

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 973 229**

(51) Int. Cl.:

G01R 27/02 (2006.01)

G01R 31/52 (2010.01)

G01R 31/08 (2010.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.11.2020 PCT/EP2020/082739**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **27.05.2021 WO21099495**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2020 E 20820045 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.01.2024 EP 4062181**

(54) Título: **Método y sistema para pruebas de aislamiento de cables**

(30) Prioridad:

19.11.2019 GB 201916836

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

19.06.2024

(73) Titular/es:

**VIPER INNOVATIONS LTD (100.0%)
Unit 3A Marine View Office Park 45 Martingale
Way
Portishead Bristol BS20 7AW, GB**

(72) Inventor/es:

**XU, GUANGQIAO;
OVERTON, PAUL, ROBERT;
COVENTRY, KEITH DAVID y
SIMPSON, STEVEN LEWIS CHARLES**

(74) Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 973 229 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

Método y sistema para pruebas de aislamiento de cables

5 Campo de la invención

La invención se refiere a pruebas de parámetros de aislamiento, más particularmente, aunque no exclusivamente, a la medición de la resistencia de aislamiento de un cable en un sistema con tensión.

10 Introducción

Se mide la resistencia de aislamiento de unos cables para monitorizar la fuga de corriente a través del material de aislamiento que rodea un conductor. Normalmente, el material de aislamiento es una cubierta de cable que rodea un conductor. La resistencia de aislamiento se prueba/monitoriza porque el deterioro del aislamiento hará que aumente la fuga de corriente y puede dar como resultado una falla eléctrica. Por lo común, la prueba de resistencia de aislamiento se realiza para cables utilizados en aplicaciones tales como la transmisión de energía submarina y la transmisión de energía de señalización ferroviaria.

Una arquitectura de distribución de energía desenterrada, *Isolé Terre* (IT) (aislado-tierra) se utiliza comúnmente para aplicaciones de misión crítica que requieren un servicio continuo. Tales aplicaciones pueden incluir redes de control submarinas, unidades de cuidados intensivos en hospitales, sistemas de energía de señalización ferroviaria y sistemas de iluminación de campo de un aeropuerto, por nombrar solo algunos. La utilización de una disposición de conexión a tierra IT es ventajosa, ya que permite que el sistema permanezca operativo en un escenario de fallo de aislamiento único. En contraste, un sistema de conexión a tierra, por ejemplo, un sistema *Terre Neutral* (TN) (tierra-neutro), un fallo de aislamiento habitualmente corresponde a una falla de cortocircuito que hace que se dispare un dispositivo de protección, dando como resultado un apagado de parte o todo el sistema eléctrico y una pérdida de energía para el equipo y la infraestructura.

Si bien un sistema de IT aumenta en gran medida la disponibilidad de una instalación eléctrica, un problema bien reconocido en la técnica anterior es que puede resultar problemático gestionar las condiciones de falla y ser capaz de identificar y localizar un fallo de aislamiento de forma rápida y fiable. Además, existen problemas bien reconocidos con la ejecución de pruebas de aislamiento de cables sin cortar la energía el sistema, lo que hace que las pruebas de sistemas de misión crítica sean problemáticas.

Los protocolos de mantenimiento típicos requieren un apagado programado del sistema con una cantidad significativa de recursos sobre el terreno para realizar las pruebas periódicas de cables fuera de línea. Esto está claramente lejos de ser ideal y normalmente provoca niveles significativos de interrupción y coste para los propietarios y usuarios del sistema. También existen riesgos de seguridad asociados con tales pruebas. Por ejemplo, pueden producirse lesiones cuando las partes eléctricas con tensión y peligrosas quedan expuestas y pueden ser tocadas por humanos, o, cuando los componentes que se supone que están conectados a tierra pasan a tener tensión. Además, no es raro que se introduzcan nuevas fallas durante el encendido después de un apagado, especialmente en grandes redes de distribución de energía con muchas instalaciones.

La práctica común actual de la industria para medir la resistencia de aislamiento utiliza una fuente de tensión de CC para la prueba de aislamiento de cables y solo se puede hacer cuando el cable está; i) no alimentado, y ii) desconectado físicamente del sistema en el que está operando. La presente invención tiene como objetivo abordar las deficiencias de los métodos/sistemas de prueba de aislamiento de cables existentes. El documento CN110208662A divulga un método y un sistema de detección de aislamiento de cable hiperconductor de papel laminado de polipropileno (PPLP) por espectrografía de masas. El documento DE102011050590A1 divulga la monitorización del aislamiento utilizando una señal de prueba de frecuencia variable. El documento EP0593007A2 divulga un método para determinar fugas eléctricas en redes eléctricas no conectadas a tierra. El documento US5691644A divulga el estudio del estado de corrosión del neutro para mitigar los efectos de la tensión inducida.

Sumario

La presente invención proporciona un método para determinar el estado de un parámetro de aislamiento de cable de un cable en un sistema eléctrico y un sistema para determinar el estado de un parámetro de aislamiento de cable de un sistema eléctrico de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas.

Un primer aspecto de esta divulgación proporciona un método para determinar el estado de un parámetro de aislamiento de cable de un cable en un sistema eléctrico de acuerdo con la reivindicación 1.

El método proporciona una estimación precisa del parámetro de aislamiento del cable, que se puede utilizar en un sistema con tensión (es decir, un sistema operativo). Las condiciones de aislamiento de cables individuales pueden monitorizarse de forma regular para que puedan tomarse medidas proactivas en lugar de medidas reactivas. En caso de un fallo de aislamiento, esto permite localizar rápidamente el fallo sin desplegar una gran cantidad de recursos

sobre el terreno. Asimismo, esto elimina la necesidad de realizar pruebas de cable periódicas, evitando de ese modo pagar innecesariamente el sistema. Esto, a su vez, aporta un valor significativo al equipo de gestión de activos de los sistemas de distribución de energía de IT a través de una reducción significativa de los costes de mantenimiento.

- 5 Estas ventajas pueden obtenerse porque el método permite una estimación precisa de la resistencia de aislamiento utilizando señales de CA (en lugar de CC). La utilización de CA para medir la resistencia de aislamiento es convencionalmente difícil debido a la absorción dieléctrica, un concepto que se analizará con más detalle más adelante. El método permite la utilización de CA para medir parámetros de aislamiento teniendo en cuenta el efecto de la absorción dieléctrica.
- 10 Opcionalmente, el suministro de las señales de corriente alterna se lleva a cabo mientras el conductor está operativo o bien no operativo.
- 15 Opcionalmente, el sistema eléctrico es un sistema eléctrico que no está conectado a masa.
- 20 Opcionalmente, la medición de la respuesta de frecuencia se lleva a cabo utilizando un transformador de corriente. Opcionalmente, la señal inyectada está entre la frecuencia de acoplamiento mínima y la frecuencia de saturación correspondiente a la permeabilidad electromagnética del transformador de corriente. Opcionalmente, la pluralidad de frecuencias está entre 0,1 Hz y 10 Hz.
- 25 Opcionalmente, las etapas de proporcionar y medir se realizan simultáneamente.
- 30 Opcionalmente, la señal inyectada y la respuesta de frecuencia medida se muestrean digitalmente. Opcionalmente, la pluralidad de señales de corriente son al menos tres señales de corriente alterna predefinidas de diferentes frecuencias.
- 35 Opcionalmente, el cable comprende al menos dos conductores y en donde las etapas de proporcionar, medir, determinar y extrapolar se realizan con respecto a uno o más de los conductores.
- 40 De acuerdo con un segundo aspecto de la divulgación, se proporciona un sistema para determinar el estado de un parámetro de aislamiento de cable de un sistema eléctrico de acuerdo con la reivindicación 12.
- 45 Opcionalmente, la disposición de sensores además comprende al menos un transformador de corriente. Opcionalmente, el sistema además comprende un convertidor de analógico a digital configurado para muestrear digitalmente la pluralidad de señales de corriente alterna y la correspondiente respuesta de frecuencia medida para cada una de la pluralidad de señales de corriente alterna. Opcionalmente, el cable comprende al menos dos conductores, y, el sistema está configurado para determinar el parámetro de aislamiento para cada uno de los conductores.
- 50 Opcionalmente, la masa eléctrica es tierra.
- 55 Opcionalmente, el sistema comprende una pluralidad de puntos de medición ubicados a lo largo del cable, estando cada ubicación de prueba configurada para determinar el parámetro de aislamiento total aguas abajo de la ubicación de prueba respectiva.
- 60 Opcionalmente, el sistema está configurado para determinar un primer parámetro de aislamiento en una primera ubicación de prueba y un segundo aislamiento en una segunda ubicación de prueba que está aguas abajo de la primera ubicación de prueba y además determinar un parámetro de aislamiento de sector del cable entre las ubicaciones de prueba, primera y segunda, restando el primer parámetro de aislamiento del segundo parámetro de aislamiento.
- 65 Opcionalmente, el sistema es un sistema de señalización ferroviaria y el cable está configurado para transmitir señales entre componentes del sistema de señalización ferroviaria.

Opcionalmente, el sistema además comprende un transformador de aislamiento para aislar el sistema eléctrico de la masa.

5 Opcionalmente, el sistema además comprende un generador de señales, que está configurado para proporcionar la fuente de tensión de CA y la pluralidad de señales de corriente alterna.

Opcionalmente, el generador de señales está configurado para proporcionar una señal de espectro ensanchado que comprende la pluralidad de señales de corriente alterna.

10 Opcionalmente, el procesador de señales está configurado para demodular las respuestas de frecuencia medidas recibidas.

Opcionalmente, el procesador de señales está ubicado alejado de la fuente de tensión de CA.

15 El experto en la materia apreciará que, excepto cuando sean mutuamente excluyentes, una característica descrita en relación con uno cualquiera de los aspectos, ejemplos o realizaciones descritos en el presente documento puede aplicarse a cualquier otro aspecto, ejemplo, realización o característica.

Breve descripción de los dibujos

20 La Figura 1 es una topología de circuito equivalente que muestra los componentes eléctricos que constituyen un cable, incluyendo aquellos que contribuyen a las corrientes de fuga.

25 La Figura 2 es un gráfico que muestra una medición fasorial de resistencia-capacitancia de corriente a través de la topología de circuito de la Figura 1.

La Figura 3 es una representación esquemática de un sistema utilizado para un método de prueba de acuerdo con esta divulgación.

30 La Figura 4 es una topología de circuito de un sistema utilizado para un método de prueba de acuerdo con esta divulgación.

