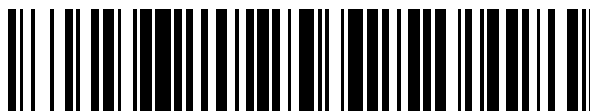


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 627 974**

51 Int. Cl.:

G01R 27/02 (2006.01)

G01R 27/18 (2006.01)

G01R 31/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.05.2012 PCT/EP2012/059650**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.11.2012 WO12160118**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.05.2012 E 12726763 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.03.2017 EP 2721423**

54 Título: **Vigilancia de aislamiento utilizando una señal de prueba de frecuencia variable**

30 Prioridad:

24.05.2011 DE 102011050590

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

01.08.2017

73 Titular/es:

**SMA SOLAR TECHNOLOGY AG (100.0%)
Sonnenallee 1
34266 Niestetal, DE**

72 Inventor/es:

**HERMELING, DIRK y
LEHMANN, REINHARD**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 627 974 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

Vigilancia de aislamiento utilizando una señal de prueba de frecuencia variable

CAMPO TÉCNICO

5 La invención se refiere a un método para vigilar un aislamiento de una red eléctrica sin conexión a tierra. Más particularmente, la invención se refiere a un método para vigilar un aislamiento de una red eléctrica sin conexión a tierra, que comprende los pasos de conectar una fuente de tensión AC (del inglés "Alternate Current", corriente alterna) a través de por lo menos un resistor de prueba a la red eléctrica; aplicar una señal de prueba que comprende una evolución de tensión continua periódica con respecto a tierra y una frecuencia a la red eléctrica por medio de la fuente de tensión AC; medir una intensidad de corriente de fuga que fluye debido a la señal de prueba; y
10 determinar una resistencia óhmica de aislamiento a partir de la intensidad de corriente de fuga.

Además, la invención se refiere a un equipo para vigilar un aislamiento de una red eléctrica sin conexión a tierra. Más particularmente, la invención se refiere a un equipo para vigilar un aislamiento de una red eléctrica sin conexión a tierra que comprende: una fuente de tensión AC configurada para ser conectada a la red eléctrica a través de por lo menos un resistor de prueba y que genera una señal de prueba que tiene una evolución de tensión continua
15 periódica con respecto a tierra y una frecuencia; dispositivos de medida que miden una intensidad de corriente de fuga que fluye debido a la señal de prueba; y un dispositivo de evaluación que determina una resistencia óhmica de aislamiento a partir de la intensidad de corriente de fuga.

La red eléctrica sin conexión a tierra puede ser una red eléctrica DC (del inglés "Direct Current", corriente continua) o una red eléctrica AC; también puede tener tanto un área DC, como por ejemplo por el lado de entrada de un inductor, y un área AC, como por ejemplo por el lado de salida del inductor.
20

La red eléctrica sin conexión a tierra puede ser una red denominada IT (del francés "Isolée Terre", aislada de tierra), particularmente en un sistema fotovoltaico, o cualquier otra red eléctrica sin conexión a tierra.

ANTECEDENTES

25 Una red eléctrica sin conexión a tierra, sin una relación fija con la tierra eléctrica de cualquiera de sus líneas, puede ser denominada también red IT (del francés "Isolée Terre"). En una red eléctrica así, un fallo de aislamiento entre una de las líneas y tierra sólo provoca que esta línea se conecte a tierra, y la red eléctrica puede seguir operando. Sin embargo, un fallo de aislamiento así debería ser detectado tan pronto como sea posible para ser capaces de repararlo antes de que se produzca cualquier fallo de aislamiento adicional que forzaría que la red eléctrica quede fuera de servicio.

30 En una red IT, un fallo de aislamiento con respecto a tierra puede ser detectado midiendo y evaluando la impedancia a tierra. La impedancia a tierra es un valor complejo que está compuesto por la resistencia óhmica de aislamiento en cuestión como parte real y de una reactancia capacitiva a tierra como parte imaginaria. La reactancia capacitiva a tierra es un resultado de capacidades de fuga de la red eléctrica que son efectivas con respecto a tierra.

35 Las redes IT se usan frecuentemente en sistemas fotovoltaicos. Debido al área superficial de sus módulos solares por sí solos, los sistemas fotovoltaicos exhiben elevadas capacidades de fuga con respecto a tierra. El valor de estas capacidades de fuga varía considerablemente cuando, por ejemplo, cae lluvia sobre el sistema fotovoltaico. Debido a capacidades de fuga elevadas y al mismo tiempo variables en el tiempo, vigilar un aislamiento de un sistema fotovoltaico que opera como una red IT con respecto a tierra se hace bastante complicado. Además, variaciones de tensión que se producen sobre el respectivo generador fotovoltaico debido a seguimiento MPP (del inglés "Maximum
40 Power Point", punto de máxima potencia) pueden provocar también problemas en la vigilancia de aislamiento de sistemas fotovoltaicos.

Un método y un equipo para vigilar un aislamiento de una red eléctrica sin conexión a tierra son conocidos a partir del documento DE 25 42 811 B1. Aquí, una señal de prueba sinusoidal con una frecuencia en un intervalo preferido de 25 Hz a 500 Hz es aplicada a un objeto de medida por medio de una fuente de tensión AC. Una caída de tensión
45 sobre un resistor conectado en serie a la fuente de tensión AC se usa como medida para la intensidad de corriente de fuga causada por la señal de prueba. La intensidad de corriente de fuga es suministrada a una circuitería de rectificador que opera en fase con la señal de prueba para determinar la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga que está en fase con la señal de prueba. El método conocido y el equipo conocido han resultado ser adecuados sólo en una medida muy limitada para vigilar el aislamiento de un sistema fotovoltaico que opera
50 como una red IT ya que la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga es comparativamente pequeña y puede ser determinada por lo tanto sólo con un error comparativamente alto.

