

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**  
**PortisheadBristol 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.

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.

20 Opcionalmente, las etapas de proporcionar y medir se realizan simultáneamente.

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.

25 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.

30 Opcionalmente, la masa eléctrica es tierra.

Opcionalmente, la corriente de fuga resistiva del cable se determina en una pluralidad de ubicaciones de prueba distribuidas a lo largo del cable, siendo la corriente de fuga resistiva en cada una de la pluralidad de ubicaciones de prueba la corriente de fuga resistiva total aguas abajo del punto de medición respectivo.

35 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, en donde el parámetro del cable entre las ubicaciones de prueba, primera y segunda, se determina restando el segundo parámetro del primer parámetro. Opcionalmente, el cable es un cable de señalización para transmitir señales entre componentes de un sistema de señalización ferroviario.

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.

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 capacitiva, 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 ( $I_r$ ), capacitiva ( $I_c$ ) y de absorción dieléctrica ( $I_{da}$ ). El vector fasorial 203 incluye tanto componentes 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.

- 10 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.

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 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.

- 20 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.

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 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 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.

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 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.

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 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.

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.

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.

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).

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.

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.

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 extrapolar 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).

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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 inyectada 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.

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  $I_r$  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 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 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 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.

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.

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.

El controlador 322 también se puede configurar para comunicarse con una entidad externa para recibir un programa de prueba requerido o una solicitud de prueba, y también se puede configurar para comunicar los resultados de una medición de prueba en forma de datos de medición de prueba o para proporcionar una indicación de asesoramiento como resultado de los datos de medición de prueba. El equipo de procesamiento de señales 319 puede transmitir/proporcionar una comunicación 324 de los datos de medición de prueba a otro equipo (no mostrado) y comprender: uno o más paquetes de datos, un resultado de prueba tal como un "apto", "no apto", "requiere investigación adicional" y/o uno o más indicadores visuales o audibles que son indicativos del estado del cable como resultado de la prueba. El resultado de la prueba puede ser específico para una sección de la línea, por ejemplo, una sección de línea entre dos de las unidades de prueba, en cuyo caso, la medición de prueba también puede comprender una ubicación o un identificador que es representativo de una ubicación.

La prueba del cable 301 se puede llevar a cabo en un programa predeterminado. La prueba se puede llevar a cabo una vez al año, por ejemplo, o una vez a la semana, o una vez al día, por ejemplo. Las pruebas pueden estar provocadas por un evento tal como un evento meteorológico extremo o en respuesta a una determinación de que puede haber un fallo en la línea o algún otro indicio.

La Figura 4 muestra una sección de cable con unidades de prueba de acuerdo con una realización de la presente divulgación. Por tanto, se muestra, una sección de cable 400 que es operativa y, por tanto, incluye conductores con tensión 401 y 402. El ejemplo particular mostrado incluye dos conductores con tensión, sin embargo, podría haber cualquier número de conductores en una sección de cable y, en algunos ejemplos, el cable podría no estar operativo y podría estar muerto, es decir, aislado de un suministro eléctrico operativo. Un objetivo de la prueba es obtener una resistencia de aislamiento de la sección de cable 104 entre las dos ubicaciones de prueba 403 y 404 en las que se



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 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 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 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 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.

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.

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

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.

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.

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  $I_c$  es cero. Es decir, la ecuación de la curva 607 puede resolverse para estimar la corriente de fuga  $I_r$  601 cuando la corriente de fuga capacitiva (representada en el eje Y) es cero. Dicho de otra manera, la curva se extrapola 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  $I_{lc}$  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 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 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  $I_{r1}$  e  $I_{r2}$  que es la fuga de corriente total aguas abajo de la ubicación donde se ha hecho la lectura. Para obtener  $I_{r1}$  en aislamiento (la resistencia de aislamiento en la sección de cable entre las ubicaciones de prueba 403, 404), el valor de  $I_{r2}$  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 resistencia de aislamiento de la sección de cable compensada se determina basándose en  $I_{r1}$ . 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.

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.

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.
3. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el sistema eléctrico es un sistema eléctrico no conectado a masa.
- 30 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).
- 35 5. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde las etapas de proporcionar y medir se realizan simultáneamente.
6. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde la señal inyectada y la respuesta de frecuencia medida se muestrean digitalmente.
- 40 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).
- 45 9. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde la masa eléctrica es tierra (411).
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.
- 50 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.
- 60 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

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,

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.

