la máquina (9) sana.

La figura 5 muestra los registros de la anterior figura tratados mediante histogramas. La Fig. 5.A recopila el ejemplo de registro en falta mientras que la Fig. 5.B recopila el registro sano. En caso de registro con falta el histograma queda muy suavizado en distintos valores, ya que la onda de tensión (15) en el tiempo es más sinusoidal, mientras que los registros de onda de tensión (15) para máquinas sanas al ser la onda más cuadrada (debido a la conmutación de los elementos de electrónica de potencia de los convertidores) los registros de tensión quedan agrupados en los valores de escalones de dichos IGBTs. Atendiendo a cuál de las dos características se presente en la señal (15) se definirá como motor en falta o sano, respectivamente.

## REIVINDICACIONES

1. Sistema de detección de faltas a tierra en sistemas eléctricos con convertidores con al menos múltiples máquinas eléctricas conectas en paralelo a al menos un convertidor de potencia capaz de detectar la máquina en falta y la fase afectada de dicha máquina con el sistema en operación que comprende los siguientes subsistemas:
  - un subsistema de reconocimiento de fase con falta que compara el fasor de primer armónico de la tensión en una impedancia de puesta a tierra  $U_{gnd}$  y de la tensión fase-neutro en cada máquina eléctrica  $U_{fn}$ , donde la falta corresponderá a la fase cuyo fasor esté en contrafase con  $U_{gnd}$ ;
  - un subsistema de detección de zona en falta que distingue la zona en falta realizando un análisis en frecuencia en la tensión de una impedancia de puesta a tierra,  $U_{gnd}$ ;

**caracterizado porque** además comprende al menos los siguientes subsistemas:

  - una impedancia de puesta a tierra en un punto medio de corriente continua o en un punto neutro de corriente alterna;
  - un subsistema de medida de tensión en la impedancia de puesta a tierra,  $U_{gnd}$ ;
  - un subsistema de medida de tensión fase-neutro en cada máquina eléctrica,  $U_{fn}$ ;
  - una impedancia de desequilibrio conectada mediante distintos conmutadores que permite conectarse entre cada fase de una máquina eléctrica y su neutro, fase por fase o entre fases y en todas las máquinas;
  - un detector de máquina con falta a tierra que adquiere al menos la información de las frecuencias de operación de los convertidores involucrados, la tensión en la impedancia de puesta a tierra  $U_{gnd}$  y

las tensiones fase-neutro  $U_{fn}$  de cada máquina que engloba a su vez al menos los siguientes subsistemas:

- 5
    - un subsistema de conmutaciones y registros de tensión adaptado para enviar comandos de apertura y cierre a los conmutadores de la impedancia de desequilibrio y vuelve a registrar la tensión  $U_{gnd}$  para cada posición de dicha impedancia, estando este subsistema adaptado para accionar si el subsistema de detección de la zona en falta indica que la falta se produce en el lado de las máquinas,
  - 10
    - un subsistema de realización de histogramas sobre  $U_{gnd}$  para cada posición de la impedancia de desequilibrio;
    - un subsistema de reconocimiento de máquina con falta atendiendo a características clave que presentan los histogramas de  $U_{gnd}$ ;
  - 15
    - un subsistema de emisión de alarma a aparatos externos de monitorización y/o mantenimiento del accionamiento.
2. Sistema de detección de faltas a tierra en sistemas eléctricos con convertidores con al menos múltiples máquinas eléctricas conectas en paralelo según la reivindicación 1, caracterizado porque el subsistema de detección de zona en falta está adaptado para distinguir la zona en falta realizando un análisis en frecuencia en la tensión de la impedancia de puesta a tierra,  $U_{gnd}$  es previo a la inicialización del subsistema de conmutaciones y registros de tensión.
- 20
- 25
3. Sistema de detección de faltas a tierra en sistemas eléctricos con convertidores con al menos múltiples máquinas eléctricas conectas en paralelo según la reivindicación 1 caracterizado porque la actuación del subsistema de reconocimiento de fase con falta que compara el fasor de primer armónico de  $U_{gnd}$  y  $U_{fn}$ , donde la falta corresponderá a la fase cuyo fasor esté en contrafase con  $U_{gnd}$ , se produce después de que el subsistema de reconocimiento de máquina con falta distinga dicha
- 30



máquina.

