

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 527 350**

51 Int. Cl.:

**H02H 9/08** (2006.01)

**H02J 3/26** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.07.2010 E 10798722 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.10.2014 EP 2599180**

54 Título: **Aparato que compensa corrientes a tierra conectado a conductores de fase de un sistema de distribución**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**22.01.2015**

73 Titular/es:

**ZÁPADOCESKÁ UNIVERZITA V PLZNI (100.0%)  
Univerzitní 8  
30614 Plzen, CZ**

72 Inventor/es:

**PEROUTKA, ZDENEK y  
MATULJAK, IVAN**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

**ES 2 527 350 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

Aparato que compensa corrientes a tierra conectado a conductores de fase de un sistema de distribución

5 **Campo técnico**

La invención se refiere a un aparato conectado a los conductores de fase de un sistema de distribución utilizado para la compensación de corrientes de defecto a tierra. Especialmente, está dirigida a la compensación de corrientes de defecto en el punto en el que existe un contacto accidental con tierra en un sistema de distribución.

10

**Antecedentes y sumario de la invención**

La solución actual emplea un reactor de puesta a tierra neutro, continuamente sintonizable, conectado entre medias del punto neutro del transformador y el potencial de tierra, para compensar la corriente capacitiva de defecto mientras se presenta un contacto accidental con tierra (la llamada falta a tierra). Si el sistema de distribución está aislado, es decir, un transformador no tiene el terminal de punto neutro y se requiere la compensación de corrientes de defecto, se debe usar un dispositivo para crear el punto neutro artificial. Esto significa utilizar el llamado transformador de puesta a tierra o transformador de Bauch con un reactor de puesta a tierra sintonizable conectado al bobinado secundario de este transformador. Dicho reactor de puesta a tierra se sintoniza en resonancia con la capacidad total del sistema de distribución y compensa la corriente capacitiva de dicho sistema de distribución mientras exista una falta a tierra. Las compensaciones de la corriente de defecto (de resistencia) activa están basadas en el principio de la inyección de corriente en un bobinado auxiliar del reactor de puesta a tierra. Estos sistemas se denominan también compensadores de corriente residual (RCC). Una de las posibles soluciones para la compensación de una corriente residual bajo una condición de defecto monofásica a tierra se presentó en el artículo de Winter, K. M., "Swedish distribution networks - A new method for earth fault protection in cable - and overhead systems", en la FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON DEVELOPMENTS IN POWER SYSTEM PROTECTION, IEE, Londres, Reino Unido, 1 de enero de 1993 (01-01-1993), págs. 268-270, XP006514559, ISBN: 978-0-85296-559-7. El aparato consiste en una bobina apagadora del arco conectada entre el punto neutro del transformador y tierra, y un convertidor electrónico de potencia que funciona como el RCC, que está conectado en el bobinado auxiliar de la bobina apagadora del arco. La mayor parte de la corriente de defecto a tierra de frecuencia fundamental se elimina usando una bobina apagadora del arco. El RCC es responsable de la reducción o atenuación de la corriente residual, que está compuesta por una corriente de defecto reactiva descompensada de frecuencia fundamental, una corriente de defecto activa, así como de armónicos de orden superior de la corriente de defecto. El RCC conocido requiere la medición de las admitancias en todas las líneas de alimentación. Esto puede ser una tarea muy complicada, especialmente en subestaciones que tienen funcionando un número enorme de líneas de alimentación. La desventaja general de estos sistemas es su gran consumo eléctrico, lo que requiere su propio suministro de energía (requiere usualmente la conexión de estos sistemas a un suministro de autoconsumo de la subestación).