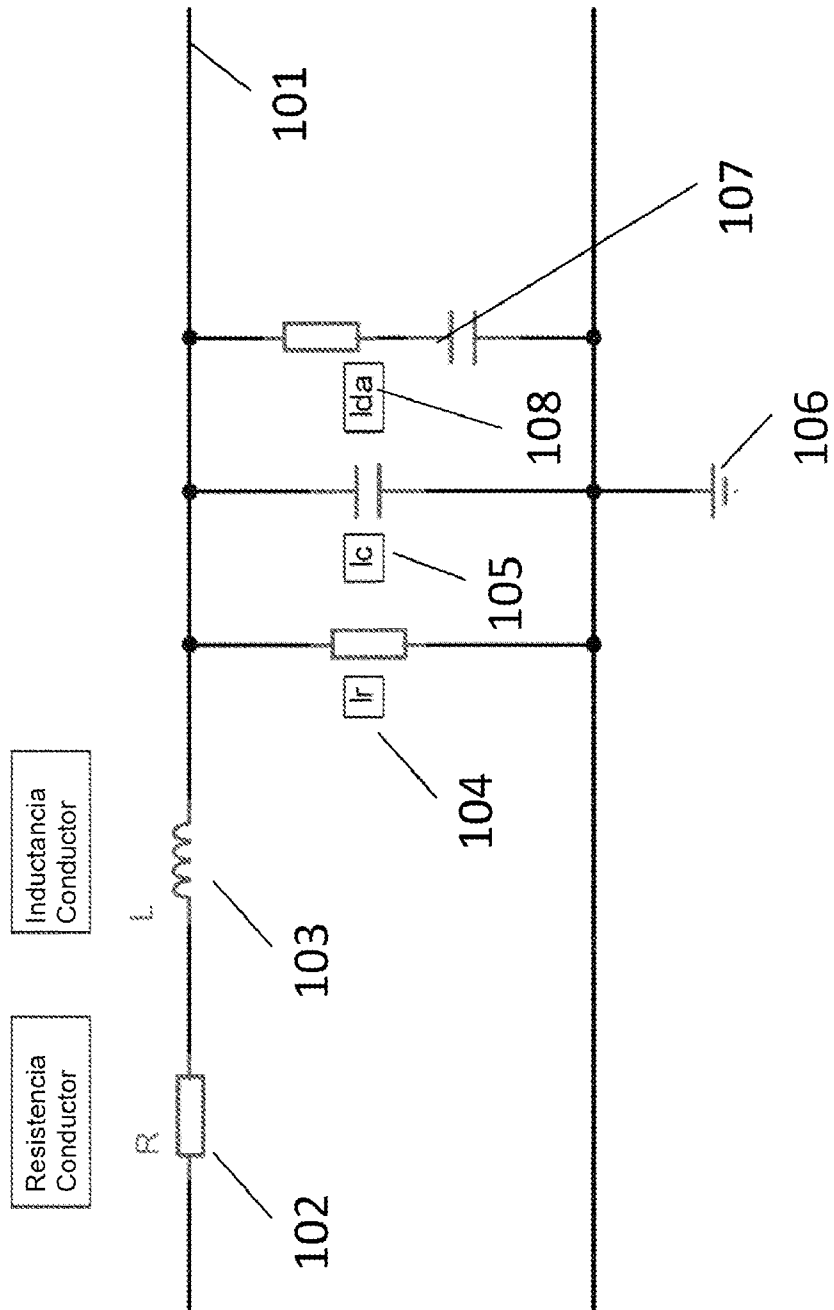
13. El sistema de acuerdo con la reivindicación 12, que además comprende una pluralidad de puntos de medición ubicados a lo largo del cable, estando cada ubicación de prueba configurada para determinar la corriente de fuga de resistencia de aislamiento total aguas abajo de la respectiva ubicación de 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.

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.

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

el procesador de señales está ubicado alejado de la fuente de tensión de CA (409, 410).