- 5           4. Sistema de detección de faltas a tierra en sistemas eléctricos con convertidores con al menos múltiples máquinas eléctricas conectas en paralelo según la reivindicación 1 caracterizado porque se contempla que si el punto medio de corriente continua o neutro de corriente alterna no está accesible, se puede utilizar uno creado de forma artificial.
- 10           5. Sistema de detección de faltas a tierra en sistemas eléctricos con convertidores con al menos múltiples máquinas eléctricas conectas en paralelo según la reivindicación 1 caracterizado porque la impedancia de puesta a tierra tiene un valor adecuado para limitar la corriente de defecto y permitir que las máquinas conectadas al convertidor puedan operar con
- 15           normalidad con una primera falta a tierra.
- 20           6. Sistema de detección de faltas a tierra en sistemas eléctricos con convertidores con al menos múltiples máquinas eléctricas conectas en paralelo según la reivindicación 1 caracterizado porque la impedancia de desequilibrio es un condensador.
- 25           7. Sistema de detección de faltas a tierra en sistemas eléctricos con convertidores con al menos múltiples máquinas eléctricas conectas en paralelo según la reivindicación 1 caracterizado porque comprende:
- 30           ○ un convertidor trifásico AC/DC para convertir una corriente trifásica en una corriente continua,
- un convertidor trifásico DC/AC para convertir una corriente continua en una corriente trifásica,
- una zona de DC que tiene una línea de conexión de polaridad positiva y una línea de conexión de polaridad negativa, donde las líneas de conexión positiva y negativa conectan la salida del

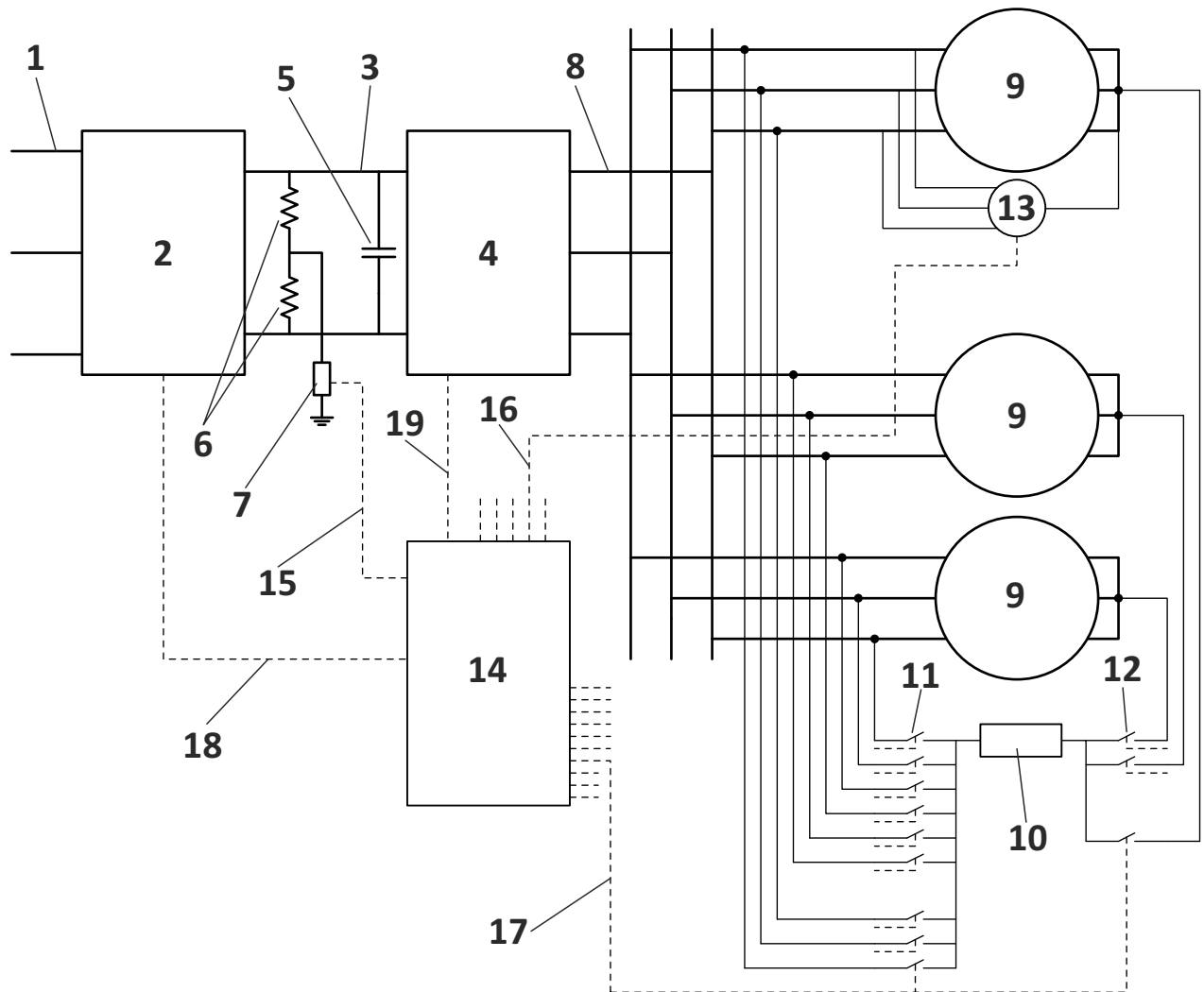
- convertidor trifásico AC/DC con la entrada del convertidor trifásico DC/AC de corriente continua en corriente alterna;
- 5
- dos resistencias de igual valor conectadas en serie entre las líneas de conexión positiva y negativa, y donde la impedancia de puesta a tierra está conectada entre la conexión central entre las dos resistencias y tierra,
  - al menos dos máquinas eléctricas conectadas en paralelo a la salida del convertidor trifásico DC/AC,
- 10
- una impedancia de desequilibrio y unos medios para conectar y desconectar la impedancia de desequilibrio con cada una de las tres fases y neutro de cada máquina eléctrica,
  - medios para medir la tensión en cada fase respecto a neutro de cada máquina eléctrica, y
- 15
- medios de procesamiento conectados para recibir las medias de tensión en: la impedancia de puesta a tierra, las medidas de tensión de cada fase de cada máquina eléctrica, donde los medios de procesamiento están adaptados para procesar dichas de medidas de tensión, y para abrir o cerrar los medios para conectar y desconectar la resistencia de desequilibrio.
- 20
8. Método de detección de faltas a tierra en sistemas eléctricos con convertidores con al menos múltiples máquinas eléctricas conectas en paralelo a al menos un convertidor de potencia capaz de detectar la máquina en falta y la fase afectada de dicha máquina con el sistema en
- 25
- operación que comprende las siguientes etapas:
- una etapa de recogida de medidas de tensión en una impedancia de puesta a tierra,  $U_{gnd}$ , de las tensiones de fase-neutro de los motores del sistema,  $U_{fn}$ , y de las frecuencias fundamentales,  $f_1$ , y de conmutación,  $f_k$ , de operación de los convertidores del sistema;
- 30
- una etapa de análisis de la zona en falta que detecta la zona donde

