

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 984 673**

51 Int. Cl.:

**G01R 27/18** (2006.01)

**G01R 27/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.02.2021 PCT/GB2021/050234**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.08.2021 WO21156608**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.02.2021 E 21719194 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2024 EP 4100747**

54 Título: **Medición de resistencia de circuito**

30 Prioridad:

**05.02.2020 GB 202001539**

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

**30.10.2024**

73 Titular/es:

**MEGGER INSTRUMENTS LTD (100.0%)  
Archcliffe Road  
Dover, Kent CT17 9EN, GB**

72 Inventor/es:

**ZUREK, STANISLAW;  
JONES, JEFFREY y  
CHIN, FREDDIE**

74 Agente/Representante:

**MENDIGUTÍA GÓMEZ, María Manuela**

ES 2 984 673 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Medición de resistencia de circuito

5 **Campo técnico**

La presente descripción se refiere a la medición de la impedancia de circuito en circuitos de conductor de fase-tierra, en particular, la impedancia de circuito en circuitos de conductor de fase-tierra que comprenden un dispositivo de corriente residual (RCD).

10

**Antecedentes**

La energía eléctrica a menudo se transporta y entrega a las instalaciones en forma de red eléctrica, que es un suministro de energía eléctrica de corriente alterna (CA) de uso general. La red eléctrica típicamente tiene una frecuencia de 50 o 60 Hercios (Hz) y un voltaje entre 100 y 240 Voltios (V), donde los valores dependen del país.

15

El voltaje de red se produce por un transformador de energía y un sistema de red eléctrica típico entrega esta electricidad a las instalaciones mediante tres conductores; un conductor de fase, un conductor neutro y un conductor de tierra. El conductor de tierra a veces se denomina conductor de tierra de protección, ya que frecuentemente se usa para proteger contra la electrocución.

20

Los tres conductores (fase, neutro y tierra) generalmente están aislados entre sí, excepto para su conexión al transformador de energía y cuando se conectan a cargas que obtienen energía del suministro de red. Las cargas que obtienen energía del suministro de red pueden incluir, por ejemplo, luces conectadas a tomas de luz o aparatos electrónicos enchufados a tomas de corriente.

25

Las grandes corrientes que exceden la corriente eléctrica prevista en un conductor pueden denominarse sobrecorrientes. Las sobrecorrientes pueden provocar una generación excesiva de calor en los conductores y, como tal, suponen un riesgo de incendio y daños al equipo. Las sobrecorrientes pueden ser causadas por cortocircuitos (por ejemplo, causados por un fallo en el aislamiento de los conductores), cargas excesivas, problemas de fallo a tierra y otros. Los sistemas de red eléctrica típicamente incluyen protección contra sobrecorriente en forma de disyuntores. Los disyuntores son conmutadores operados automáticamente que están diseñados para desconectar circuitos eléctricos cuando detectan corrientes excesivas.

30

Muchos sistemas de red eléctrica modernos comprenden RCD, que son dispositivos diseñados para interrumpir circuitos de forma rápida y automática cuando se detectan desequilibrios entre la corriente en los conductores de fase y neutros. Los desequilibrios entre las conexiones activas y neutrales son frecuentemente indicadores de fugas o cortocircuitos que a veces son causados por un ser humano que recibe una corriente peligrosa, por lo que se pueden usar RCD para proteger contra esto.

35

Si una sobrecorriente excede la clasificación de corriente máxima de un disyuntor, a continuación, la sobrecorriente puede continuar fluyendo sin que el disyuntor la detenga. Esto puede causar daños al sistema. En estos casos, la corriente está limitada únicamente por la impedancia en el cableado u otros conductores del sistema.

40

En algunos territorios, existen regulaciones que requieren la prueba de sistemas para estimar la amplitud esperada de una corriente de fallo si ocurre un fallo entre los conductores de fase y de tierra. La estimación de la corriente de fallo a veces se denomina corriente de fallo prospectiva (PFC). Esto se hace determinando la impedancia del circuito en el circuito conductor de fase y de tierra del circuito.

45

La prueba de impedancia de circuito de fase y de tierra se puede realizar aplicando una carga de corriente alta al circuito de red eléctrica entre los conductores de fase y de tierra y midiendo el cambio de voltaje. Se puede usar una corriente alta de manera que el cambio de voltaje se pueda distinguir del voltaje en el sistema de red eléctrica. A continuación, la impedancia se puede calcular basándose en la corriente y el cambio de voltaje. Sin embargo, en los circuitos de red eléctrica que incluyen protección de RCD, los RCD se activan si fluye una corriente peligrosa para los humanos (por ejemplo, 30 mA) en el circuito de conductor de fase-tierra.

50

55

Se han desarrollado diferentes técnicas para medir la impedancia de circuito entre los conductores de fase y de tierra para realizar pruebas en circuitos protegidos por RCD. Uno de tales métodos consiste en saturar el núcleo magnético del RCD, aplicando una corriente de saturación entre los conductores neutro y de tierra, de modo que se pueda aplicar una carga de corriente alta entre la fase y la tierra sin activar el RCD. Sin embargo, algunos tipos más nuevos de RCD no se pueden saturar para evitar activaciones.

60

Otro método de este tipo es la prueba de baja corriente de tres cables. Esta prueba se realiza en varias etapas conectando los tres conductores; fase, neutro y tierra. La prueba comienza aplicando una prueba de carga de alta corriente entre los conductores de fase y neutro (esto no activará un RCD, ya que la corriente a través de los conductores de fase y neutro será igual) para determinar la impedancia del circuito de conductor de fase y neutro ( $Z_L$ ).

65

$I_N = I_L + I_{Z_N}$ ). A continuación, se aplica una carga de alta corriente entre los conductores de fase y neutro, pero el voltaje se mide entre el circuito neutro y de tierra; esto puede usarse para determinar la impedancia de los conductores neutros únicamente ( $Z_N$ ). A continuación, se puede aplicar una corriente baja (para no activar el RCD) a la frecuencia de la red eléctrica entre los conductores de fase y de tierra y medir el voltaje entre los conductores neutro y de tierra para determinar la impedancia de conductor de tierra ( $Z_E$ ). Por suma y resta se puede determinar la impedancia del circuito conductor de fase y de tierra ( $Z_{L-E} = Z_{L-N} - Z_N + Z_E$ ).

Sin embargo, ambos métodos requieren conectar un dispositivo de prueba a los tres conductores de fase, neutro y de tierra que no siempre son accesibles. Por ejemplo, en muchos enchufes de luz puede que no esté presente el conductor neutro.

Algunas técnicas utilizan únicamente los conductores de fase y de tierra. Por ejemplo, en el documento EP17646192 se analiza un método en el que se aplica una corriente de prueba alterna a través de las conexiones de fase a tierra de un suministro y, a continuación, se toma una pluralidad de muestras de voltaje a través de las conexiones. Las muestras de voltaje se transforman posteriormente del espacio de tiempo al espacio de frecuencia para permitir que se aisle el componente debido a la corriente de prueba. A continuación, se calcula la impedancia del circuito. Sin embargo, esta técnica requiere una estrecha sincronización entre la frecuencia de la red eléctrica y el hardware de medición.

El artículo "A new method of fault loop resistance measurement in low voltage systems with residual current devices", CZAPP STANISLAW y col., 2015 IEEE Eindhoven Powertech analiza un método de medición de resistencia de circuito de fallo en sistemas de bajo voltaje con dispositivos de corriente residual.

El documento GB 2413192 A (Martindale Electrical Company) analiza un medidor de impedancia de circuito configurado para medir la impedancia de circuito de un suministro de red de CA protegido por un dispositivo de corriente residual (RCD). El medidor comprende un circuito de control para conectar una resistencia de carga R1 entre el terminal de tierra y el terminal de suministro de red para medir el voltaje entre ellos y derivar la impedancia de circuito. El circuito de control está dispuesto para suministrar una serie de impulsos desensibilizantes de corriente a través de la resistencia de carga.

El documento GB 2430 040 A (Kew Technik Ltd.) analiza un probador y un método para determinar la resistencia o impedancia de circuito de línea a tierra de un suministro de red, que incluye una resistencia de línea, una resistencia neutra y una resistencia de tierra, y preferiblemente al menos otra característica del suministro de red.

El documento US 2007/103168 A1 (Batten Douglas W y col.) analiza un medidor de impedancia de circuito proporcionado para probar un suministro de red de CA. El medidor comprende un circuito de control electrónico para conectar una resistencia de carga de forma intermitente entre el terminal de suministro de red de CA y el terminal de tierra para medir la diferencia de potencial entre esos terminales y proporcionar una indicación de la impedancia de circuito del suministro de red de CA a partir de esa diferencia de potencial.

**Resumen**

La invención se expone en el conjunto de reivindicaciones adjuntas. Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un método de medición de resistencia de circuito en un circuito conductor de tierra-fase energizado por un suministro de red de corriente alterna, comprendiendo el circuito conductor de tierra-fase un dispositivo de corriente residual, comprendiendo el método:

usar un circuito de medición que tiene una característica de filtro de paso bajo, estando dispuesta la característica de filtro de paso bajo para eliminar sustancialmente los componentes de señal a la frecuencia del suministro de red de corriente alterna, para medir, en un primer período, un voltaje a través de conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra para determinar un primer voltaje;

usar un circuito de aplicación de corriente para aplicar una corriente de prueba unipolar entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra durante un segundo período, en donde la corriente de prueba unipolar tiene una magnitud por debajo de un valor de corriente de activación del dispositivo de corriente residual;

con la corriente de prueba unipolar aplicada, usar el circuito de medición para medir, en el segundo período, un voltaje entre los conductores de fase y de tierra para determinar un segundo voltaje;

comparar el primer y segundo voltajes para determinar un cambio de voltaje; y

basándose en una diferencia de corriente de prueba entre el primer y segundo periodos y una diferencia de voltaje entre el primer voltaje y el segundo voltaje, calcular la resistencia del circuito de conductor de fase-tierra.

Aplicando una corriente de prueba unipolar al circuito de conductor de fase-tierra y filtrando señales del circuito de conductor de fase-tierra usando una característica de filtro de paso bajo, la resistencia de circuito en el circuito de

5 conductor de fase-tierra se puede determinar sin que el circuito de medición esté sincronizado con el suministro de energía al circuito de conductor de fase-tierra y con los componentes reactivos de la impedancia eliminados del resultado. Se ha descubierto, sorprendentemente, que se puede lograr un rechazo suficiente de las señales de frecuencia de la red eléctrica y de los armónicos de las señales de frecuencia de la red eléctrica usando una señal de prueba unipolar, en lugar de alterna, y un circuito de medición que tiene un paso bajo, en lugar de una característica de filtro de paso banda.

10 En una realización, el método comprende usar el circuito de aplicación de corriente para aplicar una corriente de prueba unipolar inversa entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra, en donde la corriente de prueba unipolar inversa tiene una magnitud por debajo del valor de corriente de activación del dispositivo de corriente residual y fluye en la dirección opuesta a la corriente de prueba unipolar.

15 Como alternativa, el método puede comprender no aplicar corriente de prueba entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra en el primer período. Esto puede simplificar los sistemas de circuitos de prueba.

20 Esto aumenta el rango efectivo de determinación del cambio de voltaje debido a las corrientes de prueba aplicadas, aumentando de esta manera la precisión de la prueba, sin aumentar el riesgo de activar el RCD debido a la aplicación de una corriente de prueba más alta.

25 En una realización, usar el circuito de medición para medir un voltaje entre los conductores de fase y de tierra comprende determinar una pluralidad de voltajes y calcular un voltaje promedio basándose en la pluralidad de voltajes. Calculando el cambio de voltaje basándose en un voltaje promedio, se puede aumentar la fiabilidad de la medición.

30 En una realización, al menos una de la corriente de prueba unipolar y la corriente de prueba unipolar inversa es una serie de pulsos de corriente, y en donde la amplitud de cada una de las series de pulsos de corriente crece y decae como un medio ciclo de seno.

35 En una realización, al menos una de la corriente de prueba unipolar y la corriente de prueba unipolar inversa es una serie de pulsos de corriente, y en donde la amplitud de cada una de las series de pulsos de corriente crece y decae como un medio ciclo de una onda cuadrada. Esto puede proporcionar un mayor rechazo del ruido, ya que la corriente de prueba aplicada puede ser independiente de la amplitud del voltaje del suministro de energía durante el pulso de medio ciclo.

40 En una realización, usar un circuito de aplicación de corriente para aplicar una corriente de prueba unipolar entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra comprende conectar al menos una resistencia de carga y un diodo a través de los conductores de fase y de tierra del conductor de circuito de fase-tierra.

45 En una realización, las señales del circuito de conductor de fase-tierra se filtran al menos parcialmente con una característica de paso bajo mediante el muestreo usando el convertidor analógico-digital. Esto permite que el tiempo de estabilización del sistema de filtrado sea menor en comparación con el filtrado usando únicamente el sistema de filtrado. Esto permite que la medición se realice más rápidamente y puede permitir que las inversiones de corriente, es decir, el intercambio entre la corriente de prueba unipolar y la corriente de prueba unipolar inversa, se realicen más rápidamente.

50 En una realización, el método comprende:

realizar el método según cualquier realización anterior en un circuito energizado que tiene una resistencia de circuito predeterminada, para determinar una resistencia de circuito medida; y

determinar un factor de corrección a aplicar a la medición de la resistencia de circuito, basándose al menos en una comparación de la resistencia de circuito medida y la resistencia de circuito predeterminada.

55 En una realización, medir la resistencia de circuito de conductor de fase-tierra comprende calcular una primera resistencia del circuito de conductor de fase-tierra y usar el factor de corrección y la primera resistencia para determinar una segunda resistencia corregida del circuito de conductor de fase-tierra.

60 En una realización, el factor de corrección es función de la magnitud de la primera resistencia del circuito de conductor de fase-tierra. Esto permite que la medición de la resistencia de circuito sea correcta y precisa en los casos donde la resistencia de circuito no es despreciable en comparación con la resistencia de carga.

65 En una realización, se proporciona un método de medición de impedancia de circuito en un circuito de conductor de fase-tierra energizado que comprende un dispositivo de corriente residual, comprendiendo el método:

medir la resistencia de circuito en el circuito de conductor de fase-tierra energizado que comprende un dispositivo de corriente residual según cualquiera de las realizaciones anteriores;

usar un circuito de medición adicional para medir un voltaje a través de conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra para determinar un tercer voltaje;

5 usar el circuito de aplicación de corriente para aplicar una corriente de prueba unipolar entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra, en donde la corriente de prueba unipolar tiene una magnitud por debajo de un valor de corriente de activación del dispositivo de corriente residual;

10 con la corriente de prueba unipolar aplicada, usar el circuito de medición adicional para medir un voltaje entre los conductores de fase y de tierra para determinar un cuarto voltaje;

comparar el tercer y cuarto voltajes para determinar un cambio de voltaje; y

15 basándose en el cambio de corriente y el cambio de voltaje entre la determinación del tercer voltaje y la determinación del cuarto voltaje, calcular la reactancia del circuito de conductor de fase-tierra,

en donde usar un circuito de medición adicional para medir un voltaje a través de conductores de fase y de tierra comprende:

20 filtrar señales del circuito de conductor de fase-tierra con una característica de filtro de paso alto;

muestrear señales del circuito de conductor de fase-tierra con un convertidor analógico-digital; y

25 determinar un voltaje de las señales muestreadas.

De esta manera, puede ser posible calcular la impedancia total del conductor de fase-tierra energizado midiendo en primer lugar la resistencia del circuito de conductor de fase-tierra y posteriormente midiendo la reactancia del circuito de conductor de fase-tierra energizado, o viceversa.

30 Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un dispositivo para medir la resistencia de circuito en un circuito de conductor de fase-tierra energizado que comprende un dispositivo de corriente residual, comprendiendo el dispositivo para medir la resistencia de circuito:

35 un circuito de aplicación de corriente para aplicar una corriente de prueba unipolar entre conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra, en donde la corriente de prueba unipolar tiene una magnitud por debajo de un valor de corriente de activación del dispositivo de corriente residual;

40 un circuito de medición para medir un voltaje a través de conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra, comprendiendo el circuito de medición:

un sistema de filtrado que tiene una característica de filtro de paso bajo; y

un convertidor analógico-digital;

45 un equipo de control para:

controlar la aplicación de la corriente de prueba unipolar entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra;

50 hacer que el convertidor analógico a digital muestree señales del circuito de conductor de fase-tierra; y

determinar la resistencia de circuito en el circuito de conductor de fase-tierra basándose al menos en las señales muestreadas y la magnitud de la corriente de prueba unipolar.

