

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 565 005**

51 Int. Cl.:

H02H 3/16 (2006.01)

H02H 3/33 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.03.2010 E 10158654 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.10.2015 EP 2372857**

54 Título: **Determinación de la parte de corriente de falta de una corriente diferencial**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.03.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**BETTENWORT, GERD;
BIENIEK, SEBASTIAN;
EIDENMÜLLER, LUTZ y
PRÖVE, OLAF**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 565 005 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

Determinación de la parte de corriente de falta de una corriente diferencial

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la determinación de la parte de corriente de falta de una corriente diferencial, que es detectada como suma de corriente sobre líneas que conducen la corriente de un generador de corriente alterna, con las características del preámbulo de la reivindicación independiente 1, así como a un dispositivo correspondiente para la determinación de la parte de corriente de falta de una corriente diferencial con las características del preámbulo de la reivindicación independiente 13.

10 En cuanto al generador de corriente alterna se trata en particular de uno en el que está previsto un inversor, que convierte una corriente continua, puesta a disposición por una fuente de energía eléctrica, en una corriente alterna. En cuanto a la fuente de corriente alterna puede tratarse en particular de una instalación fotovoltaica, que ya sólo debido a su extensión espacial tiene una capacidad no insignificante de fuga hacia tierra. A partir de esta corriente de fuga y a partir de desplazamientos de potencial respecto a tierra, que se producen durante el funcionamiento del inversor, resultan corrientes de fuga hacia tierra. Estas corrientes de fuga se encuentran en una corriente diferencial, que es vigilada muchas veces para un reconocimiento rápido de la aparición de corrientes de falta. Corrientes de fuga elevadas llevan sin embargo a que se reduzca la sensibilidad en el reconocimiento de corrientes de falta por vigilancia de la corriente diferencial. Por ello es de interés determinar la parte real de corriente de falta de la corriente diferencial.

20 Con la expresión "líneas que conducen la corriente del generador de corriente alterna" se hace referencia a cualquier grupo de líneas del generador de corriente alterna, que conducen conjuntamente toda la corriente del generador de corriente alterna, es decir la corriente que sale y la que retorna. Aquí puede tratarse de las líneas de salida del generador de corriente alterna, pero también de cualesquiera otras líneas en el generador de corriente alterna.

Estado de la técnica

25 Las normas VDE 0126 y VDE 0126-1-1 requieren que un inversor sea cortado de la red en función del valor efectivo de una corriente diferencial que aparece repentinamente, a través de sus conexiones a red dentro de unos tiempos de desconexión prefijados. Como ya se ha mencionado, esta corriente diferencial está compuesta además de por una corriente de falta resistiva por una corriente de fuga capacitiva adicional, que son sumadas vectorialmente para obtener la corriente diferencial. De las especificaciones de la estructura de prueba y del proceso de prueba normativos para el cumplimiento de las normas citadas se deduce que sólo un aumento repentino de la corriente de falta – también en caso de una corriente de fuga elevada existente – debe llevar a cortar de la red el inversor. La corriente diferencial es medida regularmente con un convertidor de corriente de suma, cuya señal de tensión es una medida para la corriente diferencial entre las fases y el conductor neutro del inversor. Para garantizar la detección, requerida en las citadas normas, de un salto de la corriente de falta, la corriente de falta debe ser determinada a partir de la corriente diferencial. Debido a la tendencia al desarrollo de inversores sin transformador con potencias crecientes y dimensiones más grandes de las instalaciones fotovoltaicas, aumentan las capacidades respecto a tierra y con ello las corrientes de fuga que aparecen. Empleando determinados materiales para las instalaciones fotovoltaicas se refuerza adicionalmente esta tendencia. Para la captación suficientemente sensible de un salto en la corriente de falta, la corriente de fuga debe ser por ello separada primeramente de la corriente diferencial. Además, la detección de un salto en la corriente de falta es dificultada crecientemente por el hecho de que la sensibilidad del convertidor de corriente de suma se reduce fundamentalmente por corrientes de fuga elevadas y con ello también se reduce fuertemente para corrientes de falta.

45 Para separar corrientes de fuga de la señal de tensión de un convertidor de corriente de suma es conocido definir todas las corrientes de variación lenta, que no son tenidas en cuenta por el convertidor de corriente de suma, como corrientes de fuga y compensarlas mediante un software de valoración. Los saltos de la corriente de falta que aparecen pueden ser calculados entonces vectorialmente y son detectables hasta el límite de resolución de la digitalización de la señal de tensión del convertidor de corriente de suma. En este modo de proceder, saltos en la corriente de fuga son interpretados sin embargo falsamente como corrientes de falta. Además de ello, la resolución de la digitalización limita la corriente de fuga máxima admisible, para la que son detectados aún saltos de la corriente de falta.

50 A partir del documento EP 1 229 629 A2 es conocido para la determinación de la parte de corriente de falta de una corriente diferencial filtrar con ayuda de un circuito eléctrico la corriente diferencial a través de las entradas de un inversor conectado a una instalación fotovoltaica. Especialmente, deben ser eliminados por filtrado componentes de frecuencia del inversor con frecuencias típicas de la corriente de fuga provocada por el funcionamiento del inversor, para limpiar de corriente de fuga la corriente diferencial. En particular con la limitación, llevada a cabo con ello, a dos frecuencias principales, este procedimiento conocido se revela en la práctica sin embargo como insuficiente, para suprimir efectivamente la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial.