Otro método y otro equipo para vigilar el aislamiento de una red eléctrica sin conexión a tierra son conocidos a partir del documento DE 38 82 833 D2. Aquí, se indica que, en caso de que esté siendo vigilada una red de corriente AC, la señal de prueba aplicada a la red IT debe tener una frecuencia inferior a la frecuencia de la corriente AC y que la

frecuencia debe ser tan baja que se minimice la intensidad de corriente que fluye sobre la capacidad de fuga de la red eléctrica vigilada. Por ejemplo, se menciona una frecuencia de 10 Hz. Esta parte de corriente reactiva de la intensidad de corriente de fuga es entonces compensada para determinar la resistencia de aislamiento.

5 En un método y un equipo para vigilar un aislamiento de redes eléctricas DC y AC sin conexión a tierra, que son conocidos a partir del documento EP 0 654 673 A1, una señal de prueba con una evolución de tensión de onda cuadrada es aplicada a la red eléctrica a vigilar por medio de una fuente de tensión. Sobre la base de la intensidad de corriente de fuga resultante, se determina el valor absoluto de la resistencia de aislamiento entre el objeto de medida y tierra. Debido al uso de una evolución de tensión de onda cuadrada, hay que esperar que se produzcan efectos transitorios, particularmente la carga de cualesquiera condensadores con respecto a tierra en la red eléctrica a vigilar, antes de medir la intensidad de corriente de fuga. Debido a esto, la medida de la resistencia de aislamiento es muy lenta cuando existen capacidades muy elevadas. Se intenta compensar esto aplicando el siguiente escalón de tensión a la señal de prueba tan pronto como los efectos transitorios previos han terminado y la intensidad de corriente de fuga ha sido medida. Con capacidades de fuga elevadas, sin embargo, una única medida de la resistencia de aislamiento puede tardar sin embargo algún tiempo, del orden de minutos. Esto no es suficiente para detectar rápidamente un fallo de aislamiento.

Un método según el preámbulo de la reivindicación 1 y un equipo según el preámbulo de la reivindicación 9 son conocidos a partir del documento JP 2008 020322 A y JP 2003 090859 A. Aquí, la frecuencia de la señal de prueba es variada de tal modo que se consigue una frecuencia de resonancia para la cual una parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga está en el máximo.

20 El documento DE 10 2006 019 467 A1 da a conocer un método y un equipo para reconocer de forma temprana cortocircuitos en redes eléctricas en las cuales son determinadas intensidades de corriente de las corrientes que fluyen en la red eléctrica y sus derivadas primera y segunda, y las intensidades de corrientes son comparadas con valores umbral. Si se supera al menos uno de los valores umbral, esto se toma como una indicación de un cortocircuito.

25 De este modo, sigue existiendo una necesidad de un método y de un equipo robustos y de respuesta rápida para vigilar un aislamiento de una red eléctrica sin conexión a tierra que detecten de forma segura los fallos de aislamiento que se produzcan incluso si existen capacidades de fuga elevadas y particularmente cuando existen capacidades de fuga variables.

SUMARIO DE LA INVENCION

30 La presente invención se refiere a un método para vigilar un aislamiento de una red eléctrica sin conexión a tierra según la reivindicación 1. En este método, una fuente de tensión AC está conectada a la red eléctrica a través de por lo menos un resistor de prueba. Una señal de prueba que comprende una evolución de tensión continua periódica con respecto a tierra y una frecuencia es aplicada a la red eléctrica por medio de la fuente de tensión AC. Una intensidad de corriente de fuga que fluye debido a la señal de prueba es medida, y una resistencia óhmica de aislamiento es determinada a partir de la intensidad de corriente de fuga. La frecuencia de la señal de prueba es variada de tal modo que una parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga mantiene un valor recomendado predeterminado para capacidades de fuga variables de la red eléctrica.

La presente invención también se refiere a un equipo para vigilar un aislamiento de una red eléctrica sin conexión a tierra según la reivindicación 9. Este equipo comprende (i) una fuente de tensión AC configurada para ser conectada a la red eléctrica a través de por lo menos un resistor de prueba y que genera una señal de prueba que tiene una evolución de tensión continua periódica con respecto a tierra y una frecuencia, (ii) dispositivos de medida que miden una intensidad de corriente de fuga que fluye debido a la señal de prueba, y (iii) un dispositivo de evaluación que determina una resistencia óhmica de aislamiento a partir de la intensidad de corriente de fuga. La fuente de tensión AC varía la frecuencia de la señal de prueba de tal modo que una parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga mantiene un valor recomendado predeterminado para capacidades de fuga variables de la red eléctrica.

Que la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga mantenga un valor recomendado predeterminado significa que permanece dentro de un intervalo limitado de valores, y procura un nivel deseado de precisión para una velocidad máxima de detección de fallos de aislamiento o de tierra.

50 Otras características y ventajas de la presente invención se pondrán de manifiesto para una persona con experiencia en la técnica tras examinar los siguientes dibujos y la descripción detallada. Se pretende que todas las características y ventajas adicionales así sean incluidas aquí dentro del alcance de la presente invención, definido por las reivindicaciones.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

55 La invención puede entenderse mejor con referencia a los siguientes dibujos. Los componentes en los dibujos no

están necesariamente a escala, estando puesto el énfasis en vez de ello en ilustrar claramente los principios de la presente invención. En los dibujos, números de referencia iguales designan partes correspondientes a través de las diversas vistas.

5 **La figura 1** muestra esquemáticamente un sistema fotovoltaico que comprende un inversor y que opera como una red IT, junto con una fuente de tensión AC y dispositivos de medida de un equipo para vigilar el aislamiento de la red IT.

