

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 981 269**

51 Int. Cl.:

G01R 27/18 (2006.01)

G01R 31/42 (2006.01)

H02H 3/16 (2006.01)

H02S 50/10 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.11.2021 PCT/EP2021/082950**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.06.2022 WO22112393**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.11.2021 E 21819450 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2024 EP 4252014**

54 Título: **Dispositivo de monitorización para operación de reemplazo de red**

30 Prioridad:

26.11.2020 EP 20210023

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

08.10.2024

73 Titular/es:

**FRONIUS INTERNATIONAL GMBH (100.0%)
Froniusstraße 1
4643 Pettenbach, AT**

72 Inventor/es:

**JUNGREITHMAIR, ROLAND;
WIESER, STEFAN;
WOLF, MARTIN y
DOPPELBAUER, BERNHARD**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 981 269 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

Dispositivo de monitorización para operación de reemplazo de red

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para determinar una resistencia de aislamiento CA entre las conexiones CA de un inversor y un potencial de tierra, en donde en las conexiones CC del inversor se aplica una tensión CC y entre las conexiones CA del inversor se aplica una tensión CA, estando conectadas las conexiones CC a una fuente de energía CC y estando conectadas las conexiones CA a un sumidero de energía CA para transferir energía desde la fuente de energía CC al sumidero de energía CA en un funcionamiento de reemplazo de red. Además, la presente invención se refiere a un dispositivo de monitorización para determinar una resistencia de aislamiento CA entre las conexiones CA del inversor y un potencial de tierra, en donde las conexiones CC del inversor pueden conectarse a una fuente de energía CC, y en un funcionamiento de reemplazo de red las conexiones CC del inversor pueden conectarse a un sumidero de energía CA, en donde el dispositivo de monitorización comprende una unidad de determinación de corriente de falla, que está diseñada para determinar una corriente de falla CA que fluye entre una conexión CA y un potencial de tierra a partir de una tensión de aislamiento aplicada entre una de las conexiones de circuito intermedio y el potencial de tierra o un centro de circuito intermedio y el potencial de tierra, preferentemente el componente de tensión alterna del tensión de aislamiento, y una impedancia de aislamiento situada entre la conexión de circuito intermedio y el potencial de tierra o el centro de circuito intermedio y el potencial de tierra.

20 Un inversor es un convertidor de corriente continua/corriente alterna y, por lo tanto, convierte una tensión continua de entrada (tensión CC) aplicada en un lado de entrada entre conexiones CC en una o más tensiones alternas de salida (tensión CA) aplicadas en un lado de salida entre las conexiones CA. Las conexiones CC del inversor están conectadas a una fuente de energía de tensión continua (fuente de energía CC), por ejemplo, una instalación fotovoltaica en funcionamiento con generador. La fuente de energía CC proporciona la tensión CC y suministra energía al inversor. En el funcionamiento de red, las conexiones CA del inversor están conectadas a una red de suministro de energía para alimentar la energía proporcionada por la fuente de energía CC a la red de suministro de energía. Ventajosamente, las tensiones CC están sincronizadas con las tensiones de red de la red de suministro de energía. Si el inversor es, por ejemplo, trifásico, entonces para cada fase está prevista una conexión CA y está conectada en cada caso a una fase de red de la red de suministro de energía, pudiendo salir también un conductor neutro como conexión CA.

35 Sin embargo, en una operación de reemplazo de red, las conexiones CA del inversor se separan de la red de suministro eléctrico y en su lugar se conectan a un sumidero de energía de corriente alterna (sumidero de energía CA), por lo que la energía proporcionada por la fuente de energía CC se entrega desde el inversor al sumidero de energía CA. La separación de las conexiones CA de la red de suministro de energía se realiza en todos los polos y puede realizarse tanto internamente en el inversor como externamente. En un funcionamiento de reemplazo de red, también es posible hacer funcionar un inversor multifásico en funcionamiento monofásico. Para implementar un funcionamiento monofásico, por ejemplo, sólo se pueden hacer funcionar dos de los ramales trifásicos, emitiéndose la tensión alterna de salida monofásica entre dos de las cuatro conexiones CA (tres fases y un conductor neutro).

45 En la red de suministro de energía está previsto un equipo de protección de red, en donde pueden estar previstos disyuntores diferenciales, fusibles, etc. Dado que el equipo de protección de red está dispuesto en el lado de la red, sólo es efectivo en el funcionamiento de la red, pero no en el funcionamiento de reemplazo de red, ya que todas las conexiones CA están separadas de la red de suministro de energía.

50 Por lo tanto, para los inversores, en muchos casos es necesario prever equipos de protección que protejan y/o monitoricen el inversor y, en particular, sus conexiones CA durante el funcionamiento de reemplazo de red si los equipos de protección de la red de suministro de energía no se pueden utilizar como parte del funcionamiento de red. En este sentido del estado de la técnica solo pueden extraerse algunas consideraciones parcialmente adecuadas.

55 El documento DE 102014109513 A1 describe un procedimiento y un dispositivo para monitorizar un circuito de potencia, que sin embargo forma parte de un vehículo y no de un inversor. Por lo tanto, las características especiales de los inversores no se tratan en el documento DE 102014109513 A1.

60 Además, el documento DE 102016103883 A1 tiene por objeto una detección de corriente de fuga de bus CC para un bus CC en un vehículo eléctrico. El documento DE 102016103883 A1 trata por definición de variables constantes eléctricas, pero no incluye la consideración de conexiones CA.

65 Los documentos EP 2256506 A1 y EP 3620800 A1 también divulgan planteamientos para la monitorización de redes eléctricas enteras no cerradas, que además sólo pueden transferirse de forma limitada a un sistema cerrado compuesto por un inversor y un sumidero CA.

Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es indicar un equipo de protección para un inversor que sea

funcional en funcionamiento de reemplazo de red.

Este objetivo se resuelve de acuerdo con la invención mediante las características de la reivindicación independiente 1.

5

De una manera preferida, se puede usar una tensión eléctrica del inversor que se corresponde con la resistencia de aislamiento CA para calcular la resistencia de aislamiento CA, y la resistencia de aislamiento CA se puede calcular a partir de la corriente de falla CA y la tensión eléctrica correspondiente a la resistencia de aislamiento CA, tal como se conoce bien en la ingeniería eléctrica. Como se describió anteriormente, dicha tensión eléctrica puede ser una tensión alterna de salida (tensión CA) aplicada en un lado de salida entre las conexiones CA del inversor. Por "que se corresponde con la resistencia de aislamiento CA" se entiende en este sentido que mediante la tensión eléctrica mencionada se puede calcular la resistencia de aislamiento CA.

10

Además de una tensión CA aplicada en un lado de salida entre las conexiones CA de un inversor, también se puede usar una tensión eléctrica para calcular la resistencia de aislamiento CA, que está relacionada con dicha tensión CA aplicada entre las conexiones CA de un inversor, por ejemplo en el sentido de que a partir de esta tensión eléctrica se puede determinar la tensión CA que se aplica entre las conexiones CA del inversor. Puede tratarse, por ejemplo, de una tensión eléctrica que cae entre una conexión CA de un inversor y el potencial de tierra. Si la tensión eléctrica utilizada para calcular la resistencia de aislamiento CA cae por encima de la resistencia de aislamiento CA, en el caso más simple también se puede utilizar la ley de Ohm para calcular la resistencia de aislamiento CA a partir de la corriente de falla CA y la tensión eléctrica correspondiente.