La Figura 5 es un diagrama de flujo de proceso que indica un método de ejemplo de acuerdo con esta divulgación.

35 La Figura 6 es un gráfico que muestra mediciones de fase de lecturas de corriente de fuga obtenidas utilizando el sistema de la Figura 3.

Descripción detallada

40 Los aspectos de esta divulgación permiten medir la resistencia de aislamiento utilizando corriente alterna, en particular, la resistencia de aislamiento que separa un conductor y la tierra. La resistencia de aislamiento corresponde a la corriente que se "fuga" a través de ese aislamiento. Esta corriente se denomina "corriente de fuga". Por sistema "con tensión", se entenderá que el sistema es capaz de funcionar mientras se llevan a cabo las pruebas para determinar un parámetro de aislamiento. Por tanto, el sistema puede no estar aislado de un suministro.

45 Es difícil medir con precisión la resistencia de aislamiento utilizando señales de CA debido a la absorción dieléctrica. Esto se debe a que la tensión aplicada entre un conductor y la tierra hace que se aplique un campo eléctrico al dieléctrico entre el conductor y la tierra. Este campo ejerce un par sobre los dipolos moleculares dentro del dieléctrico, haciendo que las direcciones de los momentos dipolares se alineen con la dirección del campo. Este cambio en los dipolos moleculares se denomina polarización orientada y también hace que se genere calor, lo que resulta en pérdidas dieléctricas (factor de disipación). La orientación de los dipolos no sigue el campo eléctrico sincrónicamente, pero se retrasa por una constante de tiempo que depende del material del dieléctrico. Este retardo corresponde a una respuesta de histéresis de la polarización al campo externo.

55 El efecto eléctrico de la absorción dieléctrica se muestra en la Figura 1 representado por una resistencia y una capacitancia en serie que dan lugar a una corriente de fuga I_{da} 108. Un conductor 101 está representado por una resistencia 102 y una inductancia 103. I_r 104 e I_c 105 son la corriente de fuga resistiva y la corriente de fuga capacitativa, respectivamente, entre el conductor 101 y la masa 106. La corriente de absorción dieléctrica provocada por la polarización, como se ha descrito anteriormente, está representada como I_{da} , 108.

60 Dicho de otra manera, la corriente de fuga a través del aislador incluye una corriente de fuga resistiva 104, una corriente de fuga capacitiva 105 y una corriente de "absorción dieléctrica" adicional 108. Los métodos de esta divulgación permiten determinar la corriente de fuga resistiva 104, permitiendo de ese modo determinar la resistencia de aislamiento del cable.

65 La existencia del componente I_{da} hace imposible derivar el valor de la corriente de fuga resistiva I_r por demodulación

de fase (por ejemplo, utilizando un diagrama fasorial). Esto se debe a que, para cualquier amplitud de corriente de fuga y desplazamiento de fase dados, habrá un número indefinido de combinaciones a través de estos componentes debido a la absorción dieléctrica. Esto se ilustra con referencia a la Figura 2.

- 5 El gráfico 200 de la Figura 2 es un diagrama fasorial de resistencia-capacitancia. La corriente puramente resistiva se indica en el eje x 201 y la corriente puramente capacitiva se indica en el eje y 202. Un desplazamiento de fase que surge de los componentes 104, 105, 108 de la Figura 1, obtenido utilizando una frecuencia de CA particular, se indica utilizando el vector fasorial 203. El vector 203 tiene una magnitud y un ángulo de fase correspondientes a las corrientes totales resistiva (I_r), capacitativa (I_c) y de absorción dieléctrica (I_{da}). El vector fasorial 203 incluye tanto componentes 10
resistivos como capacitivos. Por lo tanto, si I_{da} no se conoce, es imposible extraer las lecturas correctas para I_r o I_c a partir del vector "combinado" 203. Por ejemplo, la lectura del componente de corriente resistiva a partir del vector fasorial 203 proporciona un valor (en el eje x 201) que incluye el componente resistivo de I_{da} , que se desconoce.

- 15 En el ejemplo particular mostrado en la Figura 2, el vector 203 comprende dos grupos de valores de corriente de fuga (por ejemplo, I_{r1} , I_{r2}) que corresponden a la corriente de fuga para múltiples porciones de un conductor aguas abajo de la ubicación del conductor donde se tomó la medición para obtener el vector 203.

- 20 Asimismo, las características de la corriente de absorción dieléctrica I_{da} varían significativamente con el nivel de polarización en el momento de cada medición, que es sensible a muchos factores externos. Esta es la razón por la 25 cual el método de práctica común de la industria para la prueba de resistencia de aislamiento utiliza corriente continua en su lugar, ya que no hay efecto capacitivo y la corriente medida es puramente resistiva. La medición de la corriente de fuga utilizando corriente CC proporciona el valor I_r correcto sin requerir la consideración de la corriente de absorción dieléctrica. La utilización de corriente continua es desventajosa por las razones analizadas anteriormente, en particular, porque requiere apagar el sistema.

- 25 Un método y sistema ventajoso para probar la resistencia de aislamiento de una sección de cable se describe a continuación con referencia a la Figura 3.

- 30 La Figura 3 muestra una instalación eléctrica (que también puede denominarse sistema eléctrico) 300 que comprende una pluralidad de unidades de prueba 303, 304, 30X, proporcionadas en ubicaciones de prueba que se distribuyen a lo largo de un cable 301 que se va a probar. Las unidades de prueba 303, 304 pueden ser unidades especializadas, que se proporcionan únicamente con el fin de probar el cable 301 a lo largo del que están instaladas, o, como alternativa, pueden combinarse con otros equipos que pueden incluir equipos de distribución de energía, equipos de comunicación y/o equipos de control, por ejemplo. La instalación eléctrica 300 puede formar parte de una red eléctrica 35 que es parte de un sistema de energía de señalización ferroviaria (por ejemplo), pero puede utilizarse en cualquier red eléctrica o sistema de distribución adecuado. Ejemplos de sistemas eléctricos relevantes pueden incluir redes eléctricas submarinas, en particular, redes de control, unidades de cuidados intensivos en hospitales y sistemas de iluminación de campo de aeropuertos, por nombrar solo algunos. En el caso de un sistema de señalización ferroviaria, las unidades de prueba 303, 304, 30X pueden distribuirse a lo largo de una sección de línea ferroviaria e instalarse de 40 forma permanente o temporal. Las unidades de prueba 303, 304, 30X pueden formar parte de la red de control de señalización ya existente. Sin embargo, se apreciará que esto no es una limitación de la invención y que el sistema puede instalarse como y donde se requiera.

- 45 El cable 301 puede ser un cable convencional, que incluya al menos una línea que está cubierta por un material aislante. El sistema eléctrico al que se aplica la invención puede no estar conectado a masa, como se ha indicado anteriormente en la sección de antecedentes, pero esto no es una limitación y los métodos descritos en el presente documento pueden aplicarse a sistemas conectados a masa. Se apreciará que la instalación eléctrica 300, aunque no 50 está provista activamente de una conexión a masa, puede estar rodeada por una infraestructura eléctrica u objetos que proporcionan una conexión a masa 311 contra la que se puede medir un fallo de aislamiento. La conexión a masa 311 puede venir provista de una cubierta exterior o pantalla de cable, por ejemplo, o por un miembro de transporte de cables tal como una bandeja, canalización o conducto de cableado. Como alternativa o adicionalmente, la conexión a masa puede venir provista por la tierra circundante. Estas conexiones a masa 311 están aisladas eléctricamente de la línea del cable en funcionamiento normal en virtud de la utilización de un transformador de aislamiento 318 para el suministro, convirtiendo de ese modo el sistema en un sistema IT, como es conocido en la técnica.

- 55 Cada unidad de prueba 303 - 30X puede comprender una fuente de tensión en forma de un generador de señales 309 y una disposición de sensores 305. El generador de señales 309 puede ser cualquier dispositivo eléctrico o electrónico que pueda proporcionar una fuente de tensión de corriente alterna, AC, requerida, con la que probar la línea en cuestión. El generador de señales 309 puede ser un generador de funciones, un sintetizador digital directo, un 60 generador de formas de onda arbitrarias o un generador de patrones digitales, por nombrar solo algunos de los dispositivos posibles. El generador de señales 309 se puede configurar o controlar para proporcionar una señal de prueba entre la masa y la línea que se va a probar. La señal de prueba puede comprender una pluralidad de diferentes frecuencias de prueba.

- 65 Las diferentes frecuencias pueden proporcionarse como frecuencias discretas espaciadas temporalmente o como parte de un barrido. Como alternativa, las frecuencias pueden proporcionarse como parte de una señal de espectro

ensanchado, como es bien conocido en la técnica.