55 En una realización, el circuito de aplicación de corriente comprende al menos una resistencia de carga y un diodo. La resistencia de carga permite que la magnitud de la corriente de prueba se mantenga por debajo de un nivel de corriente de activación del RCD y el diodo puede hacer que la corriente de prueba aplicada sea unipolar de modo que pueda aislarse de un suministro de energía al circuito de conductor de fase-tierra usando el sistema de filtrado.

60 En una realización, la resistencia de carga es seleccionable. Esto permite alterar la magnitud de la corriente de prueba suministrada según un valor de corriente de activación de un RCD en un circuito de conductor de fase-tierra bajo prueba, lo que permite que el dispositivo se use para determinar la resistencia de circuito en circuitos de conductor de fase-tierra que comprenden RCD con diferentes valores de corriente de activación.

65 En una realización, el circuito de aplicación de corriente comprende al menos un transistor controlable para hacer pasar una corriente que tiene una amplitud predeterminada y una forma de pulso predeterminada entre los conductores

de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra. Usando un transistor para controlar la corriente aplicada al circuito de conductor de fase-tierra, se pueden usar formas de pulso que proporcionan un mayor rechazo de ruido, por ejemplo, usando formas de pulso rectangulares en circuitos de conductor de fase-tierra conectados a suministros de energía sinusoidales.

5 En una realización, el circuito de aplicación de corriente comprende un primer trayecto de corriente para aplicar corriente al circuito de conductor de fase-tierra en una primera dirección y un segundo trayecto de corriente para aplicar corriente al circuito de conductor de fase-tierra en una segunda dirección, y en donde la primera dirección y la segunda dirección son direcciones opuestas, siendo reconfigurable el circuito de aplicación de corriente entre la aplicación de una corriente de prueba unipolar al circuito de conductor de fase-tierra en la primera dirección y la segunda dirección.

10 En una realización, el equipo de control es operable para controlar el circuito de aplicación de corriente a reconfigurar entre la aplicación de corriente en la primera dirección y la aplicación de corriente en la segunda dirección. Tener dos trayectos de corriente opuestos permite medir la caída de voltaje, usada para determinar la resistencia de circuito, en un rango mayor sin aplicar una corriente de prueba más alta al circuito de conductor de fase-tierra que, de cualquier otra manera, aumentaría el riesgo de activar el RCD.

15 En una realización, el sistema de filtrado es un sistema de filtrado digital. El uso de un sistema de filtrado digital puede simplificar los componentes físicos usados en el dispositivo y puede permitir que el dispositivo se configure para su uso en una variedad más amplia de circuitos de conductor de fase-tierra.

20 En una realización, el sistema de filtrado digital comprende un filtro de respuesta al impulso finito. En una realización, el sistema de filtrado digital comprende un filtro de respuesta al impulso infinito. En una realización, el sistema de filtrado digital implementa una función de transformada de Fourier.

25 En una realización, el dispositivo comprende al menos un divisor de voltaje para modificar una entrada de rango de voltaje al circuito de medición. Modificar el rango de entrada usando un divisor de voltaje puede permitir que el dispositivo se use para medir una amplia variedad de resistencias.

30 En una realización, el dispositivo comprende un divisor de voltaje para modificar una entrada de rango de voltaje al circuito de medición.

35 Las características y ventajas adicionales de la invención se volverán evidentes de la siguiente descripción de las realizaciones preferidas de la invención, dada sólo a modo de ejemplo, que se hace con referencia a los dibujos acompañantes.

### Breve descripción de los dibujos

40 La Figura 1 muestra esquemáticamente un ejemplo de sistema de red eléctrica.

La Figura 2 muestra un diagrama en bloque de un dispositivo según un ejemplo.

La Figura 3 muestra esquemáticamente un diagrama de circuito simplificado de un dispositivo según un ejemplo.

45 La Figura 4a muestra un gráfico de corriente frente al tiempo para un único medio ciclo de corriente aplicada según un ejemplo.

50 La Figura 4b muestra un gráfico de la caída de voltaje frente al tiempo resultante de un medio ciclo de corriente de prueba aplicada debido a la impedancia según un ejemplo.

La Figura 5 muestra un gráfico de caída de voltaje frente al tiempo resultante de una serie de pulsos de corriente de medio ciclo según un ejemplo.

55 La Figura 6 muestra esquemáticamente un diagrama de circuito simplificado de un dispositivo según un ejemplo adicional.

La Figura 7 muestra un gráfico de la caída de voltaje frente al tiempo resultante de una serie de pulsos de corriente de medio ciclo según un ejemplo adicional.

60 La Figura 8 muestra un diagrama de circuito de un circuito de aplicación de corriente según un ejemplo.

La Figura 9 muestra un diagrama de circuito simplificado de un sistema de filtrado según un ejemplo.

La Figura 10 muestra un diagrama de circuito de un sistema de filtrado según un ejemplo.

65 La Figura 11 muestra un diagrama de flujo de un método según un ejemplo.

La Figura 12 muestra un gráfico de la caída de voltaje frente al tiempo resultante de un medio ciclo de corriente de prueba aplicada debido a la impedancia según un ejemplo.

5 La Figura 13 muestra un diagrama de flujo de un método según un ejemplo.

La Figura 14 muestra esquemáticamente un diagrama de circuito simplificado de un dispositivo según un ejemplo adicional.

10 **Descripción detallada**

Los detalles de los ejemplos resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción, con referencia a las figuras. En esta descripción, con fines de explicación, se exponen numerosos detalles específicos de ciertos ejemplos. La referencia en la descripción a “un ejemplo” o lenguaje similar significa que una característica, estructura, o característica particular descrita en relación con el ejemplo se incluye en al menos ese ejemplo, pero no necesariamente en otros ejemplos. Debe notarse además que ciertos ejemplos se describen esquemáticamente con ciertas características omitidas y/o necesariamente simplificadas para facilitar la explicación y comprensión de los conceptos subyacentes a los ejemplos.

20 La Figura 1 muestra esquemáticamente un sistema 100 de red eléctrica ilustrativo. El sistema 100 de red eléctrica comprende una fuente 110 de voltaje. La fuente 110 de voltaje puede ser un transformador de energía que entrega electricidad a un voltaje y frecuencia de, por ejemplo, 230 V y 50 Hz, respectivamente. El sistema 100 de red eléctrica comprende tres trayectos conductores: fase 120, neutro 130 y tierra 140. Cada trayecto conductor tiene una impedancia indicada en la Figura 1 como bloques  $Z_L$ ,  $Z_N$ , y  $Z_E$  respectivamente. El sistema 100 de red eléctrica comprende un disyuntor 150 conectado en los trayectos conductores de fase 120 y neutro 130 para detectar sobrecorrientes y posteriormente desconectar el sistema. El sistema 100 de red eléctrica también comprende un RCD 160 conectado en los trayectos conductores de fase 120 y neutro 130 para interrumpir el circuito si detecta un desequilibrio de corriente entre los trayectos de fase 120 y neutro 130. El sistema 100 de red eléctrica comprende un enchufe 170 que proporciona conexiones para dispositivos eléctricos, por ejemplo, aparatos electrónicos, para conectarse a los conductores de fase 120, neutro 130 y tierra 140. Una indicación de un fallo 180 entre los conductores de fase 120 y tierra 140 se muestra mediante una flecha. Si se desarrolla un fallo 180 entre los conductores de fase 120 y tierra 140, a continuación, pueden estar presentes sobrecorrientes en el sistema 100 que exceden la característica del disyuntor 150 y dañan el sistema 100.

35 En el caso de sobrecorrientes que exceden la característica de un disyuntor 150, la corriente únicamente está limitada por la impedancia en el circuito a través del que viaja. Por ejemplo, en la Figura 1, el fallo 180 se muestra entre los trayectos conductores de fase 120 y tierra 140, por lo que la impedancia es la suma de las impedancias  $Z_L$  y  $Z_E$ . La determinación de la impedancia en el circuito proporciona una indicación de la corriente de fallo máxima posible que puede estar presente en el sistema 100. Durante una corriente de fallo, la impedancia interna del RCD 160 colapsa a un valor despreciable. Sin embargo, algunos RCD pueden tener una impedancia interna significativa cuando se miden con corrientes bajas. Por lo tanto, si una prueba de baja corriente de impedancia de circuito incluye la impedancia debida al RCD 160, la posible corriente de fallo calculada puede subestimarse.

45 Dado que estas pruebas pueden llevarse a cabo por motivos de seguridad, es interesante determinar la situación del peor de los casos para las corrientes de fallo. En consecuencia, esto puede determinarse midiendo únicamente el componente resistivo de la impedancia. Como la resistencia de los RCD puede ser despreciable y como el componente resistivo de la impedancia es menor que la impedancia total, la impedancia que se determina basándose únicamente en los componentes resistivos no estará por encima de la impedancia real en el circuito del conductor de fase y de tierra durante un incidente de corriente de fallo. Esto puede evitar subestimar posibles corrientes de fallo. La posible corriente de fallo en el circuito de conductor de fase-tierra se puede calcular usando:

$$I_{PFC} = \frac{V_{L-E}}{R_{L-E}} \quad (1)$$

55 dónde  $I_{PFC}$  es la posible corriente de fallo,  $V_{L-E}$  es el voltaje a través del conductor de fase y de tierra (generalmente de la fuente 110), y  $R_{L-E}$  es la resistencia en el circuito de conductor de fase-tierra. Si  $I_{PFC}$ , calculado mediante la ecuación 1, está por debajo de la característica actual del disyuntor, el sistema es seguro de usar. La reactancia no contabilizada elevará la impedancia medida en el sistema y, por lo tanto, reducirá el posible valor de corriente de fallo.

60 En la Figura 1 se muestra un dispositivo 190 para probar la impedancia de circuito de conductor de fase y de tierra según un ejemplo, que se conecta a los conductores de fase 120 y de tierra 140. A lo largo de esta descripción, el circuito que comprende los trayectos conductores de fase 120 y tierra 140 puede denominarse circuito de fase-tierra, circuito de conductor de fase-tierra o circuito L-E. Cuando se determina la posible corriente de fallo, se determina la impedancia del circuito de fase-tierra ( $Z_{L-E}$ ). Siempre que se use al menos el componente resistivo de la impedancia,

se puede determinar la posible corriente de fallo del peor de los casos. La impedancia del circuito de conductor de fase-tierra mostrada en la Figura 1 es igual a la suma de la impedancia en los conductores de fase y los conductores de tierra ( $Z_{L-E} = Z_L + Z_E$ ).

5 Ahora se describirán ejemplos en el contexto de un dispositivo y un método para realizar una medición de resistencia de circuito para una posible prueba de corriente de fallo usando los conductores de fase y de tierra de un sistema de red eléctrica que se va a probar. En particular, se describirán ejemplos de un dispositivo que realiza una medición de resistencia de circuito, aplicando al menos una corriente de prueba unipolar, por debajo de una magnitud de corriente que activaría el RCD, al circuito de fase-tierra y midiendo un cambio en el voltaje resultante de esta corriente. Medir el cambio de voltaje comprende usar un filtro para atenuar el alto voltaje del suministro de energía de red eléctrica y muestrear las señales para extraer el cambio de voltaje. El filtro, y la característica de filtro, es típicamente de paso bajo con una respuesta monótona por debajo de la frecuencia de suministro de energía de red eléctrica, es decir, la frecuencia del suministro de red de corriente alterna, y típicamente está dispuesta para eliminar sustancialmente los componentes de señal a la frecuencia del suministro de red de corriente alterna. Las Figuras 2 y 3 muestran esquemáticamente ejemplos de un dispositivo de este tipo. Midiendo la resistencia del circuito de fase-tierra usando únicamente los conductores de fase y tierra, es posible calcular posibles corrientes de fallo en instalaciones o tomas donde no es posible una conexión al conductor neutro. Usando un filtro para atenuar el suministro de energía de red eléctrica y aplicando una corriente unipolar durante la prueba, es posible medir el cambio de voltaje sin tener que sincronizar el muestreo del voltaje con el suministro de energía de red eléctrica. Esto puede disminuir la complejidad del circuito usado para medir el voltaje. Similarmente, como el sistema de suministro de energía de red eléctrica suele ser ruidoso y tiene una frecuencia variable, los sistemas de medición que operan sin tener que sincronizarse con el suministro de energía de red eléctrica pueden ser menos propensos a mediciones erróneas.

En algunos ejemplos, el dispositivo aplica la corriente conectando una carga entre los conductores de fase y de tierra del sistema de red eléctrica. Sin embargo, en otros ejemplos, la corriente puede inyectarse mediante un circuito que comprende un suministro de energía. A lo largo de toda la siguiente descripción se dan ejemplos de voltajes, frecuencias y corrientes para sistemas de suministro de red eléctrica y componentes eléctricos. Sin embargo, se reconoce que estos ejemplos son ilustrativos y que los valores de voltajes, frecuencias y corrientes pueden diferir para diferentes componentes eléctricos y sistemas de suministro de red, por ejemplo, en diferentes países, y los valores dados en la presente memoria pueden diferir cuando se aplican a diferentes sistemas en consecuencia.

En un ejemplo, se proporciona un método de medición de resistencia de circuito. Esto comprende aplicar al menos una corriente de prueba unipolar que tiene una magnitud por debajo de un nivel de activación del RCD y medir un cambio resultante en el voltaje a través de los conductores de fase y de tierra de un sistema de red eléctrica que se va a probar. En un ejemplo, el cambio de voltaje es el cambio desde el caso donde no se aplica corriente de prueba. El período donde no se aplica corriente puede ser antes o después del período cuando se aplica la corriente de prueba. La Figura 11 ilustra un ejemplo de este método. El método emplea un sistema de filtrado para atenuar las señales en las frecuencias del suministro de energía de red eléctrica y otros componentes usados para determinar el cambio de voltaje. Otro ejemplo de este método se describe más adelante, en donde se aplica una corriente de prueba unipolar en la dirección opuesta a la corriente de prueba unipolar original cuando se mide un primer voltaje y el cambio de voltaje, usado para determinar la resistencia, es la diferencia entre el cambio de voltaje resultante de aplicar cada corriente de prueba unipolar. Esto puede aumentar el rango efectivo de la medición, pero también mantiene la corriente aplicada por debajo del valor de corriente de activación del RCD.

45 Volviendo a la Figura 2, esta Figura ilustra un dispositivo 200 para medir la resistencia de circuito en un circuito de conductor de fase-tierra energizado que comprende un RCD. Aunque la corriente de fallo real de un fallo de fase-tierra está limitada por la impedancia total en el circuito de fase-tierra, una medición del componente resistivo de la impedancia es útil, ya que puede indicar la situación del peor de los casos de corriente de fallo. Si una corriente de fallo potencial, calculada únicamente con el componente resistivo, está por debajo de la característica de corriente máxima de un disyuntor, a continuación, la corriente real que se desarrollaría a partir de un fallo también estará por debajo de esta clasificación, ya que los componentes de impedancia no incluidos en el cálculo aumentarán la impedancia total. El dispositivo analizado a lo largo de toda esta descripción puede determinar o usarse para determinar el componente resistivo de la impedancia. Sin embargo, en esta medición también se puede incluir una cantidad despreciable del componente reactivo de la impedancia.

El dispositivo 200 mostrado en la Figura 2 comprende los puntos 210 y 215 de conexión para conectar el dispositivo a los conductores de fase y de tierra del circuito. Los puntos 210 y 215 de conexión del dispositivo pueden comprender aparatos de conexión eléctrica, por ejemplo, pinzas de cocodrilo, conectores tipo banana, enchufes de energía u otros aparatos de conexión eléctrica adecuados. El tipo de aparato de conexión eléctrica puede depender de la parte del circuito que se va a probar. En algunos ejemplos, los conductores de fase y de tierra del circuito que se va a probar pueden ser superficies conductoras expuestas. Por ejemplo, conductores expuestos en un casquillo de luz roscado. En otros ejemplos, los conductores de fase y de tierra a los que está conectado el dispositivo 200 para realizar pruebas pueden ser contactos eléctricos dentro de un enchufe, por ejemplo, conductores de recepción con resortes para conectarse eléctricamente con clavijas de enchufe. En algunos ejemplos, el dispositivo 200 puede comprender un aparato de conexión desprendible. Por ejemplo, el dispositivo 200 puede comprender cables que se pueden conectar a los puntos 210 y 215 de conexión. Los cables pueden comprender sondas eléctricas, pinzas de cocodrilo o enchufes

que pueden usarse para conectarse eléctricamente con los conductores de fase y de tierra del circuito que se va a probar.