15

20

Además, el objetivo se soluciona mediante un dispositivo de monitorización de acuerdo con la reivindicación 8. A este respecto, de manera preferida, la unidad de cálculo puede utilizar una tensión eléctrica tal como una tensión CA de acuerdo con las realizaciones anteriores, de modo que la resistencia de aislamiento CA se calcula a partir de la corriente de falla CA y la tensión CA. Esto hace posible monitorizar la resistencia de aislamiento CA mientras el inversor está en funcionamiento. A este respecto se utiliza la corriente de falla CA, que se produce cuando la resistencia de aislamiento CA entre una conexión CA y el potencial de tierra es baja, es decir, se presenta un fallo de aislamiento CA. Si no se produce ningún fallo de aislamiento en el inversor, existe una alta resistencia de aislamiento CA entre la conexión CA y el potencial de tierra, lo que significa que sólo fluye una pequeña e insignificante corriente de falla CA entre la conexión CA y el potencial de tierra. Se puede suponer que la resistencia de aislamiento CA tiende a infinito. Sin embargo, si ocurre un fallo de aislamiento, la resistencia de aislamiento CA es baja y una corriente de falla CA alta fluye entre la conexión CA y el potencial de tierra. Por lo tanto, mediante la corriente de falla CA determinada se puede detectar un fallo de aislamiento, es decir, una resistencia de aislamiento CA reducida.

25

30

35

La unidad de monitorización puede ser parte integral del inversor o puede diseñarse por separado. El inversor y el sumidero de energía AC forman un sistema IT (*isolé terre*, sin conexión a tierra) en el funcionamiento de reemplazo de red (también llamado funcionamiento en isla). Un sistema IT no está puesto a tierra, lo que significa que, a diferencia de una red TN en la conexión CA, para ahorrar costes no es necesario un disyuntor diferencial y/o un medidor de corriente total. De acuerdo con la invención, en el funcionamiento de reemplazo de red se monitoriza activamente la resistencia de aislamiento CA entre una conexión CA y el potencial de tierra. En comparación, los principios de medición pasivos tienen la desventaja de que no se pueden detectar fallos simétricos en una conexión CA o fallos de aislamiento en una conexión CC. Por ejemplo, si una fase y el conductor neutro presentaran el mismo fallo de aislamiento frente al potencial de tierra en un funcionamiento de reemplazo de red monofásica, una medición pasiva de la tensión de esta fase frente al potencial de tierra y el potencial del conductor neutro de acuerdo con el estado de la técnica no podrían constatar el fallo porque no se produciría ningún desplazamiento.

40

45

De acuerdo con la invención, la corriente de falla CA se calcula a partir de una tensión de aislamiento aplicada entre una conexión de circuito intermedio y el potencial de tierra, que puede determinarse utilizando una unidad de medición de tensión, y una impedancia de aislamiento situada entre una conexión de circuito intermedio y el potencial de tierra. A este respecto, la impedancia de aislamiento se puede conocer de antemano. La corriente de falla CA también se puede calcular a partir de una tensión de aislamiento aplicada entre un centro de circuito intermedio del inversor y el potencial de tierra y una impedancia de aislamiento ubicada entre el centro de circuito intermedio y el potencial de tierra. Dependiendo del diseño del inversor, también se puede conectar un conductor neutro directamente al centro de circuito intermedio del inversor. La tensión de aislamiento puede comprender tanto componentes de tensión continua como componentes de tensión alterna.

50

55

Para ello, la unidad de determinación de corriente de falla puede diseñarse para calcular la corriente de falla CA a partir de una tensión de aislamiento, que se aplica entre una conexión de circuito intermedio y un potencial de tierra o entre un centro de circuito intermedio y el potencial de tierra, y una impedancia de aislamiento que se encuentra entre la conexión de circuito intermedio y el potencial de tierra o entre un centro de circuito intermedio y el potencial de tierra.

60

La prueba de aislamiento se puede repetir varias veces, preferentemente de forma cíclica con una frecuencia de reloj de prueba, de manera especialmente preferida con una frecuencia de reloj de prueba en el intervalo de

65

segundos. Esto significa que con la frecuencia de reloj de prueba se puede comprobar si fluye una corriente de falla CA y concluir si existe un fallo de aislamiento.

5 Preferentemente, está prevista una unidad de medición de tensión que está diseñada para medir una tensión de aislamiento aplicada entre una conexión de circuito intermedio y el potencial de tierra o entre el centro de circuito intermedio y el potencial de tierra, estando diseñada la unidad de determinación de corriente de falla para calcular la corriente de falla CA desde la tensión de aislamiento y una impedancia de aislamiento ubicada entre la conexión de circuito intermedio y el potencial de tierra o entre el centro de circuito intermedio y el potencial de tierra.

10 La impedancia de aislamiento se puede aproximar mediante una capacitancia CC parásita, p. ej., una capacitancia del lado CC de un generador fotovoltaico, o mediante una capacitancia CC parásita y una resistencia de aislamiento CC paralela.

15 Ventajosamente, durante la prueba de aislamiento, preferentemente durante toda la prueba de aislamiento, se conecta a la tensión CA una señal de prueba con una frecuencia de prueba mayor que una frecuencia CA de la tensión CA. Ventajosamente, la señal de prueba tiene una amplitud de como máximo 120 V. Puede estar previsto un umbral de corriente de falla de 10 mA y/o un umbral de resistencia de aislamiento CA de 50 ohmios/voltio. Si está prevista ninguna señal de prueba, se puede utilizar la frecuencia CA de la tensión CA para la prueba de aislamiento.

20 Preferentemente, dentro de los 10 segundos siguientes a la aparición de un fallo de aislamiento, se emite una señal, por ejemplo, en forma de una indicación óptica no reconocible.

25 El inversor puede conectarse a un funcionamiento de corriente de falla y/o desconectarse al menos parcialmente cuando se supera un umbral de corriente de falla mediante la corriente de falla CA y/o cuando se queda por debajo de un umbral de resistencia de aislamiento de la resistencia de aislamiento CA. El umbral de resistencia de aislamiento se puede seleccionar de modo que la resistencia de aislamiento CA se encuentre dentro de un rango estandarizado. En un sistema informático convencional, un fallo de aislamiento detectado una vez no provoca una desconexión; sin embargo, con respecto a un inversor, se puede considerar una desconexión inmediata.

30 Un fallo de aislamiento CC se detecta preferentemente conmutando una resistencia de alta impedancia entre una de las conexiones de circuito intermedio y el potencial de tierra y determinando un componente de tensión continua de la tensión de aislamiento entre una de las conexiones de circuito intermedio y el potencial de tierra antes y después de conmutar la resistencia de alta impedancia. La relación de los componentes de tensión continua determinados de las tensiones de aislamiento entre sí proporciona información sobre el nivel de la resistencia de aislamiento. Cuanta más impedancia tenga la resistencia de aislamiento, más se desplaza el potencial en la conexión de circuito intermedio hacia el potencial de tierra cuando se conecta resistencia de alta impedancia. Así, por ejemplo, mediante la unidad de medición de tensión se puede determinar la tensión de aislamiento antes y después de cerrar el disyuntor y puede detectarse un fallo de aislamiento CC que se produzca en cualquier lugar a partir de los valores medidos de la tensión de aislamiento obtenidos de este modo. Una detección de este tipo de un fallo de aislamiento CC se realiza preferentemente no sólo antes de conectar el inversor, sino también durante el funcionamiento de reemplazo de la red. La especificación de un fallo de aislamiento CC resulta especialmente ventajosa si el inversor no dispone de separación galvánica entre las conexiones CA y las conexiones CC. Esto significa que una resistencia de aislamiento general se compone de una resistencia de aislamiento CA y una resistencia de aislamiento CC.

50 La resistencia de aislamiento CC que se produce entre una conexión de circuito intermedio y el potencial de tierra también se puede medir con una unidad de medición de corriente de falla CC, pudiéndose utilizar una unidad de medición de corriente residual (RCMU - *Residual Current Monitoring Unit*). Una unidad de medición de corriente residual determina una corriente total a través de las conexiones de circuito intermedio y, por lo tanto, funciona según el principio de funcionamiento de un disyuntor diferencial. Básicamente, se puede utilizar una unidad de medición de corriente residual para detectar fallos de aislamiento CC, pero solo si fluyen corrientes de falla CC entre las conexiones de circuito intermedio y el potencial de tierra. Sin embargo, si en un lugar libre de fallos se producen fallos de aislamiento CC en un lugar que en el caso sin fallos se sitúa con potencial de tierra, no fluye ninguna corriente de falla CC, por lo que el fallo de aislamiento CC no se puede detectar empleando una unidad de medición de corriente residual.