A partir del documento EP 1 229 629 A2 son conocidos además un procedimiento y un dispositivo para la determinación de la parte de corriente de falta de una corriente diferencial con las características del preámbulo de la reivindicación independiente 1 o respectivamente de la reivindicación independiente 13. A partir de medidas de las tensiones entre las líneas de entrada del inversor y tierra, más precisamente de la parte de tensión alterna de estas tensiones, es captada la fuerza motriz de la corriente de fuga contenida en la corriente diferencial. A partir de esta señal de tensión y las capacidades de fuga conocidas es calculada la corriente de fuga y restada de la corriente diferencial, para determinar la corriente de falta. Por ejemplo, para una instalación fotovoltaica como fuente de corriente continua del generador de corriente alterna, las capacidades de fuga no son sin embargo constantes, sino que varían entre otras cosas por precipitaciones sobre los paneles fotovoltaicos. Por ello, empleando un valor constante para las capacidades de fuga no es posible determinar la corriente de fuga actual a partir de las tensiones de la línea de entrada respecto a tierra.

A partir del documento DE 198 26 410 A1 es conocido un procedimiento y una disposición para la vigilancia del aislamiento y de corrientes de falta en una red eléctrica de corriente alterna, en los cuales es captada una corriente diferencial formada por suma vectorial entre al menos dos conductores de red y en que se determinan la parte de corriente alterna de la corriente diferencial y el ángulo de fase φ que expresa la potencia activa de la parte de corriente alterna. Una desconexión de carga se produce no sólo cuando la corriente diferencial supera un determinado valor de reacción, sino también cuando el producto entre la amplitud de la parte de corriente alterna de la corriente diferencial y el coseno del ángulo de fase φ supera un determinado valor de reacción. Este documento no proporciona unas instrucciones prácticas para captar de forma sencilla toda la parte de corriente de falta de la corriente diferencial.

Tarea de la invención

La invención tiene como base la tarea de mostrar un procedimiento y un dispositivo para la determinación de la parte de corriente de falta de una corriente diferencial con las características del preámbulo de la reivindicación independiente 1 o respectivamente de la reivindicación independiente 13, con los cuales la parte de corriente de falta de la corriente diferencial, independientemente de la magnitud de un componente de corriente continua y un componente de corriente alterna de la corriente de falta y de la medida en la que varíen las capacidades de fuga relevantes, sea determinada, es decir separada de la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial.

Solución

La tarea de la invención es resuelta mediante un procedimiento para la determinación de la parte de corriente de falta de una corriente diferencial con las características de la reivindicación independiente 1 y mediante un dispositivo para la determinación de la parte de corriente de falta de una corriente diferencial con las características de la reivindicación independiente 13. Formas de realización preferidas del nuevo procedimiento y del nuevo dispositivo son definidas en las reivindicaciones dependientes.

Descripción de la invención

En la presente invención, la señal eléctrica que, debido a su dependencia de las tensiones en el generador de corriente alterna respecto a tierra, refleja la distribución de frecuencia de la fuerza motriz para la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial y que está en fase con la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial, es multiplicada, para tener en cuenta la magnitud actual de las capacidades de fuga, por un factor de escala que es ajustado continuamente, para reproducir la parte de corriente de fuga actual. Aquí, el ajuste se produce de tal modo que el valor efectivo de la corriente diferencial tenga un mínimo tras la resta de la señal eléctrica escalada para el valor actual del factor de escala. Una sobrecompensación, es decir el empleo de un factor de escala demasiado grande, que corresponde a una parte de corriente de fuga superior a la real, lleva entonces tras la resta de la señal eléctrica escalada a un valor efectivo, aumentado respecto a su mínimo, de la corriente diferencial al igual que una infracomensación, es decir el empleo de un factor de escala demasiado pequeño, que corresponde a una parte de corriente de fuga menor que la real. Dicho de otro modo, el mínimo del valor efectivo de la corriente diferencial es alcanzado tras la resta de la señal eléctrica escalada exactamente cuando el factor de escala tiene en cuenta de forma óptima las capacidades de fuga actuales. Esto tiene su base en que la parte de corriente de falta de la corriente diferencial tiene una frecuencia y/o fase distintas que la parte de corriente de fuga, y por ello al restar la señal eléctrica escalada no existe ningún riesgo de ocultar fracciones de la parte de corriente de falta. Antes bien, la parte de corriente de falta se conserva siempre al restar la señal escalada, y el valor efectivo de la corriente diferencial tras la resta de la señal eléctrica escalada depende sólo de la adecuación de la compensación de la parte de corriente de fuga.

La expresión de que la señal eléctrica es “multiplicada por un factor de escala” incluye en particular que sea amplificada linealmente – de forma analógica o digital -, en que el factor de amplificación corresponde al factor de escala. La expresión incluye sin embargo también que la señal eléctrica, tras una amplificación básica, sea detrída varias veces de la corriente diferencial durante su resta siguiente. El factor de escala resulta entonces del producto del factor de amplificación y del número de veces que se realiza la detracción.

La expresión de que la señal eléctrica escalada es “restada de la corriente diferencial” o también detraída, incluye cualquier modo de proceder en el que la corriente diferencial o un valor correspondiente a ella es reducido, de forma correcta en cuanto a fase, en la señal eléctrica multiplicada por el factor de escala conforme a la definición precedente o en un valor correspondiente a esta señal.