5 El dispositivo 200 puede comprender un circuito 220 de aplicación de corriente para aplicar una corriente de prueba unipolar entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra. La corriente de prueba unipolar que tiene una magnitud por debajo del valor de corriente de activación del RCD. Como se ha analizado anteriormente, los RCD están diseñados para desconectar un circuito cuando detectan desequilibrios de corriente entre los conductores de fase y neutros que pueden ser peligrosos para los humanos. Sin embargo, no todos los RCD tienen el mismo valor de corriente de activación. En un ejemplo, el valor de corriente de activación para un RCD es de 100 miliamperios (mA). En otro ejemplo, un valor de corriente de activación para un RCD es de 10 mA. Para simplificar, en los ejemplos descritos en la presente memoria frecuentemente se hará referencia a un valor de corriente de activación de 30 mA. Sin embargo, se reconoce que el valor de la corriente de activación puede diferir de este valor y, en consecuencia, otros valores que se calculan basándose en este serán diferentes. Para reducir la posibilidad de que la corriente aplicada exceda el valor de corriente de activación, la raíz cuadrática media de la corriente aplicada puede ser menor o igual a la mitad de la magnitud del valor de corriente de activación del RCD. Por ejemplo, si un RCD tiene un valor de corriente de activación de 30 mA, la raíz cuadrática media de la corriente aplicada no puede exceder los 15 mA.

20 El dispositivo 200 puede comprender un circuito 230 de medición para medir el voltaje a través de los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra. La aplicación de una corriente de prueba entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra hará que el voltaje entre los conductores de fase y de tierra caiga. Es posible usar la corriente de prueba predeterminada y la caída de voltaje para determinar la resistencia  $R_{L.E.}$ . Sin embargo, como la corriente de prueba tiene una magnitud pequeña, por debajo del valor de corriente de activación de RCD, la caída de voltaje resultante también será pequeña. Por consiguiente, puede resultar difícil distinguir la caída de voltaje del voltaje de CA cíclico, debido al suministro de energía, cuando se mide el voltaje. El circuito 230 de medición puede comprender un sistema de filtrado que tiene una característica de filtro de paso bajo. El sistema de filtrado se puede utilizar para atenuar las señales de frecuencia del suministro de energía de red eléctrica de modo que se pueda extraer la caída de voltaje debida a la corriente de prueba aplicada. El circuito de medición puede comprender un convertidor analógico a digital (ADC). El ADC se puede usar para muestrear señales del circuito de conductor de fase-tierra. El muestreo de señales usando el ADC se puede realizar antes de que las señales pasen al sistema de filtrado o se puede realizar después de que el sistema de filtrado haya filtrado las señales. En algunos ejemplos, el ADC forma parte del sistema de filtrado, aunque esto se explicará más adelante.

35 El dispositivo 200 en la Figura 2 puede comprender un equipo de control 240. El equipo de control 240 puede usarse para controlar la aplicación de la corriente de prueba unipolar entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra. El equipo de control 240 puede comprender cualquier combinación de hardware y código de programa para realizar la función descrita en la presente memoria. El equipo de control 240 puede hacer que el convertidor analógico a digital muestree señales del circuito de conductor de fase-tierra y puede determinar la resistencia de circuito del circuito de conductor de fase-tierra basándose al menos en señales medidas muestreadas y la magnitud de la corriente de prueba unipolar. Por ejemplo, el equipo de control 240 puede controlar la magnitud, dirección y forma de pulso de la corriente de prueba aplicada al circuito. A continuación, el equipo de control 240 puede hacer que el circuito de medición mida la caída de voltaje debido a la corriente de prueba. A partir de la corriente de prueba y la caída de voltaje, el equipo de control 240 puede determinar la resistencia. El circuito 220 de carga, el circuito 230 de medición y el equipo de control 240 pueden comprender múltiples componentes eléctricos para realizar esta función, como se describirá a continuación.

50 La Figura 3 muestra un diagrama esquemático más específico de un dispositivo 300 ilustrativo que el ejemplo mostrado en la Figura 2. En el ejemplo de la Figura 3, el circuito 310 de aplicación de corriente aplica la corriente conectando eléctricamente los conductores de fase y de tierra del circuito que se va a probar. El circuito 310 de aplicación de corriente puede comprender al menos una resistencia 320 de carga y un diodo 330. La resistencia 320 de carga se puede usar para evitar que la corriente aplicada exceda el valor de corriente de activación del RCD, la resistencia de carga tiene una resistencia de carga  $R_{carga}$ . Por ejemplo, cuando el suministro de voltaje de red eléctrica es de 230 V, la resistencia 320 de carga puede tener una resistencia de carga ( $R_{carga}$ ) de 15,6 kiloohmios ( $k\Omega$ ), de modo que la corriente resultante será por debajo de 15 mA.

55 En algunos ejemplos, la resistencia de carga puede ser seleccionable. Esto puede usarse para modificar la magnitud de la corriente de prueba aplicada. Esto puede permitir que el circuito de aplicación de corriente se use para aplicar una corriente a circuitos de conductores de fase-tierra que comprenden RCD con diferentes valores de corriente de activación. En otros ejemplos, el circuito 310 de aplicación de corriente puede usar componentes activos para aplicar corrientes de prueba al circuito de conductor de fase-tierra, por ejemplo, usando un transistor energizado, controlable para hacer pasar una cantidad específica de corriente, independiente del voltaje de suministro. En algunos ejemplos, el circuito 310 de aplicación de corriente puede comprender al menos un transistor controlable para hacer pasar una corriente que tiene una amplitud predeterminada y una forma de pulso predeterminada entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra. Esto puede permitir que la corriente de prueba sea puramente sinusoidal incluso en situaciones donde las señales del suministro de energía de red eléctrica estén distorsionadas. Usar un circuito de aplicación de corriente que comprende componentes para aplicar activamente una corriente de

prueba también puede permitir que se apliquen corrientes de prueba que tienen diferentes formas de pulso entre los conductores de fase y de tierra, por ejemplo, se pueden usar pulsos de corriente rectangulares.

Para hacer que la corriente aplicada sea unipolar, el circuito 310 de carga puede comprender al menos un diodo 330. La corriente de prueba unipolar puede ser una serie de pulsos de corriente y la amplitud de cada una de las series de pulsos de corriente puede crecer y disminuir como un medio ciclo de seno. Como el suministro de energía de red eléctrica es una corriente alterna y el circuito 310 de aplicación de corriente comprende un diodo 330, la corriente únicamente puede aplicarse durante la mitad de cada ciclo del suministro de energía de red eléctrica. Esto hace que la corriente de prueba aplicada sea una serie de pulsos de medio ciclo. Por ejemplo, cuando el suministro de energía de red eléctrica es sinusoidal, los medios ciclos de corriente serán medios ciclos de seno. En ejemplos donde el circuito de aplicación de corriente aplica activamente la corriente, el circuito de aplicación de corriente puede aplicar activamente la corriente de prueba unipolar como una serie de pulsos de corriente en donde la amplitud crece y decae como un medio ciclo de seno incluso en los casos donde el suministro de energía de red eléctrica no es sinusoidal. El circuito 310 de aplicación de corriente puede comprender al menos un conmutador 340 para aplicar selectivamente la corriente al circuito de conductor de fase-tierra cuando el circuito 310 de aplicación de corriente o el dispositivo 300 está acoplado al circuito de conductor de fase-tierra. Esto puede permitir que el dispositivo 300 se conecte al circuito de conductor de fase-tierra sin que se aplique una corriente de prueba unipolar al circuito.

Cuando se aplica la corriente de prueba unipolar al circuito de conductor de fase-tierra, el voltaje a través de los conductores de tierra y de corriente caerá. La magnitud de la caída de voltaje está relacionada con la corriente de prueba aplicada y la impedancia en el circuito de conductor de fase-tierra y, por lo tanto, midiendo la caída de voltaje es posible determinar la resistencia de circuito del circuito de conductor de fase-tierra.

Para determinar la resistencia del circuito en el circuito de conductor de fase-tierra, el dispositivo puede comprender un circuito 350 de medición que comprende un sistema 360 de filtrado, un convertidor analógico a digital (ADC) 370 y una resistencia 380 de entrada. El circuito 350 de medición se describirá con más detalle más adelante. El dispositivo puede comprender un equipo de control 390 para controlar el circuito 310 de aplicación de corriente, el circuito 350 de medición y para determinar la resistencia del circuito de conductor de fase-tierra. En algunos ejemplos, el dispositivo puede comprender una interfaz 395 de usuario, para permitir la operación del dispositivo por un usuario.

La Figura 4a muestra un ejemplo de un único medio ciclo de corriente aplicada. La corriente aplicada en este ejemplo es medio ciclo de seno. La corriente de prueba aplicada ( $I_{aplicada}$ ), tiene un valor pico de  $I_{pico}$ . La caída de voltaje en el circuito de conductor de fase-tierra, cuando se aplica la corriente de prueba, puede surgir tanto de los componentes resistivos como reactivos de la impedancia de circuito. La Figura 4b muestra la caída de voltaje debido a los componentes resistivos y reactivos, así como a la caída de voltaje total. La caída de voltaje instantánea debido a los componentes resistivos de la impedancia ( $V_R$ ) crece y decae según la corriente de prueba aplicada. Mientras que, la caída de voltaje debida a los componentes reactivos ( $V_{XL}$ ), durante el mismo período de tiempo, es medio ciclo de coseno. La caída de voltaje total en el circuito ( $V_{circuito}$ ) puede expresarse como la suma del componente resistivo ( $V_R$ ) y el componente reactivo ( $V_{XL}$ ) de la caída de voltaje:

$$V_{circuito} = V_R + V_{XL} \quad (2)$$

Puede observarse en la Figura 4b que el promedio del componente reactivo ( $V_{XL}$ ) durante un único medio ciclo es cero. Mientras que, el promedio del componente resistivo ( $V_R$ ) es distinto de cero y, por lo tanto, un promedio de la caída de voltaje total durante medio ciclo da un valor que es directamente proporcional al promedio de la caída de voltaje debido al componente resistivo.

Como el promedio de la caída de voltaje es directamente proporcional a la caída de voltaje debida al componente resistivo y debido a que la caída de voltaje instantánea debido al componente resistivo tiene la misma forma que la corriente aplicada, la caída de voltaje también es una serie de medios ciclos. La Figura 5 muestra la caída de voltaje ( $V_{circuito}$ ) debido a una serie de medios ciclos de corriente de prueba aplicada contra el tiempo. La Figura 5 también muestra una línea continua que se eleva hasta un valor  $V_M$  que es representativo de un valor de caída de voltaje promedio durante el período, esto se explicará más adelante a continuación.

Volviendo a la Figura 3, en un ejemplo, el sistema 360 de filtrado tiene una característica de filtro de paso bajo. El sistema 360 de filtrado puede comprender un filtro de paso bajo que comprende resistencias y condensadores para filtrar pasivamente las señales. En otros ejemplos, el sistema 360 de filtrado puede comprender un filtro de paso bajo fase que comprende amplificadores operacionales. El uso de sistemas de filtrado basados en amplificadores operacionales puede aumentar la efectividad de la atenuación y puede proporcionar tiempos de respuesta más rápidos que los sistemas de filtrado pasivos que comprenden resistencias y condensadores. El sistema de filtrado puede configurarse como, por ejemplo, un filtro Butterworth, Chebyshev, Sallen-Key u otro tipo. La característica de filtrado de paso bajo del sistema 360 de filtrado puede configurarse para atenuar las señales a la frecuencia de la red eléctrica, por ejemplo, a 50 Hz, y los armónicos asociados que pueden desarrollarse a partir del suministro de energía de red eléctrica. Los armónicos en el suministro de energía pueden surgir de cargas no lineales conectadas a un sistema de energía de red eléctrica, por ejemplo, suministros de energía de modo conmutado, impulsores de velocidad variable y

otras cargas no lineales. El sistema 360 de filtrado puede usarse para filtrar señales de los conductores de fase y de tierra y puede atenuar el componente de 50 Hz de las señales (debido a la frecuencia del suministro de energía de red eléctrica) para extraer el valor promedio de la caída de voltaje. Volviendo a la Figura 5, este valor promedio se indica mediante una línea continua que muestra el valor de caída de voltaje promedio  $V_M$ . El promedio de este valor puede ocurrir a lo largo de muchos ciclos, en donde se aplica la corriente de prueba y, por lo tanto, la caída de voltaje está presente, únicamente en la mitad de cada ciclo. El valor promedio  $V_M$  puede medirse como una señal unipolar. En ejemplos donde la señal tiene una característica sinusoidal como se muestra en las Figuras 4a, 4b y 5, el valor promedio  $V_M$  puede expresarse como:

$$V_M = \frac{I_{pico} R_{L-E}}{\pi} \quad (3)$$

dónde  $I_{pico}$  es la magnitud pico de la corriente de prueba aplicada,  $V_M$  es el valor de caída de voltaje promedio, y  $R_{L-E}$  es la resistencia en el circuito de fase-tierra. En la ecuación 3 se usa un factor de escala de  $\pi$  debido a la forma sinusoidal de los pulsos de medio ciclo. Sin embargo, se puede usar un factor de escala diferente dependiendo de la corriente de prueba aplicada, que puede depender o ser independiente del suministro de energía de red eléctrica. Se puede usar una calibración apropiada para determinar un factor de escala diferente. El factor de escala puede estar predeterminado basándose en el circuito de aplicación de corriente. Por ejemplo, si el circuito de aplicación de corriente aplica una corriente de prueba que tiene una forma sinusoidal, a continuación, se puede usar el factor de escala de  $\pi$ , mientras que, si el circuito de aplicación de corriente aplica una corriente de prueba que tiene una forma de onda cuadrada, a continuación, se puede usar un factor de escala diferente. Si el factor de escala no puede determinarse, por ejemplo, cuando se aplica la corriente de prueba conectando al menos un diodo y una resistencia a través de los conductores de fase y de tierra, y el suministro de energía de red eléctrica no es sinusoidal, a continuación, se puede lograr un resultado similar promediando o calculando valores de RMS de voltaje y corriente. Se pueden tener en cuenta otros efectos realizando una calibración del dispositivo. Por ejemplo, la ganancia, el desplazamiento y la no linealidad se pueden tener en cuenta calibrando el dispositivo.

Como se ha analizado anteriormente, la corriente de prueba aplicada al circuito tiene una magnitud por debajo del valor de corriente de activación del RCD (por ejemplo, 30 mA). Esto significa que la caída de voltaje en el circuito debido a esta corriente será muy pequeña en comparación con el voltaje suministrado por el suministro de energía de red eléctrica. Por ejemplo, aplicando una corriente de prueba de 15 mA y usando una resistencia ilustrativa  $R_{L-E}$  de 10  $\Omega$ , a continuación, según la ecuación 3, la caída de voltaje medida será de aproximadamente 50 mV. Sería difícil distinguir una caída de voltaje de 50 mV cuando el voltaje de red es de aproximadamente 230 V, ya que esto requeriría una resolución del 0,02 %. Es por esto que es necesaria una gran atenuación del voltaje de la red eléctrica.

En algunos ejemplos, el filtro puede atenuar más de 80 decibelios (dB) de las señales de frecuencia de la red eléctrica, por ejemplo, señales de frecuencia de 50 Hz, y los armónicos asociados con estas señales. En un ejemplo, esto se puede lograr usando un filtro fase que comprende amplificadores operacionales, por ejemplo, un filtro de paso bajo basado en amplificador operacional como se ha analizado anteriormente.