60 Puede estar previsto un funcionamiento de red del inversor, en donde al conmutar del funcionamiento de reemplazo de red al funcionamiento de red las conexiones CA del inversor se separan del sumidero de energía CA y/o se conectan a una red de suministro de energía para transferir energía de la energía de la fuente de energía CC a la red de suministro de energía. La prueba de aislamiento se suspende preferentemente en el funcionamiento de la red. Esto es especialmente ventajoso si en la red de suministro de energía ya están implementadas medidas de protección como equipos de protección contra corriente de falla, equipos de protección contra sobrecorriente, etc.

65 La presente invención se explica con más detalle a continuación con referencia a las figuras 1 a 5, que muestran a modo de ejemplo, de manera esquemática y no limitativa configuraciones ventajosas de la invención. A este

respecto, muestra

figura 1 una disposición que consta de un inversor, un sumidero de energía CA, una fuente de energía CC y un dispositivo de monitorización,

5

figura 2 la disposición con una unidad de determinación de corriente de falla como unidad de medición de corriente de falla,

10

la figura 3 la disposición con una unidad de medición de tensión para medir una tensión de aislamiento con una impedancia de aislamiento,

la figura 4 una disposición alternativa para medir una impedancia de aislamiento,

15

la figura 5 curvas de una frecuencia CA, una frecuencia de prueba y

corrientes de falla, ángulos de fase, tensiones CA, ángulos de fase de corriente de falla y resistencias de aislamiento asociadas.

20

En la figura 1 se representa una disposición que consta de un inversor 2, un sumidero de energía CA 4 y una fuente de energía CC 3. Las conexiones CA CA1, CA2 del inversor 2 están conectadas al sumidero de energía CA 4 y las conexiones CC CC+, CC- del inversor 2 están conectadas a la fuente de energía CC 3. Las conexiones CA CA1, CA2 pueden representar, por ejemplo, dos fases del inversor 2. El inversor 2 comprende además un circuito intermedio opcional con conexiones de circuito intermedio ZK+, ZK-, entre las cuales se produce una tensión de circuito intermedio CC Uzk.

25

También es posible conectar un inversor 2 fundamentalmente multifásico, por ejemplo trifásico, a un sumidero de energía CA 4 bifásico, estando conectadas dos de las tres fases del inversor 2 al sumidero de energía CA 4. A las conexiones CA del inversor 2 también se puede conectar un sumidero de energía CA 4 multifásico, por ejemplo trifásico, estando configuradas en cada caso varias conexiones CA, por ejemplo tres, mediante las fases del inversor 2.

30

El inversor 2 convierte una tensión de entrada CC Ue proporcionada por la fuente de energía CC 3 a través de la tensión de circuito intermedio CC ZK, ZK- en una tensión CA ua, que a su vez se pone a disposición del sumidero de energía CA 4. De este modo, la energía se transfiere desde la fuente de energía CC 3 al sumidero de energía CA 4. Entre las conexiones CC CC+, CC- y la tensión CA ua entre las conexiones CA CA1, CA2 se sitúa la tensión CC Ue. Como sumidero de energía CA 4 puede estar prevista, por ejemplo, una máquina eléctrica u otro consumidor eléctrico. Como fuente de energía CC 3 pueden estar previstas, por ejemplo, baterías/acumuladores de energía y/o células fotovoltaicas.

35

Tanto en las conexiones CC CC+, CC- como en las conexiones CA CA1, CA2 pueden estar previstos en cada caso condensadores de filtro y/o inductancias de filtro (no se muestran en las figuras).

40

El inversor 4 también puede estar realizado de forma bidireccional, lo que significa que también una tensión CA ua aplicada en las conexiones CA CA1, CA2 puede convertirse a la tensión de circuito intermedio CC ZK+, ZK- y adicionalmente a la tensión propia CC Ue aplicada en las conexiones CC CC+, CC. Esto también permite transportar energía desde las conexiones CA CA1, CA2 al circuito intermedio, al que está conectado, por ejemplo, un acumulador de energía/batería que consume directamente energía fotovoltaica. Un inversor bidireccional 2 también se denomina inversor híbrido. Esto significa que los consumidores también pueden recibir conexiones CA separadas, por ejemplo desde el acumulador de energía/batería. Las conexiones CA se pueden abrir utilizando un seccionador CA para que el inversor 2 quede separado de la red de suministro de energía.

45

50

En las figuras, el inversor 2 está por lo tanto en un funcionamiento de reemplazo de red NE, ya que el seccionador CA está abierto, por lo cual la red de suministro de energía y el seccionador CA no se muestran por simplicidad. Si el inversor 2 se conmuta a un funcionamiento de red (no mostrado), entonces las conexiones CA CA1, CA2 se conectan a las fases de red de una red de suministro de energía (seccionador CA cerrado) y el sumidero de energía CA 4 se puede desconectar. Si el inversor 2 se conmuta de nuevo al funcionamiento de reemplazo de red NE, las conexiones CA CA1, CA2 se separan de las fases de la red de suministro de energía y se conectan al sumidero de energía CA 4. El sumidero de energía 4 puede ser, por ejemplo, al menos una toma de corriente integrada en el inversor 2, al que se puede conectar y alimentar al menos un consumidor.

55

60

En una variante de este tipo, el inversor 2 puede alimentar, por ejemplo, a aquellos consumidores que están conectados a la toma de corriente integrada en el funcionamiento de reemplazo de red NE. A este respecto todos los demás consumidores se pueden separar mediante un seccionador CA.

65

En otra variante, también es posible que la toma de corriente integrada sea alimentada por la red de suministro de energía incluso durante el funcionamiento de red. A este respecto en términos de tecnología de circuitos, el

sumidero de energía CA aún se puede separar y, por así decirlo, puentear con una conexión a la red de suministro de energía.

5 En el funcionamiento de reemplazo de red NE, los equipos de protección de red en el lado de la red de suministro de energía son ineficaces porque el inversor 2 está separado de la red de suministro de energía y, por tanto, también de los equipos de protección de red. Más bien, en conexión con el sumidero de energía CA 4 existe un sistema IT que, por definición, no está conectado a un potencial de tierra GND. Entre las conexiones CA CA1, CA2 del inversor 2 y el potencial de tierra GND existe una resistencia de aislamiento CA R_{aisCA} , en donde de acuerdo con la invención está previsto un dispositivo de monitorización 1 para determinar la resistencia de aislamiento óhmica CA R_{aisCA} . El dispositivo de monitorización 1 comprende una unidad de determinación de corriente de falla 10, que está diseñada para realizar una prueba de aislamiento I, una corriente de falla CA i_{fCA} que fluye entre una conexión CA CA1, CA2 y un potencial de tierra GND. Una unidad de cálculo 11 calcula la resistencia de aislamiento CA R_{aisCA} usando la corriente de falla CA i_{fCA} . La "CA" en la resistencia de aislamiento CA R_{aisCA} hace referencia al lado CA del inversor 2, en el que aparece la resistencia de aislamiento CA R_{aisCA} .

15 Si no se produce ningún fallo de aislamiento en el inversor 2, entonces la resistencia de aislamiento CA R_{aisCA} es alta. Sin embargo, si se produce un fallo de aislamiento en el inversor 2, la resistencia de aislamiento CA R_{aisCA} es baja. Si ocurre un fallo de aislamiento, la resistencia de aislamiento CA R_{aisCA} es baja.

20 Si la unidad de determinación de corriente de falla 10 está realizada como unidad de medición de corriente de falla, como se muestra en la figura 2, la corriente de falla CA i_{fCA} puede medirse directamente para realizar la prueba de aislamiento I. Como unidad de medición de corriente de falla 10 puede estar prevista una unidad de medición de corriente residual (RCMU - *Residual Current Monitoring Unit*), que encierra las conexiones CA CA1, CA2 y mide una corriente total.