- se ha producido la falta a tierra llevando a cabo un análisis en el dominio de la frecuencia en  $U_{gnd}$ , de manera que observando las frecuencias  $f_1$  y  $f_k$  de cada convertidor consigue distinguir la zona en falta donde las componentes armónicas a dichas frecuencias sean las distinguidas en el espectro de frecuencias de  $U_{gnd}$ ;
- 5
- una etapa de cálculo de fasores de primer armónico de  $U_{gnd}$  y  $U_{fn}$ ;
  - una etapa de análisis de la fase en falta una vez se localiza la máquina en falta dentro de varias máquinas accionadas en paralelo por el mismo convertidor, que detecta la fase en falta como aquella
- 10
- donde su correspondiente  $U_{fn}$  queda en contrafase con  $U_{gnd}$  para el armónico fundamental de operación de las máquinas;
- caracterizado porque** comprende al menos las siguientes etapas:
- una etapa de recogida de medidas de tensión en una impedancia de puesta a tierra,  $U_{gnd}$ , de las tensiones de fase-neutro de los
- 15
- motores del sistema,  $U_{fn}$ , y de las frecuencias fundamentales,  $f_1$ , y de conmutación,  $f_k$ , de operación de los convertidores del sistema;
- una etapa de inicialización de detección de máquina en paralelo con falta a tierra que se activa cuando la etapa de análisis de zona en falta manda la señal de que está en la zona controlada del
- 20
- convertidor que controla las máquinas;
- una etapa de emisión de señales de conmutación a cada uno de los interruptores conectados a la impedancia de desequilibrio de forma secuencial y de medición de registros de  $U_{gnd}$  para cada
- 25
- posición;
- una etapa de análisis de  $U_{gnd}$  mediante histogramas para cada posición de conmutación;
  - una etapa de detección de máquina en paralelo con falta a tierra que detecta que máquina se encuentra en falta analizando características presentes en el histograma indicadoras de falta;
- 30
- una etapa de emisión de alarma que envía al menos la información