El ADC 370 se puede usar para muestrear señales del circuito de conductor de fase-tierra. En algunos ejemplos, el ADC 370 muestrea señales de la salida de circuito de conductor de fase-tierra del sistema 360 de filtrado. Como se ha analizado anteriormente, debido a la alta atenuación de las señales de frecuencia de la red eléctrica por el sistema 360 de filtrado y como la corriente de prueba es unipolar, la salida del sistema 360 de filtrado es efectivamente una señal unipolar y se mide como tal por el ADC 370. El valor medido promedio se muestra en la Figura 5 como el valor  $V_M$ . Como la señal muestreada por el ADC 370 no tiene una polaridad variable y debido a que el filtro atenúa sustancialmente cualquier frecuencia de red eléctrica y armónicos asociados, el ADC 370 puede muestrear las señales y determinar la caída de voltaje sin tener que sincronizar el muestreo de las señales con el ciclo del suministro de energía de red eléctrica. Esto puede reducir la complejidad del sistema de circuitos implicado y reduce la inconsistencia en las mediciones que pueden surgir debido a la naturaleza variable de las señales de frecuencia del suministro de energía de red eléctrica.

En algunos ejemplos, la atenuación de las señales a la frecuencia de la red eléctrica puede ser causada por el efecto combinado de la atenuación debida al sistema 360 de filtrado y la atenuación del resto del circuito 350 de medición. Los algoritmos de cálculo usados para el procesamiento de señales pueden proporcionar alguna atenuación. Reduciendo la cantidad de atenuación proporcionada por el sistema 360 de filtrado, el sistema 360 de filtrado puede tener un tiempo de estabilización más bajo, lo que puede permitir que las mediciones de voltaje se realicen más rápidamente.

En algunos ejemplos, el ADC 370 proporciona al menos parte de la atenuación de las señales en la frecuencia de la red eléctrica. En uno de tales ejemplos, el sistema 360 de filtrado puede proporcionar 50 dB o más de atenuación y el ADC 370 puede proporcionar atenuación adicional. Por ejemplo, el ADC 370 puede ser un ADC 370 diseñado para tener un alto rechazo de las señales de frecuencia de la red eléctrica, por ejemplo, 50 Hz. Esto se puede lograr usando un ADC 370 con una tasa de muestreo baja en comparación con la frecuencia del suministro de energía de red eléctrica; por ejemplo, el ADC 370 puede tomar una lectura cada 150 milisegundos (ms), equivalente a

aproximadamente 6 Hz. En otros ejemplos, la tasa de muestreo del ADC puede estar por debajo de 6 Hz, por ejemplo 3 Hz. En algunos ejemplos, la salida del ADC 370 puede promediarse, filtrarse o una combinación de estos y/u otros procesos, para extraer la información relacionada con la caída de voltaje causada por la corriente aplicada.

5 En otros ejemplos, el ADC 370 puede tener una frecuencia de muestreo rápida en comparación con la señal de frecuencia de la red eléctrica, por ejemplo, una frecuencia de muestreo de 1000 Hz. Sincronizando el muestreo del ADC 370 con la señal de la red eléctrica y promediando la salida del ADC 370, puede ser posible atenuar las señales de frecuencia de la red eléctrica y suprimir el ruido.

10 La resistencia  $R_{L-E}$  del circuito de conductor de fase-tierra se puede determinar reordenando la ecuación 3 para:

$$R_{L-E} = \frac{V_M \pi}{I_{pico}} \quad (4)$$

15 y, a continuación, usar el valor de caída de voltaje  $V_M$  determinado por el circuito 350 de medición, en donde la caída de voltaje es causada por la corriente de prueba aplicada con una corriente pico  $I_{pico}$ .

Para proteger el circuito 350 de medición de las corrientes potencialmente altas debidas al suministro de energía de red eléctrica, que, por ejemplo, puede tener un voltaje de 230 V, el circuito 350 de medición puede comprender una resistencia 380 de entrada que tiene un alto valor de resistencia  $R_{en}$ , por ejemplo, una resistencia de 1 M $\Omega$  o superior. Esto puede usarse para limitar la corriente que pasa al circuito 350 de medición para mejorar la seguridad de la operación del dispositivo 300.

20 En algunos ejemplos, el dispositivo 300 puede comprender al menos un divisor de voltaje para modificar una entrada de rango de voltaje al circuito de medición. El dispositivo 300 puede configurarse para conmutar entre los divisores de voltaje dependiendo del nivel de la señal de entrada. Esto puede permitir que el dispositivo 300 se use para medir una variedad más amplia de resistencias, por ejemplo, de 0,001 ohmios a 2000 ohmios. En otros ejemplos, el dispositivo comprende un divisor de voltaje para modificar una entrada de rango de voltaje al circuito de medición. Por ejemplo, el al menos un divisor de voltaje puede ser variable, de modo que la corriente de prueba aplicada puede ser sustancialmente la misma, pero el procesamiento de la señal de salida puede ser diferente dependiendo de la resistencia del circuito de conductor de fase-tierra. El equipo de control 390 puede realizar la conmutación entre divisores de voltaje o controlar un divisor de voltaje variable.

25 El dispositivo 300 mostrado en la Figura 3 comprende un equipo de control 390. El equipo de control 390 puede usarse para controlar el circuito 310 de carga. Por ejemplo, el equipo de control 390 puede usarse para controlar la aplicación de la corriente de prueba unipolar al circuito de conductor de fase-tierra. El equipo de control 390 puede usarse para controlar al menos un conmutador 340 para aplicar selectivamente la corriente de prueba entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra. En otros ejemplos, el equipo de control 390 puede controlar otras partes del circuito. El circuito de aplicación de corriente puede comprender sistemas de circuitos para cambiar el valor de la resistencia de carga, de modo que la magnitud de la corriente de prueba aplicada se pueda cambiar como se ha analizado anteriormente. El equipo de control 390 se puede usar para seleccionar la resistencia  $R_{carga}$ . En otros ejemplos, tal como cuando el circuito de aplicación de corriente aplica activamente una corriente por medio de un transistor energizado, el equipo de control 390 puede controlar cualquier parte adecuada del circuito de aplicación de corriente para controlar la aplicación de una corriente de prueba al circuito de conductor de fase-tierra.

35 El equipo de control 390 puede usarse para controlar el circuito 350 de medición. Por ejemplo, durante un proceso de medición, una vez que el circuito 310 de aplicación de corriente ha comenzado a aplicar la corriente de prueba unipolar al circuito de conductor de fase-tierra que se va a probar, el equipo de control 390 puede hacer que el circuito de medición realice una medición de la caída de voltaje. En un ejemplo, una vez que el tiempo transcurrido desde el comienzo de la aplicación de la corriente de prueba unipolar es igual o mayor que el tiempo de estabilización del filtro, el equipo de control puede hacer que el convertidor analógico a digital muestree las señales de voltaje emitidas desde el filtro.

Una vez que ha transcurrido el tiempo de estabilización del filtro desde el inicio de la aplicación de la corriente de prueba, a continuación, el valor medido  $V_M$  es mensurable. Volviendo a la Figura 5, puede observarse que el valor  $V_M$  aumenta a un valor estable después de un tiempo de estabilización del filtro. El equipo de control 390 puede determinar, basándose en las señales de voltaje muestreadas y la magnitud de la corriente de prueba aplicada, la resistencia de circuito en el circuito de conductor de fase-tierra.

60 La interfaz 395 de usuario se puede usar para operar el dispositivo a través del equipo de control 390. Por ejemplo, la interfaz 395 de usuario puede usarse para comenzar o finalizar una medición de la resistencia del circuito de conductor de fase-tierra. La interfaz 395 de usuario puede comprender una pantalla para indicar el estado de una medición de resistencia de circuito y para controlar la medición de resistencia de circuito. Por ejemplo, la interfaz 395 de usuario puede indicar que está en curso una medición de resistencia de circuito y, tras la finalización, puede mostrar el valor resultante de la medición. La interfaz 395 de usuario puede comprender un dispositivo de entrada, por ejemplo, una

pantalla táctil, al menos un botón, una cámara, un micrófono o cualquier otro dispositivo de entrada adecuado para permitir que un usuario controle el dispositivo 300. En algunos ejemplos, la interfaz 395 de usuario se puede usar para seleccionar parámetros relacionados con la corriente de prueba unipolar, por ejemplo, la magnitud, frecuencia, pulso y cualquier otra variable adecuada.

5 En algunos ejemplos, el sistema de filtrado puede ser un sistema de filtrado digital; por ejemplo, las señales muestreadas se filtran usando procesamiento de señales digitales. En ejemplos donde el sistema de filtrado es un sistema de filtrado digital, el ADC se puede usar para muestrear señales de los conductores de fase y de tierra y la salida digital del ADC se puede procesar digitalmente para aislar la caída de voltaje del suministro de energía de la red eléctrica. En algunos ejemplos, el ADC se puede conectar a los conductores de fase y de tierra mediante un atenuador de entrada y un regulador de voltaje. En algunos ejemplos, el rango de las señales también puede modificarse antes de ser muestreadas por el ADC.

15 En algunos ejemplos donde el sistema de filtrado es un sistema de filtrado digital, el sistema de filtrado puede comprender un filtro de respuesta al impulso finito. En otros ejemplos, el sistema de filtrado puede comprender un filtro de respuesta al impulso infinito. En algunos ejemplos, el sistema de filtrado puede implementar una función de transformada de Fourier para determinar la caída de voltaje debido a la corriente de prueba aplicada.

20 En un ejemplo, la determinación de la resistencia de circuito en el circuito de conductor de fase-tierra se puede realizar midiendo la caída de voltaje para una corriente en una dirección debido a la corriente de prueba unipolar y, a continuación, midiendo la caída de voltaje para una corriente en una segunda dirección con una corriente de prueba unipolar inversa, en donde la corriente de prueba unipolar inversa fluye en la dirección opuesta a través del circuito de conductor de fase-tierra que la corriente de prueba unipolar original.

25 La Figura 6 muestra esquemáticamente un dispositivo 400 ilustrativo para medir la resistencia de circuito en un circuito de conductor de fase-tierra energizado que comprende un dispositivo de corriente residual aplicando corrientes de prueba unipolares en direcciones opuestas y midiendo las caídas de voltaje resultantes. El dispositivo 400 comprende un circuito 410 de aplicación de corriente. El circuito de aplicación de corriente comprende una resistencia 420 de carga. El circuito 410 de aplicación de corriente comprende un primer trayecto de corriente para aplicar corriente al circuito de conductor de fase-tierra en una primera dirección y un segundo trayecto de corriente para aplicar corriente al circuito de conductor de fase-tierra en una segunda dirección, en donde la primera dirección y la segunda dirección son direcciones opuestas, siendo reconfigurable el circuito 410 de aplicación de corriente entre la aplicación de la corriente de prueba unipolar al circuito del circuito de conductor de fase-tierra en la primera dirección y la segunda dirección. El primer trayecto de corriente se proporciona por un primer diodo 430 y un primer conmutador 440. El segundo trayecto de corriente se proporciona por un segundo diodo 435 y un segundo conmutador 445, en donde el primer diodo 430 y el segundo diodo 435 están configurados dentro del circuito 410 de aplicación de corriente de manera que permiten el flujo de corriente en direcciones opuestas.

40 El dispositivo 400 puede comprender un circuito 450 de medición que comprende un sistema 460 de filtrado, un ADC 470 y una resistencia 480 de entrada para proteger el circuito 450 de medición de corrientes peligrosas. En este ejemplo, el sistema de filtrado puede ser un sistema de filtrado que tiene una característica de filtro de paso bajo. El dispositivo 400 puede comprender un equipo de control 490 para controlar el circuito 410 de aplicación de corriente, el circuito 450 de medición y para determinar la resistencia de circuito en el circuito de conductor de fase-tierra bajo prueba. El equipo de control puede controlar el circuito 410 de aplicación de corriente, por ejemplo, controlando los conmutadores 440, 445, para alternar entre aplicar una corriente de prueba en la primera dirección y la segunda dirección.

50 El dispositivo 400 puede comprender una interfaz 495 de usuario para controlar el dispositivo 400, que incluye el control de la medición de la resistencia de circuito y para mostrar un resultado. La interfaz 495 de usuario puede implementarse como cualquier combinación adecuada de hardware y código de programa para permitir a un usuario operar el dispositivo 400.

55 Con una corriente de prueba aplicada al circuito de conductor de fase-tierra, el circuito 450 de medición puede medir la caída de voltaje causada por la corriente de prueba aplicada. Posteriormente, con la corriente de prueba aplicada al circuito de conductor de fase-tierra en una dirección opuesta, el circuito 450 de medición puede medir la caída de voltaje causada por esta corriente de prueba aplicada posteriormente. La Figura 7 muestra un ejemplo de los medios ciclos de caída de voltaje  $V_{\text{circuito}_1}$  causados por la aplicación de una corriente de prueba en la primera dirección y posteriormente los medios semiciclos de caída de voltaje  $V_{\text{circuito}_2}$  causados por la aplicación de una corriente de prueba en una segunda dirección, en donde las dos corrientes tienen una magnitud igual. Con la primera corriente de prueba aplicada al circuito de conductor de fase-tierra bajo prueba, el sistema 460 de filtrado y el ADC 470 se pueden usar para extraer un valor  $V_m$  que indica la caída de voltaje promedio durante la aplicación de la primera corriente. Con la segunda corriente de prueba aplicada, en la dirección opuesta, el sistema 460 de filtrado y el ADC 470 pueden usarse para extraer un valor  $V_n$  que indica la caída de voltaje promedio causada por la aplicación de la segunda corriente de prueba. Como se muestra en la Figura 7, los valores de caída de voltaje  $V_m$  y  $V_n$  pueden tener magnitudes opuestas debido a que las respectivas corrientes de prueba aplicadas tienen direcciones opuestas, y la diferencia

entre estos valores puede calcularse  $V_d = V_m - V_n$ . La resistencia del circuito de conductor de fase-tierra bajo prueba se puede determinar usando la siguiente ecuación:

$$R_{L-E} = \frac{(V_m - V_n)\pi}{2I_{pico}} \quad (5)$$

5 donde la ecuación 5 puede usarse en el caso de que las corrientes aplicadas en la primera y segunda dirección tengan igual magnitud de manera que se use el factor de 2 para tener en cuenta la diferencia total en las corrientes aplicadas. Como antes, se usa un factor de escala de  $\pi$ , pero este factor puede ser diferente o puede ser necesario aplicar también otros factores de escala, por ejemplo, cuando las corrientes de prueba aplicadas no son sinusoidales. En algunos ejemplos, el ADC 470 puede ser un ADC bipolar. En otros ejemplos, el ADC 470 es un ADC unipolar y se puede usar un circuito de polarización para cambiar el rango de las mediciones, de modo que tanto  $V_m$  como  $V_n$  son valores positivos o negativos. Como el cálculo de  $V_d$  es una resta de los dos valores, cualquier desplazamiento en el voltaje se eliminará cuando se calcula  $V_d$ . Realizar la medición aplicando corrientes en cada dirección secuencialmente y midiendo la diferencia total de voltaje se puede usar para aumentar el cambio medido total de voltaje y, por lo tanto, aumentar la fiabilidad de la prueba sin activar el RCD. Por ejemplo, se puede aplicar una corriente de 15 mA en cada dirección secuencialmente, de modo que la corriente aplicada total efectiva sea 30 mA. Sin embargo, como ninguna de las corrientes de prueba unipolar o unipolar inversa aplicadas excede los 15 mA, un RCD que tiene un valor de corriente de activación de 30 mA no se activará cuando se aplique cada corriente de prueba.

20 La Figura 8 muestra un diagrama de circuito de un ejemplo de circuito 500 de aplicación de corriente conectado entre conductores de fase y de tierra de un circuito de conductor de fase-tierra que se va a probar. El circuito 500 comprende un primer trayecto de corriente y un segundo trayecto de corriente. El primer trayecto de corriente está entre la conexión de fase y la conexión a tierra y comprende un diodo 510 y un MOSFET 520. El segundo trayecto de corriente está entre la conexión de fase y la conexión a tierra y comprende un diodo 515 y un MOSFET 525. Los MOSFET 520, 25 525 actúan como conmutadores de modo que al operar un puerto 530, 535 respectivo, el circuito 500 de aplicación de corriente puede configurarse para hacer pasar corriente a través del primer trayecto de corriente o el segundo trayecto de corriente respectivamente. Se pueden incluir transistores bipolares, 542, 544 y 546 adicionales, en el circuito 500 y usarse como equipos de control de puerta para los transistores MOSFET 520 y 525. La Figura 8 indica algunos ejemplos no limitantes de valores de voltaje y resistencia del circuito 500. Sin embargo, otros ejemplos de resistencias y voltajes pueden diferir dependiendo de la implementación exacta del circuito y la aplicación del circuito.