25 En consecuencia, la unidad de determinación de corriente de falla 10 y la unidad de cálculo 11 se pueden conectar a una unidad de control/unidad de regulación del inversor no mostradas, que están diseñadas para controlar la unidad de determinación de corriente de falla 10 y la unidad de cálculo 11.

30 Alternativa o adicionalmente, la unidad de determinación de corriente de falla 10 puede diseñarse para calcular la corriente de falla CA i_{fCA} para realizar la prueba de aislamiento I. Para ello entre una de las conexiones de circuito intermedio ZK+, ZK- y un potencial de tierra GND se puede determinar un componente de tensión alterna de una tensión de aislamiento U_{ais} , como se muestra en la figura 3. En relación con una impedancia de aislamiento Z_{ais} , conocida que se presenta entre una de las conexiones de circuito intermedio ZK+, ZK- y el potencial de tierra GND, la corriente de falla CA i_{fCA} puede calcularse en la unidad de determinación de corriente de falla 10. A partir de la corriente de falla CA i_{fCA} entonces puede calcularse la resistencia de aislamiento CA R_{aisCA} . En particular en inversores multifásicos 2 también puede determinarse un componente de tensión alterna de la tensión de aislamiento U_{ais} entre un centro de circuito intermedio ZKm y un potencial de tierra GND, como se muestra en la figura 4. El cálculo de la corriente de falla CA i_{fCA} se puede realizar como se describió anteriormente con respecto a la figura 3. La tensión de aislamiento U_{ais} se puede determinar usando una unidad de medición de tensión 12, como se muestra en las figuras 3 y 4. La unidad de medición de tensión 12 mide preferentemente tanto un componente de tensión continua como un componente de tensión alterna de la tensión de aislamiento U_{ais} .

45 Preferentemente durante la prueba de aislamiento I, preferentemente completa, una señal de prueba s con una frecuencia de prueba f mayor que una frecuencia CA f_{CA} de la tensión CA u_a se modula en la tensión CA u_a , lo que se indica en las figuras 1 a 4 mediante " $u_a (+s)$ ". Puede estar previsto un generador de la señal de prueba para generar la señal de prueba, y puede estar prevista una unidad de acoplamiento de señal de prueba para modular la señal de prueba en la tensión CA u_a .

50 La impedancia de aislamiento Z_{ais} se aproxima preferentemente mediante una capacitancia CC C_{aisCC} parásita conocida, por ejemplo, una capacitancia del lado CC, se aproxima a una fuente de tensión continua (por ejemplo, un generador fotovoltaico). La capacitancia CC C_{aisCC} puede ser necesaria para otras rutinas en el inversor 2 y, por tanto, preferentemente puede determinarse de forma continua. En este caso, es decir, para calcular la corriente de falla CA i_{fCA} puede utilizarse la capacitancia CC C_{aisCC} . Se puede suponer que la impedancia de aislamiento Z_{ais} corresponde aproximadamente a la reactancia X_c , que se forma mediante la capacitancia CC C_{aisCC} parásita en la frecuencia CA f_{CA} de la tensión CA o cuando se utiliza una señal de prueba s a una frecuencia de prueba f de la señal de prueba s . También es posible aproximar la impedancia de aislamiento Z_{ais} mediante una capacitancia CC parásita conocida C_{aisCC} y una resistencia de aislamiento CC óhmica paralela R_{aisCC} como se indica en la figura 3. La "CC" en la resistencia de aislamiento CC R_{aisCC} y en la capacitancia CC C_{aisCC} hace referencia al lado CC del inversor 2, en el que aparecen la resistencia de aislamiento CC R_{aisCC} y la capacitancia CC C_{aisCC} . En particular con una pequeña resistencia de aislamiento CC óhmica R_{aisCC} de la impedancia de aislamiento Z_{ais} la impedancia de aislamiento Z_{ais} puede aproximarse a su vez mediante la reactancia X_c , ya que con una resistencia de aislamiento CC R_{aisCC} pequeña o baja se puede suponer ya que existe un fallo de aislamiento CC, por lo que se puede calcular la resistencia de aislamiento CA R_{aisCA} .

65 En ambos casos, la cantidad y el ángulo de fase de la corriente de falla CA i_{fCA} puede calcularse directamente del

cociente $i_{fCA} = U_{ais}/Z_{ais}$ (a la frecuencia CA f_{CA} , o si se utiliza una señal de prueba s a la frecuencia de prueba f de la señal de prueba s). Para calcular la corriente de falla CA i_{fCA} se emplea preferentemente un componente de tensión alterna de la tensión de aislamiento U_{ais} a la frecuencia CA f_{CA} o cuando se utiliza una señal de prueba s a la frecuencia de prueba f de una señal de prueba s .

5 Independientemente de si la corriente de falla CA de acuerdo con la figura 2 se mide o según las figuras 1, 3 y/o 4 se calcula, la corriente de falla CA i_{fCA} se calcula como entrada para la unidad de cálculo 11, que calcula la resistencia de aislamiento CA R_{aisCC} . Para ello están previstos los siguientes pasos:

10 En una etapa siguiente, se calcula la desviación de fase $\Delta\varphi$ entre el ángulo de fase CA φ_{CA} de la tensión CA u_a (o de la señal de prueba s) y el ángulo de fase de corriente de falla φ_{ifCA} de la corriente de falla CA i_{fCA} : $\Delta\varphi = \varphi_{CA} - \varphi_{ifCA}$. La desviación de fase $\Delta\varphi$ es la distancia entre los pasos por cero entre la tensión CA u_a (o la señal de prueba s) y la corriente de falla CA i_{fCA} . Si a la tensión CA u_a se superpone una señal de prueba s , entonces el componente con la frecuencia de prueba f de la señal de prueba s es relevante a partir de la tensión s resultante u_a+s .

15 De la conocida relación $\tan(\varphi[Z]) = \text{Im}[Z]/\text{Re}[Z]$ (Z corresponde a Z_{ais}) como se mencionó anteriormente, con una alta resistencia de aislamiento CC R_{aisCC} puede formarse aproximadamente la ecuación $\tan(\Delta\varphi) = R_{aisCA}/X_c$, que se puede resolver en función de R_{aisCA} , lo que significa que puede calcularse la resistencia de aislamiento CA R_{aisCA} .

20 A este respecto, la resistencia de aislamiento CA R_{aisCA} se calcula preferentemente de forma cíclica, por ejemplo, en el intervalo de segundos.

25 Para calcular la resistencia de aislamiento CA R_{aisCA} también se puede utilizar una señal de prueba s con una frecuencia de prueba f . La frecuencia de prueba f , que se superpone/modula a la frecuencia CA f_{CA} puede corresponder a este respecto a la frecuencia CA f_{CA} de la tensión CA u_a , o preferentemente a una frecuencia más alta. La señal de prueba s está presente preferentemente de forma permanente durante la prueba de aislamiento I.

30 En la figura 5 se confrontan los valores medidos para una prueba de aislamiento utilizando la frecuencia CA f_{CA} de 50 Hz (derecha) y utilizando una frecuencia de prueba f de 150 Hz (izquierda).

35 El gráfico superior muestra un componente de tensión alterna de la tensión de aislamiento U_{ais} con la frecuencia CA f_{CA} y la frecuencia de prueba f ; en el siguiente gráfico, puede verse la corriente de falla CA i_{fCA} con la frecuencia CA f_{CA} y la frecuencia de prueba f . Se puede observar que la corriente de falla i_{fCA} (o su amplitud) cuando se utiliza una señal de prueba s con una frecuencia de prueba f mayor que la frecuencia CA f_{CA} (es decir, en este caso 150 Hz > 50 Hz) es superior de lo que corresponde a la corriente de falla i_{fCA} cuando se utiliza la frecuencia CA f_{CA} .