La figura 2 muestra un diagrama de circuito equivalente simplificado para determinar la tensión presente entre la red IT de acuerdo con la figura 1 y la tierra eléctrica; y

10 **la figura 3** es un diagrama vectorial de la intensidad de corriente de fuga compleja I_{Ab} , compuesta por una parte de corriente activa I_w como parte real y por una parte de corriente reactiva I_b como parte imaginaria.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

En el método para vigilar un aislamiento de una red eléctrica sin conexión a tierra, que se da a conocer aquí, la frecuencia de la señal de prueba no está fijada, sino que será adaptada a las capacidades de fuga de la red eléctrica que son actualmente efectivas. Esta adaptación puede ser realizada de un número de diferentes modos, por ejemplo, modulando de forma repetida o continua la frecuencia de la señal de prueba. En cualquier caso, el propósito de la variación de la frecuencia de la señal de prueba es mantener la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga en un nivel alto de modo que se alcance el valor recomendado predeterminado. De este modo, se asegura que la resistencia de aislamiento de la red eléctrica vigilada pueda ser determinada con suficiente precisión y fiabilidad. Al mismo tiempo, esta determinación también se lleva a cabo en un tiempo mínimo variando la frecuencia de la señal de prueba hacia abajo sólo en la medida necesaria para conseguir una suficiente precisión y fiabilidad. En otras palabras, el tiempo necesario para reaccionar a una resistencia cambiante de aislamiento y particularmente a un fallo de aislamiento sería innecesariamente largo, si se superara el valor recomendado, lo que en cualquier caso no es necesario para conseguir una suficiente precisión y fiabilidad. Por lo tanto, en el método dado a conocer aquí, el tiempo necesario para reaccionar a una resistencia cambiante de aislamiento y particularmente a un fallo de aislamiento es mantenido tan corto como sea posible mediante el mantenimiento del valor recomendado. Por un lado, el valor recomendado es un valor mínimo que la parte de corriente activa alcanza en el método dado a conocer aquí; por otro lado, sin embargo, es un valor buscado que no se supera innecesariamente.

Particularmente, el valor recomendado predeterminado de la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga puede ser un valor efectivo relativo de la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga con relación a toda la intensidad de corriente de fuga, que es mantenido dentro de una ventana relativa predeterminada, es decir particularmente dentro de una ventana porcentual o un intervalo limitado de valores porcentuales. La relación entre el valor efectivo relativo de la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga y toda la intensidad de corriente de fuga corresponde directamente a un ángulo de fase de la intensidad de corriente de fuga con respecto a la señal de prueba causante. Dependiendo de los niveles de precisión y fiabilidad por un lado, y del tiempo de reacción a realizar al mismo tiempo por otro lado, el valor recomendado para la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga puede ser determinado como un valor efectivo relativo de la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga con relación a toda la intensidad de corriente de fuga y está en un intervalo porcentual desde 0,1% a 50%. Preferiblemente, este valor recomendado es de alrededor del 10%, correspondiente a un ángulo de fase de alrededor de 80°. Se apreciará que no es necesario incrementar adicionalmente la frecuencia de la señal de prueba de acuerdo con el valor recomendado para la parte de corriente activa si se ha detectado ya un fallo de aislamiento óhmico bajo. En vez de ello, la frecuencia de la señal de prueba puede estar limitada a un valor máximo. Este valor máximo puede ser establecido de modo que no es alcanzado sin que se haya detectado ya un fallo de aislamiento óhmico bajo.

En el método dado a conocer aquí, la frecuencia de la señal de prueba puede ser variada continuamente de acuerdo con un método de seguimiento de tal modo que el valor recomendado de la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga sea mantenido tan estrechamente como sea posible. Para encontrar la frecuencia necesaria para mantener el valor recomendado, la frecuencia de la señal de prueba también puede ser barrida repetidamente a través de un intervalo extendido de frecuencias. Es también posible modular continuamente la frecuencia de la señal de prueba. Hay que considerar, sin embargo, que durante el barrido o la modulación de la frecuencia, para todas las frecuencias de la señal de prueba que no cumplen con el valor recomendado, no se consiguen condiciones de medida óptimas, ya que – a una frecuencia demasiado baja – el método reacciona más lentamente de lo deseado a un fallo de aislamiento, o – a una frecuencia demasiado alta – el método opera con menor precisión de la deseada.

En una realización particular del método dado a conocer aquí, la amplitud de la señal de prueba es también modulada. La modulación de amplitud puede tener lugar de tal modo que una potencia eléctrica introducida por la fuente de tensión AC es mantenida constante a pesar de su variación básica con la modulación de frecuencia. Alternativamente, la modulación de amplitud puede ser usada para mantener constante (i) un valor efectivo absoluto

de la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga o (ii) un valor absoluto de potencia activa de la potencia de la fuente de tensión AC o (iii) un valor relativo de potencia activa de la fuente de tensión AC con respecto a toda su potencia eléctrica.

5 Además, la modulación de la frecuencia y/o la amplitud de la señal de prueba puede ser usada de modo ventajoso para determinar una correlación cruzada entre la señal de prueba y la intensidad de corriente de fuga provocada por la señal de prueba. Una semejanza determinada por medio de correlación cruzada corresponde al valor absoluto de la impedancia de fuga compleja, mientras que un desplazamiento temporal entre la señal de prueba y la intensidad de corriente de fuga corresponde al ángulo de fase de la impedancia de fuga compleja.

10 Alternativa o adicionalmente, la intensidad de corriente de fuga puede ser multiplicada por una función de referencia que está en fase con la señal de prueba u_p . El producto de esta multiplicación puede ser promediado sobre un número entero de periodos de la función de referencia. Si la señal de prueba es una señal seno y si la función de referencia es una función seno con un valor máximo de $\sqrt{2}$, por ejemplo, el valor promedio resultante corresponde directamente al valor efectivo de la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga. De un modo similar, la parte de corriente reactiva de la intensidad de corriente de fuga puede ser determinada también multiplicando la intensidad de corriente de fuga por una función de referencia adicional, que tiene un desplazamiento de fase de $\pi/2$ con respecto a la señal de prueba, y promediando el producto de la multiplicación sobre un número entero de periodos de una función de referencia adicional. En caso de una señal seno como señal de prueba, puede usarse una función coseno como función de referencia adicional, de nuevo preferiblemente con un valor máximo de $\sqrt{2}$. En la práctica, el promediado del respectivo producto puede realizarse también mediante filtrado de paso bajo.