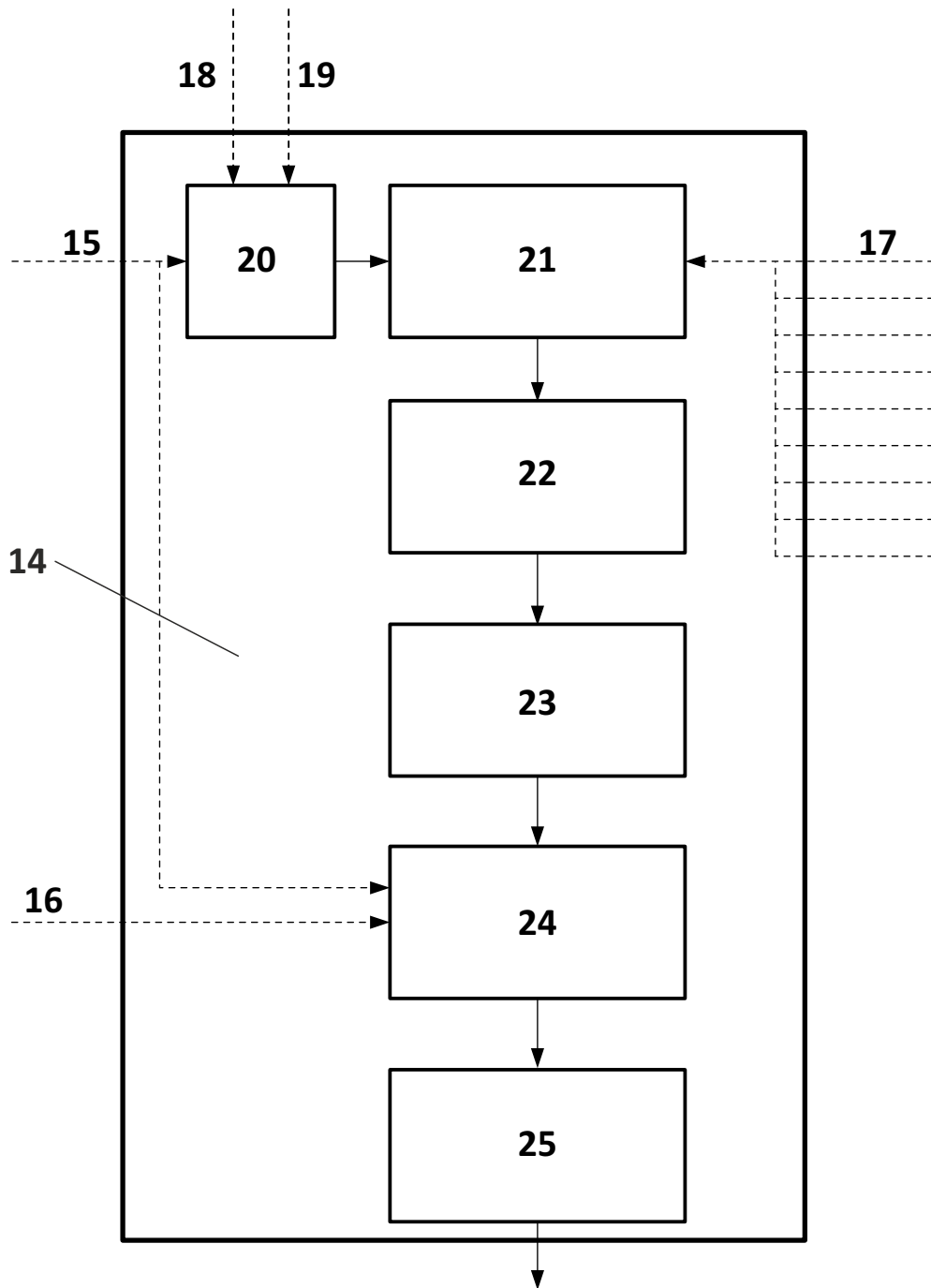
de que existe una falta a tierra en el sistema, de la máquina paralelo que dispone dicha falta y la fase afectada a equipos externos a la invención.

- 5           9. Método de detección de faltas a tierra en sistemas eléctricos con convertidores con al menos múltiples máquinas eléctricas conectas en paralelo según la reivindicación 8 caracterizado porque, en la etapa de detección de máquina en paralelo con falta a tierra que detecta que máquina se encuentra en falta analizando características presentes en el
- 10           histograma indicadores de falta, las máquinas sanas presentarán en sus histogramas picos de valores de tensión, mientras que las máquinas con falta dispondrán de histogramas más suavizados con parámetros extendidos a lo largo del rango de valores de la tensión AC inyectada en la máquina.