40 Además, en la figura 5 a la izquierda se representa el ángulo de fase CA φ_{CA} de la señal de prueba s y el ángulo de fase de corriente de falla asociado φ_{ifCA} (línea discontinua) y en la figura 5 a la derecha el ángulo de fase CA φ_{ifCA} de la tensión CA y el ángulo de fase de corriente de falla φ_{ifCA} (línea discontinua). Por lo tanto, se puede ver que el ángulo de fase de corriente de falla φ_{ifCA} en la frecuencia CA f se desvía del ángulo de fase de corriente de falla φ_{ifCA} en la frecuencia de prueba f . Durante una prueba de aislamiento I, se calcula una resistencia de aislamiento CA R_{aisCA} , que se repite preferentemente cíclicamente con una frecuencia de reloj de prueba. La frecuencia de reloj de prueba puede estar en el rango de segundos, por ejemplo de 1 a 5, preferentemente 3 segundos, lo que significa que la prueba de aislamiento I se repite cada 1 a 5, preferentemente cada 3 segundos. Si la resistencia de aislamiento CA R_{aisCA} calculada de la desviación de fase $\Delta\varphi$ entre el ángulo de fase CA φ_{CA} de la tensión CA u_a (o de la señal de prueba s) y el ángulo de fase de corriente de falla φ_{ifCA} está por debajo de un umbral de resistencia de aislamiento especificado, entonces se presenta un fallo de aislamiento CA.

50 Dado que la reactancia X_c de la capacitancia CC C_{aisCC} aumenta con la frecuencia, la corriente de falla CA i_{fCA} aumenta también con frecuencia creciente (véase la figura 5, i_{fCA}), con lo que una influencia de una capacitancia CC parásita C_{aisCC} oscilante, dado el caso puede compensarse. La medición de un componente de tensión alterna de la tensión de aislamiento U_{ais} no se ve influenciada o solo ligeramente por un aumento de frecuencia (que se muestra en este caso usando la frecuencia de prueba $f=150\text{Hz}$ en comparación con la frecuencia CA f), ya que, aunque la corriente aumenta, la reactancia X_c , sin embargo disminuye en la misma medida.

60 Dado que el inversor 4 no dispone de separación galvánica entre las conexiones CA y las conexiones CC, adicionalmente se puede detectar un fallo de aislamiento CC. Esto se puede realizar por medio de la unidad de determinación de corriente residual 10 (por ejemplo, una unidad de medición de corriente residual RCMU según la figura 2), que mide tanto un componente de tensión alterna como también el componente de tensión continua de la corriente de falla i_{fCA} . Una unidad de medición de corriente residual es especialmente adecuada para detectar fallos de aislamiento CC repentinos.

65 En general, también se puede detectar un fallo de aislamiento CC al conmutarse mediante un interruptor de prueba S una resistencia R de alta impedancia entre una de las conexiones de circuito intermedio ZK+, ZK- y el potencial

de tierra GND, como se muestra en líneas discontinuas en la figura 3 y también para la variante válida de acuerdo con la figura 4. El interruptor de prueba S puede controlarse mediante el dispositivo de monitorización 1.

5 Un fallo de aislamiento CC se puede detectar al conmutarse una resistencia de alta impedancia R entre una de las conexiones de circuito intermedio ZK-, ZK+ y el potencial de tierra GND y determinarse en cada caso un componente de tensión continua de la tensión de aislamiento U_{ais} entre una de las conexiones de circuito intermedio ZK+, ZK- y el potencial de tierra GND se determina antes y después de conectar la resistencia de alta impedancia R. La relación entre estos dos componentes de corriente continua permite sacar una conclusión sobre el nivel de la resistencia de aislamiento R_{aisCC} . Cuanta más impedancia tenga la resistencia de aislamiento R_{aisCC} , más se
10 desplaza el potencial en la conexión de circuito intermedio ZK+, ZK- hacia el potencial de tierra GND cuando se conecta la resistencia de alta impedancia. Cuanto mayor sea la relación de las tensiones de aislamiento U_{ais} entre sí, mayor será la resistencia de aislamiento CC R_{aisCC} .

15 Para conseguir una velocidad y capacidad de carga eléctrica suficientes en la variante de acuerdo con la figura 2, es ventajoso que un interruptor previsto en el detector de corriente de falla residual se sustituya o se complemente con un interruptor semiconductor para realizar el interruptor de prueba S. En todas las variantes, antes y después de conmutar la resistencia de alta impedancia R se determina un componente de tensión continua de la tensión de aislamiento U_{ais} entre una de las conexiones de circuito intermedio ZK+, ZK- y el potencial de tierra GND.

20 Para una monitorización combinada del aislamiento de fallos de aislamiento CC y fallos de aislamiento CA, ahora se puede utilizar preferentemente la siguiente secuencia de rutina:

1. Comprobar si hay un fallo de aislamiento CC
- 25 2. Si hay un fallo de aislamiento CC, repetir la comprobación
3. Si no hay ningún fallo de aislamiento CC, conmutar el inversor 2 al funcionamiento de red o al funcionamiento de reemplazo de red
- 30 4. Probar si hay un fallo de aislamiento CC o CA. Esto se realiza de acuerdo con las secuencias descritas anteriormente de forma cíclica/en serie con la frecuencia del reloj de prueba.