30 La Figura 9 muestra un diagrama en bloque simplificado de un circuito 600 que implementa el sistema de filtrado según un ejemplo. El circuito 600 que implementa el sistema de filtrado comprende dos resistencias 610 y 615 de 10 megaohmios. La primera resistencia 610 está conectada al conductor de fase y a un primer regulador 620. La segunda resistencia 615 está conectada al conductor de tierra y a un segundo regulador 625. El circuito comprende un bloque 640 de cambio de rango que atenúa la señal recuperada en 10 y puede permitir medir valores de resistencia altos. El circuito 600 comprende un bloque 630 de filtrado de segundo orden y un bloque 650 de filtrado de primer orden que comprende un desplazamiento de CC. El desplazamiento de CC se puede usar para desplazar la señal de voltaje cero hasta la mitad del rango de entrada del ADC 670.

40 La Figura 10 muestra un ejemplo detallado de un diagrama 700 de circuito que implementa el sistema de filtrado. Las diferentes partes del diagrama 700 de circuito se indican en recuadros en la Figura 10. Las diferentes partes incluyen: un primer regulador 710, un segundo regulador 715, un filtro 720 de segundo orden, un filtro de primer orden y un amplificador diferencial combinado 740, un circuito 730 de cambio de rango y un desplazamiento 750 de CC. Cuando se conecta en el dispositivo, el circuito de aplicación de corriente se puede conectar en paralelo entre  $L_{INST}$  y E (fase y tierra). En la Figura 10 se dan valores de ejemplo para las resistencias y condensadores, que se pueden usar cuando se usa el dispositivo para medir la resistencia de circuito de un circuito de conductor de fase-tierra en un sistema de red eléctrica que tiene un voltaje de suministro de 230 V y una frecuencia de 50 Hz. Sin embargo, estos ejemplos no son limitativos y se pueden usar otros valores dependiendo de la implementación exacta y/o el uso del dispositivo.

45 La Figura 11 muestra un diagrama de flujo de un método de medición de resistencia de circuito en un circuito de conductor de fase-tierra que comprende un dispositivo de corriente residual, según un ejemplo. En un primer bloque 810, el método comprende usar un circuito de medición para medir un voltaje a través de los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra para determinar un primer voltaje.

50 La medición de un voltaje se puede realizar mediante un circuito de medición según los ejemplos descritos anteriormente. En los bloques 812 a 816 se muestra un método de ejemplo de uso de un circuito de medición para medir un voltaje a través de conductores de fase y de tierra. En un ejemplo, medir un voltaje comprende filtrar señales del circuito de conductor de fase-tierra con una característica de filtro de paso bajo, como se muestra en el bloque 812. El filtrado de señales con una característica de filtro de paso bajo puede atenuar las señales del suministro de energía de red eléctrica y si no se aplica una corriente de prueba unipolar entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra, a continuación, el primer voltaje puede ser cero. El circuito de medición puede estar conectado eléctricamente con conductores de fase y de tierra de un circuito de conductor de fase-tierra. El circuito

de medición puede comprender una resistencia de entrada que tiene un valor de resistencia alto para evitar que las corrientes altas del circuito de conductor de fase-tierra dañen el circuito de medición. La medición del voltaje puede comprender muestrear señales del circuito de conductor de fase-tierra con un convertidor analógico a digital, como se muestra en el bloque 814. El ADC puede tener una tasa de muestreo baja en relación con la frecuencia del suministro de energía de red eléctrica, por ejemplo, la tasa de muestreo del ADC puede ser un octavo de la frecuencia de suministro de energía de red eléctrica. En los ejemplos donde el ADC tiene una tasa de muestreo inferior a la frecuencia de suministro de energía de red eléctrica, el ADC puede atenuar algunas de las señales de suministro de energía de red eléctrica. Como tal, las señales del circuito de conductor de fase-tierra pueden filtrarse al menos parcialmente con una característica de filtro de paso bajo mediante el muestreo usando el convertidor analógico a digital. Medir el voltaje entre los conductores de fase y de tierra comprende determinar un voltaje de las señales muestreadas, como se muestra en el bloque 816. Las etapas implicadas en la medición del voltaje entre los conductores de fase y de tierra se pueden realizar en un orden diferente al orden en que se han descrito anteriormente. Por ejemplo, como se ha analizado anteriormente, el ADC puede muestrear señales del circuito de conductor de fase-tierra antes de que el sistema de filtrado filtre las señales.

En el bloque 820, el método de medición de resistencia del circuito comprende usar un circuito de aplicación de corriente para aplicar una corriente de prueba unipolar entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra, en donde la corriente de prueba unipolar tiene una magnitud por debajo de un valor de corriente de activación del dispositivo de corriente residual. Como se ha analizado anteriormente, el circuito de aplicación de corriente puede ser un circuito de aplicación de corriente pasiva; en estos ejemplos, aplicar la corriente de prueba unipolar entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra puede comprender conectar al menos una resistencia de carga y un diodo a través de los conductores de fase y tierra del circuito de conductor de fase-tierra. Conectar la resistencia de carga y el diodo a través de los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra puede comprender operar al menos un conmutador, por ejemplo, el al menos un conmutador 340.

En el bloque 830, el método comprende, con la corriente de prueba unipolar aplicada, usar el circuito de medición para medir un voltaje entre los conductores de fase y de tierra para determinar un segundo voltaje. Como se ha analizado anteriormente, con una corriente de prueba unipolar aplicada habrá una caída de voltaje mensurable durante los medios ciclos de la corriente de prueba unipolar aplicada. Como tal, el segundo voltaje será indicativo de la caída de voltaje debido a la corriente de prueba unipolar aplicada.

En el bloque 840, el método comprende comparar el primer y segundo voltajes para determinar un cambio de voltaje. El cambio de voltaje es la caída de voltaje debido a la corriente de prueba unipolar aplicada.

En el bloque 850, el método comprende, basándose en el cambio de corriente y el cambio de voltaje entre la determinación del primer voltaje y la determinación del segundo voltaje, calcular la resistencia del circuito de conductor de fase-tierra. Como se ha analizado anteriormente, la resistencia se puede calcular según la ecuación 4 siempre que la corriente de prueba aplicada sea sinusoidal de modo que se use el factor de escala de  $\pi$ .

En un ejemplo, el método comprende usar el circuito de aplicación de corriente para aplicar una corriente de prueba unipolar inversa entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra, en donde la corriente de prueba unipolar inversa tiene una magnitud por debajo del valor de corriente de activación del dispositivo de corriente residual y fluye en la dirección opuesta a la corriente de prueba unipolar, y en donde la medición del voltaje entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra para determinar el primer voltaje se realiza con la corriente de prueba unipolar inversa aplicada al circuito de conductor de fase-tierra. Como se ha analizado anteriormente, la corriente de prueba unipolar inversa se puede aplicar operando al menos un conmutador en el circuito de aplicación de corriente. En otros ejemplos, la corriente de prueba unipolar inversa se puede aplicar manualmente entre los conductores de fase y de tierra. Con la corriente de prueba unipolar inversa aplicada entre los conductores de fase y de tierra durante la medición del primer voltaje, el valor absoluto del primer voltaje, indicativo de la caída de voltaje durante la medición, será distinto de cero. Si la corriente de prueba unipolar inversa tiene la misma forma, en el ejemplo dado, la forma es un medio ciclo de seno y la magnitud es la corriente de prueba unipolar, a continuación, se puede usar la ecuación 5 para calcular la resistencia de circuito de conductor de fase-tierra. Como se ha analizado anteriormente para diferentes formas de corriente de prueba aplicada, se puede usar un factor de escala diferente. En ejemplos, donde las magnitudes de las corrientes de prueba difieren, a continuación, la variable  $2I_{\text{pico}}$  se reemplazará con la diferencia de las dos corrientes.

En algunos ejemplos, usar el circuito de medición para medir un voltaje entre los conductores de fase y de tierra comprende determinar una pluralidad de voltajes y calcular un voltaje promedio basándose en la pluralidad de voltajes. Por ejemplo, el circuito de medición puede continuar determinando valores de voltaje durante varios segundos, por ejemplo, 3 segundos, para determinar la pluralidad de voltajes. La pluralidad de voltajes se puede promediar para determinar un voltaje que se usará para calcular la resistencia de circuito de conductor de fase-tierra. El promedio de la pluralidad de señales de voltaje puede realizarse mediante el equipo de control en el dispositivo analizado anteriormente.

5 En algunos ejemplos, al menos una de la corriente de prueba unipolar y la corriente de prueba unipolar inversa puede ser una serie de pulsos de corriente, en donde la amplitud de cada una de las series de pulsos de corriente crece y decae como un medio ciclo de seno. Esto se puede lograr usando un circuito de aplicación de corriente sencillo que utiliza una resistencia de carga y un diodo y, por lo tanto, puede permitir que el circuito de aplicación de corriente sea sencillo y fiable.

10 En otros ejemplos, al menos una de la corriente de prueba unipolar y la corriente de prueba unipolar inversa puede comprender una serie de pulsos de corriente, en donde la amplitud de cada una de las series de pulsos de corriente crece y decae como un medio ciclo de una onda cuadrada. Como se ha analizado anteriormente, la aplicación de una corriente de prueba que tiene un perfil de onda cuadrada se puede realizar usando un circuito de aplicación de corriente que comprende un transistor para controlar la aplicación de corriente. Usar una onda cuadrada puede proporcionar un mejor rechazo del ruido bajo ciertas condiciones porque la corriente de prueba aplicada sería independiente de la amplitud del voltaje del suministro de energía de red eléctrica durante la aplicación de la corriente.

15 En algunos ejemplos, el método puede comprender realizar el método analizado anteriormente en un circuito energizado que tiene una resistencia de circuito predeterminada, para determinar una resistencia de circuito medida. El método puede comprender determinar un factor de corrección a aplicar a la medición de la resistencia de circuito, basándose al menos en una comparación de la resistencia de circuito medida y la resistencia de circuito predeterminada. Por ejemplo, el factor de corrección puede almacenarse en memoria, por ejemplo, en el equipo de control, para usarse cuando se calcula la resistencia de circuito de un circuito de conductor de fase-tierra.

20 Medir la resistencia de circuito de conductor de fase-tierra puede comprender calcular una primera resistencia del circuito de conductor de fase-tierra y usar el factor de corrección y la primera resistencia para determinar una segunda resistencia corregida del circuito de conductor de fase-tierra.

25 Para los cálculos de resistencia de circuito anteriores, se ha asumido que la resistencia de circuito es despreciable en comparación con la resistencia de carga en el circuito de aplicación actual. Esta suposición es válida en muchos casos. Por ejemplo, una resistencia de circuito común de los circuitos de conductor de fase-tierra en sistemas de suministro de energía de red eléctrica puede ser de aproximadamente 16 ohmios, mientras que la resistencia de la resistencia de carga en el sistema de aplicación de corriente puede ser tan alta como 16 kOhmios, por lo que la diferencia de resistencia constituye el 0,1 % que puede rectificarse mediante calibración lineal, por ejemplo, a través del método anterior, o no compensarse.

30 Sin embargo, en algunos ejemplos donde la resistencia del circuito no es despreciable en comparación con la resistencia de carga, por ejemplo, donde la resistencia de circuito es tan alta como 2 kOhmios y la resistencia de la resistencia de carga es 16 kOhmios, a continuación, la diferencia en la resistencia puede ser tan alta como el 12,5 % por ciento y puede ser no lineal. Para corregir este error no lineal, el factor de corrección también puede ser función de la resistencia de circuito del circuito de conductor de fase-tierra. En algunos ejemplos, el factor de corrección es función de la magnitud de la primera resistencia del circuito de conductor de fase-tierra.

35 En un ejemplo, se puede determinar el componente reactivo de la impedancia de un circuito de conductor de fase-tierra. Volviendo a las Figuras 4a y 4b, el componente de caída de voltaje debido a los componentes reactivos de la impedancia  $V_{XL}$  aumenta bruscamente al comienzo del pulso de corriente de prueba y cae bruscamente a medida que disminuye la magnitud del pulso de corriente. Usando un sistema de filtrado que tiene una característica de filtro de paso alto, por ejemplo, un filtro de paso alto típicamente con una respuesta monótona por encima de la frecuencia de suministro de energía de red eléctrica, el sistema de filtrado puede pasar los bordes intensos de la caída de voltaje inducida mientras que pueden atenuarse los componentes debidos a la frecuencia de la red eléctrica. Al establecer la frecuencia de corte de la característica de filtro de paso alto mucho más alta que la frecuencia del suministro de energía al circuito de conductor de fase-tierra, el dispositivo puede pasar los bordes intensos de la caída de voltaje debido a los componentes reactivos  $V_{XL}$  y puede atenuar la señal de voltaje de suministro de energía. Por ejemplo, cuando el suministro de energía tiene una frecuencia de 50 Hz, puede usarse una característica de filtro de paso alto que tiene una frecuencia de corte de 1 kHz. La amplitud de las señales de voltaje restantes  $V_{HPF}$  después del filtrado será directamente proporcional a la reactancia presente en el sistema, esto puede observarse en la ecuación 6 a continuación:

55

$$V_{HPF} = L_{circuito} \frac{di}{dt} \quad (6)$$

60 donde  $V_{HPF}$  es la amplitud de los picos de voltaje después del filtrado de las señales de voltaje usando una característica de filtrado de paso alto.  $L_{circuito}$  es la reactancia total en el circuito de fase-tierra y  $\frac{di}{dt}$  es la tasa de cambio de la corriente. La Figura 12 muestra un ejemplo de los picos de voltaje resultantes después del filtrado con una característica de filtro de paso alto. La amplitud de los picos en la Figura 12 se puede medir directamente usando un ADC rápido o, en algunos ejemplos, usando un circuito electrónico de detección de picos. El circuito electrónico de

detección de picos puede convertir los picos en una señal de corriente continua que puede detectarse por un ADC más lento. La detección de la amplitud de los picos se puede determinar basándose en una detección de la amplitud de uno de los picos, de ambos picos, o basándose en una diferencia entre los picos en lugar de valores absolutos de cada pico.

5 En un ejemplo, expuesto en la Figura 13, se proporciona un método de medición de impedancia de circuito en un circuito de conductor de fase-tierra energizado que comprende un dispositivo de corriente residual, comprendiendo el método al menos: medir la resistencia de circuito en el circuito de conductor de fase-tierra energizado como se describe en la presente memoria y medir la reactancia del circuito de conductor de fase-tierra energizado. El método  
10 comprende, en el bloque 910, medir la resistencia de circuito en el circuito de conductor de fase-tierra energizado que comprende un RCD. Por ejemplo, mediante el método expuesto en la Figura 11. En el bloque 920, el método comprende usar un circuito de medición para medir un voltaje a través de los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra para determinar un tercer voltaje.

15 Un método ilustrativo de uso de un circuito de medición para medir el voltaje a través de los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra se establece en los bloques 922 a 926 de la Figura 13. En el bloque 922, medir un voltaje comprende filtrar señales del circuito de conductor de fase-tierra con una característica de filtro de paso alto. En el bloque 924, medir un voltaje comprende muestrear señales del circuito de conductor de fase-tierra con un convertidor analógico-digital. En el bloque 926, medir un voltaje comprende determinar un voltaje de las señales  
20 muestreadas.

El método ilustrativo comprende usar el circuito de aplicación de corriente para aplicar una corriente de prueba unipolar entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra, en donde la corriente de prueba unipolar tiene una magnitud por debajo de un valor de corriente de activación del dispositivo de corriente residual, como se muestra en el bloque 930. Con la corriente de prueba unipolar aplicada, se usa un circuito de medición para  
25 medir un voltaje entre los conductores de fase y de tierra para determinar un cuarto voltaje, como se muestra en el bloque 940. El tercer y cuarto voltajes se comparan para determinar un cambio de voltaje, como se muestra en el bloque 950. Basándose en el cambio de corriente y el cambio de voltaje entre la determinación del tercer voltaje y la determinación del cuarto voltaje, calcular la reactancia del circuito de conductor de fase-tierra. A continuación, se determina la impedancia de circuito del circuito de conductor de fase-tierra, en el bloque 970, basándose al menos en la resistencia de circuito medida en el bloque 910 y la reactancia de circuito calculada en el bloque 960.