20 Como la señal de prueba sólo varía continuamente, los escalones de la intensidad de corriente de fuga, particularmente de la parte de corriente activa de intensidad de corriente de fuga, no son causados por la señal de prueba sino que son una indicación de un fallo de aislamiento. Un fallo de aislamiento así está por supuesto también siempre presente cuando la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga supera un valor umbral o cuando la resistencia de aislamiento determinada sobre la base de la intensidad de corriente de fuga cae por debajo de un valor umbral.

30 Cuando se aplica el método dado a conocer aquí a un sistema fotovoltaico que incluye un inversor cuyo lado de corriente AC hasta el transformador no tiene conexión a tierra, la fuente de tensión AC es conectada preferiblemente a la red eléctrica por el lado de corriente DC del inversor. Generalmente, sin embargo, puede ser conectada también a las líneas individuales de la red eléctrica por el lado de corriente AC del inversor. Aquí, puede obtenerse información adicional acerca del estado de aislamiento de la red eléctrica y particularmente acerca de la localización de un fallo de aislamiento actual por medio de medidas adicionales. Incluso cuando se ejecuta el método aquí descrito sólo por el lado de corriente DC del inversor, fallos de aislamiento por el lado de corriente AC del inversor son también detectados siempre que el inversor operativo conecte galvánicamente (de forma alterna) las líneas por su lado de corriente DC con las líneas por su lado de corriente AC. Para localizar un fallo de aislamiento por el lado de corriente DC o el lado de corriente AC del inversor, es suficiente entonces parar la operación del inversor de modo que su lado de corriente AC esté separado galvánicamente de su lado de corriente DC. Si el fallo de aislamiento no sigue siendo detectado entonces por su lado de corriente DC, está por el lado de corriente AC. Si el fallo de aislamiento, sin embargo, sigue siendo detectado por el lado de corriente DC, está por el lado de corriente DC.

40 Puede obtenerse también información adicional acerca del estado de aislamiento de la red eléctrica determinando intensidades de corriente parciales de las líneas individuales de la red eléctrica que están aisladas una respecto a otra. Las intensidades de corriente parciales pueden ser determinadas directamente entre la fuente de tensión y las líneas individuales de la red eléctrica o indirectamente sobre la base de tensiones eléctricas de las líneas individuales con respecto a tierra. La evaluación de las intensidades de corriente parciales permite asignar un fallo de aislamiento detectado a una línea individual de la red eléctrica. Esto, al menos, se aplica a líneas aisladas, es decir galvánicamente separadas, de la red eléctrica. En una red eléctrica que comprende un generador fotovoltaico, este aislamiento no existe en operación. Tan pronto como el generador fotovoltaico está en estado inactivo y no conductor, como durante la noche, este aislamiento, sin embargo, está presente, y al menos entonces pueden ser localizados fallos de aislamiento del modo descrito. Una localización así puede conseguirse también durante el día por medio de interruptores dispuestos en las líneas individuales entre el generador fotovoltaico y el inversor. Si estos interruptores son abiertos uno a uno y si las intensidades de corriente parciales de las líneas individuales de la red eléctrica son medidas al mismo tiempo por el lado de corriente DC, puede determinarse por qué lado del interruptor respectivamente abierto está situado el fallo de aislamiento.

55 Con referencia ahora en mayor detalle a los dibujos, la **figura 1** muestra esquemáticamente un sistema fotovoltaico 1 configurado como una red IT, es decir como una red eléctrica aislada con respecto a la tierra eléctrica 5 y que se extiende desde un generador fotovoltaico 2 a través de un inversor 3 hasta un transformador 4. Desde el generador fotovoltaico 2 hasta el inversor 3, la red IT es una red eléctrica DC, y desde el inversor 3 hasta el transformador 4, la red IT es una red eléctrica AC. A través del transformador 4, el sistema fotovoltaico 1 vierte energía eléctrica desde

el generador fotovoltaico 2 a una red eléctrica AC pública 6, que tiene una referencia fija a la tierra 5. Las resistencias de aislamiento R_{iso7} y R_{iso8} de las líneas 7 y 8 del inversor 3 con respecto a tierra 5 están representadas por resistores óhmicos 9 en la figura 1. Estos resistores óhmicos 9 están conectados en paralelo a condensadores 10, que representan capacidades de fuga C_{ab7} y C_{ab8} de las líneas de entrada 7 y 8 con respecto a tierra. Estas capacidades de fuga C_{ab7} y C_{ab8} resultan esencialmente de la gran área superficial de los módulos solares del generador fotovoltaico 2.