- La pluralidad de frecuencias puede ser un intervalo definido por un límite inferior y un límite superior. El límite inferior puede ser cualquier valor que pueda ser detectado por la disposición de sensores 305 de acuerdo con la presente divulgación. El límite superior puede ser específico para la aplicación y determinarse basándose en la propiedad que se está interrogando. Por tanto, para una evaluación de la resistencia de aislamiento, la frecuencia puede ser relativamente baja. Por ejemplo, la frecuencia superior puede estar por debajo de 50 Hz, por debajo de 25 Hz o por debajo de 10 Hz. En algunos ejemplos, la frecuencia superior puede ser tan baja como 5 Hz.
- 5 10 En otros ejemplos, la propiedad que se va a evaluar en el cable puede ser la capacitancia de aislamiento. Las frecuencias aplicadas a la línea para determinar la capacitancia de aislamiento serán relativamente altas en comparación con las de la prueba de resistencia de aislamiento. El límite inferior puede estar entre 100 Hz y 10 kHz, por ejemplo.
- 15 Se apreciará que el intervalo de frecuencias se puede configurar para proporcionar datos que se pueden utilizar para determinar la resistencia de aislamiento y la capacitancia de aislamiento. En consecuencia, por ejemplo, el generador de señales se puede barrer de 0,01 Hz (o cualquiera de las otras frecuencias de IR) a 10 kHz (o cualquier otra frecuencia que sea aplicable a la prueba capacitiva de aislamiento).
- 20 El límite inferior de la banda de frecuencia puede ser cualquier frecuencia distinta de cero (es decir, no CC). En algunos ejemplos, el límite inferior de frecuencia puede ser 0,01 Hz, 0,1 Hz o 1 Hz, pero son posibles otras frecuencias y los valores proporcionados en el presente documento para los límites inferior y superior no deben considerarse como una limitación.
- 25 Como se ha indicado anteriormente, se apreciará que la frecuencia de la fuente de tensión puede estar limitada por las capacidades de detección de la disposición de sensores 305. Por tanto, en el caso de que la disposición de detección comprenda uno o más transformadores de corriente, el intervalo de frecuencias puede estar determinado por una frecuencia de acoplamiento mínima y una frecuencia de saturación correspondiente a la permeabilidad electromagnética del material utilizado en el núcleo del transformador de corriente.
- 30 Como se analizará con más detalle a continuación (en relación con la Figura 6), la utilización de una pluralidad de frecuencias permite evaluar la respuesta de frecuencia de los cables. Esto puede utilizarse para extrapolalar las respuestas de frecuencia para determinar una respuesta de CC del cable y una resistencia de aislamiento asociada, por ejemplo. En este sentido, el número de frecuencias diferentes proporcionadas entre los límites superior e inferior puede estar determinado por la precisión de los resultados requeridos de la extrapolación. En otros ejemplos, el número de frecuencias puede estar restringido por una restricción de tiempo que implementa una ventana en la que se puede llevar a cabo la prueba. En otros ejemplos, puede haber una restricción de recursos (en términos de las capacidades del generador de señales, por ejemplo).
- 35 40 En un ejemplo, puede haber solo tres frecuencias que pueden ser un mínimo para una extrapolación de los puntos de datos para proporcionar la información necesaria para determinar el parámetro de aislamiento. En otros ejemplos, puede haber cinco, ocho, veinte, cien o más frecuencias diferentes dentro del barrido de frecuencia llevado a cabo por el generador de señales/fuente de tensión.
- 45 Todavía con referencia a la Figura 3, la disposición de sensores 305 puede incluir uno o más sensores ubicados en o adyacentes a la línea que se va a probar. Los sensores pueden ser un transformador de corriente que está dispuesto en relación con la línea para permitir que se detecte la corriente que fluye por dentro de la línea. El cable 301 puede incluir una entrada de línea y una salida de línea de manera que la unidad de prueba 303 se coloque en serie con el cable 301 o bien los sensores 305 de la unidad de prueba 303 estén ubicados en el mismo sitio que el generador de señales 309 dentro de una carcasa común junto con cualquier otro equipo necesario. En otros ejemplos, la unidad de prueba 303 puede comprender uno o más hilos que se extienden entre la unidad de prueba 303 y el cable 301 de manera que los sensores 305 puedan ubicarse a distancia del generador de señales 309. En otros ejemplos, los sensores 305 pueden conectarse de manera inalámbrica a la unidad de prueba 303. En ejemplos adicionales, los sensores 305 pueden ubicarse en una ubicación separada del generador de señales 309 de manera que se pueda considerar que la unidad de prueba 303 está distribuida. Por tanto, se puede considerar que una unidad de prueba distribuida comprende un generador de señales 309 y una disposición de sensores 305, tanto si están ubicados en el mismo sitio o de otro modo.
- 50 55 Los transformadores de corriente pueden ser transformadores de corriente de modo común. Será evidente que pueden utilizarse otras tecnologías de detección de corriente para implementar el método de la presente divulgación.
- 60 65 El cable 301 puede comprender una disposición de transformador 318 que puede proporcionarse en un extremo del cable y proporcionar un aislamiento del sistema eléctrico de la masa 311.
- 65 Como se ha indicado anteriormente, las unidades de prueba 303-30X pueden proporcionarse en ubicaciones de prueba a lo largo de un cable 301 que se va a probar. La pluralidad de unidades de prueba 303-30X puede incluir una

- primera unidad de prueba 303 en una primera ubicación de prueba. Puede haber una segunda unidad de prueba 304 en una segunda ubicación de prueba. Las unidades de prueba 303, 304 pueden extenderse desde la primera unidad de prueba 303 hasta una N-ésima unidad de prueba 30X, donde N es un número entero. El número de unidades de prueba será específico de la aplicación y puede estar determinado por el sistema eléctrico que se está investigando.
- 5 Cada unidad de prueba 303-30X puede funcionar independientemente entre sí y proporcionar una medición relacionada con un parámetro de la línea que se va a probar. Proporcionar unidades de prueba 303-30X en múltiples ubicaciones de prueba puede permitir ventajosamente que el sistema 300 obtenga una medición local para un parámetro de aislamiento. Esto puede ser preferible cuando la tensión que se puede aplicar a la línea es limitada. Es decir, cuanto menor sea la tensión de la forma de onda de prueba, menor será el intervalo de la prueba. Por tanto, proporcionar una pluralidad de unidades de prueba puede ayudar a proporcionar resultados más precisos y permitir que se reduzca la tensión de prueba. Además, las mediciones de prueba de una pluralidad de ubicaciones de prueba pueden utilizarse ventajosamente para determinar una ubicación aproximada de un fallo. Esto se describe adicionalmente a continuación.
- 10 15 Las unidades de prueba 303-30X pueden ser direccionales. En consecuencia, las unidades de prueba pueden configurarse para determinar un parámetro del cable 301 en una ubicación aguas abajo o aguas arriba. Por tanto, en un ejemplo, las unidades de prueba 303-30X pueden obtener un valor de resistencia de aislamiento para un tramo de cable que está aguas abajo de la unidad de prueba 303-30X. La definición de aguas abajo y aguas arriba puede ser en relación con el suministro 318 y la carga, en donde el suministro está aguas arriba y la carga está aguas abajo.
- 20 25 30 Las mediciones tomadas en cada una de las unidades de prueba 303-30X pueden utilizarse individualmente o en combinación. Cuando se utilizan en combinación, podría ser posible determinar qué sección del cable 301 tiene un parámetro de cable que está por debajo de un umbral o intervalo predeterminado que es indicativo de un fallo o una posible condición de fallo. Esto puede lograrse obteniendo una primera medición de parámetro de una primera ubicación de prueba y restándola de una segunda medición de parámetro de una segunda ubicación de prueba. La primera medición de parámetro puede tomarse aguas abajo de la segunda medición de parámetro. Restando las dos mediciones de parámetros, podría ser posible determinar cuál es la medición de parámetro para la longitud del cable que se extiende entre las ubicaciones de medición de parámetro primera y segunda. Se apreciará que la referencia a las mediciones de parámetro y a las ubicaciones de prueba, primera y segunda, es arbitraria y estas pueden ser intercambiables. Por tanto, la segunda medición de parámetro puede ser aguas abajo y restarse de la primera medición de parámetro.
- 35 40 45 Cuando se ha proporcionado una ubicación aproximada, por ejemplo, utilizando el método sustractivo descrito justo más arriba (y con más detalle a continuación), podría ser posible y ventajoso encontrar una ubicación precisa del fallo utilizando técnicas conocidas. Para lograr esto, una o más de las unidades de prueba 303-30X pueden incluir un módulo de localización de fallos 316. El módulo de localización de fallos 316 puede utilizarse para determinar la localización precisa de un fallo dentro de un segmento del trazado del cable. Por ejemplo, el módulo de ubicación de fallos 316 puede utilizarse para determinar la ubicación de un fallo entre dos de las ubicaciones de prueba o unidades de prueba 303-30X. El módulo de localización de fallos 316 puede comprender un módulo de reflectometría en el dominio del tiempo, en particular, un módulo de reflectometría de dominio de tiempo de espectro ensanchado. La reflectometría en el dominio del tiempo y la reflectometría en el dominio del tiempo del espectro ensanchado pueden llevarse a cabo de acuerdo con técnicas conocidas en la técnica. Se pueden emplear otros esquemas de localización de fallos dentro de la presente divulgación, incluyen otros tipos de reflectometría en el dominio del tiempo u otros métodos.
- 50 55 Cada una de las unidades de prueba 303-30X puede incluir un equipo de procesamiento de señales que puede recibir las señales de medición de prueba desde la disposición de sensores 305. Las señales de medición de prueba pueden ser una respuesta de frecuencia de la línea 301 como resultado de la señal de prueba que se coloca en la línea 301. El equipo de procesamiento de señales puede utilizarse para determinar uno o más parámetros de la línea 301 que se está probando. El parámetro puede ser, por ejemplo, la resistencia de aislamiento o la capacitancia de aislamiento de un cable con tensión 301. Más particularmente, el equipo de procesamiento de señales puede determinar una diferencia de fase entre la fuente de tensión y las señales de medición de prueba. La diferencia de fase puede determinarse para una pluralidad de respuestas de frecuencia, correspondiendo cada respuesta de frecuencia a una frecuencia diferente de señal de prueba. El equipo de procesamiento de señales puede determinar adicionalmente un valor de resistencia para la pluralidad de respuestas de frecuencia. La determinación del valor de resistencia puede determinarse a partir de la pluralidad de diferencias de fase determinadas a partir de la pluralidad de respuestas de frecuencia.
- 60 65 En un ejemplo, la pluralidad de diferencias de fase puede extrapolarse para determinar una respuesta de CC del cable. Por tanto, la extrapolación puede proporcionar una corriente de fuga que es equivalente a la corriente de fuga que fluiría si la corriente de prueba injectada fuera una corriente de CC. Esto puede considerarse como un valor de resistencia de aislamiento de CC. La extrapolación se puede llevar a cabo utilizando cualquier técnica conocida adecuada. En un ejemplo, la extrapolación puede lograrse por regresión polinomial de orden N o técnicas equivalentes.