La etapa 4 puede estar prevista si, según una especificación, durante el funcionamiento de reemplazo de la red IT los fallos de aislamiento CA y CC deben comprobarse continuamente. Cuando se detecta un fallo de aislamiento CA o CC, es decir, si la resistencia de aislamiento CA y/o la resistencia de aislamiento CC R_{aisCC} es demasiado
35 baja el inversor 2 se puede desconectar de manera correspondiente.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar una resistencia de aislamiento CA (R_{aisCA}) entre las conexiones CA (CA1, CA2) de un inversor (2) y un potencial de tierra (GND), en donde entre las conexiones CC (CC1, CC1) del inversor (2) se aplica una tensión CC (U_e), y entre las conexiones CA (CA1, CA2) del inversor (2) se aplica una tensión CA (u_a), en donde las conexiones CC (CC1, CC1) están conectadas a una fuente de energía CC (3) y en donde en un funcionamiento de reemplazo de red (NE) las conexiones CA (CA1, CA2) están conectadas a un sumidero de energía CA (4) para transmitir energía desde la fuente de energía CC (2) al sumidero de energía CA (4), **caracterizado por que** en el funcionamiento de reemplazo de red (NE), se realiza una prueba de aislamiento (I), en donde a partir de una tensión de aislamiento (U_{ais}) aplicada entre una de las conexiones de circuito intermedio (ZK+, ZK-) y el potencial de tierra (GND) o un centro de circuito intermedio (ZKm) y el potencial de tierra (GND), preferentemente el componente de tensión alterna de la tensión de aislamiento (U_{ais}), y una impedancia de aislamiento (Z_{ais}) situada entre la conexión de circuito intermedio (ZK+, ZK-) y el potencial de tierra (GND) o el centro de circuito intermedio (ZKm) y el potencial de tierra (GND) se determina una corriente de falla CA (i_{fCA}) que fluye entre una conexión CA (CA1, CA2) y el potencial de tierra (GND), **por que** se calcula una desviación de fase ($\Delta\phi$) entre un ángulo de fase CA (ϕ_{CA}) de la tensión alterna (u_a) y un ángulo de fase de corriente de falla (ϕ_{ifCA}) de la corriente de falla CA (i_{fCA}) **y por que** a partir de la desviación de fase ($\Delta\phi$) se calcula la resistencia de aislamiento CA (R_{aisCA}).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la prueba de aislamiento (I) se repite varias veces, preferentemente cíclicamente, con una frecuencia de reloj de prueba, de manera especialmente preferida con una frecuencia de reloj de prueba en el intervalo de segundos.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** la impedancia de aislamiento (Z_{iso}) se aproxima mediante una capacitancia CC parásita (C_{aisCC}) o mediante una capacitancia CC parásita (C_{aisCC}) y una resistencia de aislamiento CC paralela (R_{aisCC}).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** durante la prueba de aislamiento (I), una señal de prueba con una frecuencia de prueba (f) mayor que una frecuencia CA (f_{CA}) de la tensión CA (u_a) se modula en la tensión CA (u_a).
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** cuando se excede un umbral de corriente de falla mediante la corriente de falla CA (i_{fCA}) y/o cuando se queda por debajo de un umbral de resistencia de aislamiento de la resistencia de aislamiento CA (R_{aisCA}) el inversor (4) se conmuta a un funcionamiento de corriente de falla y/o se desconecta al menos parcialmente.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** está previsto un funcionamiento de red (NB) del inversor (2), en donde las conexiones CA (CA1, CA2) del inversor (2) se separan del sumidero de energía CA (4) al conmutar del funcionamiento de reemplazo de red (NE) al funcionamiento de red (NB) y/o se conectan a una red de suministro de energía para transferir energía desde la fuente de energía CC (2) a la red de suministro de energía, **y por que** en el funcionamiento de red (NB) se suspende la prueba de aislamiento (I).
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** se detecta un fallo de aislamiento CC al conmutarse una resistencia de alta impedancia entre una conexión de circuito intermedio (ZK+, ZK-) y el potencial de tierra (GND), **por que** cada componente de tensión continua de la tensión de aislamiento (U_{ais}) entre una de las conexiones de circuito intermedio (ZK+, ZK-) y el potencial de tierra (GND) se determina antes y después de conmutar la resistencia de alta impedancia, **y por que** se determina una relación de las tensiones de aislamiento (U_{ais}) determinadas en cada caso y a partir de la relación se deduce que hay un fallo de aislamiento CC.
8. Dispositivo de monitorización (1) para determinar una resistencia de aislamiento CA (R_{aisCA}) entre las conexiones CA (CA1, CA2) de un inversor (2) y un potencial de tierra (GND), pudiendo conectarse las conexiones CC (CC1, CC1) del inversor (2) a una fuente de energía CC (3) y en un funcionamiento de red de reemplazo (NE) las conexiones CA (CA1, CA2) del inversor (2) se pueden conectar a un sumidero de energía CA (4), en donde el dispositivo de monitorización (1) comprende una unidad de determinación de corriente de falla (10), que está diseñada para determinar una corriente de falla CA (i_{fCA}) que fluye entre una conexión CA (CA1, CA2) y un potencial de tierra (GND) a partir de una tensión de aislamiento (U_{ais}), preferentemente el componente de tensión alterna de la tensión de aislamiento (U_{ais}), aplicada entre una de las conexiones de circuito intermedio (ZK+, ZK-) y el potencial de tierra (GND) o un centro de circuito intermedio (ZKm) y el potencial de tierra (GND), y una impedancia de aislamiento (Z_{ais}) situada entre la conexión de circuito intermedio (ZK+, ZK-) y el potencial de tierra (GND) o el centro de circuito intermedio (ZKm) y el potencial de tierra (GND), **caracterizado por que** el dispositivo de monitorización (1) comprende una unidad de cálculo (11) que está diseñada para calcular una desviación de fase ($\Delta\phi$) entre un ángulo de fase CA (ϕ_{CA}) de la tensión CA (u_a) y un ángulo de fase de corriente de falla (ϕ_{ifCA}) de la corriente de falla CA (i_{fCA}) y calcular a partir de la desviación de fase ($\Delta\phi$) la resistencia de aislamiento CA (R_{isoCA}).
9. Dispositivo de monitorización (1) según la reivindicación 8, **caracterizado por que** está prevista una unidad de medición de tensión (12) que está diseñada para medir una tensión de aislamiento (U_{ais}) aplicada entre una de las

5 conexiones de circuito intermedio ($ZK+$, $ZK-$) y el potencial de tierra (GND), preferentemente el componente de tensión alterna de la tensión de aislamiento (U_{ais}), **y por que** la unidad de determinación de corriente de falla (10) está diseñada para calcular la corriente de falla CA (f_{CA}) de la tensión de aislamiento (U_{ais}) preferentemente el componente de tensión alterna de la tensión de aislamiento (U_{ais}) y una impedancia de aislamiento (Z_{ais}) situada entre las conexiones de circuito intermedio ($ZK+$, $ZK-$) y el potencial de tierra (GND).

10. Disposición compuesta por un inversor (2) y un dispositivo de monitorización (1) según una de las reivindicaciones 8 a 9.