5 En la presente invención se prefiere que la señal eléctrica, que depende de las tensiones respecto a tierra y está en fase con la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial y que forma la base para la compensación de la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial, sea tomada directamente del generador de corriente alterna. Preferentemente, no se trata por lo tanto de una señal con las características conforme a la invención que es generada artificialmente en función de las tensiones en el generador de corriente alterna, sino de una señal que se origina en el propio generador de corriente alterna. Para que se origine directamente la señal eléctrica en el generador de corriente alterna puede ser sin embargo conveniente crear determinadas condiciones. Concretamente, la señal eléctrica puede ser generada por una corriente de fuga, que es provocada por las tensiones en el generador de corriente alterna a través de condensadores de medida hacia tierra. La señal eléctrica puede ser aquí la propia corriente de fuga que fluye. Esta corriente de fuga es una imagen de toda la parte de corriente de fuga en la corriente diferencial, es decir tiene su fase y su distribución de frecuencia, ya que para una conexión en paralelo de condensadores como los condensadores de medida a la capacidad de fuga restante, las corrientes alternas que fluyen se distribuyen entre los condensadores con igualdad de fase y de forma proporcional a sus capacidades para todas las frecuencias. La diferencia entre la pequeña capacidad de los condensadores de medida y la capacidad de fuga total mucho mayor es compensada mediante el factor de escala para la señal eléctrica, lo que corresponde a una amplificación electrónica de la capacidad de los condensadores de medida. Con una fijación conforme a la invención del factor de escala para la señal eléctrica, la corriente de fuga, multiplicada por este factor de escala, a través de los condensadores de medida hacia tierra es exactamente la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial.

25 Cuando en el generador de corriente alterna existen ya por otros motivos condensadores, a través de los que fluye hacia tierra una corriente de fuga apropiada, éstos pueden ser empleados como los condensadores de medida anteriormente indicados, de modo que para la realización de la presente invención no hay que prever condensadores de medida adicionales.

30 El proceso de restar vectorialmente la señal eléctrica, escalada, de la corriente diferencial puede producirse de modo sencillo mediante el recurso de que es conducida como corriente, por ejemplo en forma de la corriente de fuga escalada a través de los condensadores de medida, con sentido de flujo opuesto a través de un convertidor de corriente de suma que capta la corriente diferencial. Este modo de proceder, que es denominado aquí “compensación directa de corriente”, corresponde a la compensación de la parte de corriente de fuga en la corriente diferencial con ayuda de una señal desplazada 180° en fase con igual frecuencia y amplitud.

35 Ciertamente, el empleo de una corriente de fuga escalada para la compensación de la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial implica entonces también una potencia perdida no insignificante, cuando la corriente de fuga es conducida varias veces a través del convertidor de corriente de suma para la realización de un escalamiento básico. Sin embargo, es ventajoso en esta compensación directa de corriente que el convertidor de corriente de suma, independientemente de la magnitud de la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial, ya que ésta es compensada directamente, siempre opera en el mismo punto de trabajo, es decir que tampoco es afectado por partes de corriente de fuga grandes en la corriente diferencial.

40 Una potencia perdida sólo pequeña aparece en la realización de la presente invención por el contrario cuando como señal eléctrica se emplea una tensión proporcional a la corriente de fuga que fluye a través de los condensadores de medida. Esta tensión, tras su escalamiento, puede ser restada por ejemplo de una señal de tensión de un convertidor de corriente de suma que capta la corriente diferencial. También este modo de proceder, que es denominado aquí “compensación directa de tensión”, corresponde a la compensación de la parte de corriente de fuga en la corriente diferencial mediante una señal desplazada 180° en fase con igual frecuencia y amplitud. Cuando aquí se emplea como señal eléctrica una tensión, que cae en una resistencia de medida, que es atravesada por la corriente de fuga que fluye a través de los condensadores de medida hacia tierra, se entiende que la resistencia conectada en serie con los condensadores de medida sólo puede ser pequeña, para que la corriente de fuga que fluye a través de los condensadores de medida no sufra ningún filtrado indeseado de frecuencia, tras el cual ya no tendría la distribución de frecuencia de la parte de corriente de fuga en la corriente diferencial. Un pequeño error en la distribución de frecuencia de la corriente de fuga a través de los condensadores de medida respecto a la parte de corriente de fuga a compensar se demuestra insignificante, sin embargo.

55 La compensación directa de tensión antes de una digitalización de la corriente diferencial o respectivamente de su parte de corriente de fuga tiene la ventaja de que la resolución de la digitalización puede ser ajustada totalmente a la corriente de fuga. Fundamentalmente es sin embargo también posible digitalizar la señal eléctrica tras su escalamiento o también antes, y restar la señal eléctrica escalada de la corriente diferencial digitalizada. A través de ello puede reducirse el esfuerzo de hardware para la realización de la presente invención. Un rendimiento igual

requiere entonces sin embargo una resolución más alta del o respectivamente de los convertidores de analógico a digital empleados.

Se entiende que la señal eléctrica escalada conforme a la invención no está sólo en disposición de compensar la parte de corriente de fuga en la corriente diferencial, sino que documenta directamente la corriente de fuga actual.

- 5 En la forma de realización más sencilla del procedimiento conforme a la invención, la señal eléctrica es generada como señal sinusoidal con al menos una frecuencia principal de las tensiones en el generador de corriente alterna respecto a tierra. Esta señal sinusoidal es multiplicada entonces por el factor de escala para adaptar su amplitud, según el criterio conforme a la invención de que el valor efectivo de la corriente diferencial tras la resta de la señal eléctrica escalada para el valor actual del factor de escala tenga un mínimo, a la amplitud de la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial para esta frecuencia.