- En otros ejemplos, la pluralidad de diferencias de fase puede extrapolarse para determinar la capacitancia de aislamiento. Esto puede lograrse extrapolando la pluralidad de respuestas de frecuencia a un punto que es suficientemente asintótico de manera que pueda determinarse el componente capacitivo de la respuesta de frecuencia.
- 5 Por ejemplo, con referencia a la Figura 1, a medida que aumenta la frecuencia, la capacitancia I_c 105 y componente de capacitancia de I_{da} 107 eventualmente se convertirá en un cortocircuito. Esto significa que la fuga de corriente a través de los componentes de resistencia de I_c 104 e I_{da} 108 sería insignificante en comparación con la fuga de corriente a través de I_c 105. Por lo tanto, el ángulo de fase resultante (no mostrado) en un diagrama fasorial sería extremadamente cercano a 90 grados (es decir, al eje y 202 en la Figura 2) y, por lo tanto, se puede determinar el 10 componente de capacitancia I_c 105 de la resistencia de aislamiento. Por supuesto, puede haber otras formas en las que la capacitancia de aislamiento puede determinarse a partir de la pluralidad de respuestas de frecuencia.
- El procesamiento de señales se puede llevar a cabo local o remotamente. Cuando el procesamiento de señales se lleva a cabo localmente (no mostrado), una de las unidades de prueba se configurará como una unidad maestra para 15 recopilar y procesar datos en un servidor alojado localmente a través de protocolos de comunicación locales.
- La Figura 3 muestra un ejemplo en el que el procesamiento de señales se lleva a cabo remotamente. Con referencia a la Figura 3, cada una de las unidades de prueba 303-30X puede incluir un transmisor 317 para transmitir datos de medición de prueba relacionados con la señal de medición de prueba medida por la disposición de sensores 305. El 20 transmisor 317 puede transmitir los datos de medición de prueba al equipo de procesamiento de señales remoto 319 que está configurado para llevar a cabo uno o más de los aspectos del procesamiento de señales como se describe en el presente documento.
- 25 La transmisión puede ejecutarse utilizando una o más redes alámbricas y/o inalámbricas 323 utilizando uno o más protocolos de comunicación conocidos (por ejemplo, variaciones de IEEE802.3 u 802.11, Wi-Fi (RTM), Bluetooth (RTM), TCP/IP, Ethernet, etc.). La red de transmisión puede ser una red de comunicaciones pública tal como internet o una red de datos móviles (por ejemplo, 4G/5G). Como alternativa o adicionalmente, la red de transmisión puede incluir una red de comunicaciones privada que comprende una red de área local o amplia. El equipo de procesamiento de señales puede estar soportado por un servidor remoto. El servidor remoto puede estar basado en la nube. El equipo de procesamiento de señales puede comprender al menos un procesador 320 y al menos una memoria 321. La memoria 321 se puede configurar para almacenar un programa informático que comprende instrucciones legibles por ordenador que, cuando son leídas por el al menos un procesador 320, hace que se ejecuten los métodos descritos en el presente documento. El programa informático puede ser software o firmware, o puede ser una combinación de software y firmware.
- 30 35 El equipo de procesamiento de señales 319 puede comprender un controlador 322. El controlador 320 puede comprender: circuitería de control; y/o circuitería de procesador; y/o al menos un circuito integrado de aplicación específica (ASIC); y/o al menos una matriz de puertas programables en campo (FPGA); y/o arquitecturas monoprocesador o multiprocesador; y/o arquitecturas secuenciales/paralelas; y/o al menos un controlador lógico programable (PLC); y/o al menos un microprocesador; y/o al menos un microcontrolador; y/o una unidad central de procesamiento (CPU); y/o una unidad de procesamiento de gráficos (GPU), para ejecutar los métodos. El controlador 322 se puede configurar para controlar la planificación de mediciones de prueba de las unidades de prueba 303-30X y coordinar la recepción de los datos de medición de prueba después de que se haya ejecutado una prueba.
- 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995 1000 1005 1010 1015 1020 1025 1030 1035 1040 1045 1050 1055 1060 1065 1070 1075 1080 1085 1090 1095 1100 1105 1110 1115 1120 1125 1130 1135 1140 1145 1150 1155 1160 1165 1170 1175 1180 1185 1190 1195 1200 1205 1210 1215 1220 1225 1230 1235 1240 1245 1250 1255 1260 1265 1270 1275 1280 1285 1290 1295 1300 1305 1310 1315 1320 1325 1330 1335 1340 1345 1350 1355 1360 1365 1370 1375 1380 1385 1390 1395 1400 1405 1410 1415 1420 1425 1430 1435 1440 1445 1450 1455 1460 1465 1470 1475 1480 1485 1490 1495 1500 1505 1510 1515 1520 1525 1530 1535 1540 1545 1550 1555 1560 1565 1570 1575 1580 1585 1590 1595 1600 1605 1610 1615 1620 1625 1630 1635 1640 1645 1650 1655 1660 1665 1670 1675 1680 1685 1690 1695 1700 1705 1710 1715 1720 1725 1730 1735 1740 1745 1750 1755 1760 1765 1770 1775 1780 1785 1790 1795 1800 1805 1810 1815 1820 1825 1830 1835 1840 1845 1850 1855 1860 1865 1870 1875 1880 1885 1890 1895 1900 1905 1910 1915 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020 2025 2030 2035 2040 2045 2050 2055 2060 2065 2070 2075 2080 2085 2090 2095 2100 2105 2110 2115 2120 2125 2130 2135 2140 2145 2150 2155 2160 2165 2170 2175 2180 2185 2190 2195 2200 2205 2210 2215 2220 2225 2230 2235 2240 2245 2250 2255 2260 2265 2270 2275 2280 2285 2290 2295 2300 2305 2310 2315 2320 2325 2330 2335 2340 2345 2350 2355 2360 2365 2370 2375 2380 2385 2390 2395 2400 2405 2410 2415 2420 2425 2430 2435 2440 2445 2450 2455 2460 2465 2470 2475 2480 2485 2490 2495 2500 2505 2510 2515 2520 2525 2530 2535 2540 2545 2550 2555 2560 2565 2570 2575 2580 2585 2590 2595 2600 2605 2610 2615 2620 2625 2630 2635 2640 2645 2650 2655 2660 2665 2670 2675 2680 2685 2690 2695 2700 2705 2710 2715 2720 2725 2730 2735 2740 2745 2750 2755 2760 2765 2770 2775 2780 2785 2790 2795 2800 2805 2810 2815 2820 2825 2830 2835 2840 2845 2850 2855 2860 2865 2870 2875 2880 2885 2890 2895 2900 2905 2910 2915 2920 2925 2930 2935 2940 2945 2950 2955 2960 2965 2970 2975 2980 2985 2990 2995 3000 3005 3010 3015 3020 3025 3030 3035 3040 3045 3050 3055 3060 3065 3070 3075 3080 3085 3090 3095 3100 3105 3110 3115 3120 3125 3130 3135 3140 3145 3150 3155 3160 3165 3170 3175 3180 3185 3190 3195 3200 3205 3210 3215 3220 3225 3230 3235 3240 3245 3250 3255 3260 3265 3270 3275 3280 3285 3290 3295 3300 3305 3310 3315 3320 3325 3330 3335 3340 3345 3350 3355 3360 3365 3370 3375 3380 3385 3390 3395 3400 3405 3410 3415 3420 3425 3430 3435 3440 3445 3450 3455 3460 3465 3470 3475 3480 3485 3490 3495 3500 3505 3510 3515 3520 3525 3530 3535 3540 3545 3550 3555 3560 3565 3570 3575 3580 3585 3590 3595 3600 3605 3610 3615 3620 3625 3630 3635 3640 3645 3650 3655 3660 3665 3670 3675 3680 3685 3690 3695 3700 3705 3710 3715 3720 3725 3730 3735 3740 3745 3750 3755 3760 3765 3770 3775 3780 3785 3790 3795 3800 3805 3810 3815 3820 3825 3830 3835 3840 3845 3850 3855 3860 3865 3870 3875 3880 3885 3890 3895 3900 3905 3910 3915 3920 3925 3930 3935 3940 3945 3950 3955 3960 3965 3970 3975 3980 3985 3990 3995 4000 4005 4010 4015 4020 4025 4030 4035 4040 4045 4050 4055 4060 4065 4070 4075 4080 4085 4090 4095 4100 4105 4110 4115 4120 4125 4130 4135 4140 4145 4150 4155 4160 4165 4170 4175 4180 4185 4190 4195 4200 4205 4210 4215 4220 4225 4230 4235 4240 4245 4250 4255 4260 4265 4270 4275 4280 4285 4290 4295 4300 4305 4310 4315 4320 4325 4330 4335 4340 4345 4350 4355 4360 4365 4370 4375 4380 4385 4390 4395 4400 4405 4410 4415 4420 4425 4430 4435 4440 4445 4450 4455 4460 4465 4470 4475 4480 4485 4490 4495 4500 4505 4510 4515 4520 4525 4530 4535 4540 4545 4550 4555 4560 4565 4570 4575 4580 4585 4590 4595 4600 4605 4610 4615 4620 4625 4630 4635 4640 4645 4650 4655 4660 4665 4670 4675 4680 4685 4690 4695 4700 4705 4710 4715 4720 4725 4730 4735 4740 4745 4750 4755 4760 4765 4770 4775 4780 4785 4790 4795 4800 4805 4810 4815 4820 4825 4830 4835 4840 4845 4850 4855 4860 4865 4870 4875 4880 4885 4890 4895 4900 4905 4910 4915 4920 4925 4930 4935 4940 4945 4950 4955 4960 4965 4970 4975 4980 4985 4990 4995 5000 5005 5010 5015 5020 5025 5030 5035 5040 5045 5050 5055 5060 5065 5070 5075 5080 5085 5090 5095 5100 5105 5110 5115 5120 5125 5130 5135 5140 5145 5150 5155 5160 5165 5170 5175 5180 5185 5190 5195 5200 5205 5210 5215 5220 5225 5230 5235 5240 5245 5250 5255 5260 5265 5270 5275 5280 5285 5290 5295 5300 5305 5310 5315 5320 5325 5330 5335 5340 5345 5350 5355 5360 5365 5370 5375 5380 5385 5390 5395 5400 5405 5410 5415 5420 5425 5430 5435 5440 5445 5450 5455 5460 5465 5470 5475 5480 5485 5490 5495 5500 5505 5510 5515 5520 5525 5530 5535 5540 5545 5550 5555 5560 5565 5570 5575 5580 5585 5590 5595 5600 5605 5610 5615 5620 5625 5630 5635 5640 5645 5650 5655 5660 5665 5670 5675 5680 5685 5690 5695 5700 5705 5710 5715 5720 5725 5730 5735 5740 5745 5750 5755 5760 5765 5770 5775 5780 5785 5790 5795 5800 5805 5810 5815 5820 5825 5830 5835 5840 5845 5850 5855 5860 5865 5870 5875 5880 5885 5890 5895 5900 5905 5910 5915 5920 5925 5930 5935 5940 5945 5950 5955 5960 5965 5970 5975 5980 5985 5990 5995 6000 6005 6010 6015 6020 6025 6030 6035 6040 6045 6050 6055 6060 6065 6070 6075 6080 6085 6090 6095 6100 6105 6110 6115 6120 6125 6130 6135 6140 6145 6150 6155 6160 6165 6170 6175 6180 6185 6190 6195 6200 6205 6210 6215 6220 6225 6230 6235 6240 6245 6250 6255 6260 6265 6270 6275 6280 6285 6290 6295 6300 6305 6310 6315 6320 6325 6330 6335 6340 6345 6350 6355 6360 6365 6370 6375 6380 6385 6390 6395 6400 6405 6410 6415 6420 6425 6430 6435 6440 6445 6450 6455 6460 6465 6470 6475 6480 6485 6490 6495 6500 6505 6510 6515 6520 6525 6530 6535 6540 6545 6550 6555 6560 6565 6570 6575 6580 6585 6590 6595 6600 6605 6610 6615 6620 6625 6630 6635 6640 6645 6650 6655 6660 6665 6670 6675 6680 6685 6690 6695 6700 6705 6710 6715 6720 6725 6730 6735 6740 6745 6750 6755 6760 6765 6770 6775 6780 6785 6790 6795 6800 6805 6810 6815 6820 6825 6830 6835 6840 6845 6850 6855 6860 6865 6870 6875 6880 6885 6890 6895 6900 6905 6910 6915 6920 6925 6930 6935 6940 6945 6950 6955 6960 6965 6970 6975 6980 6985 6990 6995 7000 7005 7010 7015 7020 7025 7030 7035 7040 7045 7050 7055 7060 7065 7070 7075 7080 7085 7090 7095 7100 7105 7110 7115 7120 7125 7130 7135 7140 7145 7150 7155 7160 7165 7170 7175 7180 7185 7190 7195 7200 7205 7210 7215 7220 7225 7230 7235 7240 7245 7250 7255 7260 7265 7270 7275 7280 7285 7290 7295 7300 7305 7310 7315 7320 7325 7330 7335 7340 7345 7350 7355 7360 7365 7370 7375 7380 7385 7390 7395 7400 7405 7410 7415 7420 7425 7430 7435 7440 7445 7450 7455 7460 7465 7470 7475 7480 7485 7490 7495 7500 7505 7510 7515 7520 7525 7530 7535 7540 7545 7550 7555 7560 7565 7570 7575 7580 7585 7590 7595 7600 7605 7610 7615 7620 7625 7630 7635 7640 7645 7650 7655 7660 7665 7670 7675 7680 7685 7690 7695 7700 7705 7710 7715 7720 7725 7730 7735 7740 7745 7750 7755 7760 7765 7770 7775 7780 7785 7790 7795 7800 7805 7810 7815 7820 7825 7830 7835 7840 7845 7850 7855 7860 7865 7870 7875 7880 7885 7890 7895 7900 7905 7910 7915 7920 7925 7930 7935 7940 7945 7950 7955 7960 7965 7970 7975 7980 7985 7990 7995 8000 8005 8010 8015 8020 8025 8030 8035 8040 8045 8050 8055 8060 8065 8070 8075 8080 8085 8090 8095 8100 8105 8110 8115 8120 8125 8130 8135 8140 8145 8150 8155 8160 8165 8170 8175 8180 8185 8190 8195 8200 8205 8210 8215 8220 8225 8230 8235 8240 8245 8250 8255 8260 8265 8270 8275 8280 8285 8290 8295 8300 8305 8310 8315 8320 8325 8330 8335 8340 8345 8350 8355 8360 8365 8370 8375 8380 8385 8390 8395 8400 8405 8410 8415 8420 8425 8430 8435 8440 8445 8450 8455 8460 8465 8470 8475 8480 8485 8490 8495 8500 8505 8510 8515 8520 8525 8530 8535 8540 8545 8550 8555 8560 8565 8570 8575 8580 8585 8590 8595 8600 8605 8610 8615 8620 8625 8630 8635 8640 8645 8650 8655 8660 8665 8670 8675 8680 8685 8690 8695 8700 8705 8710 8715 8720 8725 8730 8735 8740 8745 8750 8755 8760 8765 8770 8775 8780 8785 8790 8795 8800 8805 8810 8815 8820 8825 8830 8835 8840 8845 8850 8855 8860 8865 8870 8875 8880 8885 8890 8895 8900 8905 8910 8915 8920 8925 8930 8935 8940 8945 8950 8955 8960 8965 8970 8975 8980 8985 8990 8995 9000 9005 9010 9015 9020 9025 9030 9035 9040 9045 9050 9055 9060 9065 9070 9075 9080 9085 9090 9095 9100 9105 9110 9115 9120 9125 9130 9135 9140 9145 9150 9155 9160 9165 9170 9175 9180 9185 9190 9195 9200 9205 9210 9215 9220 9225 9230 9235 9240 9245 9250 9255 9260 9265 9270 9275 9280 9285 9290 9295 9300 9305 9310 9315 9320 9325 9330 9335 9340 9345 9350 9355 9360 9365 9370 9375 9380 9385 9390 9395 9400 9405 9410 9415 9420 9425 9430 9435 9440 9445 9450 9455 9460 9465 9470 9475 9480 9485 9490 9495 9500 9505 9510 9515 9520 9525 9530 9535 9540 9545 9550 9555 9560 9565 9570 9575 9580 9585 9590 9595 9600 9605 9610 9615 9620 9625 9630 9635 9640 9645 9650 9655 9660 9665 9670 9675 9680 9685 9690 9695 9700 9705 9710 9715 9720 9725 9730 9735 9740 9745 9750 9755 9760 9765 9770 9775 9780 9785 9790 9795 9800 9805 9810 9815 9820 9825 9830 9835 9840 9845 9850 9855 9860 9865 9870 9875 9880 9885 9890 9895 9900 9905 9910 9915 9920 9925 9930 9935 9940 9945 9950 9955 9960 9965 9970 9975 9980 9985 9990 9995 10000 10005 10010 10015 10020 10025 10030 10035 10040 10045 10050 10055 10060 10065 10070 10075 10080 10085 10090 10095 10100 10105 10110 10115 10120 10125 10130 10135 10140 10145 10150 10155 10160 10165 10170 10175 10180 1