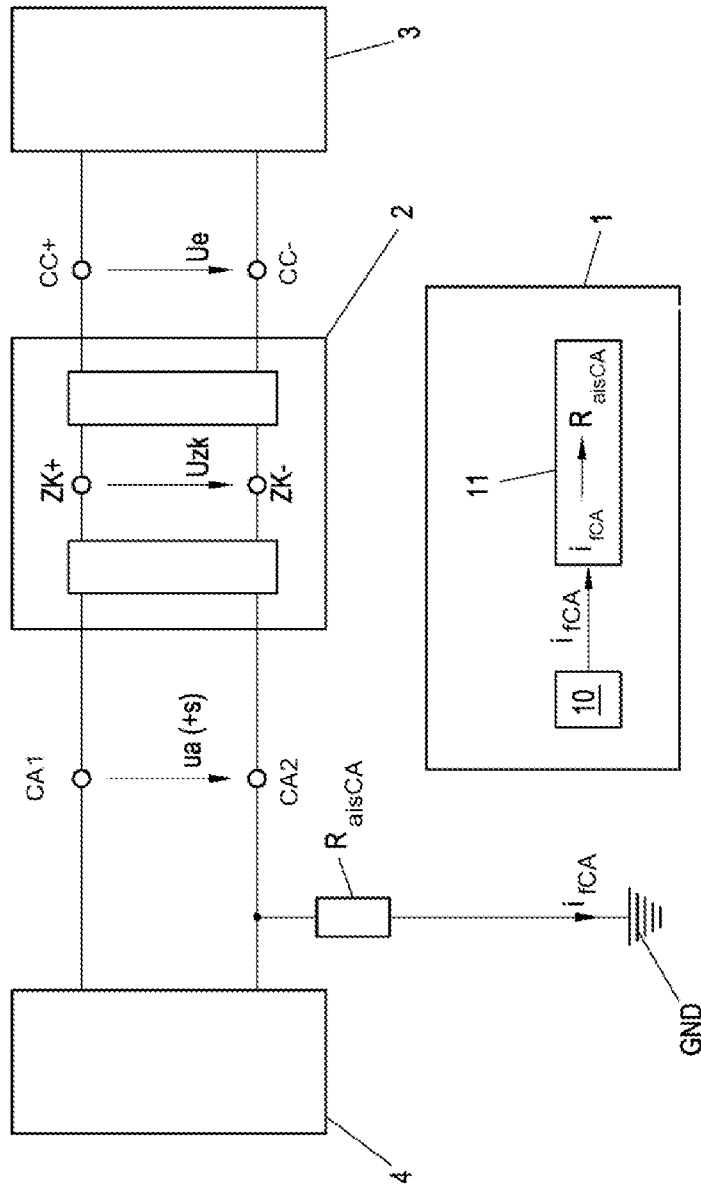


Fig. 1

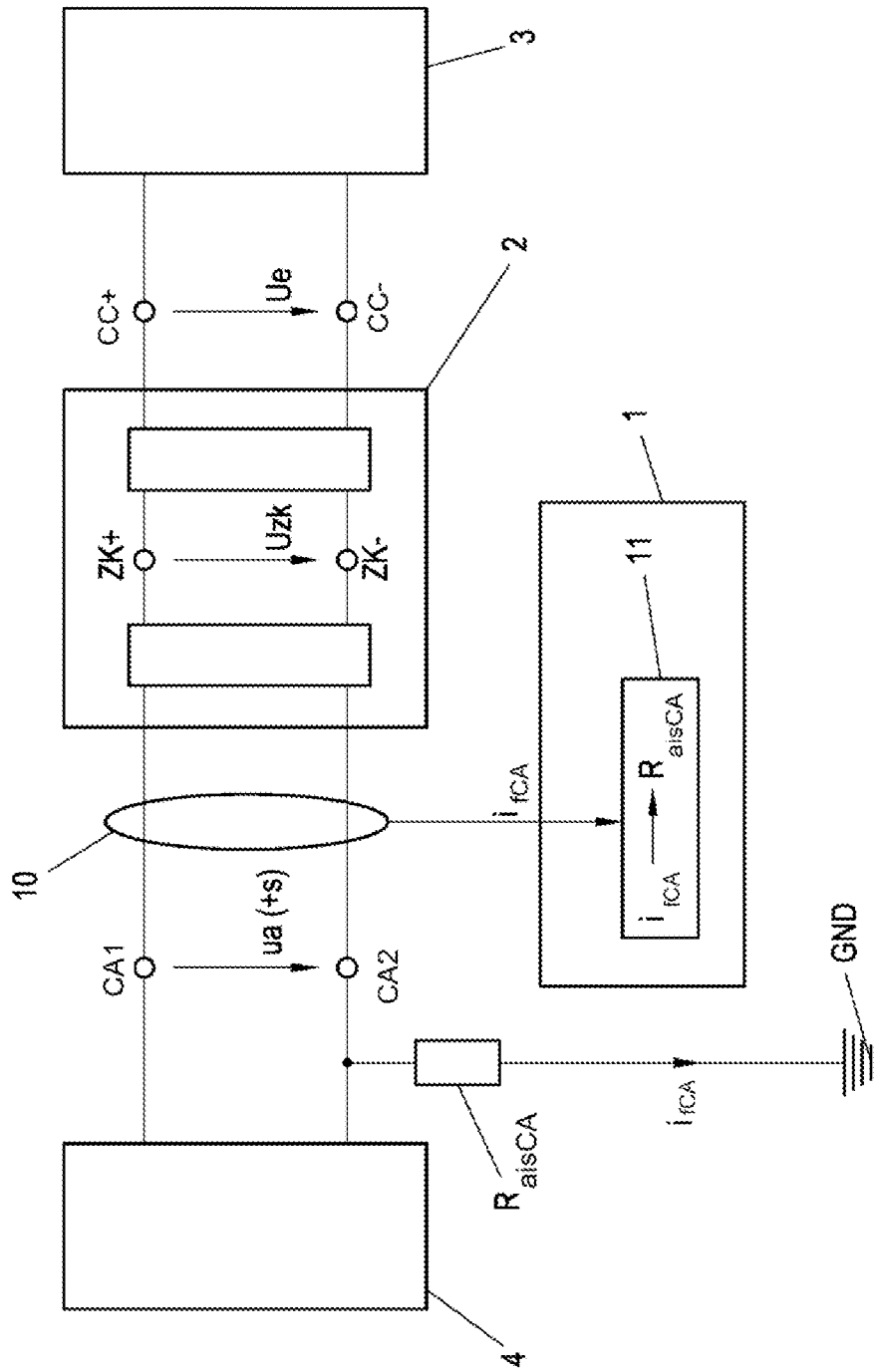


Fig. 2

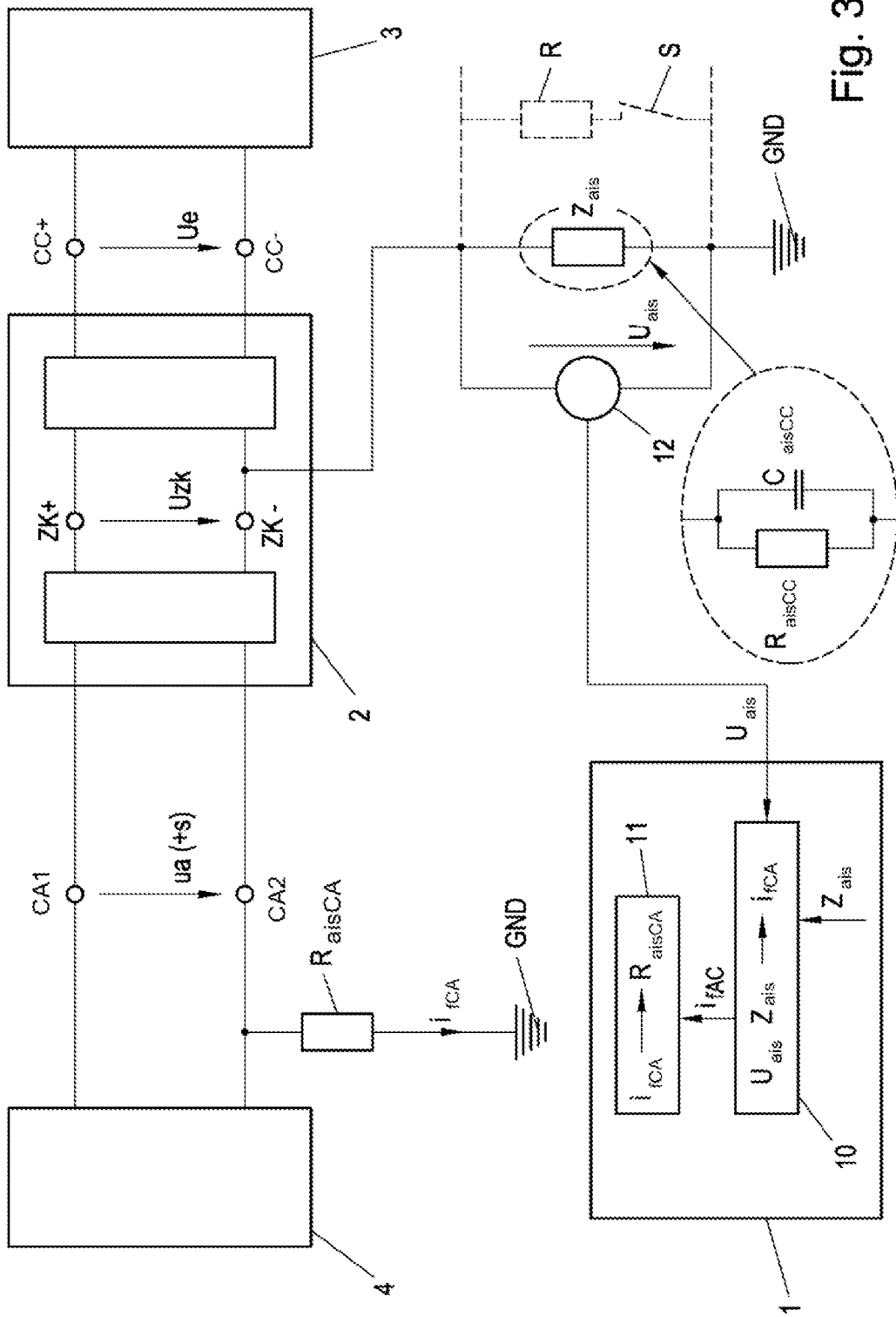


Fig. 3