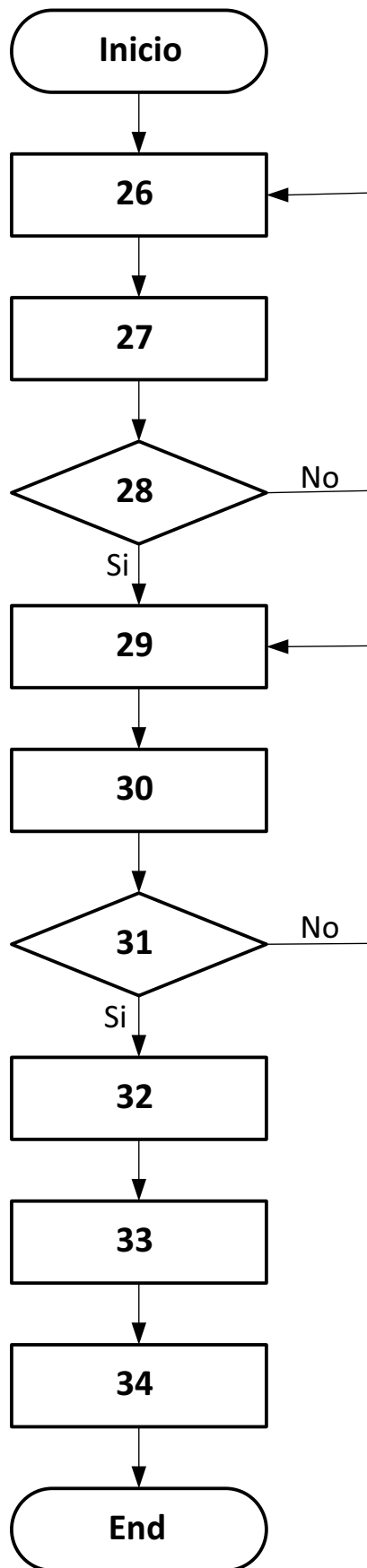
15



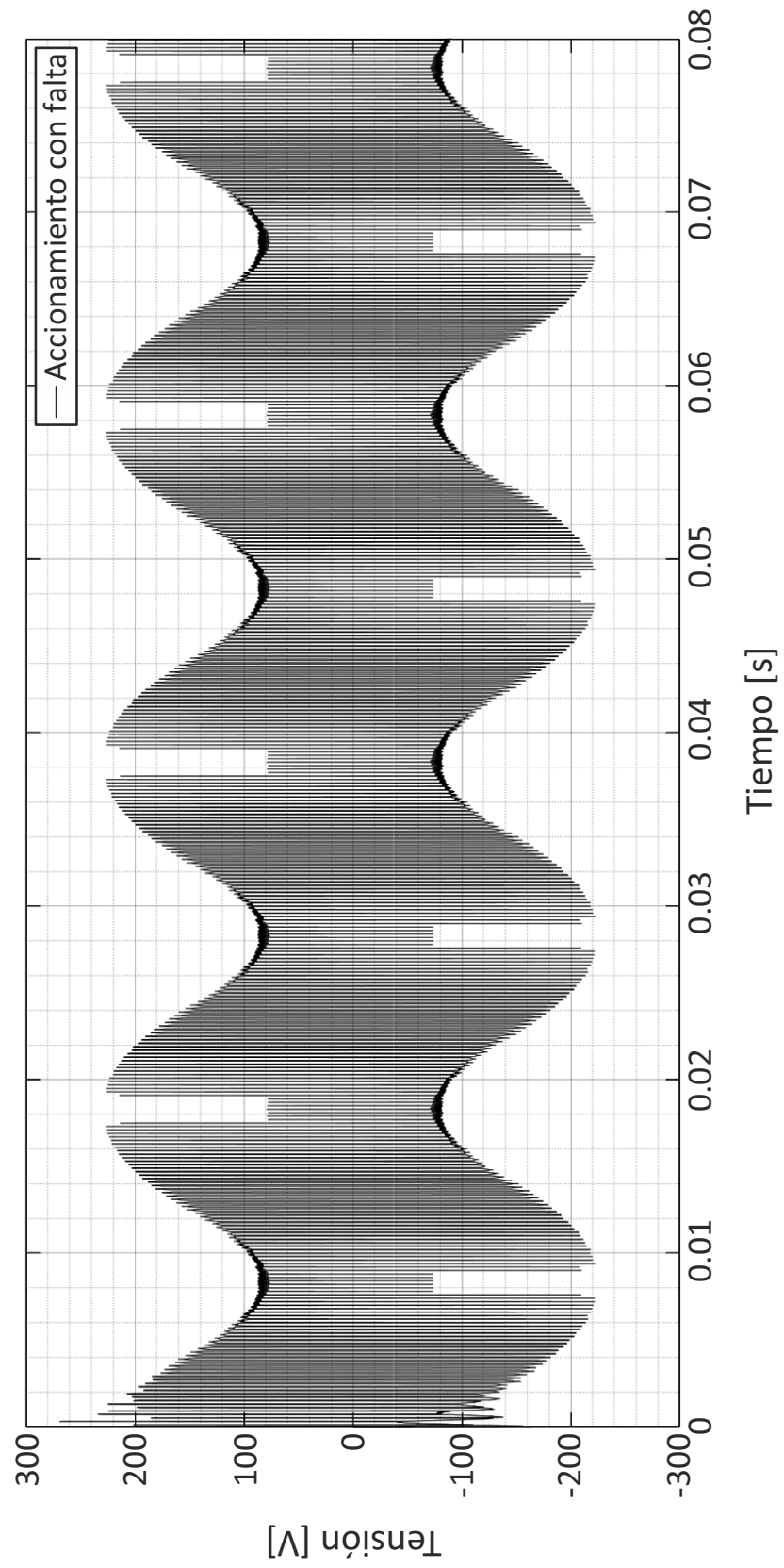
**FIG. 1**



**FIG. 2**

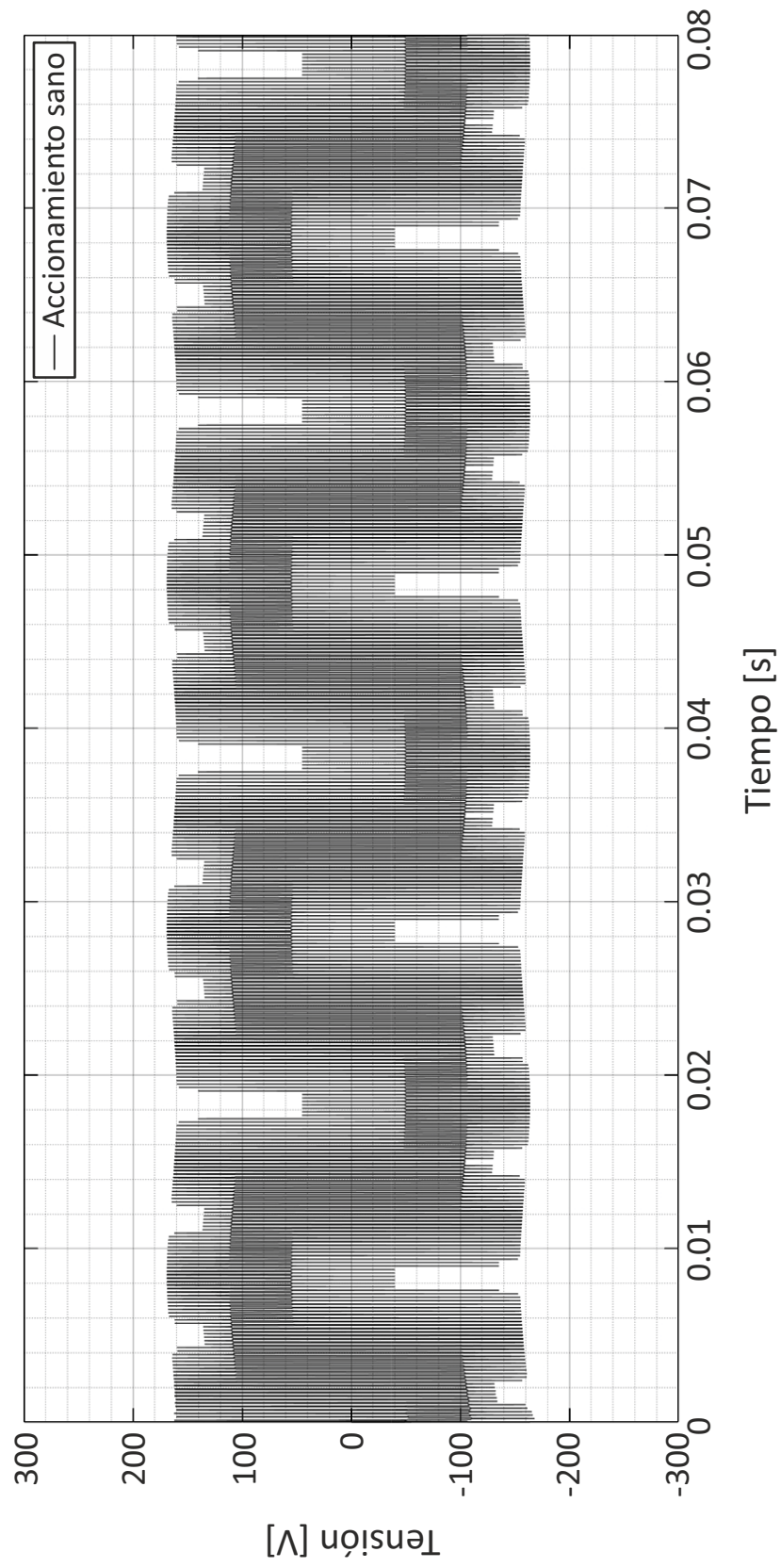


**FIG. 3**

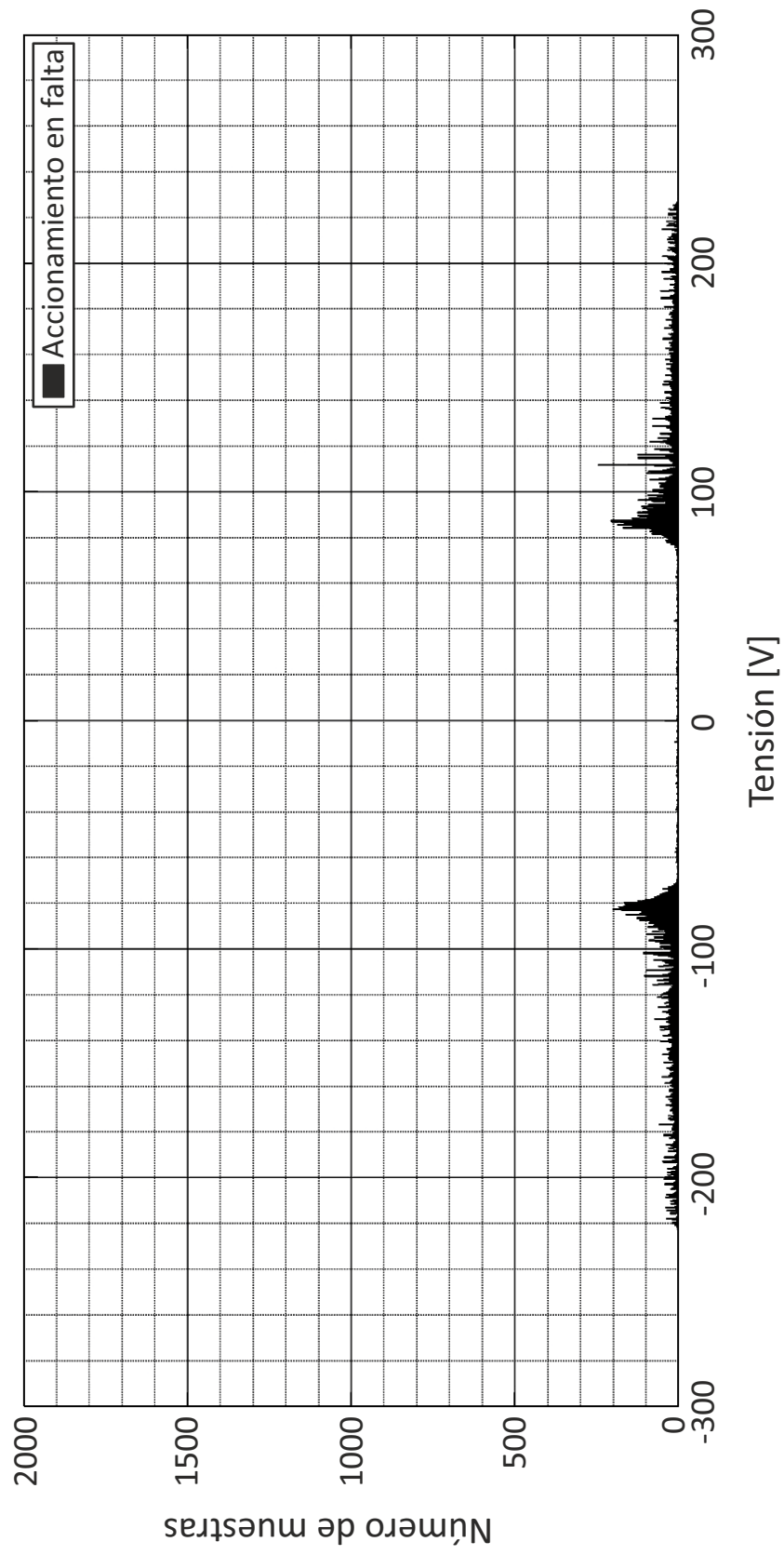


**FIG. 4A**

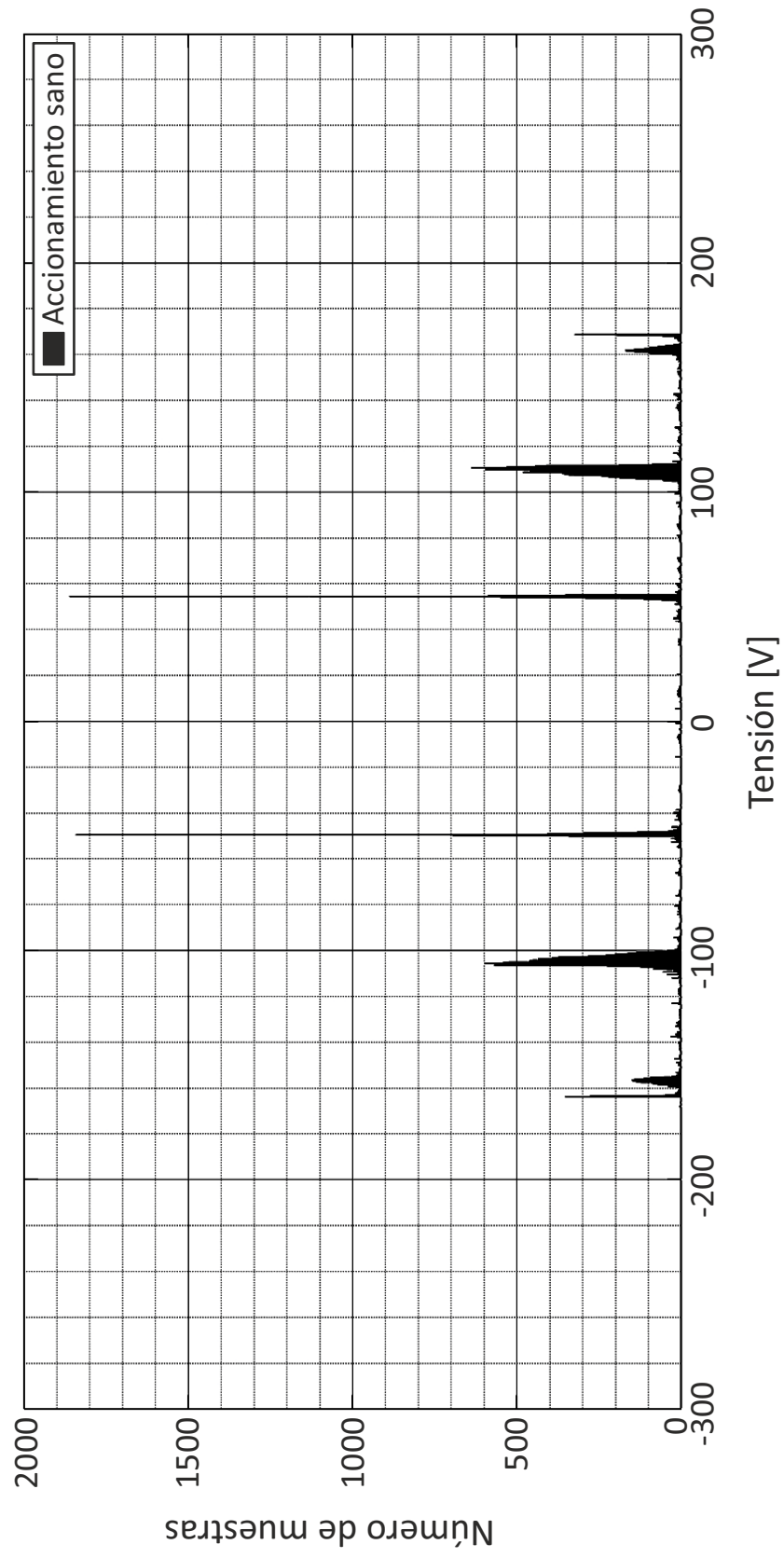




**FIG. 4B**



**FIG. 5A**



**FIG. 5B**



- ②1 N.º solicitud: 202330975  
②2 Fecha de presentación de la solicitud: 24.11.2023  
③2 Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤1 Int. cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

| Categoría                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ⑤6 Documentos citados                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Reivindicaciones afectadas |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | JOSE MANUEL GUERRERO GRANADOS.: “Tesis doctoral: Diagnóstico