ubican unidades de prueba que pueden ser similares a las descritas anteriormente.

En cada ubicación de prueba 403, 404 hay un generador de señales de prueba en forma de fuente de tensión de CA 409, 410, configurado para aplicar una señal entre los conductores 401, 402 y la tierra 411 y una disposición de

- 5 detección que puede comprender al menos un transformador de corriente. El al menos un transformador de corriente puede estar ubicado en la línea en una ubicación aguas abajo o aguas arriba de la fuente de tensión. Como se muestra en la Figura 4, están ubicados aguas abajo de la fuente de tensión, permitiendo así que la medición de la resistencia de aislamiento sea relevante para la sección de cable aguas abajo. La direccionalidad de la medición de la resistencia de aislamiento de la fuente de tensión puede configurarse basándose en si el al menos un transformador de corriente

10 está ubicado aguas arriba o aguas abajo (o ambos) de la fuente de tensión.

Cada línea puede comprender un transformador de corriente y los transformadores de corriente pueden conectarse en paralelo de manera que se pueda tomar una medición combinada a masa para cada una de las líneas simultáneamente. Por tanto, los transformadores de corriente pueden denominarse transformadores de corriente de

15 modo común. Esto podría ser ventajoso cuando las líneas están conectadas a través de un transformador, según el sistema mostrado en la Figura 3. Sin embargo, esto no es una limitación, y cada línea podría probarse por separado.

Para proporcionar una determinación precisa de la diferencia de fase entre la señal inyectada proporcionada por el generador de señales y la señal de medición, se puede muestrear cada señal. Por tanto, cada ubicación de prueba

20 puede comprender un convertidor de analógico a digital 412, 413 que está configurado para medir/muestrear tanto i) la tensión de las señales proporcionadas por las fuentes de tensión de CA 409, 410, como, ii) la corriente correspondiente de los conductores 401, 402 a través de los transformadores 405, 406, 407, 408 en cada ubicación de prueba 403, 404.

25 Las diversas corrientes de fuga medidas en el sistema están esquemáticamente representadas como IR1, IC1, DA1, IR2, IC2, DA2 en los circuitos 414, 415. Como se ha indicado anteriormente, la señal de prueba se puede llevar a cabo a diferentes frecuencias que proporcionarán, cada una, un valor correspondiente de las corrientes IR, IC y DA, en donde IR es la contribución actual de la resistencia de aislamiento, IC es la contribución de corriente de la capacitancia de aislamiento y DA es la contribución de corriente de fuga de la absorción dieléctrica.

30 De acuerdo con un método de esta divulgación, y con referencia a la Figura 4 y la Figura 5, se realizan las siguientes etapas:

35 Ejecutar una pluralidad de pruebas de frecuencia 501 mediante la provisión de una serie de señales de prueba de CA utilizando la fuente de tensión de CA 409, 410 entre los conductores 401, 402 y la masa 411. Cada señal de prueba de CA tiene una frecuencia y amplitud conocidas diferentes. La pluralidad de pruebas de frecuencia se puede inyectar mientras se transmite una corriente de CA o CC funcional a través de los conductores 401, 402. Si la corriente funcional es de CA, entonces las señales de prueba de barrido tienen una frecuencia diferente a la corriente de CA funcional. Además, la pluralidad de frecuencias puede inyectarse simultáneamente utilizando una señal modulada adecuadamente. La señal de prueba adecuada que comprende las diferentes señales puede ser una señal de frecuencia de espectro ensanchado en la que las diferentes frecuencias son proporcionadas por diferentes porciones de una señal de ancho de banda relativamente amplia, como es conocido en la técnica.

40 45 La medición de la respuesta de frecuencia de cada señal de prueba se puede llevar a cabo simultáneamente. En consecuencia, cada señal de prueba de CA inyectada y su correspondiente respuesta de frecuencia pueden muestrearse en la etapa 502 para calcular el desplazamiento de fase relativo entre estas señales. El muestreo se realiza mediante un convertidor 412, 413 para cada ubicación de prueba. La respuesta de frecuencia se obtiene a través de los transformadores de corriente 405, 406, 407, 408. En el ejemplo mostrado en la Figura 4, los convertidores miden la tensión que es inyectada por la fuente de tensión de CA 409 y la respuesta de corriente a través de los transformadores de corriente 405, 406, 407, 408. En este ejemplo, los convertidores 412, 413 son convertidores de analógico a digital para convertir mediciones analógicas en muestras digitales para su procesamiento.