La compensación de la asimetría de fase del sistema de distribución se realiza indirectamente insertando una resistencia amortiguadora en un bobinado auxiliar del reactor de tierra. Es importante resaltar que la resistencia insertada aumenta la componente activa de la corriente de defecto si se presenta una falta a tierra (es decir, un contacto de fase única con tierra). La resistencia amortiguadora no está construida para la carga permanente durante el contacto de fase única con tierra y, por lo tanto, debe estar desconectada. La compensación de la asimetría de fase en el sistema de distribución se realiza también directamente insertando una inductancia o capacitancia variable de puesta a tierra entre medias de cada fase de una rejilla de potencia y el punto de potencial de tierra. Sintonizando las reactancias de puesta a tierra en resonancia con cada componente capacitiva de fase, el sistema compensa la corriente capacitiva de defecto. La compensación de la componente activa de corriente se realiza en un estado de defecto mediante la sintonización apropiada de las reactancias de puesta a tierra de las fases que no están afectadas por la falta.

Durante los años anteriores, los llamados filtros activos, a veces denominados también acondicionadores de potencia, se han utilizado ampliamente para la compensación de armónicos de un sistema de distribución, así como para la compensación de una potencia reactiva. El filtro activo está conectado entre medias de las fases del sistema de distribución, pero no está conectado al potencial de tierra. Este equipo no puede compensar las corrientes de defecto a tierra en el punto de contacto con tierra en el sistema de distribución, ni compensar la asimetría de fase en un estado sin averías del sistema de distribución. El documento EP 1855366 A2 describe un filtro determinado para la compensación de una corriente de defecto a tierra durante una falta monofásica a tierra que está conectada a través de, al menos, tres interruptores manuales o automáticos entre los conductores de fase y tierra. Los interruptores aseguran que, durante la falta a tierra, la fase en falta está conectada al filtro. El filtro puede ser un dispositivo pasivo o activo (convertidor de potencia). La solución descrita requiere que la bobina apagadora del arco esté conectada al punto neutro del transformador o a un nodo neutro artificial. El filtro pasivo está diseñado como un circuito (LC) resonante. El filtro "activo" está resuelto como un convertidor de potencia compuesto por fuentes de tres voltajes con magnitud y frecuencia de voltaje controladas. El inconveniente del filtro activo en el documento EP 1855366 A2 es que el control del aparato debe identificar la fase en la que se presenta la falta de fase a tierra. A continuación, la fuente de voltaje apropiada se conecta a través de uno de los interruptores a la fase en falta. La

65

corriente compensadora se controla de modo indirecto, es decir, la cantidad controlada del convertidor es el voltaje de salida.

5 Los presentes métodos y dispositivos utilizados para la compensación de corrientes de defecto a tierra se basan usualmente en los métodos de resonancia anteriormente mencionados. En estados (límite) de falta, este principio de resonancia (más exactamente resonancia) puede causar sobrecorrientes y sobrevoltajes muy peligrosos en el sistema de distribución. Una seria desventaja de los dispositivos existentes para la compensación de corrientes de defecto a tierra es su incapacidad para eliminar los armónicos de orden superior de las corrientes de defecto. En caso de falta a tierra, se suprime el primer armónico de la corriente de defecto a tierra, no obstante, los armónicos de orden superior de la corriente de defecto a tierra circulan permanentemente a través del punto de contacto con tierra y usualmente no son insignificantes. Otras desventajas de algunas de las presentes soluciones equivalentes desde un punto de vista cualitativo son sus dimensiones y su peso, así como su precio en un amplio intervalo de potencias.

15 El objetivo principal de esta invención es crear un nuevo equipo que acabe con las desventajas de las presentes soluciones y, al mismo tiempo, descubrir tantas funciones como sea posible que podrían ser realizadas por este nuevo dispositivo.

20 Una solución que cumple el objetivo es un aparato, como se define en la reivindicación 1, para compensar corrientes de defecto a tierra, que está conectado a los conductores de fase de un sistema de distribución. Está basado en la inserción de una fuente de corriente controlada entre medias de los conductores de fase del sistema de distribución y el potencial de tierra, en primer lugar para la compensación de corrientes de defecto a tierra y para la compensación de armónicos de orden superior en el punto de falta a tierra, y para eliminar también la asimetría de fase en un estado sin averías del sistema de distribución, así como para la compensación de los armónicos de orden superior del sistema de distribución y para la compensación de la potencia reactiva del sistema de distribución.