1  
Fib.

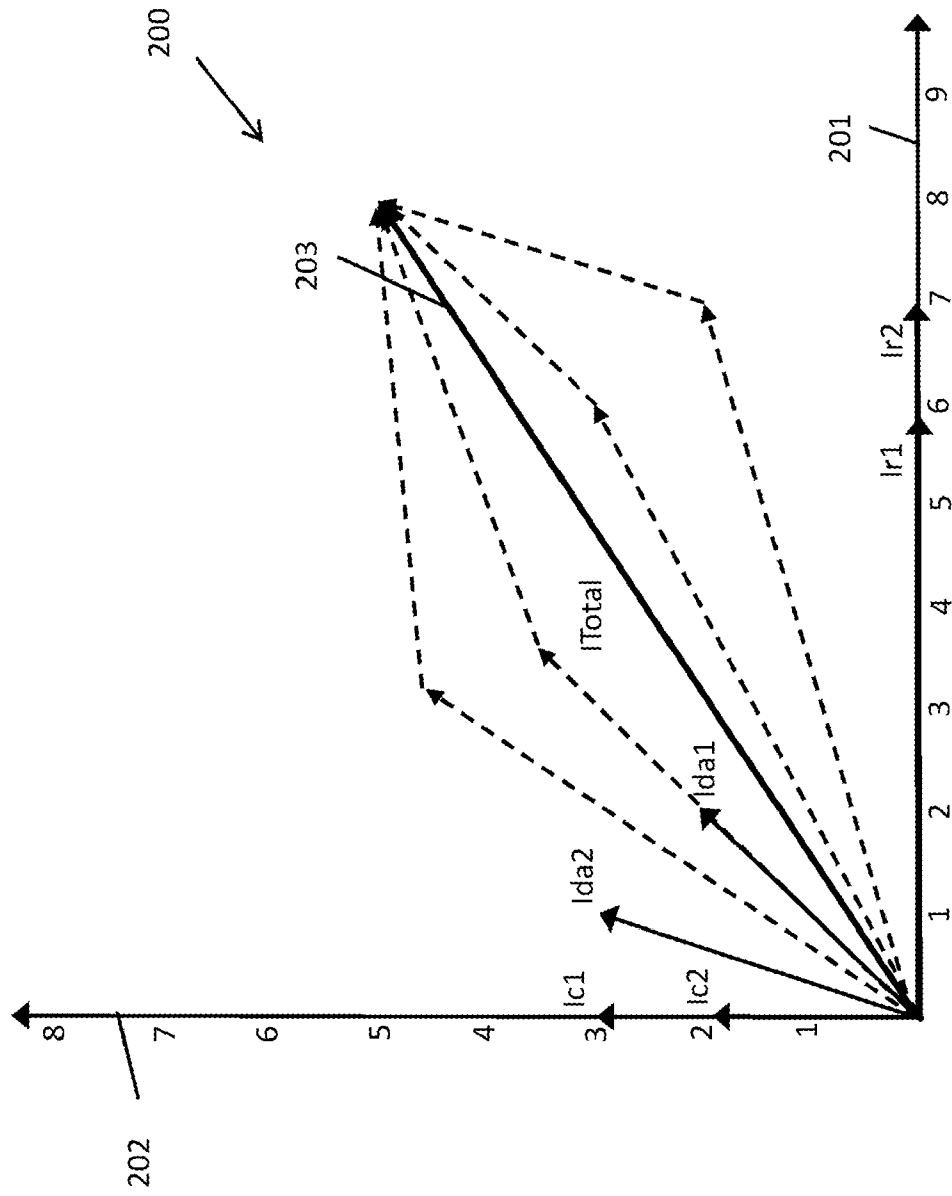


Fig. 2