50 55 La siguiente etapa podría ser generar una representación vectorial 503 de los desplazamientos de fase resultantes que se obtienen para cada una de las señales de prueba de CA de diferentes frecuencias. Un ejemplo de esta representación se muestra en la Figura 6. Cada línea vectorial 602, 603, 604, 605, 606 representa un desplazamiento de fase para una señal diferente de CA inyectada que tiene una frecuencia única. Se puede proporcionar una representación lineal de los puntos discretos del resultado de la prueba para cada una de las mediciones de prueba en las diferentes frecuencias calculando una aproximación matemática. Por tanto, se puede ajustar una curva 607 matemáticamente a los puntos finales de los vectores utilizando una o más técnicas de interpolación o una mera linealización entre dos puntos adyacentes cualesquiera. La curva resultante que conecta los puntos finales de los desplazamientos de fase puede extrapolarse (o resolverse de otro modo) para determinar el resultado de la prueba equivalente de CC que está representado por la corriente de fuga cuando la corriente capacitiva IC es cero. Es decir, la ecuación de la curva 607 puede resolverse para estimar la corriente de fuga Ir 601 cuando la corriente de fuga capacitiva (representada en el eje Y) es cero. Dicho de otra manera, la curva se extraña para estimar el componente resistivo de la corriente de fuga cuando el componente del condensador de la corriente de fuga es cero.

Llevar a cabo estas etapas significa que el componente I_{dA} y los componentes I_C pueden eliminarse y no incluirse en el valor estimado de $I_{r,601}$. Con referencia, a la Figura 1, si se elimina la corriente capacitiva, entonces el único valor de corriente restante es I_r , la corriente de fuga resistiva. El valor resultante para la corriente de fuga resistiva puede denominarse corriente de fuga resistiva direccional de referencia compensada. Esta etapa de método normalmente

- 5 se realiza mediante un equipo informático u otro equipo eléctrico (no mostrado en la Figura 4, pero descrito anteriormente) configurado para recibir mediciones de muestreo desde los convertidores 412, 413.

Las etapas de método anteriores proporcionan un valor de corriente de fuga resistiva en una ubicación particular del cable correspondiente a la ubicación de prueba 403, 404 que se utiliza para hacer las mediciones. Todavía con

- 10 referencia a la Figura 4, el punto de instalación 1, 403, proporciona un valor de corriente resistiva compensada que es igual a la suma de $I_{r,1}$ e $I_{r,2}$ que es la fuga de corriente total aguas abajo de la ubicación donde se ha hecho la lectura. Para obtener $I_{r,1}$ en aislamiento (la resistencia de aislamiento en la sección de cable entre las ubicaciones de prueba 403, 404), el valor de $I_{r,2}$ se puede estimar utilizando la ubicación de prueba 404 que puede restarse de la corriente de fuga estimada utilizando la ubicación de prueba 1, 403 (véase la etapa de método 505). El valor final de la
- 15 resistencia de aislamiento de la sección de cable compensada se determina basándose en $I_{r,1}$. Es decir, la medición de prueba proporcionada por la ubicación de prueba 1 comprende la corriente de fuga de los componentes de fuga para el cable aguas abajo de la ubicación de prueba 1 y la medición de prueba proporcionada por la ubicación de prueba 2 y comprende los componentes de fuga para el cable aguas abajo de la ubicación de prueba 2.

- 20 Se ha descubierto que la caída de tensión debido a la resistencia del propio cable (no mostrada) es normalmente insignificante en comparación con la impedancia de fuga y puede ignorarse cuando se realizan etapas de método de acuerdo con esta divulgación. Dicho de otra manera, no considerar la caída de tensión debida a la resistencia del propio cable tiene poco impacto en la precisión de la medición porque la resistencia de línea es insignificante en comparación con la impedancia de fuga general.

- 25 Se entenderá que la invención no está limitada a los ejemplos y realizaciones descritos anteriormente y se pueden realizar diversas modificaciones y mejoras.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar el estado de un parámetro de aislamiento de cable de un cable (301) en un sistema eléctrico, comprendiendo el método las etapas de:
 - 5 proporcionar (501), mediante una fuente de tensión de CA (409), una pluralidad de señales de corriente alterna entre un conductor (401) del cable y una masa eléctrica (411), en donde la pluralidad de señales de corriente alterna comprende una pluralidad de frecuencias, en el que cada señal de corriente alterna comprende una frecuencia diferente mayor que cero;
 - 10 medir (501) una respuesta de frecuencia para cada una de la pluralidad de señales de corriente alterna; determinar (502) una pluralidad de desplazamientos de fase, estando cada uno de la pluralidad de desplazamientos de fase entre cada señal de corriente alterna inyectada y la correspondiente respuesta de frecuencia medida, caracterizado por:
 - 15 estar cada uno de los desplazamientos de fase representado como un vector fasorial (203) que tiene una magnitud y un ángulo de fase e incluye un componente resistivo y un componente capacitivo, comprendiendo además el método la etapa de:
 - 20 extrapolar (504) los vectores fasoriales (203) para:
 - i) estimar el parámetro de aislamiento de cable que es una corriente de fuga de resistencia de aislamiento correspondiente al componente resistivo cuando el componente capacitivo es cero para proporcionar un valor de resistencia de aislamiento de CC, o
 - ii) estimar el parámetro de aislamiento de cable que es la capacitancia de aislamiento extrapolando la pluralidad de desplazamientos de fase a un punto que es asintótico y determinando el componente capacitivo en el punto asintótico.
 - 25 2. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde proporcionar las señales de corriente alterna se lleva a cabo mientras el conductor (401) está operativo.
 - 30 3. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el sistema eléctrico es un sistema eléctrico no conectado a masa.
 - 35 4. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde medir la respuesta de frecuencia se lleva a cabo utilizando un transformador de corriente (318) y, opcionalmente, en donde la señal inyectada está entre la frecuencia de acoplamiento mínima y la frecuencia de saturación correspondiente a la permeabilidad electromagnética del transformador de corriente (318).
 - 40 5. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde las etapas de proporcionar y medir se realizan simultáneamente.
 - 45 6. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde la señal inyectada y la respuesta de frecuencia medida se muestran digitalmente.
 7. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde la pluralidad de señales de corriente comprende al menos tres señales de corriente alterna predefinidas de diferentes frecuencias.
 8. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde el cable comprende al menos dos conductores (401, 402) y en donde las etapas de proporcionar, medir, determinar y extrapolar se realizan con respecto a uno o más de los conductores (401, 402).
 9. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde la masa eléctrica es tierra (411).
 - 50 10. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde la corriente de fuga de resistencia de aislamiento se determina en una pluralidad de ubicaciones de prueba distribuidas a lo largo del cable, siendo la corriente de fuga de resistencia de aislamiento en cada una de la pluralidad de ubicaciones de prueba la corriente de fuga resistiva total aguas abajo del punto de medición respectivo y comprendiendo además opcionalmente la etapa de determinar un primer parámetro en una primera ubicación de prueba del cable y un segundo parámetro en una segunda ubicación de prueba del cable que está aguas abajo de la primera ubicación de prueba (403), en donde el parámetro del cable entre las ubicaciones de prueba, primera y segunda, (403, 404) se determina restando el segundo parámetro del primer parámetro.
 - 60 11. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el cable es un cable de señalización para transmitir señales entre componentes de un sistema de señalización ferroviario.
 12. Un sistema para determinar el estado de un parámetro de aislamiento de cable de un sistema eléctrico, comprendiendo el sistema:
 - 65 una fuente de tensión de CA (409, 410) configurada para proporcionar una pluralidad de señales de corriente alterna entre un conductor (401) del cable y una masa eléctrica (411), en donde la pluralidad de señales de corriente alterna comprende una pluralidad de frecuencias, en el que cada señal de corriente alterna comprende una

- frecuencia diferente mayor que cero;
una primera disposición de sensores (305) configurada para medir una respuesta de frecuencia para cada una de la pluralidad de señales de corriente alterna; y
5 un procesador de señales configurado para recibir tanto la pluralidad de señales de corriente alterna como la correspondiente respuesta de frecuencia medida, y, para determinar una pluralidad de desplazamientos de fase para cada señal de corriente, caracterizado por:
estar cada uno de los desplazamientos de fase representado como un vector fasorial (203) que tiene una magnitud y un ángulo de fase e incluye un componente resistivo y un componente capacitivo,
10 en donde el procesador de señales está además configurado para extrapolar los vectores fasoriales (203) para:
i) estimar el parámetro de aislamiento de cable que es una corriente de fuga de resistencia de aislamiento correspondiente al componente resistivo cuando el componente capacitivo es cero para proporcionar un valor de resistencia de aislamiento de CC, o
ii) estimar el parámetro de aislamiento de cable que es la capacitancia de aislamiento extrapolando la pluralidad de desplazamientos de fase a un punto que es asintótico y determinando el componente capacitivo en el punto asintótico.
- 15 13. El sistema de acuerdo con la reivindicación 12, que además comprende una pluralidad de puntos de medición ubicados a lo largo del cable, estando cada ubicación de prueba configurada para determinar la corriente de fuga de resistencia de aislamiento total aguas abajo de la respectiva ubicación de prueba y estando el sistema opcionalmente configurado para determinar un primer parámetro de aislamiento en una primera ubicación de prueba y un segundo parámetro de aislamiento en una segunda ubicación de prueba que está aguas abajo de la primera ubicación de prueba, y además determinar un parámetro de aislamiento de sector del cable entre las ubicaciones de prueba, primera y segunda, restando el primer parámetro de aislamiento del segundo parámetro de aislamiento.
- 20 14. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 12 o 13, que además comprende un transformador de aislamiento para aislar el sistema eléctrico de la masa.
- 25 15. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, en donde:
el sistema además comprende un generador de señales (309) que está configurado para proporcionar la fuente de tensión de CA (409, 410) y una pluralidad de señales de corriente alterna, en donde el generador de señales (309) está opcionalmente configurado para proporcionar una señal de espectro ensanchado que comprende la pluralidad de señales de corriente alterna, y en donde el procesador de señales está además opcionalmente configurado para demodular las respuestas de frecuencia medidas recibidas y/o
30 el procesador de señales está ubicado alejado de la fuente de tensión de CA (409, 410).