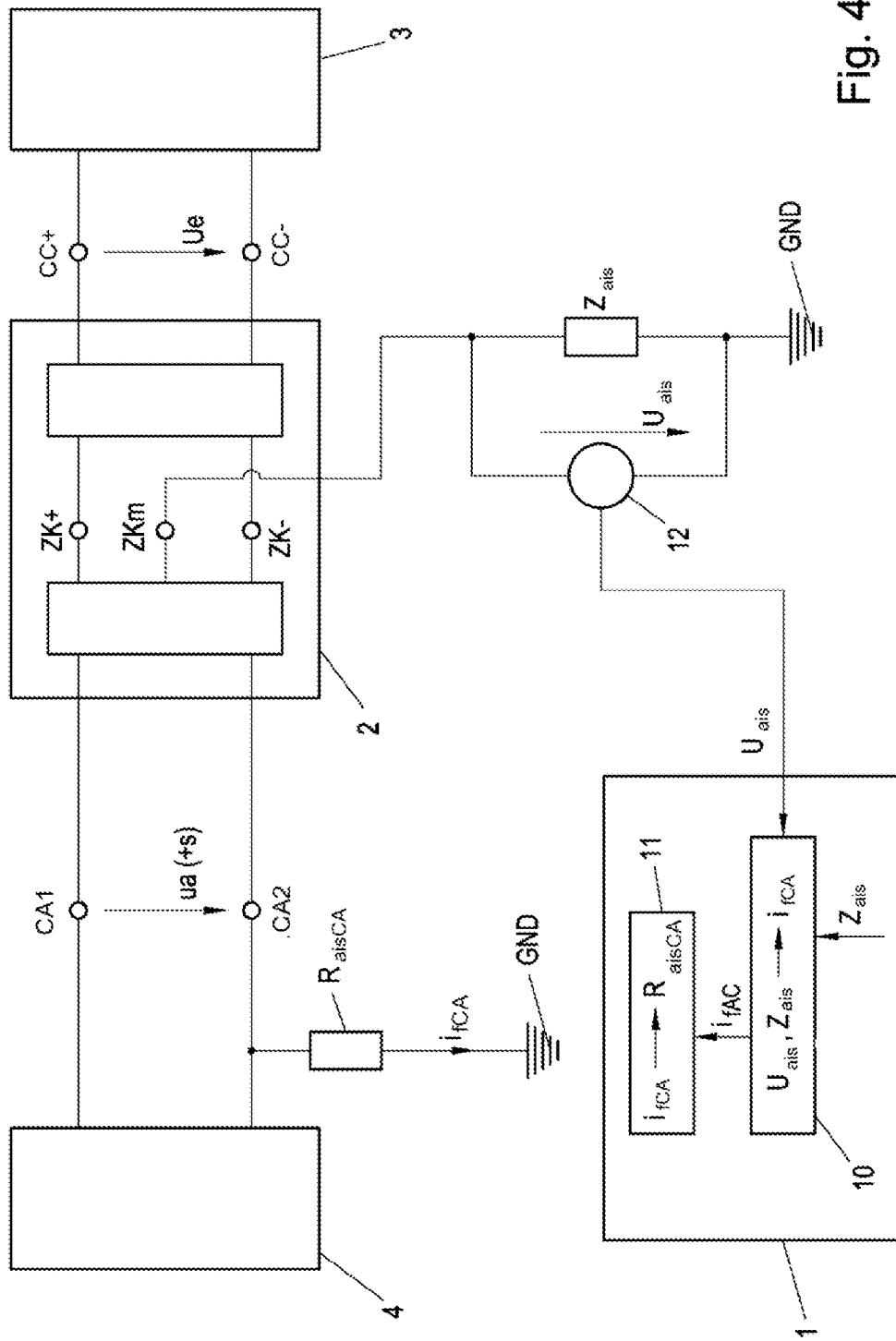


Fig. 4

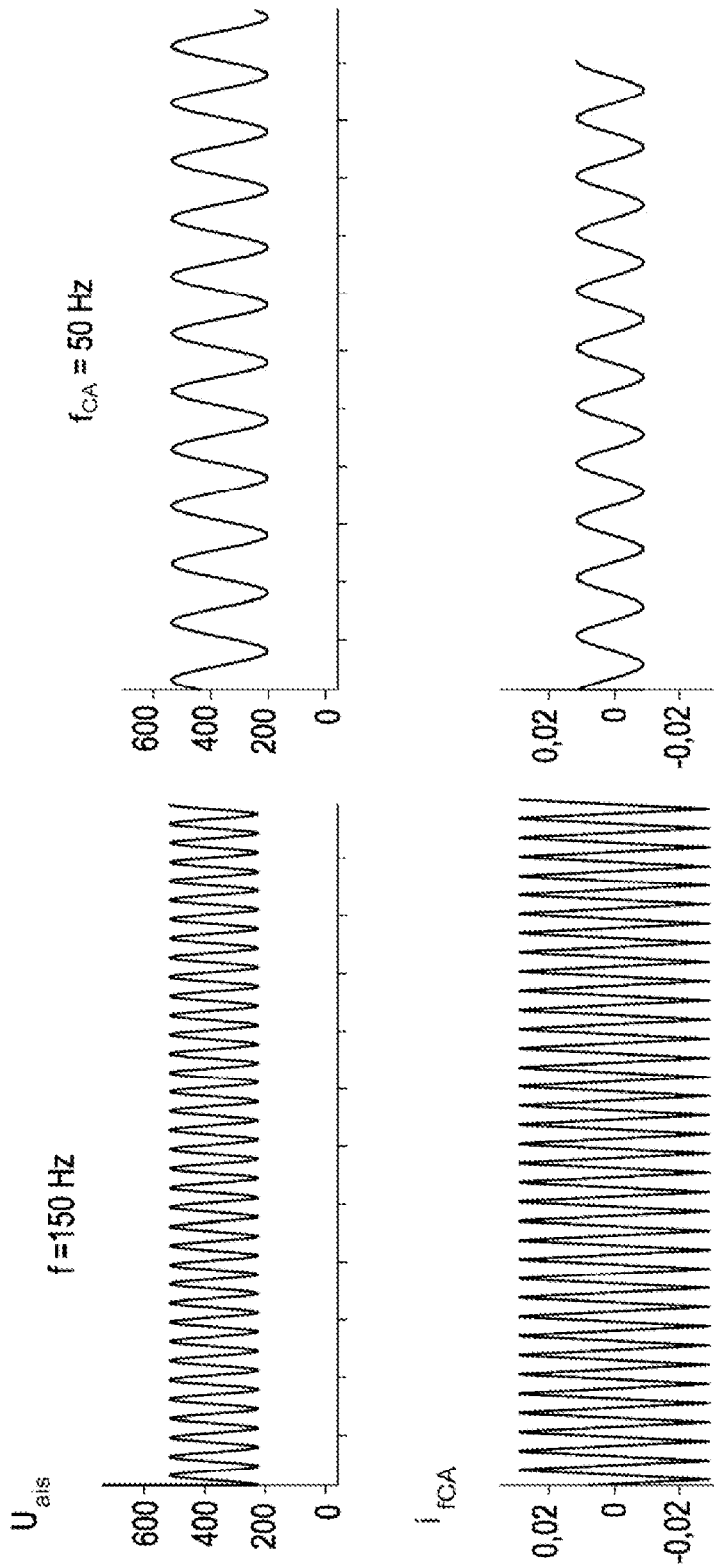


Fig. 5 (Parte 1)

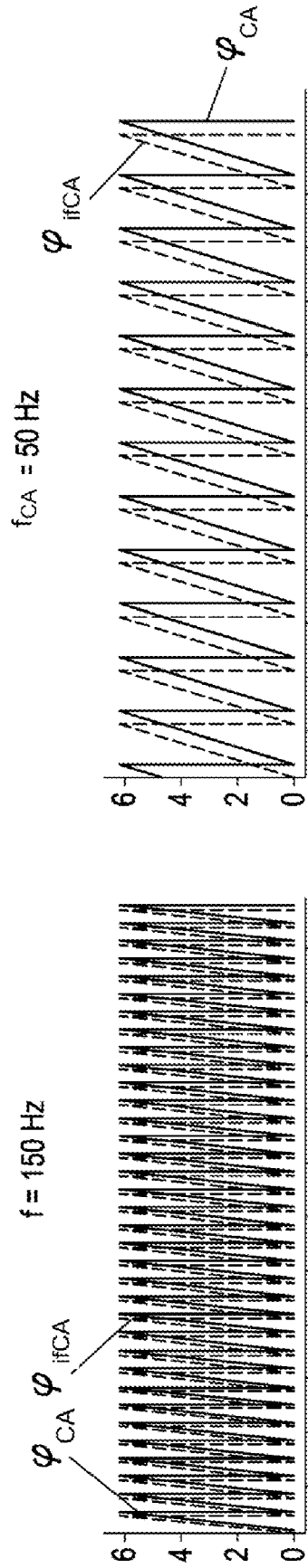


Fig. 5 (Parte 2)