10 Para asegurar que la señal sinusoidal no sólo dependa, a través de sus frecuencias principales, de las tensiones en el generador de corriente alterna respecto a tierra, sino que también esté en fase con la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial, puede ser ajustada también la fase de la señal sinusoidal para cada frecuencia principal de las tensiones en el generador de corriente alterna (1) respecto a tierra (PE) a un valor para el que la magnitud de la corriente diferencial llega a un mínimo tras la resta de la señal eléctrica escalada. La necesidad de una adaptación de fase así existe sin embargo por regla general sólo una vez, es decir no continuamente como es necesaria la adaptación del factor de escala. Además de ello, desaparece la necesidad de una adaptación así de la fase de la señal eléctrica en todas las formas de realización del procedimiento conforme a la invención, en las que la señal eléctrica es generada por una corriente de fuga, que es provocada por las tensiones en el generador de corriente alterna a través de condensadores de medida hacia tierra. Esta corriente de fuga es, como ya se ha hecho notar, una imagen fiel en cuanto a frecuencia y fase de la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial, que ya sólo tiene que ser escalada en lo relativo a su amplitud, para reproducir la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial, es decir toda la corriente de fuga del generador de corriente alterna.

15 El ajuste continuo conforme a la invención del factor de escala puede llevarse a cabo mediante un procedimiento de seguimiento. Aquí, el factor de escala es variado en pequeños pasos, y son observadas las modificaciones que aparecen con ello del valor efectivo de la corriente diferencial, de la que ha sido restada la señal eléctrica escalada. Cuando el valor efectivo baja, el factor de escala es modificado otra vez en el mismo sentido y se comprueba qué efecto tiene esto sobre el valor efectivo de la corriente diferencial. Se sigue avanzando en este sentido hasta que el valor efectivo crece. Entonces puede ser desechada la modificación, llevada a cabo a modo de prueba, del factor de escala. Como mínimo es invertido el sentido de la modificación del factor de escala. Cuando con el factor de escala se halla el mínimo de la corriente diferencial efectiva, el factor de escala permanece constante u oscila sólo mínimamente. Se entiende que un procedimiento de seguimiento así es ajustable tanto en lo referente a la secuencia temporal de los pasos de seguimiento como en lo referente al alcance de los pasos de seguimiento, y es optimizable de este modo. Ha demostrado ser conveniente que una corriente de falta que aparece deje aumentar el valor efectivo de la corriente diferencial independientemente del sentido de variación de factor de escala y congele a este respecto el factor de escala. El procedimiento de seguimiento no perturba con ello la captación sensible de una corriente de falta. Sin embargo, es posible sin más llevar a cabo el procedimiento de seguimiento con pasos suficientemente grandes que se suceden tan rápidamente que todas las variaciones reales de las capacidades de fuga del generador de corriente alterna son representadas de forma suficientemente rápida como para no deducir erróneamente la aparición de una corriente de falta.

20 En el nuevo procedimiento se prefiere que la detección de la corriente diferencial, tal como es habitual en la vigilancia de generadores de corriente alterna con un inversor, se produzca por las salidas del inversor del generador de corriente alterna, mientras que se tienen en cuenta las tensiones que aparecen en las entradas del inversor respecto a tierra. Esto significa que los condensadores de medida conforme a la invención para la generación de una corriente de fuga, como base para la señal eléctrica para la compensación de la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial, son conectados preferentemente a las líneas de entrada del inversor.

25 El dispositivo conforme a la invención incluye una disposición de escalamiento, que multiplica la señal eléctrica, antes de restarla de la corriente diferencial, por el factor de escala, ajustando el factor de escala para la señal eléctrica continuamente de tal modo que el valor efectivo de la corriente diferencial tras la resta de la señal eléctrica escalada tenga un mínimo para el valor actual del factor de escala. En este punto hay que hacer notar que para el dispositivo conforme a la invención es suficiente, al igual que para el procedimiento conforme a la invención, que el valor del factor de escala alcance esencialmente el mínimo correspondiente del valor efectivo de la corriente diferencial. Así son insignificantes desviaciones incluso de algunos pasos de un procedimiento de seguimiento para el ajuste del factor de escala, ya que para pasos de seguimiento suficientemente pequeños el error restante se mantiene bajo, al oscilar en cualquier caso el factor de escala que corresponde exactamente al mínimo absoluto actual del valor efectivo de la corriente diferencial.

30 Con respecto a otras particularidades del dispositivo conforme a la invención, se hace referencia a la descripción del procedimiento conforme a la invención.

Otros perfeccionamientos de la invención resultan de las reivindicaciones, la descripción y los dibujos. Las ventajas, citadas en la introducción de la descripción, de características y de combinaciones de varias características están simplemente a modo de ejemplo y pueden llevarse a cabo alternativa o acumulativamente, sin que las ventajas tengan que ser conseguidas forzosamente a partir de formas de realización conforme a la invención. Otras características pueden deducirse de los dibujos – en particular de las geometrías representadas y de las dimensiones relativas de varios componentes entre sí así como de su disposición relativa y conexión operativa -. La combinación de características de formas de realización diferentes de la invención o de características de reivindicaciones diferentes es posible igualmente desviándose de las relaciones de dependencia seleccionadas de las reivindicaciones, y es incentivada aquí. Esto se refiere también a aquellas características que están representadas en dibujos separados o son citadas en su descripción. Estas características pueden ser combinadas también con características de diferentes reivindicaciones. Igualmente, características expuestas en las reivindicaciones pueden eliminarse para otras formas de realización de la invención.