de faltas a tierra en sistemas eléctricos con convertidores”. Universidad Politécnica de Madrid, 11/07/2022, Páginas 287 [en línea][recuperado el 24/09/2024]. Recuperado de Internet <URL: <a href="https://oa.upm.es/70545/1/JOSE_MANUEL_GUERRERO_GRANADOS.pdf">https://oa.upm.es/70545/1/JOSE_MANUEL_GUERRERO_GRANADOS.pdf</a> >. | 1-7                        |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | capítulo 3, págs. 43-66, pág. 46, fig. 3.1.b, pág. 48, punto 3.2.3, líneas 21-25; capítulo 6, págs. 121-146, pág. 129, línea 9-10, pág. 129, fig. 6.4; capítulo 7, pág. 147-166.                                                                                                                                                                                                                  | 8-9                        |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ES ES2926002 A1 (UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID) 21/03/2022, reivindicaciones 4-5.                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 8-9                        |
| <div>Categoría de los documentos citados</div> <div>X: de particular relevancia</div> <div>Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría</div> <div>A: refleja el estado de la técnica</div> <div>O: referido a divulgación no escrita</div> <div>P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud</div> <div>E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud</div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                            |
| <div>El presente informe ha sido realizado</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> para todas las reivindicaciones</div> <div><input type="checkbox"/> para las reivindicaciones nº:</div>                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                            |
| Fecha de realización del informe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Examinador                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Página                     |
| 06.10.2024                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | J. Gómez-Escalonilla Torres                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1/2                        |

## CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

**G01R31/52** (2020.01)**H02H3/16** (2006.01)**G01R27/18** (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01R, H02H

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL, INTERNET