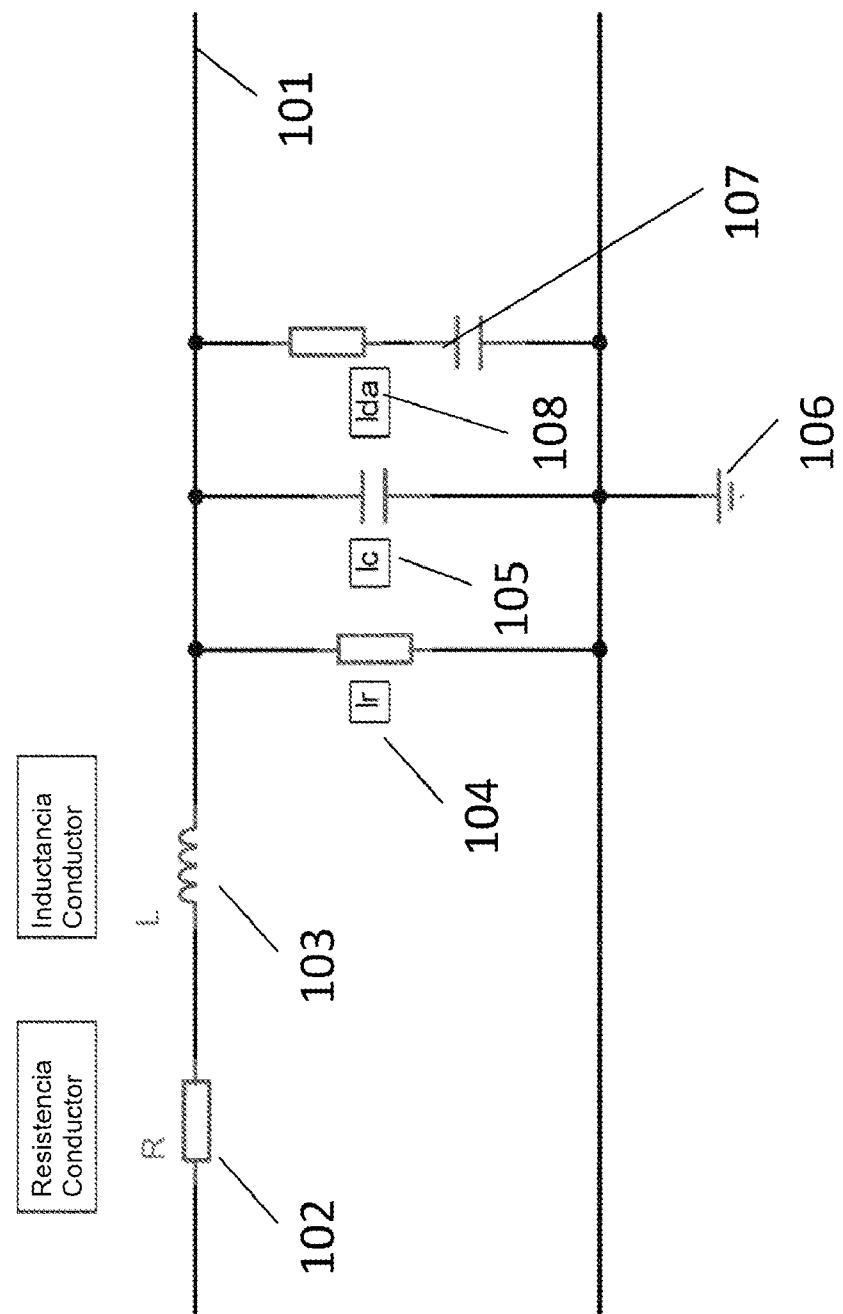


Fig. 1

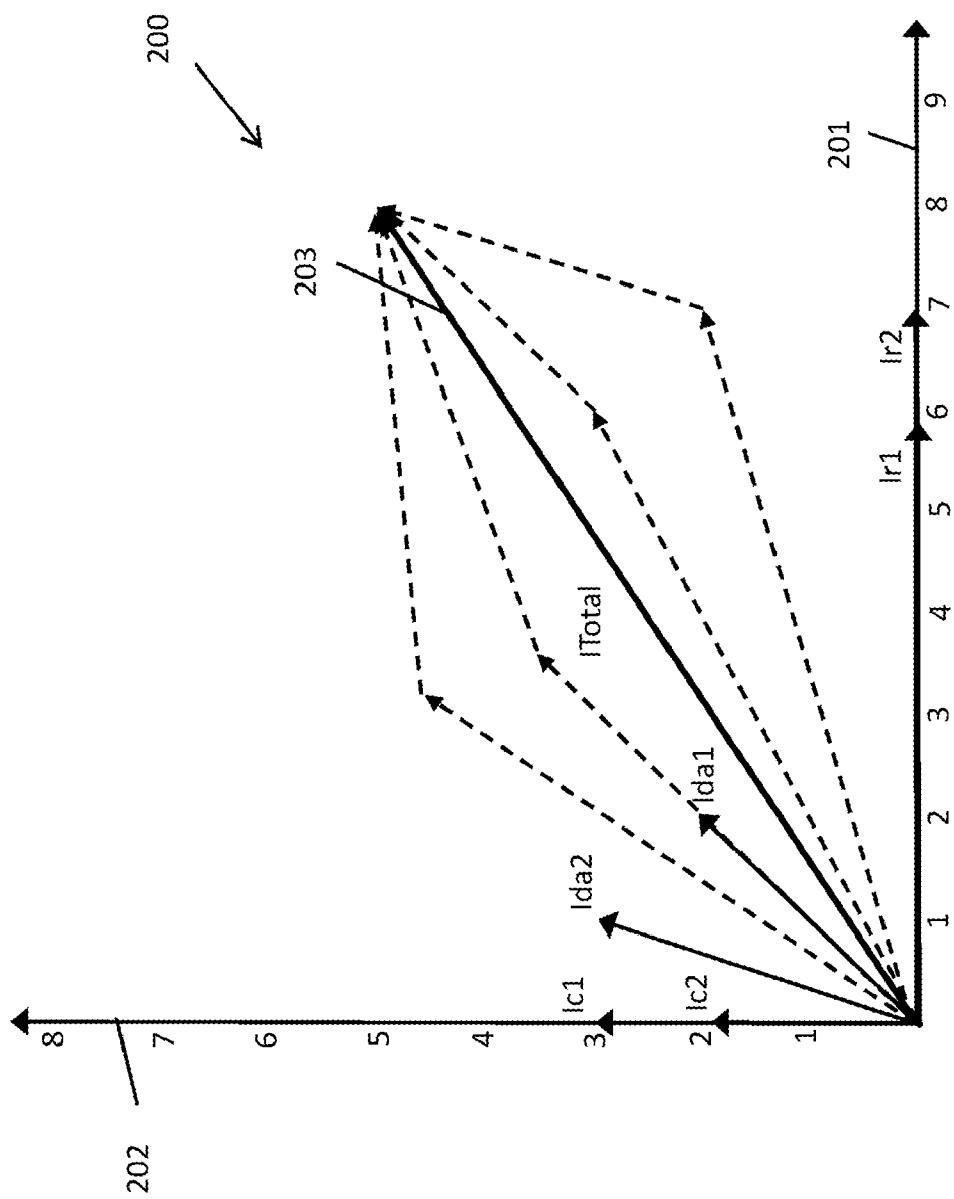


Fig. 2

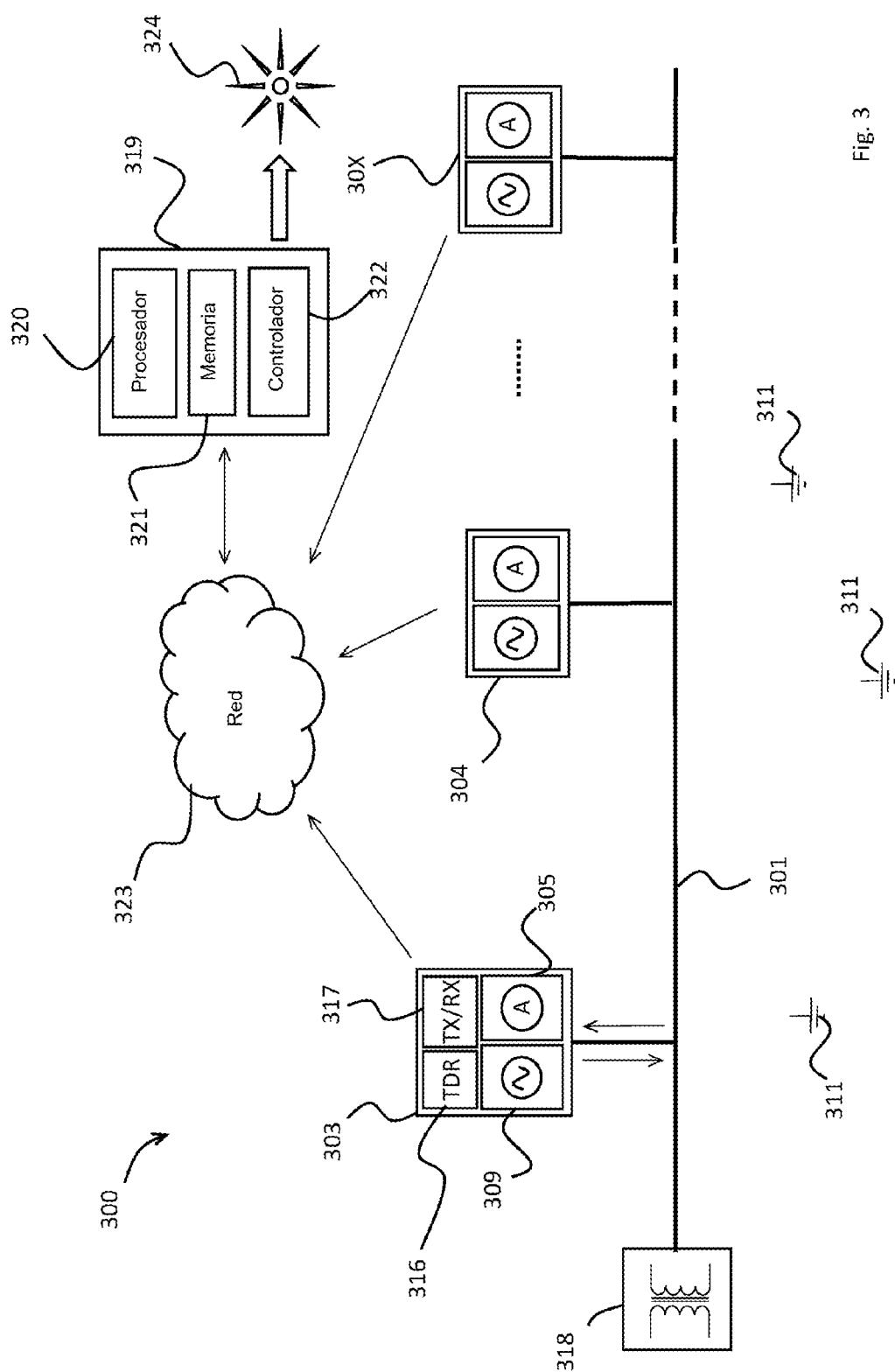


Fig. 3