Si hay un fallo de aislamiento en una de las líneas de entrada 7 u 8, es decir cuando una de las resistencias de aislamiento R_{iso7} y R_{iso8} se hace tan pequeña que se produce un fallo de tierra, el sistema fotovoltaico 1 no tiene necesariamente que ser puesto fuera de servicio de forma completa. A menudo, es suficiente desconectar el inversor 3 para evitar el flujo de intensidades de corriente de fuga elevadas, ya que la segunda línea de entrada y por lo tanto el segundo polo del generador fotovoltaico 2 sigue estando aislado con respecto a tierra 5. Para desconectar el inversor 3 y en cualquier caso para reparar el fallo de tierra, sin embargo, este fallo de tierra debe ser detectado lo antes posible. Con este fin está previsto un equipo 11. Este equipo 11 comprende una fuente de tensión AC 12 mediante la cual una señal de prueba que comprende una evolución de tensión continua periódica con respecto a tierra 5 es aplicada a la red eléctrica por el lado de corriente DC del inversor 3 del sistema fotovoltaico 1 a través de una red de acoplamiento 13 que comprende dos resistores de prueba R_{K7} y R_{K8} . Una intensidad de corriente de fuga i_{Ab} que fluye en la red de acoplamiento debido a la señal de prueba u_P es medida por medio de un dispositivo de medida 14, que es aquí un amperímetro. Adicionalmente, intensidades de corriente parciales i_{Ab7} e i_{Ab8} que fluyen a través de los resistores de prueba R_{K7} y R_{K8} son medidas por dispositivos de medida 15 y 16 que también son amperímetros. Alternativamente, las tensiones u_{Ab7} y u_{Ab8} entre las líneas de entrada 7 y 8, respectivamente, y la tierra 5 son medidas por medio de dispositivos de medida 17 y 18 que son voltímetros. La señal de prueba u_P puede constar de una tensión AC de forma sinusoidal con respecto a tierra, cuya amplitud puede ser modulada. En cada caso, la señal de prueba comprende una evolución de tensión continua periódica con respecto a tierra, y puede ser variada en lo que respecta a su frecuencia. Esta variación puede hacerse por modulación de frecuencia de tipo *chirp* o por ondículas (*wavelets*); preferiblemente, sin embargo, es una variación continua, o la frecuencia es mantenida constante después de que su valor óptimo ha sido determinado por medio de una modulación de frecuencia de tipo *chirp* o por medio de ondículas hasta la siguiente modulación de frecuencia de tipo *chirp* u ondícula.

Las intensidades de corriente o tensiones medidas por los dispositivos de medida 14 a 18 dependen de las resistencias de aislamiento R_{iso7} y R_{iso8} así como de las capacidades de fuga C_{Ab7} y C_{Ab8} y la frecuencia de la señal de prueba u_P . Particularmente, la resistencia a la corriente AC y la reactancia de fuga X_C dependen de las capacidades de fuga C_{Ab7} y C_{Ab8} de acuerdo con $X_C = 1/(2\pi f \cdot C_{Ab})$, en que f es la frecuencia de la señal de prueba u_P . Con capacidades de fuga C_{Ab} muy elevadas, la reactancia de fuga capacitiva X_C se hace pequeña y, correspondientemente, la señal de prueba u_P provoca intensidades de corriente de fuga elevadas sobre las capacidades de fuga C_{Ab7} y C_{Ab8} en comparación con las resistencias de aislamiento R_{iso7} y R_{iso8} relativamente elevadas. Esto obstaculiza que la determinación de las resistencias de aislamiento R_{iso7} y R_{iso8} , sobre la base de intensidades de corriente de fuga i_{Ab} medidas, tenga una precisión suficientemente elevada. Cuando la frecuencia f de la señal de prueba u_P es reducida, la reactancia de fuga X_C se incrementa, lo que significa que las intensidades de corriente de fuga a través de las capacidades de fuga C_{Ab7} y C_{Ab8} se hacen más pequeñas y que las intensidades de corriente de fuga a través de las resistencias de aislamiento R_{iso7} y R_{iso8} se hacen más grandes desde un punto de vista relativo. Con una potencia general de la señal de prueba u_P que se mantiene constante, que en el caso presente incluso permite incrementar la amplitud de la señal de prueba u_P al aumentar la frecuencia de la señal de prueba, las intensidades de corriente de fuga que fluyen a través de las resistencias de aislamiento R_{iso7} y R_{iso8} también se incrementan desde un punto de vista absoluto. Una reducción de la frecuencia f de la señal de prueba u_P , sin embargo, resulta en que la determinación de las resistencias de aislamiento R_{iso7} y R_{iso8} se hace más lenta y que por lo tanto no son detectados rápidamente cambios en las resistencias de aislamiento R_{iso7} y R_{iso8} . Por esta razón, una optimización de la frecuencia f de la señal de prueba u_P es llevada a cabo para asegurar que las intensidades de corriente de fuga son suficientemente elevadas para una determinación de las resistencias de aislamiento R_{iso7} y R_{iso8} por un lado, y para mantener corto el tiempo requerido por la prueba para reaccionar a cambios de las resistencias de aislamiento, por otro lado.

El diagrama de circuito equivalente simplificado de acuerdo con la **figura 2** ilustra cómo una caída de tensión u_{Rk} sobre la red de acoplamiento 13 puede ser deducida a partir de la intensidad de corriente de fuga i_{Ab} medida y los valores de las resistencias de prueba R_k de la red de acoplamiento 13. De acuerdo con la ley de mallas, puede determinarse entonces la caída de tensión u_{Ab} sobre la resistencia de aislamiento R_{iso} y la capacidad de fuga C_{Ab} conectada en paralelo. De este modo, la intensidad de corriente i_{Ab} y la tensión u_{Ab} están disponibles para determinar los valores de R_{iso} y C_{Ab} . Alternativamente, la tensión u_{Ab} también puede ser medida directamente. Esto, sin embargo, requiere algún esfuerzo debido a la elevada tensión de salida del generador fotovoltaico 2 de acuerdo con la figura 1, y sólo proporciona una precisión baja. La tensión u_{Rk} que cae sobre la red de acoplamiento 13, sin embargo, también puede ser medida directamente con poco esfuerzo.