25 La ventaja principal de la invención consiste en el hecho de que se puede sintonizar continuamente una fuente de corriente controlada, lo que permite generar una curva prácticamente arbitraria de las corrientes, con una magnitud variable del armónico fundamental, así como de los armónicos de orden superior, y también un desfase variable para cada componente armónica. Mediante corrientes compensadoras, la fuente de corriente controlada tiene un efecto contrario directo en las corrientes de defecto a tierra en el punto de contacto con tierra. Una ventaja significativa de la invención es la posibilidad de compensación no solamente del armónico fundamental de la corriente de defecto sino también de sus armónicos de orden superior.

35 Una fuente de corriente controlada se puede crear mediante un convertidor electrónico de potencia polifásico o puede estar compuesta por convertidores electrónicos de potencia monofásicos.

40 Un inversor de la fuente de voltaje se puede usar como la fuente de corriente controlada. Dicho inversor puede estar conectado directamente en su lado de corriente alterna, a través de inductores de entrada, a los conductores de fase del sistema de distribución y al potencial de tierra. El inversor de la fuente de voltaje puede estar también conectado a los conductores de fase del sistema de distribución a través de un transformador del convertidor. El inversor de la fuente de voltaje debe estar completado por un bucle de control de la corriente en su lado de corriente alterna.

45 Un inversor de la fuente de corriente se puede usar también como la fuente de corriente controlada. Dicho inversor puede estar conectado directamente en su lado de corriente alterna, a través de inductores de entrada, a los conductores de fase del sistema de distribución y al potencial de tierra. Es necesario incluir condensadores en los terminales de corriente alterna del inversor de la fuente de corriente. El inversor de la fuente de corriente puede estar también conectado a los conductores de fase del sistema de distribución a través de un transformador del convertidor. De nuevo, es necesario completar esta conexión con condensadores en los terminales de corriente alterna del inversor de la fuente de corriente. El inversor de la fuente de corriente debe estar completado por un bucle de control de la corriente en su lado de corriente alterna.

50 Un convertidor de frecuencias se puede usar también como la fuente de corriente controlada. Un convertidor de frecuencias indirecto se puede usar para las funciones deseadas de la invención, con un inversor de la fuente de voltaje en su salida o con un inversor de la fuente de corriente en su salida. La conexión del convertidor de potencia a los conductores de fase del sistema de distribución y al potencial de tierra depende del tipo de inversor empleado. Esto se ha descrito anteriormente, incluyendo el bucle de control cerrado de la corriente. La parte de entrada del convertidor de frecuencias debe estar conectada al suministro de energía, por ejemplo, puede estar conectada, a través de un transformador del convertidor de entrada, al suministro de autoconsumo de la subestación.

60 Considerando el estado de la técnica en la tecnología electrónica de potencia, una fuente de corriente controlada basada en el inversor de la fuente de voltaje o un convertidor de frecuencias indirecto con un inversor de la fuente de voltaje parece ser la solución óptima.

65 Es evidente que la consideración de los componentes particulares anteriormente mencionados, que constituyen una fuente de corriente controlada, no es completa. Bajo ciertas condiciones, esta tarea se puede realizar, por ejemplo, mediante un rectificador de la fuente de voltaje activa, un rectificador de la fuente de corriente activa, un convertidor

de frecuencias directo o un convertidor matricial.

**Breve descripción de los dibujos**

5 La invención se explica adicionalmente en los dibujos. La figura 1 muestra un diagrama de la circuitería del equipo en base a la invención, la figura 2 muestra un diagrama vectorial que describe un método para la compensación de corrientes de defecto a tierra y la figura 3 presenta un diagrama vectorial que describe una compensación de la asimetría de fase durante un estado sin averías del sistema de distribución.

**10 Descripción de la realización preferida**

La figura 1 presenta una versión de la invención con una fuente de corriente controlada 1, conectada entre medias de cada fase del sistema de distribución y el potencial de tierra. Se pueden ver tres impedancias 4 de los conductores de fase del sistema de distribución contra el potencial de tierra y un transformador 3. Las corrientes de defecto que circulan en un circuito durante una falta a tierra 2 están indicadas por 5, 6 y 7, respectivamente.