Aunque lo anterior establece un método de medición de impedancia de circuito en un circuito de conductor de fase-tierra energizado que comprende un dispositivo de corriente residual, el método de los bloques 920 a 960 puede usarse para determinar únicamente la reactancia de circuito en un circuito de conductor de fase-tierra energizado.  
35

En la Figura 14 se muestra esquemáticamente un ejemplo de un dispositivo para medir la reactancia de circuito en un circuito de conductor de fase-tierra energizado que comprende un dispositivo de corriente residual aplicando corrientes de prueba unipolares en direcciones opuestas y midiendo las caídas de voltaje resultantes. El dispositivo 1000 es muy similar al dispositivo mostrado en la Figura 6 para medir la resistencia de circuito en el circuito de conductor de fase-tierra. La diferencia entre el dispositivo de la Figura 6 y la Figura 14 radica en el circuito 1050 de medición. El sistema 1060 de filtrado en la Figura 14 tiene una característica de filtro de paso alto y, por lo tanto, puede permitir que el dispositivo determine la reactancia, como se ha analizado anteriormente. Otros componentes del dispositivo de la Figura 14 comparten sustancialmente las mismas propiedades que los componentes respectivos de la Figura 6 que tienen los mismos dos últimos dígitos, por ejemplo, el diodo 430 (Figura 6) y el diodo 1030 (Figura 14) pueden ser iguales. Sin embargo, el equipo de control 1090 puede configurarse para funcionar de manera diferente cuando se calcula la reactancia que cuando se calcula la resistencia de un circuito de conductor de fase-tierra energizado.  
40  
45

En un ejemplo, un dispositivo para medir la impedancia de circuito del circuito de conductor de fase-tierra energizado puede comprender dos circuitos de medición. Un primer circuito 450 de medición que comprende un sistema 460 de filtrado que tiene una característica de filtro de paso bajo y un segundo circuito 1050 de medición que comprende un sistema 1060 de filtrado que tiene una característica de filtro de paso alto. En algunos ejemplos, el equipo de control puede configurarse para conmutar entre medir voltaje con el primer circuito 450 de medición, para determinar la resistencia, y medir voltaje con el segundo circuito 1050 de medición, para determinar la reactancia, y, de esta manera,  
50 puede usar las mediciones de resistencia y la reactancia para determinar la impedancia de circuito total en un circuito de conductor de fase-tierra energizado.  
55

Las realizaciones anteriores han de entenderse como ejemplos ilustrativos de la invención. Se prevén otras realizaciones de la invención. Debe entenderse que cualquier característica descrita en relación con cualquier realización puede usarse sola, o en combinación con otras características descritas, y puede usarse además en combinación con una o más características de cualesquiera otras de las realizaciones, o cualquier combinación de cualesquiera otras de las realizaciones. Además, los equivalentes y modificaciones no descritos anteriormente también pueden emplearse sin apartarse del alcance de la invención, que se define en las reivindicaciones adjuntas.  
60

REIVINDICACIONES

1. Un método de medición de resistencia de circuito en un circuito conductor de tierra-fase energizado por un suministro de red de corriente alterna, comprendiendo el circuito conductor de tierra-fase un dispositivo (160) de corriente residual, comprendiendo el método:
 

5

usar un circuito (230) de medición que tiene una característica de filtro de paso bajo, estando dispuesta la característica de filtro de paso bajo para eliminar sustancialmente los componentes de señal a la frecuencia del suministro de red de corriente alterna, para medir, en un primer período, un voltaje a través de conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra para determinar un primer voltaje;

10

usar un circuito (220) de aplicación de corriente para aplicar una corriente de prueba unipolar entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra durante un segundo período, en donde la corriente de prueba unipolar tiene una magnitud por debajo de un valor de corriente de activación del dispositivo (160) de corriente residual;

15

con la corriente de prueba unipolar aplicada, usar el circuito (230) de medición para medir, en el segundo período, un voltaje entre los conductores de fase y de tierra para determinar un segundo voltaje;

20

comparar el primer y segundo voltajes para determinar un cambio de voltaje; y

basándose en una diferencia de corriente de prueba entre el primer y segundo periodos y una diferencia de voltaje entre el primer voltaje y el segundo voltaje, calcular la resistencia del circuito de conductor de fase-tierra.

25
2. El método de la reivindicación 1, que comprende usar el circuito de aplicación de corriente en el primer periodo para aplicar una corriente de prueba unipolar inversa entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra, en donde la corriente de prueba unipolar inversa tiene una magnitud por debajo del valor de corriente de activación del dispositivo de corriente residual y fluye en la dirección opuesta a la corriente de prueba unipolar.
3. El método de la reivindicación 1, que comprende no aplicar corriente de prueba entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra en el primer período.
4. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde usar el circuito de medición para medir un voltaje entre los conductores de fase y de tierra comprende determinar una pluralidad de voltajes y calcular un voltaje promedio basándose en la pluralidad de voltajes.
5. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde al menos una de la corriente de prueba unipolar y la corriente de prueba unipolar inversa comprende una serie de pulsos de corriente, y en donde la amplitud de cada una de las series de pulsos de corriente crece y decae como un medio ciclo de seno.
6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde al menos una de la corriente de prueba unipolar y la corriente de prueba unipolar inversa es una serie de pulsos de corriente, y en donde la amplitud de cada una de las series de pulsos de corriente crece y decae como un medio ciclo de una onda cuadrada
7. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde usar un circuito de aplicación de corriente para aplicar una corriente de prueba unipolar entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra comprende conectar al menos una resistencia de carga y un diodo a través de los conductores de fase y de tierra del conductor de circuito de fase-tierra.
8. El método de cualquier reivindicación anterior que comprende:
 

realizar el método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en un circuito energizado que tiene una resistencia de circuito predeterminada, para determinar una resistencia de circuito medida; y

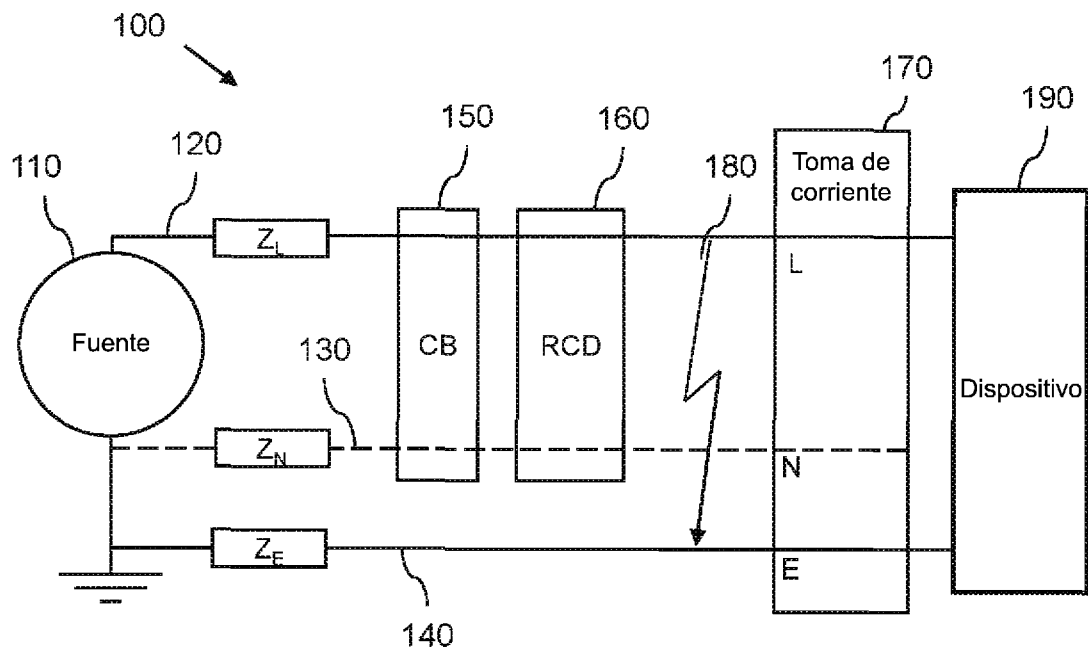
determinar un factor de corrección a aplicar a la resistencia de circuito medida, basándose al menos en una comparación de la resistencia de circuito medida y la resistencia de circuito predeterminada,

en donde, opcionalmente, medir la resistencia de circuito de conductor de fase-tierra comprende calcular una primera resistencia del circuito de conductor de fase-tierra y usar el factor de corrección y la primera resistencia para determinar una segunda resistencia corregida del circuito de conductor de fase-tierra.
9. El método de cualquier reivindicación anterior que comprende:

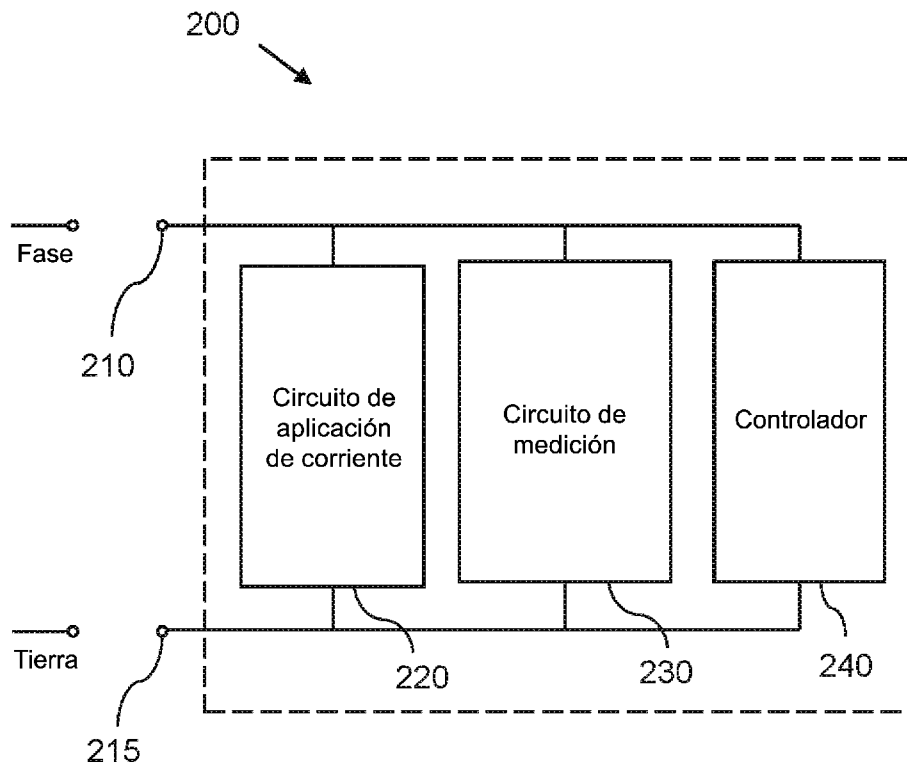
- usar un circuito de medición adicional para medir un voltaje a través de conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra para determinar un tercer voltaje;
- 5 usar el circuito de aplicación de corriente para aplicar una corriente de prueba unipolar entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra, en donde la corriente de prueba unipolar tiene una magnitud por debajo de un valor de corriente de activación del dispositivo de corriente residual;
- con la corriente de prueba unipolar aplicada, usar el circuito de medición adicional para medir un voltaje entre los conductores de fase y de tierra para determinar un cuarto voltaje;
- 10 comparar el tercer y cuarto voltajes para determinar un cambio de voltaje; y
- basándose en el cambio de corriente y el cambio de voltaje entre la determinación del tercer voltaje y la determinación del cuarto voltaje, calcular la reactancia del circuito de conductor de fase-tierra,
- 15 en donde usar un circuito de medición adicional para medir un voltaje a través de conductores de fase y de tierra comprende:
- filtrar señales del circuito de conductor de fase-tierra con una característica de filtro de paso alto;
- 20 muestrear señales del circuito de conductor de fase-tierra con un convertidor analógico-digital; y
- determinar un voltaje de las señales muestreadas.
- 25 10. Un dispositivo (200, 300) para medir la resistencia de circuito en un circuito de conductor de fase-tierra energizado que comprende un dispositivo (160) de corriente residual, comprendiendo el dispositivo (200, 300) para medir la resistencia de circuito:
- 30 un circuito (220, 310) de aplicación de corriente para aplicar una corriente de prueba unipolar entre conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra, en donde la corriente de prueba unipolar tiene una magnitud por debajo de un valor de corriente de activación del dispositivo de corriente residual;
- 35 un circuito (230, 350) de medición para medir un voltaje a través de conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra, comprendiendo el circuito de medición:
- un sistema (360) de filtrado que tiene una característica de filtro de paso bajo; y
- 40 un convertidor (370) analógico a digital;
- un equipo de control (240, 390) para:
- 45 controlar la aplicación de la corriente de prueba unipolar entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra;
- hacer que el convertidor (370) analógico a digital muestree señales del circuito de conductor de fase-tierra; y
- 50 determinar la resistencia de circuito en el circuito de conductor de fase-tierra basándose al menos en las señales muestreadas y la magnitud de la corriente de prueba unipolar.
11. El dispositivo de la reivindicación 10, en donde el circuito de aplicación de corriente comprende al menos una resistencia de carga y un diodo.
- 55 12. El dispositivo de la reivindicación 10, en donde el circuito de aplicación de corriente comprende al menos un transistor controlable para hacer pasar una corriente que tiene una amplitud predeterminada y una forma de pulso predeterminada entre los conductores de fase y de tierra del circuito de conductor de fase-tierra.
- 60 13. El dispositivo de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en donde el circuito de aplicación de corriente comprende un primer trayecto de corriente para aplicar corriente al circuito de conductor de fase-tierra en una primera dirección y un segundo trayecto de corriente para aplicar corriente al circuito de conductor de fase-tierra en una segunda dirección, y en donde la primera dirección y la segunda dirección son direcciones opuestas, siendo reconfigurable el circuito de aplicación de corriente entre la aplicación de una corriente de prueba unipolar al circuito de conductor de fase-tierra en la primera dirección y la segunda dirección.

## ES 2 984 673 T3

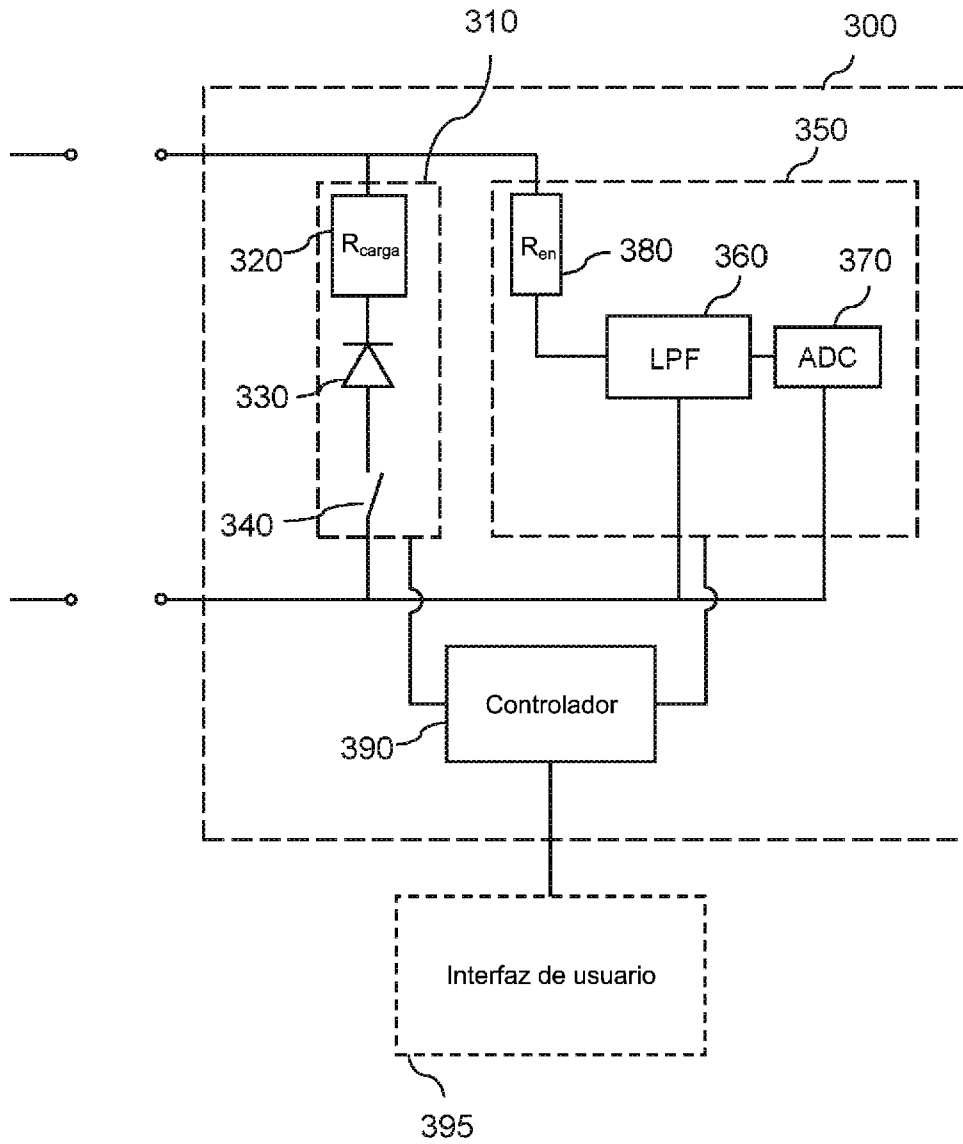
14. El dispositivo de la reivindicación 13, en donde el equipo de control es operable para controlar el circuito de aplicación de corriente a reconfigurar entre la aplicación de corriente en la primera dirección y la aplicación de corriente en la segunda dirección.
- 5 15. El dispositivo de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en donde el sistema de filtrado es un sistema de filtrado digital.