Del mismo modo que la impedancia de aislamiento Z que resulta de u_{Ab} e i_{Ab} es un valor complejo, que consta de la resistencia de aislamiento R como parte real y de la reactancia de fuga X_C como parte imaginaria, la intensidad de

corriente de fuga I_{Ab} también es un valor complejo que consta de la parte de corriente activa I_w como parte real y de la parte de corriente reactiva I_b , es decir la intensidad de corriente de fuga capacitiva, como parte imaginaria (véase la **figura 3**). El valor efectivo de la parte real I_w puede ser determinado multiplicando el valor de medida dependiente del tiempo de i_{Ab} por una función seno que está en fase con la señal de prueba u_P . Correspondientemente, el valor efectivo de la parte imaginaria I_b puede ser obtenido multiplicando el valor de medida dependiente del tiempo de i_{Ab} por una señal de referencia que comprende un desplazamiento de fase de $\pi/2$ con respecto a la señal de prueba u_P . De este modo, sin embargo, sólo se obtiene un valor suficientemente preciso para I_w si I_w es suficientemente elevado con relación a la intensidad de corriente de fuga capacitiva, es decir la parte de corriente reactiva I_b de I_{Ab} . Esto se asegura ajustando la frecuencia de la señal de prueba u_P de acuerdo con el método dado a conocer aquí. En otras palabras, por medio de una frecuencia suficientemente pequeña se asegura que la parte de corriente reactiva I_b no supere demasiado fuertemente la parte de corriente activa I_w de la intensidad de corriente de fuga I_{Ab} en el circuito paralelo de R_{iso} y C_{Ab} , dado que de otro modo ya una pequeña variación del ángulo de fase φ entre la parte de potencia activa I_w y la parte de potencia reactiva I_b de la intensidad de corriente de fuga I_{Ab} , por ejemplo causada por un cambio de la capacidad de fuga debido a lluvia caída sobre el sistema fotovoltaico, tendría un fuerte efecto sobre la precisión en la determinación de la parte de potencia reactiva I_b y la parte real R de la impedancia de aislamiento Z .

A una frecuencia f de la señal de prueba u_P que está optimizada también con respecto a una detección rápida de los fallos de aislamiento, el ángulo de fase φ entre la parte de corriente activa y la parte de corriente reactiva de la intensidad de corriente de fuga sólo muestra una pequeña dependencia del valor de la resistencia de aislamiento R de interés debido a las típicas relaciones entre una resistencia de aislamiento R relativamente elevada y una reactancia de fuga X_C relativamente pequeña en un sistema fotovoltaico. Particularmente, el método descrito aquí opera sin determinar el ángulo de fase φ , multiplicando las señales digitalizadas u_{Ab} e i_{Ab} cada una por una señal seno o una señal coseno, respectivamente, que están en fase con la señal de prueba u_P , y aplicando filtrado de paso bajo tras ello. Los valores DC obtenidos de este modo representan partes activas virtuales (U_w e I_w procedentes de la multiplicación por el seno de referencia) y partes reactivas (U_b e I_b procedentes de la multiplicación por el coseno de referencia) de la potencia introducida por acoplamiento mediante la señal de prueba. A partir de estos valores, pueden calcularse potencias virtuales:

$$P = U_w \cdot I_w + U_b \cdot I_b$$

$$Q = U_w \cdot I_b - U_b \cdot I_w$$

A partir de las potencias virtuales, la impedancia compleja Z con sus partes resistiva y reactiva R_{iso} y X_C puede ser determinada a partir del valor efectivo de la tensión entre el generador fotovoltaico y tierra como sigue:

$$R_{iso} = U_{eff}^2 / P$$

$$X_C = U_{eff}^2 / Q$$

En el método dado a conocer aquí, los valores de medida de i_{Ab} , tras ser digitalizados, pueden ser evaluados también calculando una correlación cruzada con respecto a una señal de prueba u_P que está modulada en lo que respecta a su frecuencia y/o su amplitud, siendo determinados un desplazamiento temporal de i_{Ab} con respecto a u_P que corresponde al ángulo de fase φ entre la parte de corriente activa y la parte de corriente reactiva, y una semejanza entre la señal de prueba u_P y la señal medida i_{Ab} que corresponde a la impedancia de aislamiento compleja Z . En lo que respecta a la evolución de tensión de la señal de prueba u_P , son adecuadas aquí ondículas particularmente ajustadas, tales como por ejemplo ondículas con una portadora de forma sinusoidal y una modulación en un intervalo de frecuencias de 0,1 a 1 Hz con amplitudes de 0 a 30 voltios. Generalmente, es adecuado mantener la amplitud de la señal de prueba u_P por debajo de la tensión extra-baja de seguridad de 50 voltios.

La sensibilidad del método dado a conocer aquí, asegurada ajustando la frecuencia f de la señal de prueba u_P , no sólo es utilizable para determinar completamente la impedancia de aislamiento compleja Z o sólo su parte real R_{iso} cuantitativamente. Como la señal de prueba u_P comprende una evolución de tensión continua y no comprende frecuencias elevadas, los valores de medida i_{Ab} , i_{Ab7} , i_{Ab8} , u_{Ab7} , u_{Ab8} , causados por la señal de prueba, particularmente las partes de corriente activa determinadas de las intensidades de corriente de fuga, no pueden comprender ningún cambio escalonado. Si tales escalones se producen en los valores de medida, esto es una indicación de una ruptura repentina del aislamiento de las líneas de entrada 7 y 8. Adicionalmente, diferenciar entre i_{Ab7} e i_{Ab8} , o u_{Ab7} y u_{Ab8} , permite localizar al menos de forma aproximada cualquier fallo de aislamiento. Aquí, la ley de mallas puede ser aplicada separadamente para ambas líneas de entrada 7 y 8 del inversor 3 de acuerdo con la figura 1 o los correspondientes polos del generador fotovoltaico 2 de acuerdo con la figura 2, al menos mientras que el generador fotovoltaico 2 no cortocircuite las líneas de entrada 7 y 8. Éste es el caso particularmente durante la noche cuando no hay aislamiento. Una localización de un fallo de aislamiento en el lado de corriente AC del inversor 3 es posible parando la operación del inversor e interrumpiendo por lo tanto la conexión galvánica (alterna) entre sus líneas de salida 20 a 22 y las líneas de entrada 7 y 8. Con un fallo de aislamiento por el lado de corriente AC del inversor, la

intensidad de corriente de fuga I_{Ab} será reducida entonces. Para una localización más detallada de un fallo de aislamiento por el lado de corriente AC, pueden ser aplicadas entonces señales de prueba a las líneas de salida individuales 20 a 22 del inversor 3 mientras que las intensidades de corriente de fuga resultantes son medidas.