Una fuente de corriente controlada 1 se crea usando convertidores electrónicos de potencia monofásicos (en el texto que sigue denominados también PEC). Una fuente de corriente controlada 1 se puede realizar también usando convertidores electrónicos de potencia polifásicos. Una fuente de corriente controlada 1 puede generar una curva de corriente arbitraria de una magnitud variable del armónico fundamental, así como de los armónicos de orden superior, y también un desfase variable para cada componente armónica.

Una corriente de defecto 7 se identifica durante una falta a tierra 2 que se presenta en una de las fases del sistema de distribución. La corriente 7 estimada sirve como orden para un bucle de control de corriente del PEC. Una fuente de corriente 1 genera una corriente compensadora 8 de la misma magnitud que la corriente de defecto 7, pero con una polaridad invertida. Unos controladores de corriente aseguran el ajuste de la corriente compensadora 8 apropiada, eliminando así las corrientes de defecto. Una fuente de corriente controlada 1 trabaja de modo similar, también en compensación de los armónicos de orden superior de las corrientes de defecto, eliminando las componentes armónicas particulares, tales como los armónicos 5º, 7º, 11º y 13º. El efecto explicado se describe en un diagrama vectorial en la figura 2.

Esta invención hace posible compensar una asimetría de fase del sistema de distribución en un estado sin averías. Esto se consigue ajustando la fuente de corriente controlada 1 para que compense la corriente que causa la asimetría de fase en el sistema de distribución. Este efecto se describe en un diagrama vectorial en la figura 3.

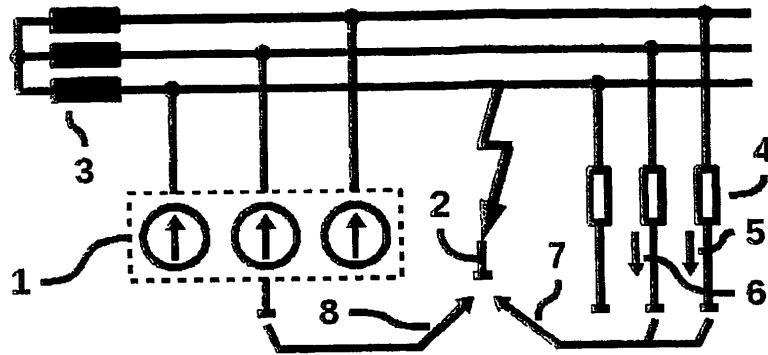
En caso de necesidad, la conexión según la figura 1 permite también la compensación de corrientes armónicas, así como de voltajes del sistema de distribución, y también la compensación de la potencia reactiva del sistema de distribución. La compensación de los armónicos del sistema de distribución se consigue por el ajuste apropiado de la fuente de corriente controlada 1, para generar corrientes que tienen un efecto contrario en ciertas componentes de los armónicos de orden superior en la corriente de la rejilla. En caso de que se requiera la compensación de potencia reactiva, la fuente de corriente controlada 1 genera corrientes que compensan la componente reactiva de corriente del sistema de distribución. Por consiguiente, dicha fuente compensa el factor de potencia del sistema.

Un voltaje  $U_0$  está entre medias de un punto neutro 3 del transformador y el potencial de tierra (véanse los diagramas vectoriales). El  $U_0$  puede llegar hasta el nivel del voltaje de fase (L-N) durante las faltas a tierra. Los voltajes de fase, en fases que no están afectadas por la falta a tierra, pueden llegar hasta el nivel de los voltajes entre conductores.  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  son los voltajes de fase contra el potencial de tierra (véanse los diagramas vectoriales). En un estado sin averías del sistema de distribución, las corrientes  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  circulan a través de las impedancias a tierra entre fases hasta tierra. La corriente que resulta de la asimetría de las impedancias a tierra se indica como  $I_n$ .