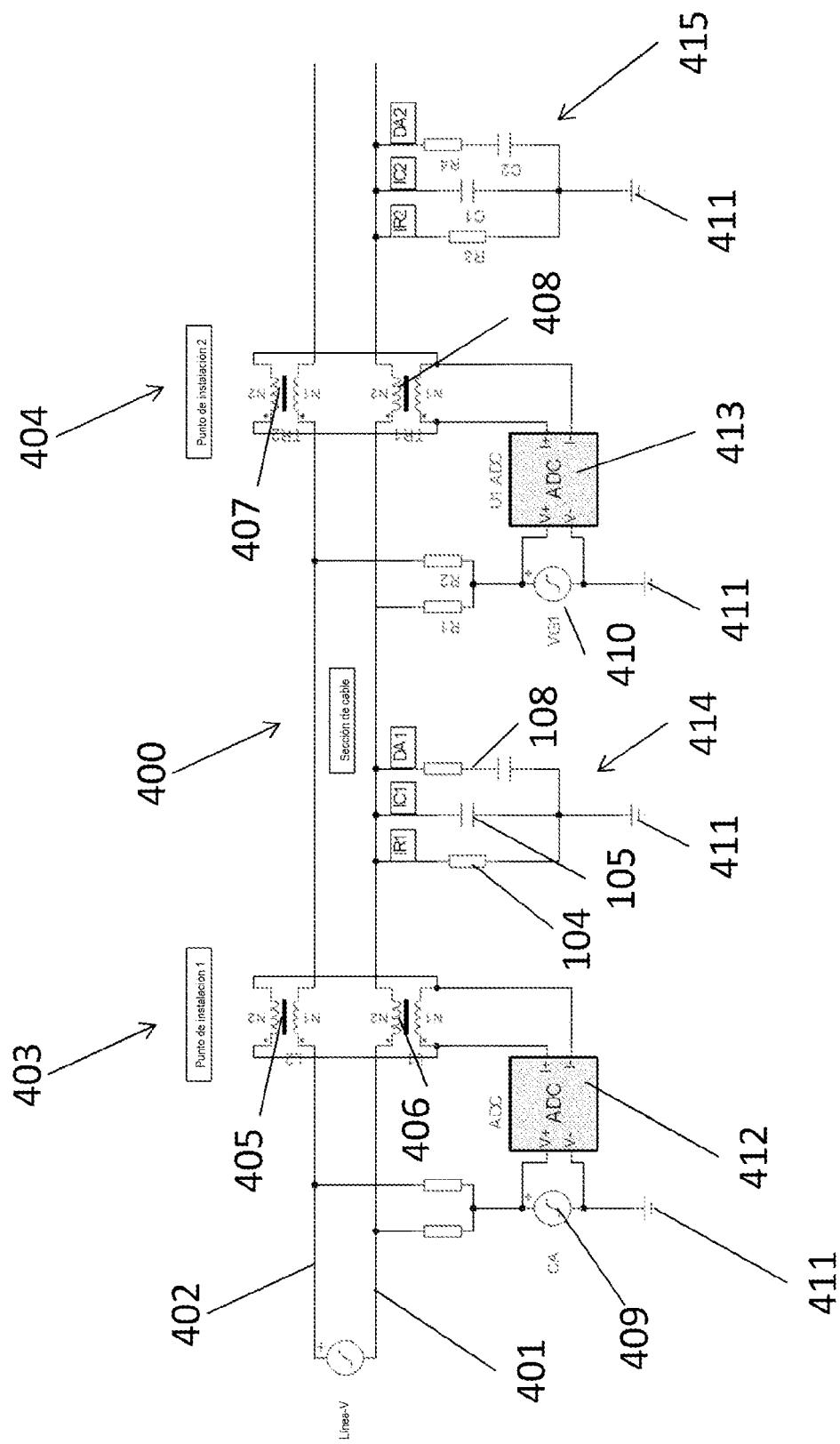


Fig. 4

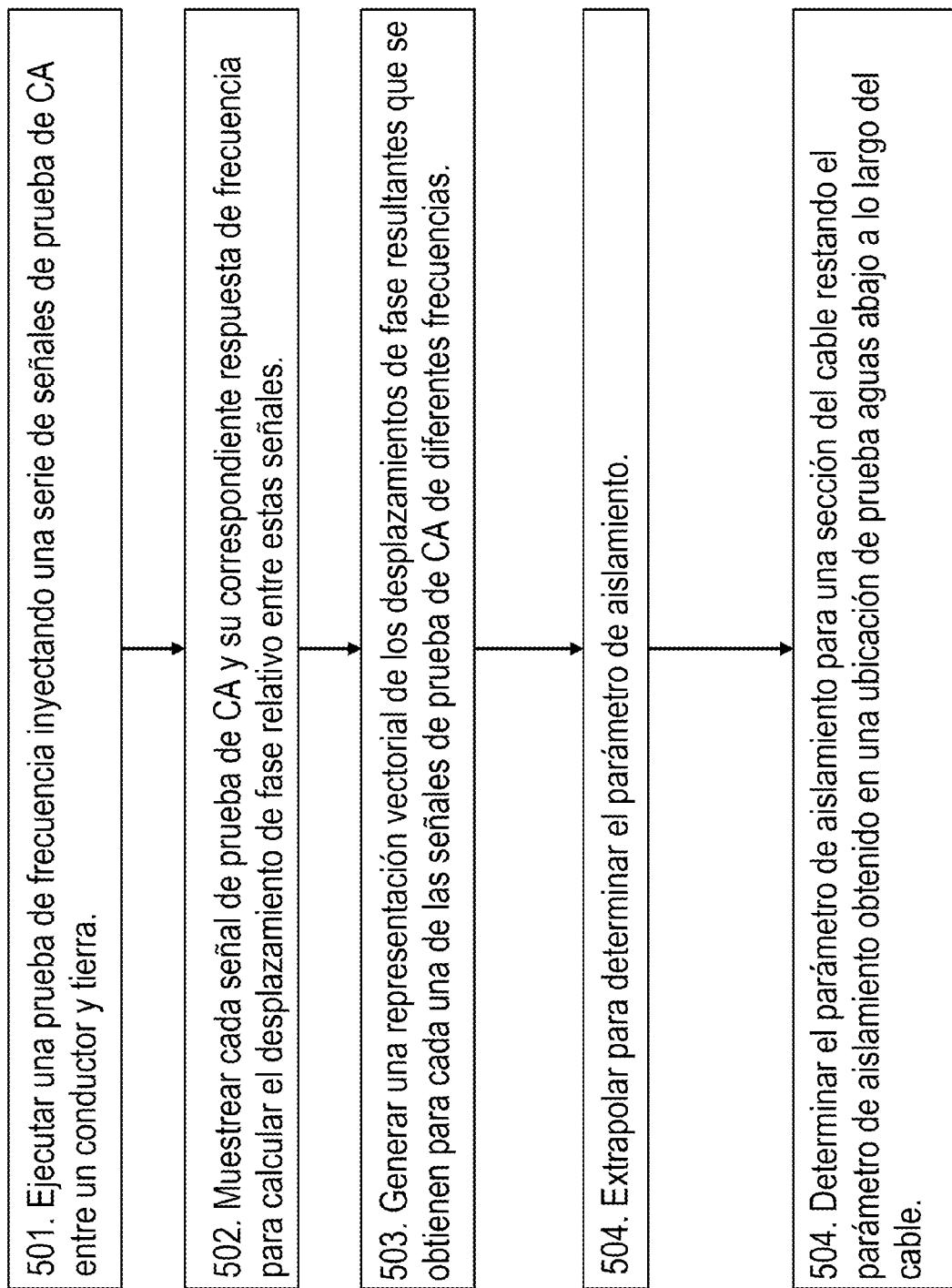


Fig. 5

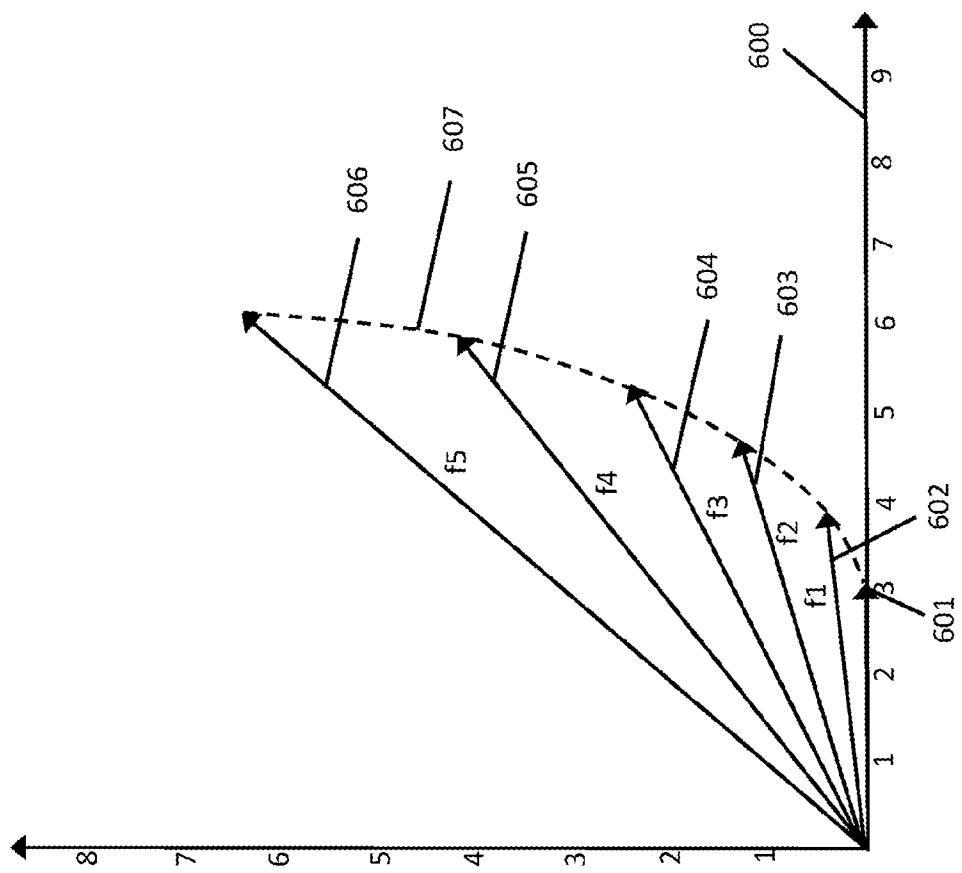


Fig. 6