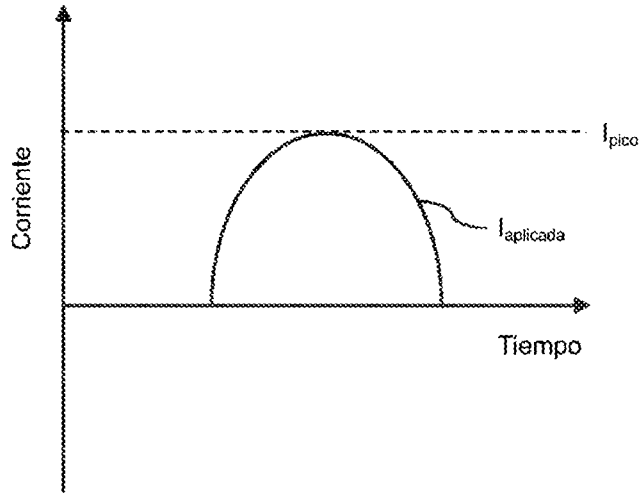
*Fig. 1*



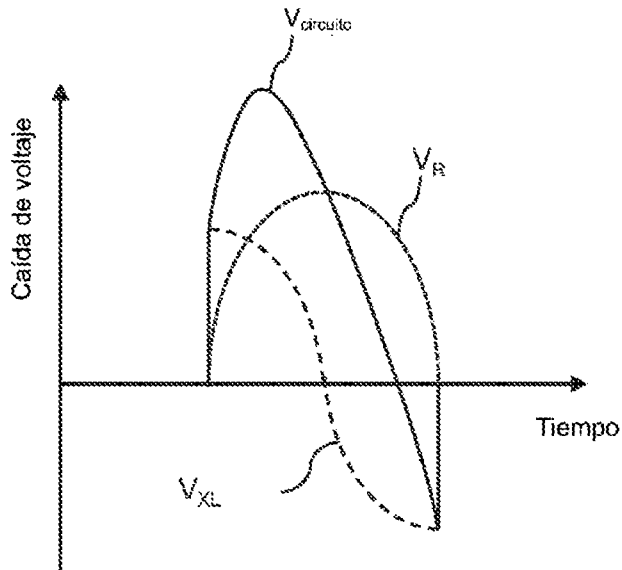
*Fig. 2*



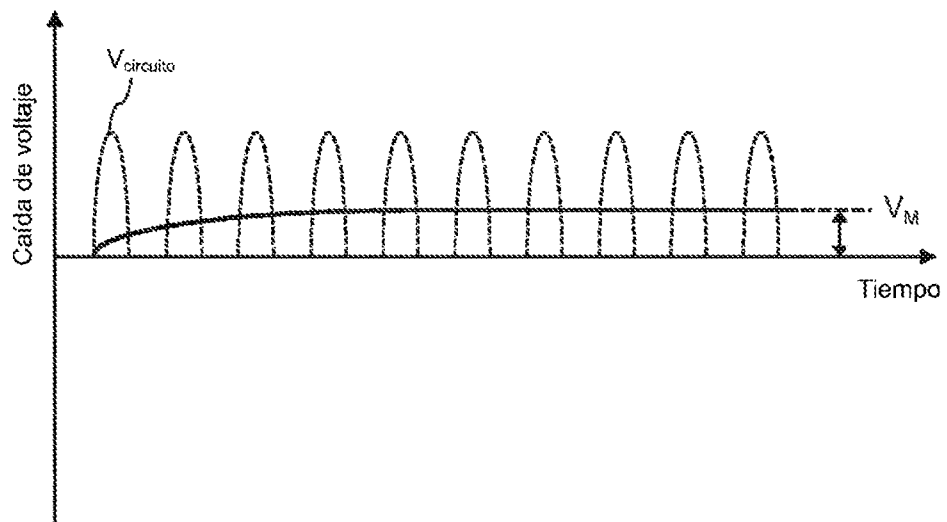
*Fig. 3*



*Fig. 4a*



*Fig. 4b*



*Fig. 5*

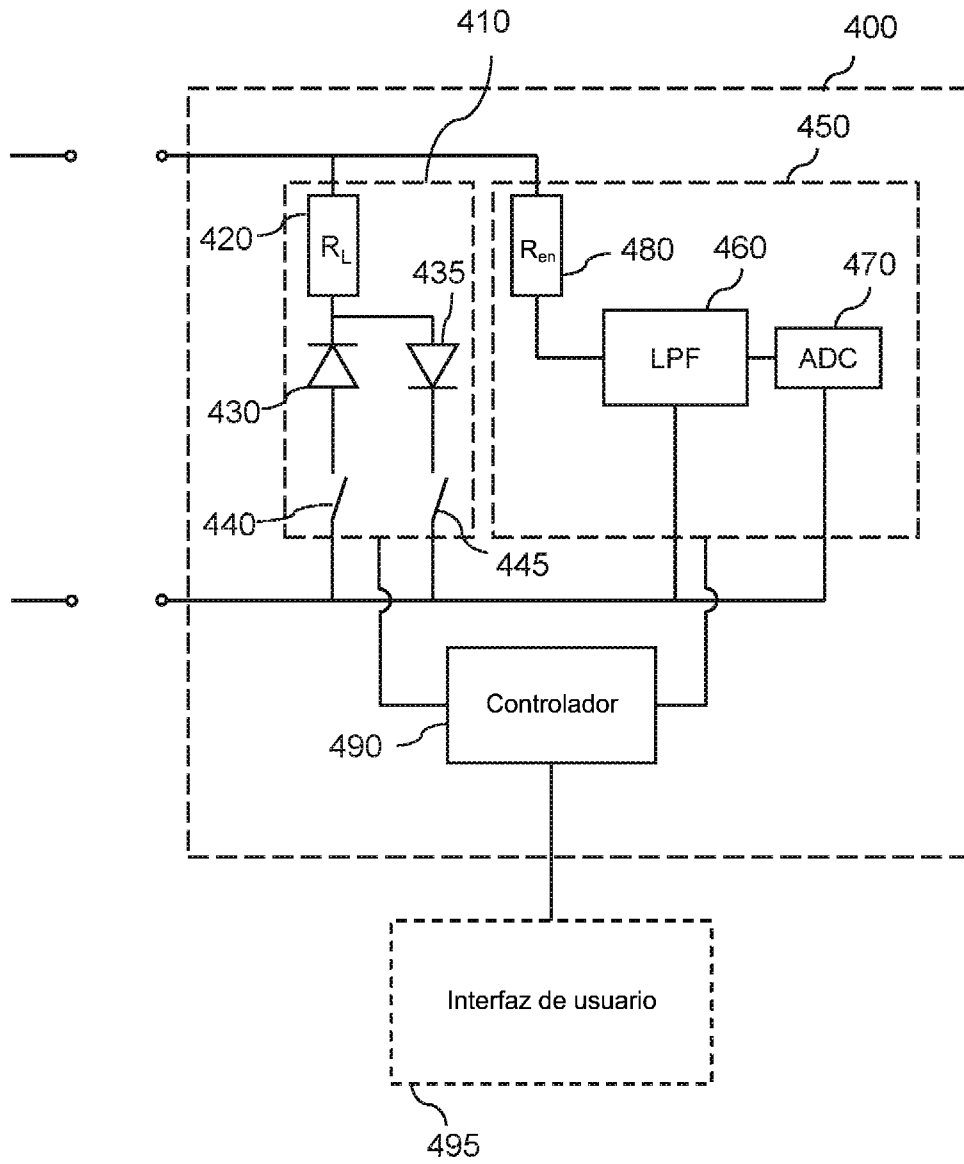


Fig. 6

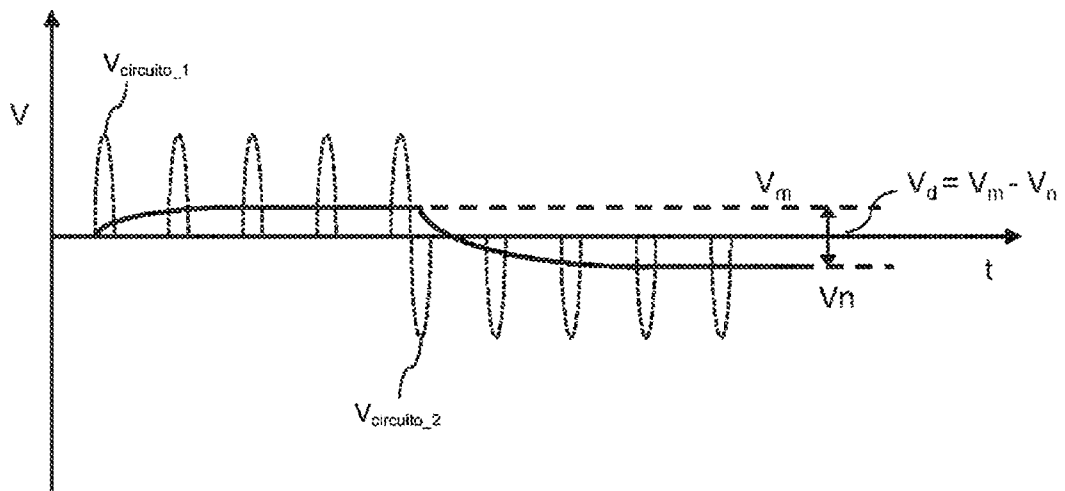


Fig. 7

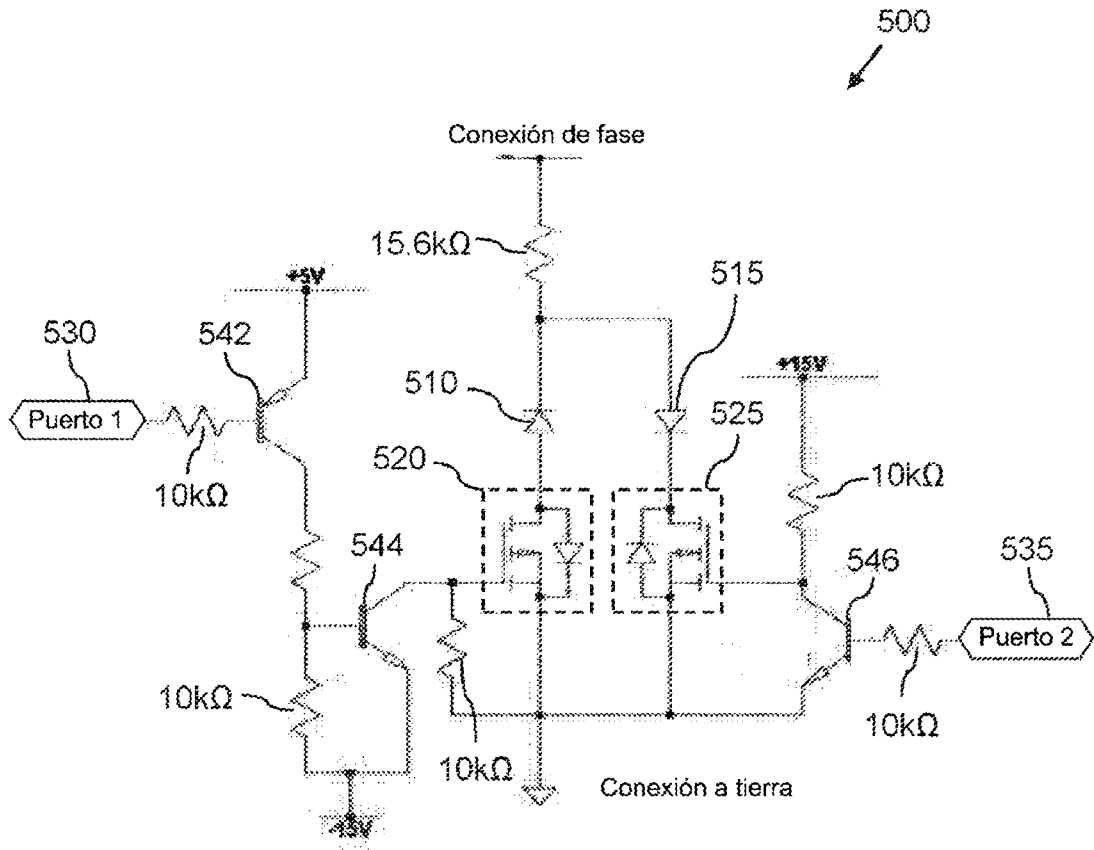