Una ventaja del dispositivo según la invención es que no requiere un punto neutro del transformador. Por consiguiente, se puede usar en rejillas de potencia aisladas. Además de las funciones anteriormente mencionadas, una cualidad muy importante del dispositivo según la invención es que permite la compensación de la asimetría de fase en un estado sin averías del sistema de distribución. De nuevo, esto se consigue a través de un efecto contrario directo en la corriente, que está causando la asimetría de fase en el sistema de distribución. Además, en caso de necesitar la compensación de las corrientes y los voltajes armónicos del sistema de distribución, así como la compensación de la potencia reactiva del sistema de distribución, el aparato según la invención permite esta compensación. El dispositivo según la invención es marcadamente más variable en comparación con las soluciones existentes, que no permiten realizar muchas de las funciones de dicho dispositivo, especialmente la compensación de los armónicos de orden superior de una corriente de defecto, así como la compensación de los armónicos y, también, de la potencia reactiva del sistema de distribución. El dispositivo según la invención es marcadamente inmune a las asimetrías y los posibles cambios de los parámetros del circuito. La gran ventaja de esta solución en comparación con las existentes es su consistencia.

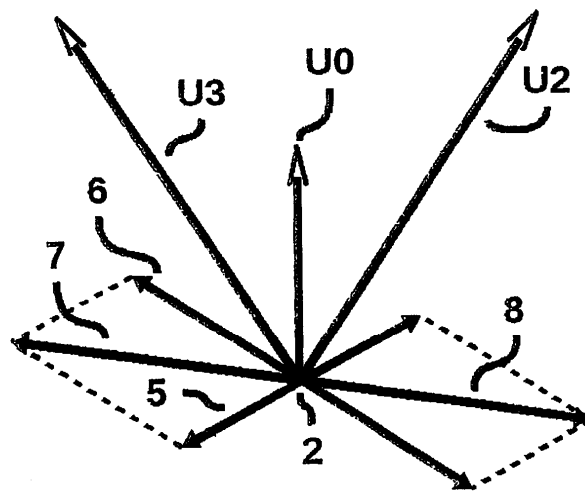
**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un aparato para compensar corrientes de defecto a tierra, conectado a conductores de fase de un sistema de distribución, caracterizado porque es una fuente de corriente controlada (1) conectada entre medias de conductores de fase del transformador (3) del sistema de distribución y el potencial de tierra y está configurado para compensar corrientes de defecto a tierra y armónicos de orden superior de corrientes de defecto en el punto de falta a tierra (2), configurado además para compensar asimetría de fase en un estado sin averías de un sistema de distribución, configurado también para compensar armónicos de orden superior del sistema de distribución y para compensar potencia reactiva del sistema de distribución.
- 10 2. Un dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque la fuente de corriente controlada (1) está creada mediante un inversor de la fuente de voltaje.
- 15 3. Un dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque la fuente de corriente controlada (1) está creada mediante un inversor de la fuente de corriente.
4. Un dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque la fuente de corriente controlada (1) está creada mediante un convertidor de frecuencias.



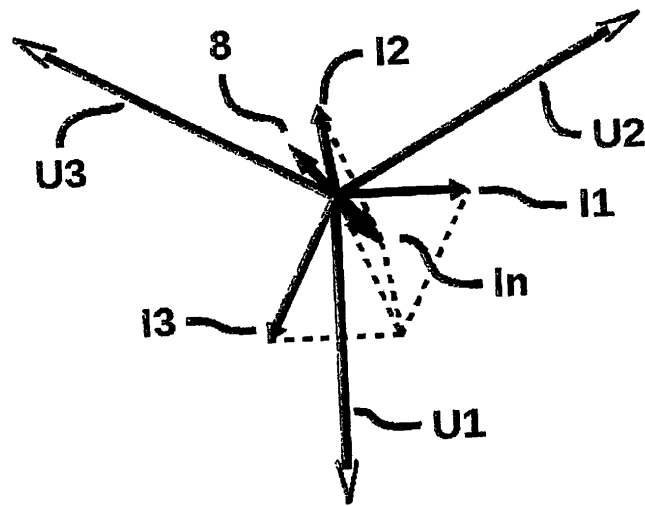
Vista 1

Fig. 1



Vista 2

Fig. 2



Vista 3

Fig. 3