LISTA DE NÚMEROS DE REFERENCIA

5	1	Sistema fotovoltaico
	2	Generador fotovoltaico
	3	Inversor
	4	Transformador
	5	Tierra
10	6	Red eléctrica AC
	7	Línea de entrada
	8	Línea de entrada
	9	Resistor óhmico
	10	Condensador
15	11	Equipo
	12	Fuente de tensión AC
	13	Red de acoplamiento
	14	Dispositivo de medida
	15	Dispositivo de medida
20	16	Dispositivo de medida
	17	Dispositivo de medida
	18	Dispositivo de medida
	20	Línea de salida
	21	Línea de salida
25	22	Línea de salida

30

35

REIVINDICACIONES

1. Un método para vigilar un aislamiento de una red eléctrica sin conexión a tierra, que comprende:
- conectar una fuente de tensión AC (12) a través de por lo menos un resistor de prueba (R_K) a la red eléctrica,
- 5
- aplicar una señal de prueba (u_P) que comprende una evolución de tensión continua periódica con respecto a tierra y una frecuencia a la red eléctrica por medio de la fuente de tensión AC (12),
 - medir una intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}) que fluye debido a la señal de prueba (u_P), y
 - determinar una resistencia óhmica de aislamiento (R_{iso}) a partir de la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}), en que la frecuencia de la señal de prueba (u_P) es variada,
- 10 **caracterizado porque** la frecuencia de la señal de prueba (u_P) es variada de tal modo que una parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}) mantiene un valor recomendado predeterminado para capacidades de fuga variables (C_{Ab7} , C_{Ab8}) de la red eléctrica, en que el valor recomendado - determinado como un valor efectivo relativo de la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga con relación a toda la intensidad de corriente de fuga - está en un intervalo porcentual desde 0,1% a 50%.
- 15 2. El método según la reivindicación 1, en que
- la frecuencia (f) de la señal de prueba (u_P) es variada de acuerdo con un método de seguimiento, o
 - la frecuencia (f) de la señal de prueba (u_P) es incrementada y/o reducida repetidamente sobre un intervalo extendido de frecuencias, o
 - la frecuencia (f) de la señal de prueba (u_P) es modulada continuamente.
- 20 3. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en que la amplitud de la señal de prueba (u_P) es modulada de tal modo que
- la potencia eléctrica introducida por acoplamiento por la fuente de tensión AC (12) o
 - un valor efectivo absoluto de la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}) o
 - un valor absoluto de potencia activa de la potencia eléctrica introducida por acoplamiento por la fuente de tensión AC (12) o
- 25
- un valor relativo de potencia activa de la potencia eléctrica introducida por acoplamiento por la fuente de tensión AC (12) y relacionado con todo el valor eléctrico introducido por acoplamiento por la fuente de tensión AC (12)
- es mantenido constante.
- 30 4. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 3, en que la frecuencia (f) y/o la amplitud de la señal de prueba (u_P) es modulada, y en que una correlación cruzada entre la señal de prueba (u_P) y la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}) es determinada.
5. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en que la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}) es multiplicada por una función de referencia que está en fase con la señal de prueba (u_P) y el producto es promediado
- 35
- sobre un número entero de periodos de la función de referencia para determinar la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}), y/o la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}) es multiplicada por una función de referencia adicional que tiene un desplazamiento de fase de $\pi/2$ con respecto a la señal de prueba (u_P) y el producto es promediado sobre un número entero de periodos de la función de referencia adicional para determinar una parte de corriente reactiva de la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}).
- 40 6. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en que un fallo de aislamiento es indicado si la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}) supera un valor umbral y/o si la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}) y/o la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}) muestran un cambio escalonado.
- 45 7. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en que intensidades de corriente de fuga parciales de líneas individuales de la red eléctrica, que están aisladas con una respecto a otra, son medidas y evaluadas con respecto a la localización de un fallo de aislamiento detectado.

8. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en que la fuente de tensión AC (12) está conectada a la red eléctrica por el lado de corriente DC de un inversor (3), y en que la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}) y/o intensidades de corriente de fuga parciales de líneas individuales (7, 8) de la red eléctrica

- 5 - son medidas por el lado de tensión DC de un inversor (3),
- mientras que el inversor está en operación, y
- mientras que el inversor no está en operación,
- en que opcionalmente es abierto un interruptor de un número de interruptores dispuestos en las líneas (7, 8),

10 - y son evaluadas con respecto a la localización de un fallo de aislamiento detectado.

9. Un equipo (11) para vigilar un aislamiento de una red eléctrica sin conexión a tierra, que comprende:

- una fuente de tensión AC (12) configurada para ser conectada a la red eléctrica a través de por lo menos un resistor de prueba R_K y que genera una señal de prueba (u_P) que tiene una evolución de tensión continua periódica con respecto a tierra (5) y una frecuencia,

15 - dispositivos de medida (14) que miden una intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}) que fluye debido a la señal de prueba (u_P), y

- un dispositivo de evaluación que determina una resistencia óhmica de aislamiento (R_{iso}) a partir de la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}),

en que la fuente de tensión AC (12) varía la frecuencia de la señal de prueba (u_P), **caracterizado porque** la fuente de tensión AC (12) varía la frecuencia de la señal de prueba (u_P) de tal modo que una parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}) mantiene un valor recomendado predeterminado para capacidades de fuga variables (C_{Ab7} , C_{Ab8}) de la red eléctrica, en que el valor recomendado - determinado como un valor efectivo relativo de la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga con relación a toda la intensidad de corriente de fuga - está en un intervalo porcentual desde 0,1% a 50%.