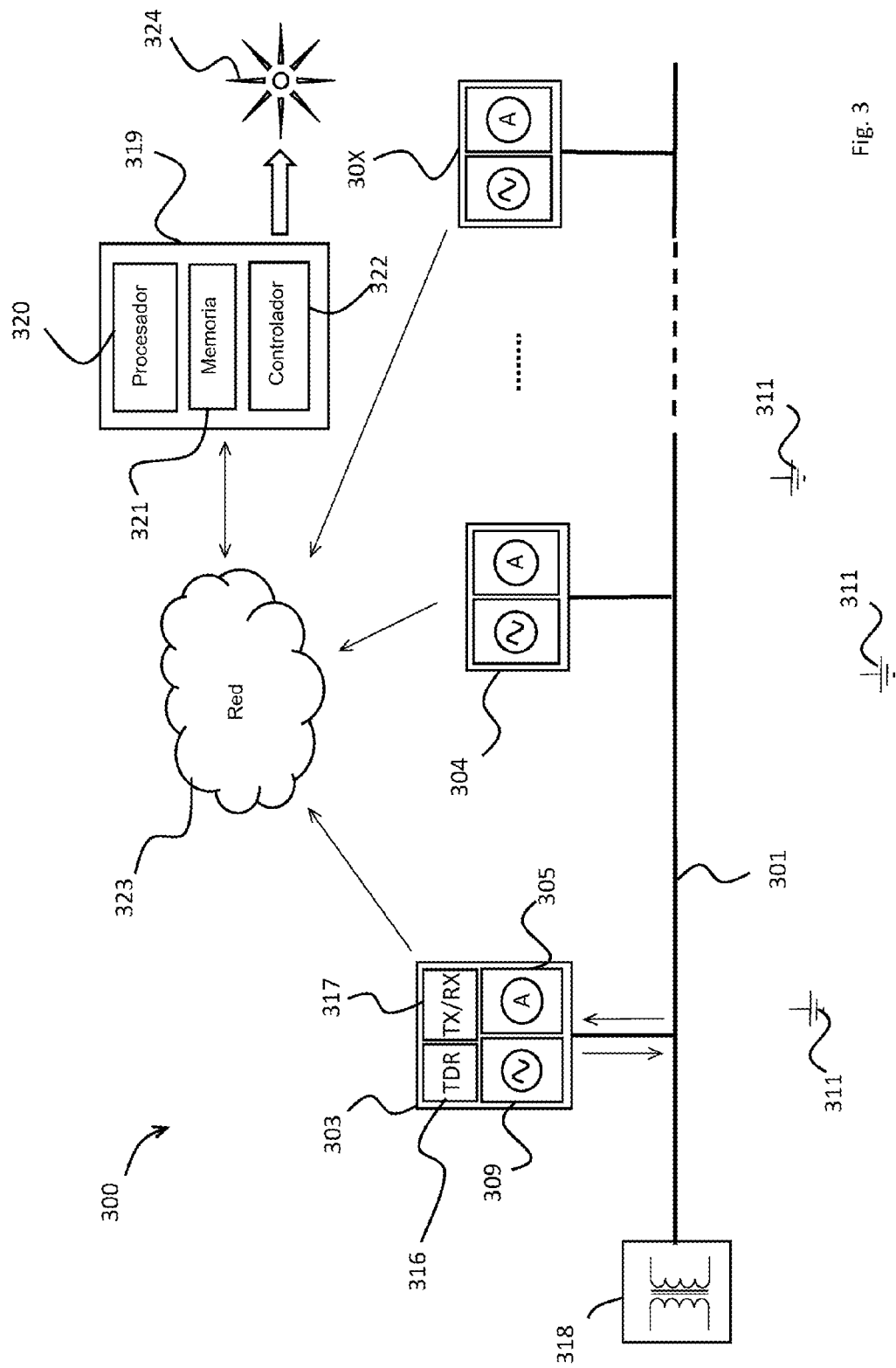


Fig. 3