Breve descripción de las figuras

En lo que sigue, la invención es explicada y descrita más detalladamente con ayuda de ejemplos de realización con referencia a los dibujos adjuntos.

- La figura 1 muestra un generador de corriente alterna con una instalación fotovoltaica y un inversor, en que se esbozan los motivos para una corriente diferencial que aparece a través de las salidas del inversor.
- La figura 2 ilustra la composición vectorial de la corriente diferencial a partir de una corriente de falta y una corriente de fuga.
- 20 La figura 3 aclara una primera forma de realización del procedimiento conforme a la invención, en la que se produce una compensación directa de corriente de la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial en un convertidor de corriente de suma.
- La figura 4 aclara una forma de realización del procedimiento conforme a la invención, en la que se produce una compensación directa de tensión de una tensión provocada por la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial en un convertidor de corriente de suma.
- 25 La figura 5 aclara una compensación asistida por software de la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial.
- La figura 6 aclara la compensación de la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial con una señal sinusoidal; y
- 30 la figura 7 esboza un procedimiento de seguimiento para el ajuste continuo de un factor de escala para una señal eléctrica para llevar a cabo las diversas compensaciones conforme a la invención de la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial.

Descripción de las figuras

El generador de corriente alterna 1 esbozado en la **figura 1** tiene como fuente de corriente continua una instalación fotovoltaica 2 y un inversor 3 que convierte la corriente continua de la instalación fotovoltaica 2 en una corriente alterna. El generador de corriente alterna 1 suministra corriente a una red de corriente alterna 4 a través del inversor 3. Aquí, una corriente diferencial, que aparece a través de las salidas del inversor 3, aquí unifásico, es decir a través de la fase L y el conductor neutro N, es captada con un convertidor de corriente de suma 5. Alternativamente, la corriente diferencial podría ser captada también a través de las líneas de entrada 29 y 30 del inversor 3, en las cuales están aplicadas las tensiones de salida U_{PV+} y U_{PV-} de la instalación fotovoltaica 2, como se indica mediante otro convertidor de corriente de suma 5' representado en línea discontinua. Una corriente diferencial así tiene esencialmente dos causas. Por un lado una corriente de fuga, que tiene como base las capacidades de fuga 6 y 7 de la instalación fotovoltaica 2 respecto a tierra, las cuales están indicadas en la figura 1 entre las entradas del inversor 3 para U_{PV+} y U_{PV-} y el potencial de tierra PE. A ello se añade una parte de corriente de falta de la corriente diferencial, que en la figura 1 por resistencias 8 y 9 entre las entradas del inversor 3 y el potencial de tierra PE, que representan las resistencias del aislamiento de estas entradas. Para un aislamiento intacto, las resistencias 8 y 9 son muy grandes, y correspondientemente es pequeña la parte de corriente de falta de la corriente diferencial. Un aumento de la parte de corriente de falta de la corriente diferencial está ligado a un error de aislamiento. Un aumento así debe ser detectado, ya que cada fallo de aislamiento representa una fuente de riesgo. La detección del aumento de la parte de corriente de falta de la corriente diferencial debe producirse también de forma fiable cuando se produce en presencia de una parte elevada de corriente de fuga de la corriente diferencial, que no indica ningún estado de fallo.

La **figura 2** esboza la composición de la corriente diferencial DI a partir de la parte de corriente de falta FI y la parte de corriente de fuga AI, en que la parte de corriente de falta FI y la parte de corriente de fuga AI se suman

vectorialmente formando la corriente diferencial DI, ya que la parte de corriente de falta FI es una corriente resistiva y la parte de corriente de fuga AI es una corriente capacitiva. A partir de la figura 2 resulta que al aumentar la parte de corriente de fuga AI, un aumento de la parte de corriente de falta FI en un determinado valor tiene un efecto cada vez menor sobre el valor de la corriente diferencial DI y con ello sobre su valor efectivo. Es por ello de interés para la observación de la parte de corriente de falta FI separar la parte de corriente de fuga AI de la corriente diferencial DI o compensarla en la corriente diferencial DI.

Para este fin sirve el dispositivo 10 esbozado en la **figura 3** para la determinación de la parte de corriente de fuga de la corriente diferencial. En paralelo a las capacidades 6 y 7 conforme a la figura 1 están conectados condensadores de medida 11 y 12, y una corriente que fluye a través de estos condensadores 11 y 12 hacia tierra (potencial de tierra) PE es medida con un amperímetro 13. El valor del amperímetro es multiplicado en una disposición de escalamiento 14 mediante multiplicación por un factor de escala, para tener en cuenta que los condensadores de medida 11 y 12 sólo representan una fracción de todas las capacidades de fuga de la instalación fotovoltaica 2 conforme a la figura 1 y así sólo fluye a través de ellos una fracción de toda la parte de corriente de fuga AI. La corriente amplificada es guiada entonces en sentido opuesto a los conductores L y N a través del convertidor de corriente de suma 5, de modo que es detrída directamente de la corriente diferencial entre el conductor L y el conductor neutro. Los diversos arrollamientos en torno al convertidor de corriente de suma 5 del conductor 15 que conduce la corriente amplificada provocan aquí un escalamiento hacia arriba de la corriente amplificada, que entra en el factor de escala eficaz de una señal eléctrica escalada 28. La corriente amplificada fluye por último a través de una resistencia hacia el potencial de tierra PE. La corriente diferencial DI captada por el convertidor de corriente de suma 5 está esencialmente liberado de la parte de corriente de fuga AI y corresponde por ello a su parte de corriente de falta FI. Esto es válido sin embargo sólo cuando el factor de escala, por el que la disposición de escalamiento 14 multiplica la corriente de fuga que es medida por el amperímetro 13, está fijado correctamente de forma correspondiente a la magnitud actual de las capacidades de fuga. Para esta fijación correcta del factor de escala, la corriente diferencial captada por el convertidor de corriente de suma 5 tiene un mínimo de su valor efectivo. Correspondientemente, un sistema lógico 16 modifica continuamente el factor de escala de tal modo que el valor efectivo de la corriente diferencial alcanza un mínimo. De este modo es compensada automáticamente cualquier variación de las capacidades de fuga de la instalación fotovoltaica 2 conforme a la figura 1 debida a precipitación, desgaste o similares.