25 10. El equipo (11) según la reivindicación 15, en que

- la fuente de tensión AC (12) varía la frecuencia de la señal de prueba (u_P) de acuerdo con un método de seguimiento, o

- la fuente de tensión AC (12) incrementa y/o reduce repetidamente la frecuencia de la señal de prueba (u_P) sobre un intervalo de frecuencias, o

30 - la fuente de tensión AC (12) modula continuamente la frecuencia de la señal de prueba (u_P).

11. El equipo (11) según cualquiera de las reivindicaciones 9 y 10, en que la fuente de tensión AC (12) modula la amplitud de la señal de prueba (u_P).

12. El equipo (11) según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en que la señal de prueba (u_P) es una señal seno.

35 13. El equipo (11) según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en que el dispositivo de evaluación indica un fallo de aislamiento cuando la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}) supera un valor umbral y/o cuando la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}) y/o la parte de corriente activa de la intensidad de corriente de fuga (i_{Ab}) muestra un cambio escalonado.

40 14. El equipo (11) según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en que los dispositivos de medida (15 a 18) miden intensidades de corriente parciales que fluyen por las líneas individuales (7, 8) de la red eléctrica, que están aisladas una respecto a otra, y en que el dispositivo de evaluación evalúa las intensidades de corriente parciales con respecto a la localización de un fallo de aislamiento detectado.

15. El equipo (11) según la reivindicación 14, en que los dispositivos de medida (15 a 18) miden las intensidades de corriente parciales directamente entre la fuente de tensión AC (12) y las líneas individuales (7, 8) de la red eléctrica o indirectamente mediante tensiones eléctricas de las líneas individuales con respecto a tierra.

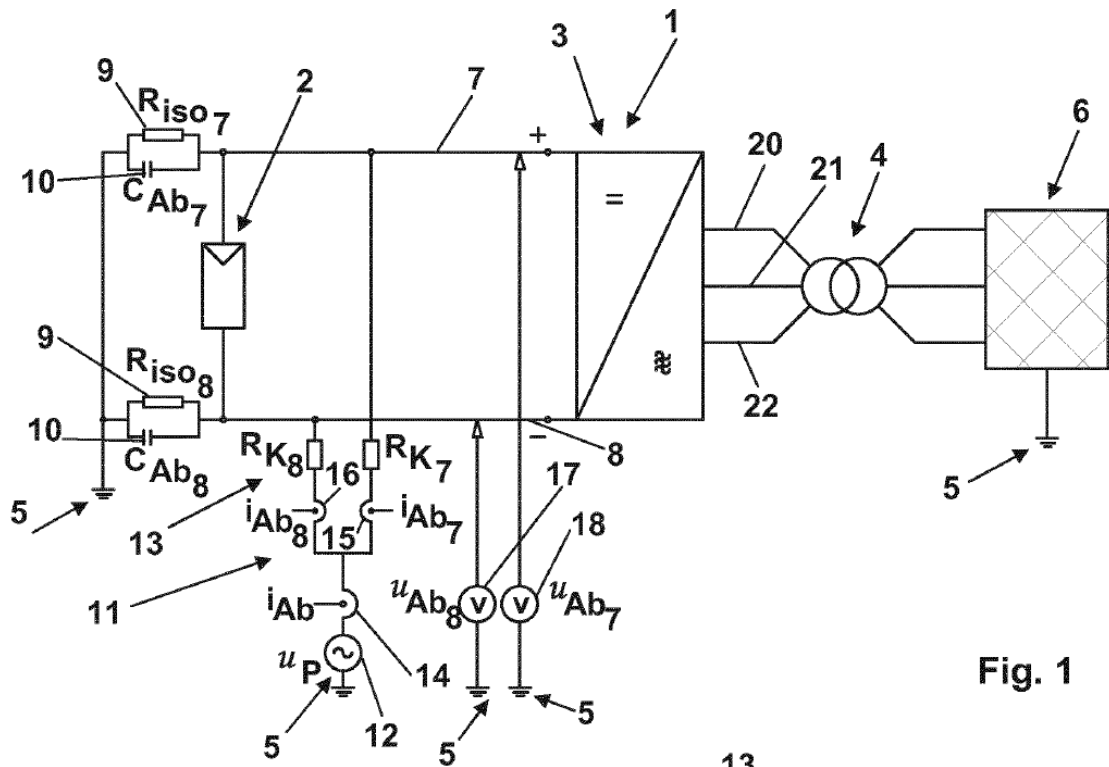


Fig. 1

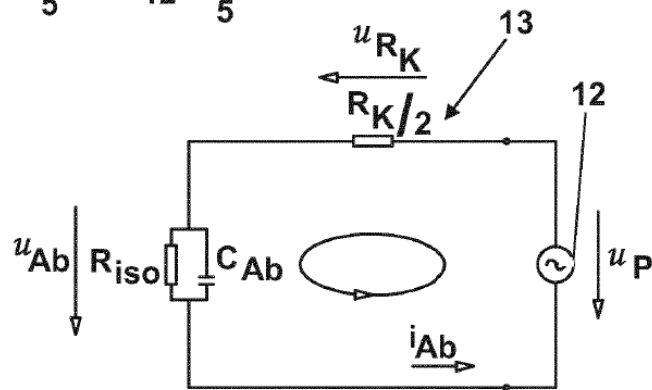


Fig. 2

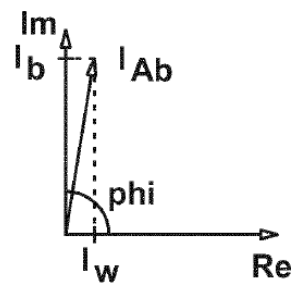


Fig. 3