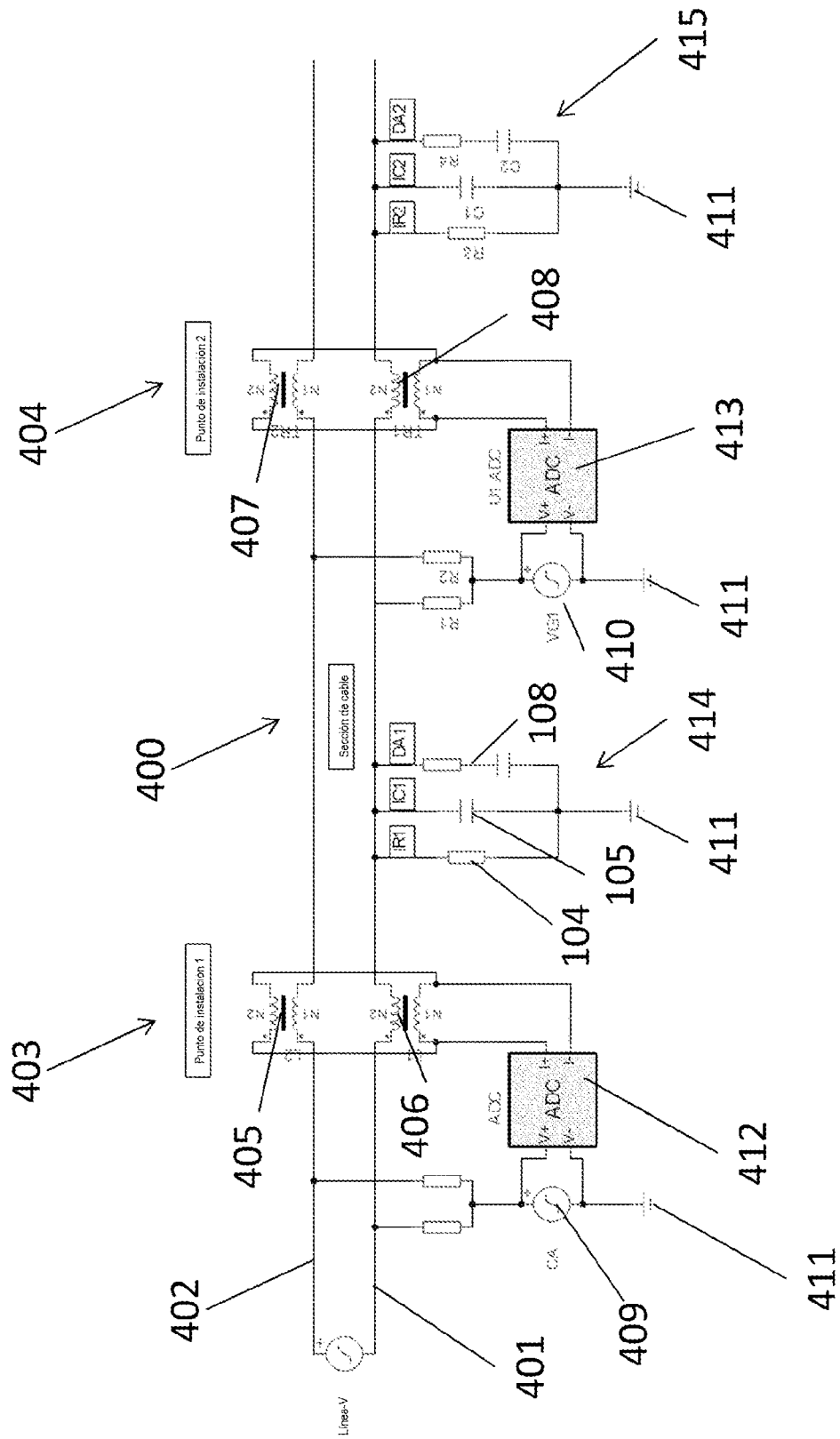


Fig. 4



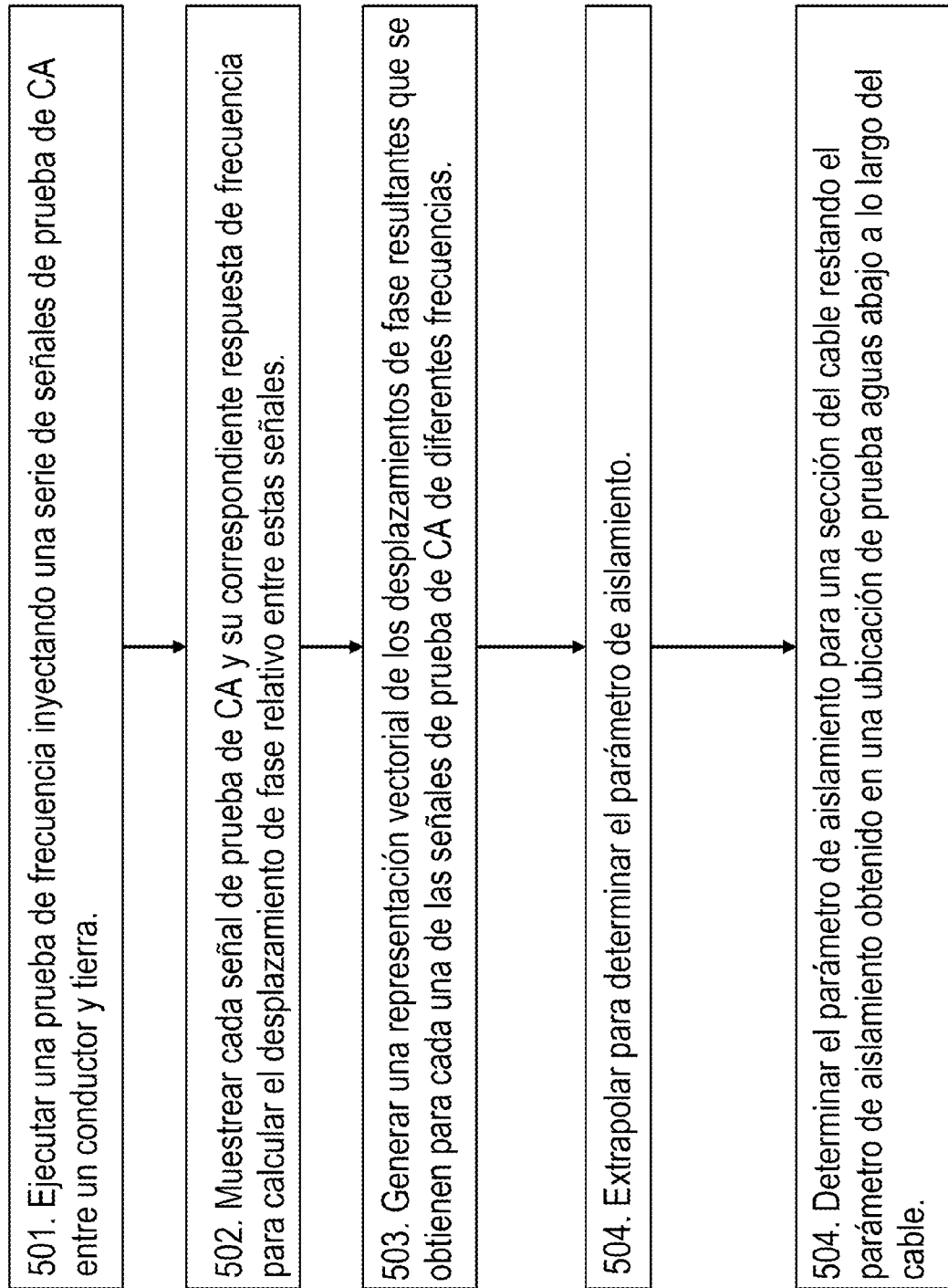