Fig. 8

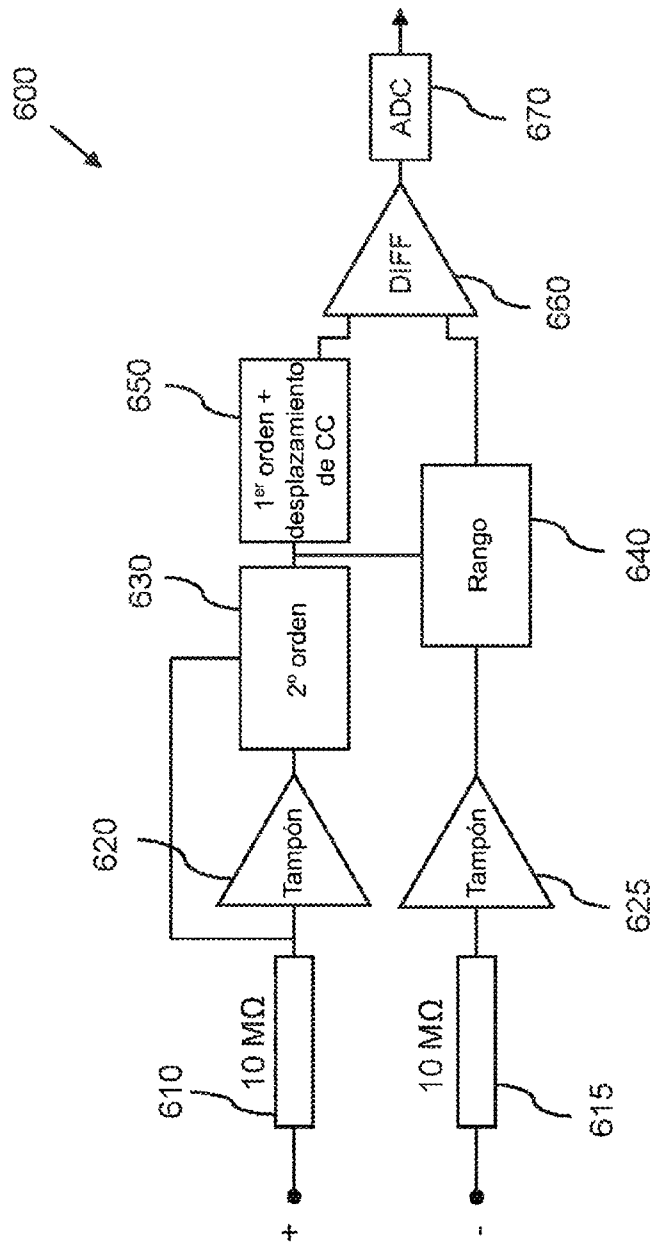


Fig. 9

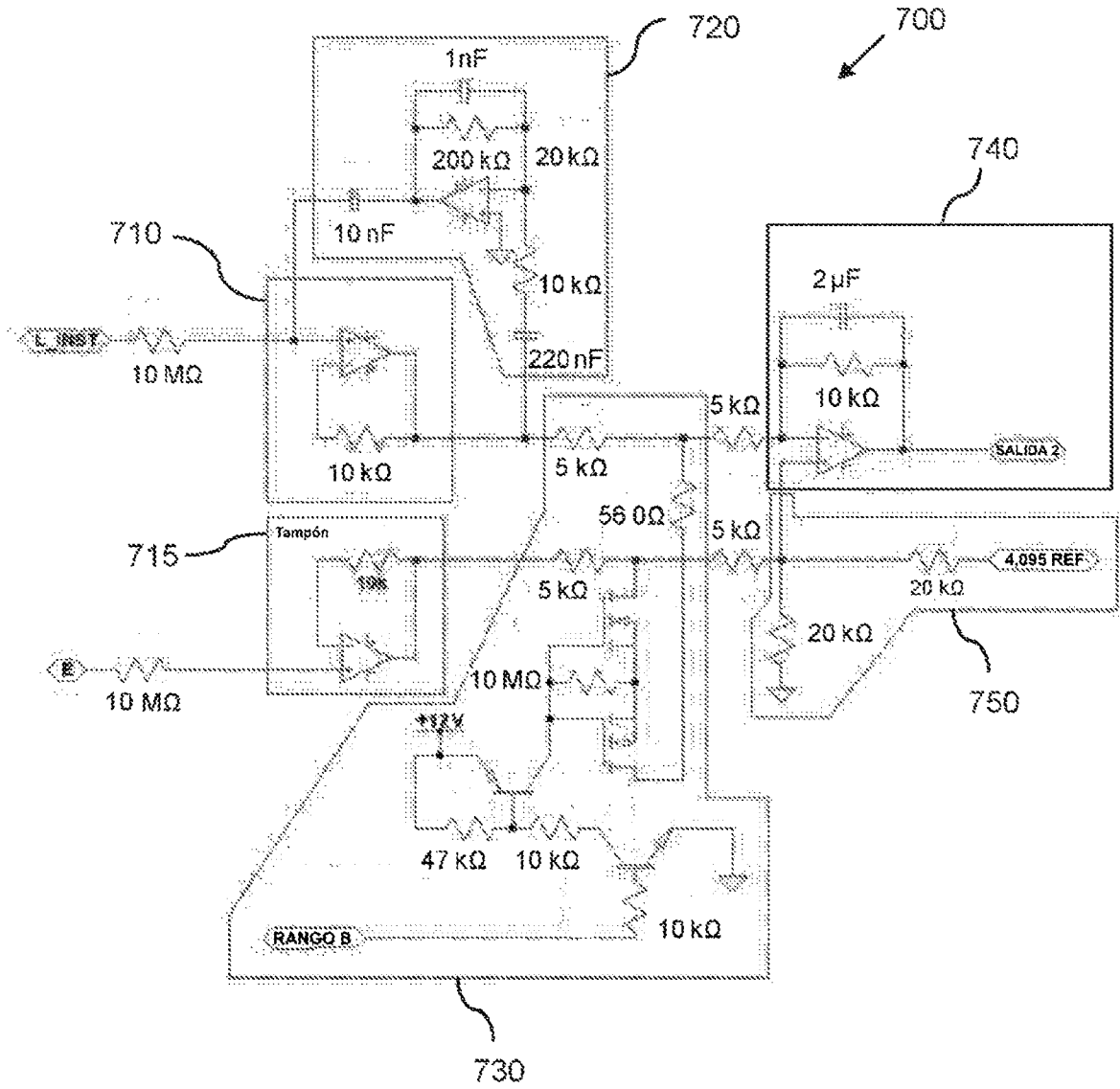
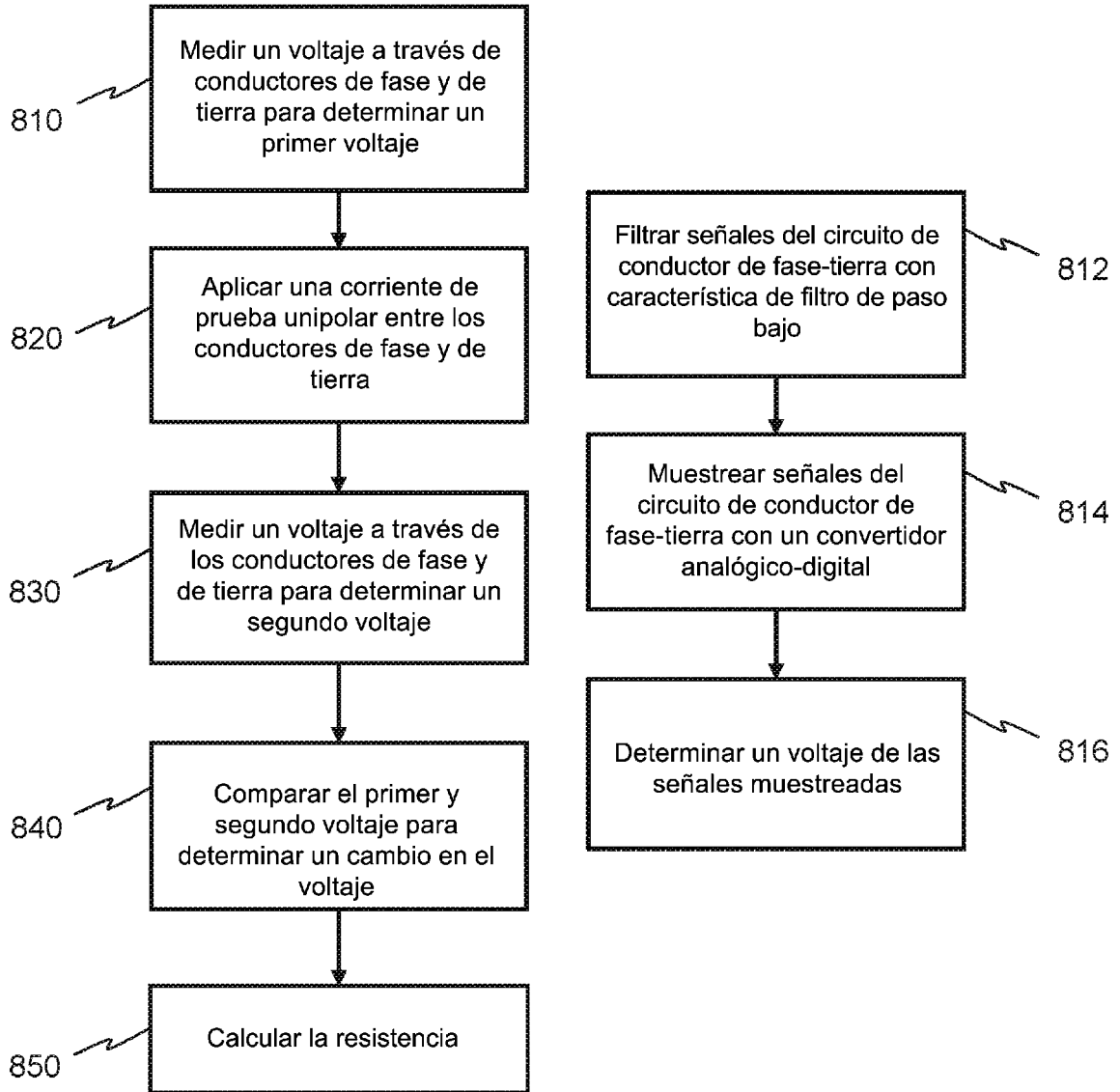
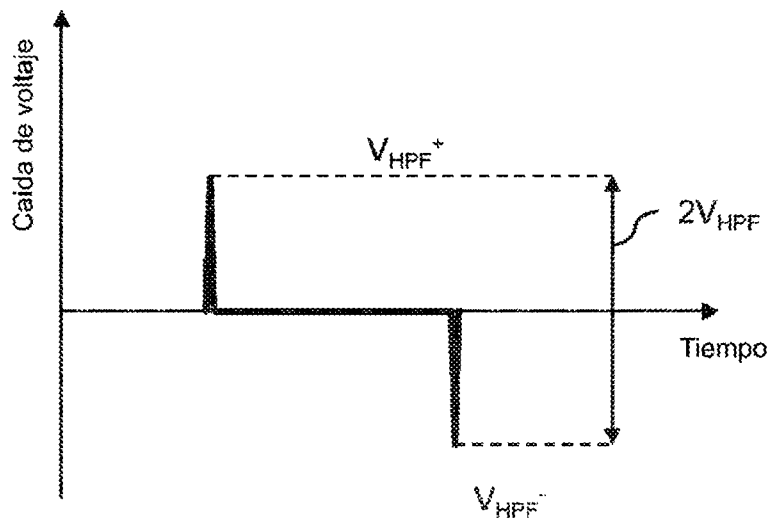


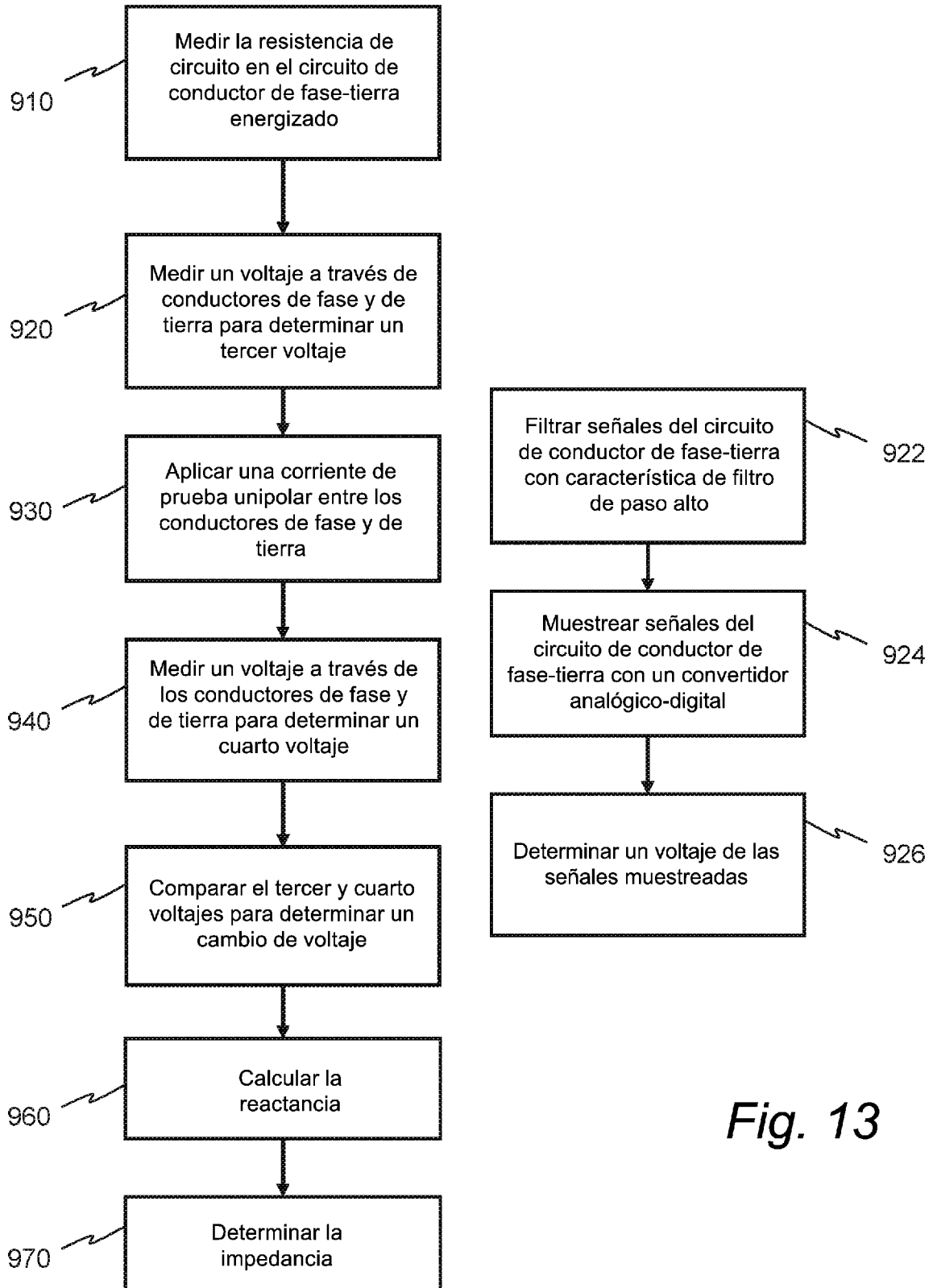
Fig. 10



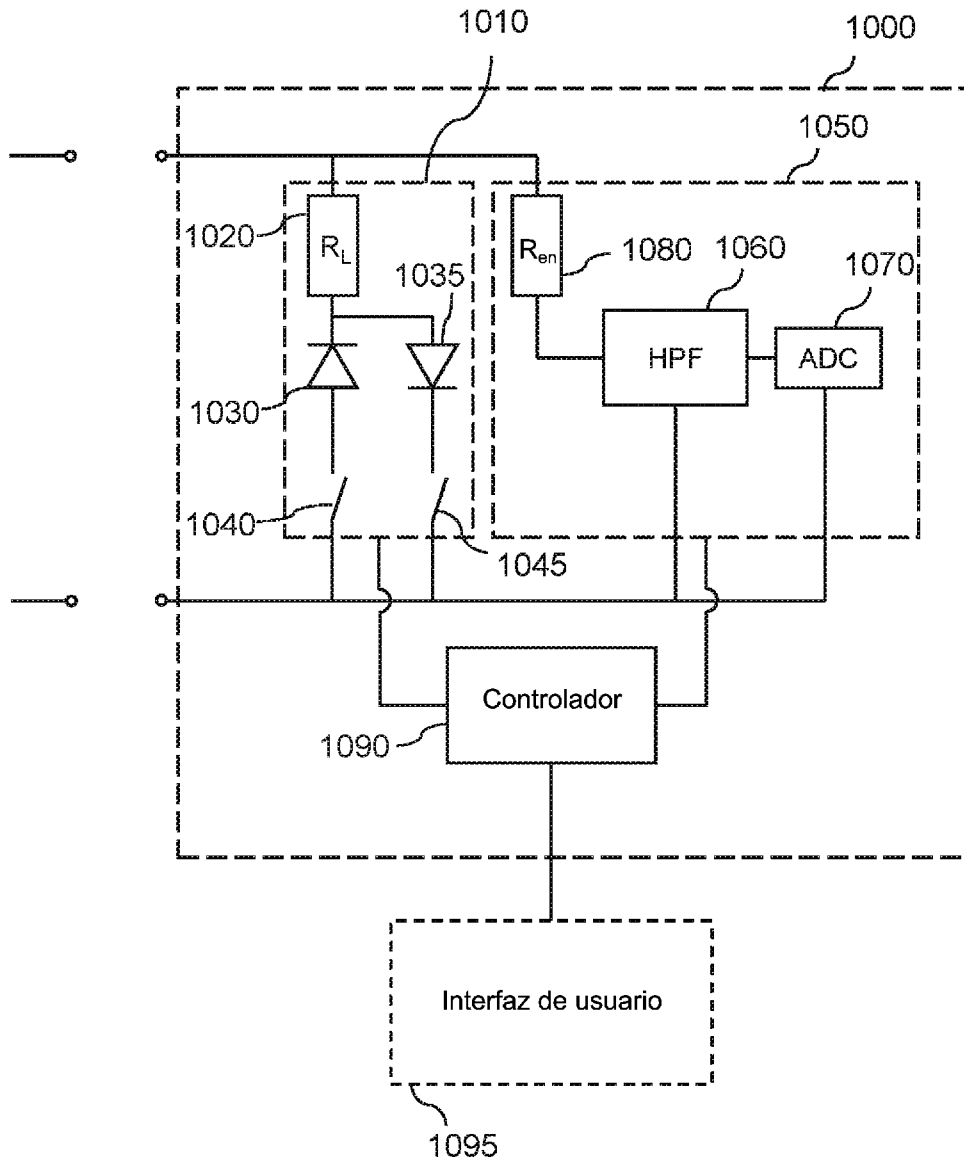
*Fig. 11*



*Fig. 12*



*Fig. 13*



*Fig. 14*