En una modificación del dispositivo 10 conforme a la figura 3, la disposición de escalamiento 14 puede amplificar también directamente la corriente de fuga que fluye a través de los condensadores de medida 11 y 12 hacia el potencial de tierra PE y conducirla luego al convertidor de corriente de suma 5.

Mientras que conforme a la figura 3 una compensación directa de la parte de corriente de fuga AI de la corriente diferencial DI se produce mediante una corriente a través del convertidor de corriente de suma 5, conforme a la **figura 4** una compensación de la parte de corriente de fuga AI se produce a través de una tensión. Ésta es realizada aquí mediante el recurso de que la tensión que cae a través de una resistencia de medida 17, debido a la corriente de fuga que fluye a través de los condensadores de medida 11 y 12 hacia el potencial de tierra, es captada con un voltímetro 18. Esta tensión es multiplicada mediante la disposición de escalamiento 14 por el factor de escala y como señal eléctrica escalada 28 es restada luego en un nudo de resta 19 de la señal de tensión del convertidor de corriente de suma 5. También en este caso, para un factor de escala óptimamente ajustado, al sistema lógico 16 sólo llega la parte de corriente de falta FI de la corriente diferencial DI, y mediante minimización del valor efectivo de esta corriente diferencial DI reducida a la parte de corriente de falta FI puede optimizarse el ajuste del factor de escala.

Conforme a la **figura 5**, la señal del dispositivo de medida 13 es conducida directamente al sistema lógico 16, que la digitaliza y escala de modo adecuado, para restarla de la señal digitalizada del convertidor de corriente de suma 5. También aquí es seleccionado el factor de escala de tal modo que el valor efectivo de la corriente diferencial DI restante, que corresponde a su parte de corriente de falta FI, alcanza un mínimo.

La ventaja de las formas de realización del dispositivo 10 conforme a las figuras 3 a 5 estriba en que mediante la corriente de fuga a través de los condensadores de medida 11 y 12 hacia potencial de tierra o mediante las tensiones provocadas por ello está a disposición una señal eléctrica que tiene la misma fase y distribución de frecuencia que la parte de corriente de fuga AI de la corriente diferencial DI. La corriente de fuga a través de los condensadores de medida 11 y 12 se diferencia de la parte de corriente de fuga AI de la corriente diferencial DI sólo en lo relativo a su amplitud. Ésta puede ser adaptada sin embargo con ayuda del factor de escala, que satisface el criterio de minimización del valor efectivo de la corriente diferencial DI tras restar la corriente de fuga escalada. Esto es válido independientemente de qué partes de frecuencia tenga la corriente de fuga para el modo de operación actual del inversor 3 conforme a la figura 1 o debido a otros factores de influencia.

La **figura 6** esboza la compensación de sólo un componente principal de la parte de corriente de fuga AI en la corriente diferencial DI mediante una señal sinusoidal generada por un generador sinusoidal 20 con una frecuencia principal de la corriente de fuga. Aquí, el sistema lógico 16 lleva a cabo una minimización del valor efectivo de la corriente diferencial DI restante tras el nudo de resta 19, adaptando tanto la amplitud como la fase de la señal

sinusoidal. Cuando la corriente de fuga tiene esencialmente una frecuencia, de este modo puede reducirse la parte de corriente de fuga AI en la corriente diferencial DI de modo práctico.

La **figura 7** esboza un procedimiento de seguimiento para la fijación del factor de escala óptimo, en el que el valor efectivo de la corriente diferencial DI alcanza un mínimo. Aquí, con línea continua entre la disposición de escalamiento 14 y el convertidor de corriente de suma 5 está indicado el caso de la compensación directa de corriente (conforme a la figura 3) y con línea discontinua hacia el nudo de resta 19 está indicado el caso de la compensación directa de tensión (conforme a la figura 4). El sistema lógico 16 comprende aquí primeramente un formador de valores efectivos 21, a cuya salida está conectada una etapa de muestreo y retención (*sample&hold*) 22. Esta etapa de muestreo y retención 22 permite comparar el valor efectivo actual de la corriente diferencial DI con un valor efectivo previo. Si la variación del valor efectivo es negativa, es decir se observa una disminución del valor efectivo de la corriente diferencial, el procedimiento de seguimiento se aproxima al valor efectivo mínimo de la corriente diferencial, y el integrador 25 que determina la amplitud de la señal de compensación retroacoplada conserva su sentido. Si la variación del valor efectivo determinada por el comparador 23 es positiva, es decir el valor efectivo ha aumentado en comparación con el valor efectivo más antiguo, el procedimiento de seguimiento se aleja del mínimo deseado. Para contrarrestar esta tendencia, es variado el sentido de integración del integrador 25 por conmutación de un circuito biestable JK 24. Un factor de escala que ha aumentado anteriormente disminuye, un factor de escala que ha disminuido anteriormente aumenta. En el estado estacionario, el factor de escala oscila dentro de límites estrechos, de forma que el valor efectivo, dependiente de él, de la corriente diferencial oscila en torno a su mínimo. Para fijar el comportamiento temporal del procedimiento de seguimiento conforme a la figura 7, pueden ser adaptados los siguientes parámetros:

- a) la constante temporal de la formación de valor efectivo en el formador de valor efectivo 21;
- b) una temporización 26, que es suministrada a la etapa de muestreo y retención 22 y al circuito biestable JK 24, y
- c) una constante temporal de integración del integrador 25,

en que estos parámetros determinan conjuntamente la frecuencia de paso de seguimiento y el alcance de paso de seguimiento del procedimiento de seguimiento.

Lista de números de referencia

1	Generador de corriente alterna
2	Instalación fotovoltaica
30 3	Inversor
4	Red
5	Convertidor de corriente de suma
6	Capacidad de fuga
7	Capacidad de fuga
35 8	Resistencia de aislamiento
9	Resistencia de aislamiento
10	Dispositivo
11	Condensador de medida
12	Condensador de medida
40 13	Amperímetro
14	Disposición de escalamiento
15	Conductor
16	Sistema lógico
17	Resistencia de medida
45 18	Voltímetro

	19	Nodo de resta
	20	Generador sinusoidal
	21	Formador de valor efectivo
	22	Etapas de muestreo y retención
5	23	Comparador
	24	Circuito biestable JK
	25	Integrador
	26	Temporización
	27	Señal eléctrica
10	28	Señal eléctrica escalada
	29	Línea de entrada
	30	Línea de entrada
	DI	Corriente diferencial
	AI	Parte de corriente de fuga
15	FI	Parte de corriente de falta
	U_{PV+}	Tensión de salida positiva
	U_{PV-}	Tensión de salida negativa
	PE	Potencial de tierra
	L	Fase
20	N	Conductor neutro

25

30

35

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la determinación de una parte de corriente de falta (FI) de una corriente diferencial (DI), en que la corriente diferencial (DI) es captada como suma de corriente sobre líneas (L, N; 29, 30) que conducen la corriente de un generador de corriente alterna (1), en que una señal eléctrica (27), que depende de las tensiones en el generador de corriente alterna (1) respecto a tierra (PE) y está en fase con una parte de corriente de fuga (AI) de la corriente diferencial (DI), es generada y restada de la corriente diferencial (DI), **caracterizado porque** la señal eléctrica (27) es multiplicada antes de restarla de la corriente diferencial (DI) por un factor de escala, en que el factor de escala es ajustado continuamente de tal modo que el valor efectivo de la corriente diferencial (DI), tras restar la señal eléctrica escalada (28), tiene un mínimo para el valor actual del factor de escala.
- 5 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la señal eléctrica (27) dependiente de las tensiones respecto a tierra (PE) es tomada en el generador de corriente alterna (1).
3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado porque** la señal eléctrica (27) es generada por una corriente de fuga, que es provocada por las tensiones en el generador de corriente alterna (1) a través de condensadores de medida (11, 12) hacia tierra (PE).
- 15 4. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque** la señal eléctrica (27) es la corriente de fuga que fluye.
5. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones precedentes 1 a 4, **caracterizado porque** la señal eléctrica escalada (28) es restada de la corriente diferencial (DI) con un convertidor de corriente de suma (5) que capta la corriente diferencial (DI).
- 20 6. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque** la señal eléctrica (27) es una tensión proporcional a la corriente de fuga que fluye.
7. Procedimiento según la reivindicación 6, **caracterizado porque** la señal eléctrica escalada (28) es restada de una señal de tensión de un convertidor de corriente de suma (5) que capta la corriente diferencial (DI).
8. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones precedentes 1 a 4, 6 y 7, **caracterizado porque** la señal eléctrica (27) es digitalizada antes o después de la multiplicación por el factor de escala y la señal eléctrica escalada digitalizada (28) es restada de la corriente diferencial digitalizada (DI).
- 25 9. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la señal eléctrica (27) es generada como señal sinusoidal con al menos una frecuencia principal de las tensiones en el generador de corriente alterna (1) respecto a tierra (PE), en que opcionalmente la fase de la señal sinusoidal para cada frecuencia principal de las tensiones en el generador de corriente alterna (1) respecto a tierra (PE) es ajustada a un valor para el que el valor efectivo de la corriente diferencial (DI) alcanza un mínimo tras la resta de la señal eléctrica escalada (28).
- 30 10. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** son reproducidas variaciones de una capacidad de fuga (6, 7) del generador de corriente alterna (1).
11. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el factor de escala es ajustado continuamente según un procedimiento de seguimiento.
- 35 12. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** se tienen en cuenta las tensiones en el generador de corriente alterna (1) respecto a tierra (PE) antes y la corriente diferencial (DI) después de un inversor (3) del generador de corriente alterna (1).
13. Dispositivo (10) para la determinación de la parte de corriente de falta (FI) de una corriente diferencial (DI), con un convertidor de corriente de suma (5), que capta la corriente diferencial (DI) como suma de corriente sobre todas las líneas (L, N) que conducen la corriente de un generador de corriente alterna (1), con una disposición de compensación, que genera una señal eléctrica (27), que depende de tensiones en el generador de corriente alterna (1) respecto a tierra (PE) y está en fase con una parte de corriente de fuga (AI) de la corriente diferencial (DI), y la resta de la corriente diferencial (DI), **caracterizado porque** la disposición de compensación incluye una disposición de escalamiento (14), que multiplica la señal eléctrica (27) antes de restarla de la corriente diferencial (DI) por un factor de escala, en que esta disposición ajusta continuamente el factor de escala de tal modo que el valor efectivo de la corriente diferencial (DI) tras la resta de la señal eléctrica escalada (28) tiene un mínimo para el valor actual del factor de escala.
- 40 45 14. Dispositivo según la reivindicación 13, **caracterizado porque** están previstos condensadores de medida (11 y 12) entre el generador de corriente alterna (1) y tierra (PE).
- 50 15. Dispositivo según la reivindicación 14, **caracterizado porque** la disposición de escalamiento (14) escala una tensión que cae en una resistencia de medida (17), que es atravesada por una corriente de fuga que fluye a través