Fig. 5

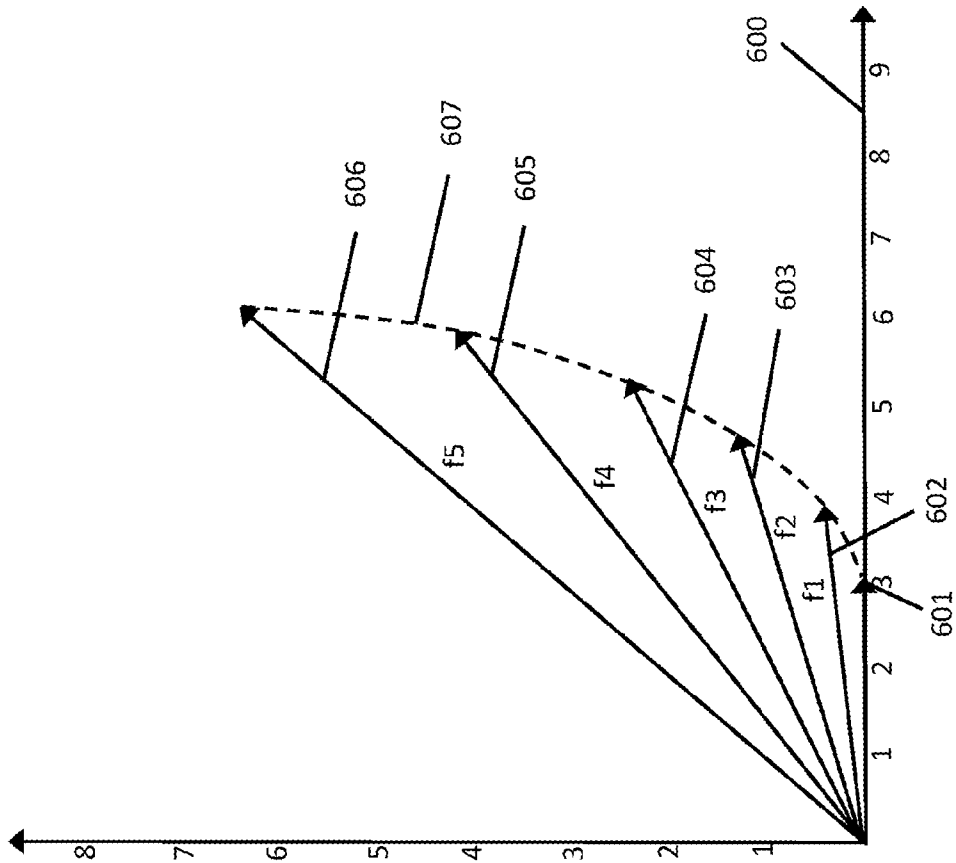


Fig. 6