de los condensadores de medida (11 y 12) hacia tierra (PE), y porque la disposición de compensación resta la tensión escalada de una señal de tensión del convertidor de corriente de suma (5).

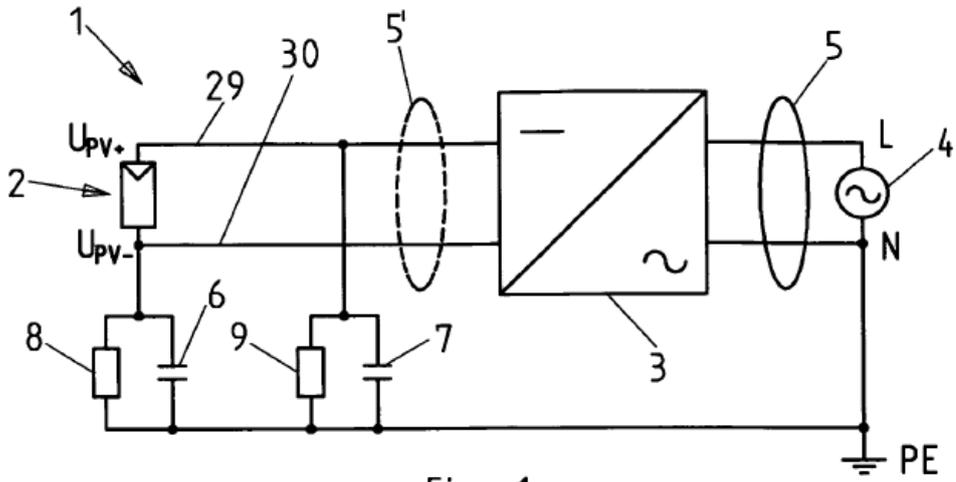


Fig. 1

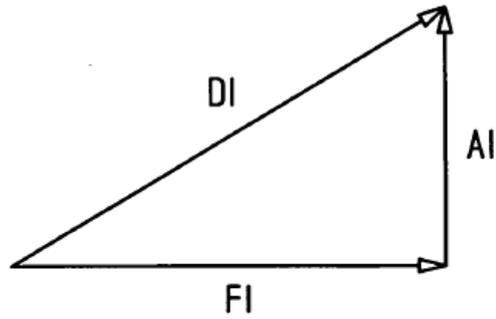


Fig. 2

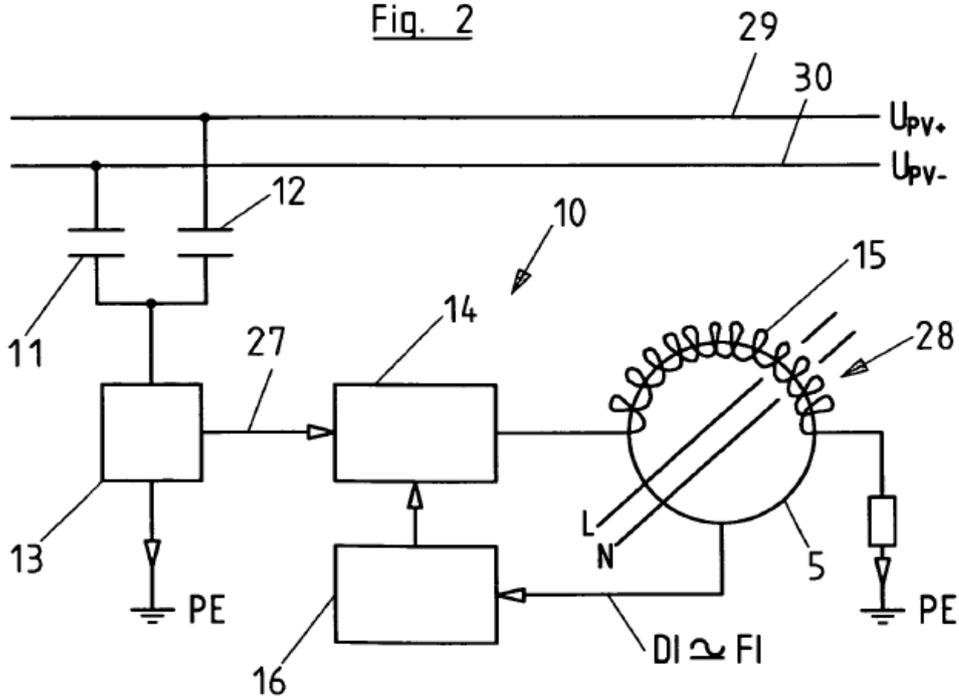


Fig. 3

