

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 434 846**

51 Int. Cl.:

H02J 3/18

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.12.2005 E 05823227 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2013 EP 1966868**

54 Título: **Dispositivo de equilibrado**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.12.2013

73 Titular/es:

**ABB TECHNOLOGY LTD (100.0%)
Affolternstrasse 44
8050 ZÜRICH, CH**

72 Inventor/es:

THORVALDSSON, BJÖRN

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 434 846 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo de equilibrado.

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un dispositivo de compensación de potencia de una red de tensión alterna con una carga desigual. Este dispositivo es conocido bajo el acrónimo FACTS (Flexible AC Transmisión System – sistema de transmisión flexible de corriente alterna). En particular, la invención se refiere a un dispositivo de equilibrado de una red de transmisión con una pluralidad de fases y con una carga entre dos fases solamente. La carga es usualmente tanto resistiva como inductiva, tal como, por ejemplo, una máquina eléctricamente rotativa conectada a la red a través de un convertidor.

10 **Técnica anterior**

Es sabido que la potencia de transmisión de una red de tensión alterna se reduce durante la carga reactiva y durante una carga desigual de las tres fases. Usualmente, la carga es reactiva y simétrica. En este contexto, es conocido el disponer un compensador que comprende condensadores aptos para conectarse a la red.

15 Es conocido también el conectar a la red un compensador estático, designado usualmente con SVC (Static Var Compensator – compensador estático de potencia reactiva) para equilibrar las simetrías causadas por cargas desequilibradas. Aparatos típicos que pueden producir un desequilibrio en una red de corriente alterna son, por ejemplo, los hornos de arco eléctrico. Otra de estas cargas que pueden causar un desequilibrio es el suministro de potencia de los ferrocarriles. Las cargas de los ferrocarriles se conectan usualmente entre dos fases de la red de potencia. Para distribuir uniformemente la salida de potencia entre las tres fases de la red de potencia, es conocido
20 el conectar un compensador estático, llamado también equilibrador de carga. El compensador transfiere la potencia entre las fases de tal manera que la carga del ferrocarril junto con el compensador sea percibida por la red de potencia como una carga trifásica simétrica.

25 Un compensador se basa convencionalmente en bobinas de reactancia controladas por tiristor, condensadores controlador por tiristor y baterías/filtros de condensadores fijos. Esta técnica está bien establecida. Un compensador se puede basar también en un convertidor de fuente de tensión (VSC). Tal VSC comprende semiconductores con medios de desconexión y tiene un amplio campo de funcionamiento. Es conocido también el uso de este tipo de compensador, VSC.

Se conocen, por ejemplo por el documento US 6,963,187, diversos dispositivos para su aplicación dentro de FACTS.

30 El documento D6 (EP1604550A1) revela un sistema de suministro de potencia para alimentar una carga monofásica, especialmente un horno de inducción monofásico, desde la red trifásica. El sistema de suministro de potencia comprende un convertidor de potencia CA-CA conectado en serie con un dispositivo de equilibrado, que tiene reactancias equilibradoras, y la carga.

Sumario de la invención

35 El objeto de la invención es sugerir medios y modos de mejorar el equilibrado de una red polifásica desigualmente cargada.

40 Este objeto se consigue según la invención por medio de un compensador de acuerdo con las particularidades características descritas en la parte caracterizadora de la reivindicación 1 independiente y por medio de un método de acuerdo con las particularidades características descritas en la parte caracterizadora de la reivindicación de método 4 independiente. En las partes caracterizadoras de las reivindicaciones subordinadas se describen realizaciones preferidas.

45 Según la invención, el objeto se consigue conectando a la red polifásica un compensador que comprende un convertidor de fuente de tensión, cuyo punto de trabajo está desplazado de modo que el rango de funcionamiento cubra sustancialmente el rango de control necesario. Esto da como resultado la ventaja de que puede utilizarse un convertidor con un menor rango de funcionamiento. Tal desplazamiento del punto de trabajo del convertidor se consigue haciendo que el compensador comprenda un dispositivo de equilibrado que incluya elementos reactivos y capacitivos conectados entre las fases de la red. Estos elementos forman conjuntamente una batería de eculización para la corriente de secuencia negativa.

50 Un convertidor de fuente de tensión es capaz de crear una corriente de secuencia negativa con una posición de fase arbitraria con relación al sistema de secuencia positiva. El rango de funcionamiento del convertidor puede describirse como un vector en un sistema de coordenadas en el que el posible espacio de control viene descrito por la superficie de un círculo orientado alrededor del origen de coordenadas. La corriente de secuencia negativa proveniente de una carga que contiene componentes activos y reactivos y que está conectada entre dos fases se produce usualmente en un mismo sector circular. Si este sector es más pequeño que un cuadrante, es

antieconómico utilizar un convertidor, cuyo rango de funcionamiento comprende el círculo completo. Más de tres cuartas partes del rango de funcionamiento del convertidor no desarrollan entonces ninguna función en tal aplicación.

5 Suplementando el convertidor con un dispositivo de equilibrado que comprenda bobinas de inductancia y condensadores, se desplaza al punto de trabajo del convertidor. Un desplazamiento del punto de trabajo correspondiente a aproximadamente la mitad del requisito de equilibrado máximo permite que se reduzca el rango de funcionamiento del convertidor y que su potencia nominal pase a ser la mitad. Un dispositivo de equilibrado que comprenda una batería de ecualización consistente en componentes discretos que contienen bobinas de inductancia y condensadores conectados entre las fases crea una corriente de secuencia negativa con una amplitud y dirección
10 fijas.

Una red de tensión alterna con tres fases comprende una primera fase, una segunda fase y una tercera fase, en donde, por ejemplo, está conectada una carga entre las fases segunda y tercera. El dispositivo de equilibrado según la invención comprende entonces una inductancia conectada entre las fases primera y segunda y una capacitancia conectada entre las fases primera y tercera. El valor de potencia de la inductancia y la capacitancia es preferiblemente igual. Si la carga contiene un componente inductivo, tal como usualmente un motor eléctrico, el dispositivo de equilibrado comprende también una capacitancia suplementaria conectada entre las fases segunda y
15 tercera, esto es, en paralelo con la carga.

En un sistema de coordenadas una corriente de secuencia negativa en el segundo cuadrante es controlado por una corriente de secuencia positiva correspondiente con la dirección opuesta. Esta corriente de secuencia negativa se produce así en un cuadrante opuesto al segundo cuadrante, es decir, en el cuarto cuadrante. Para controlar correctamente una corriente de secuencia negativa que se produzca dentro de un segmento circular, se tiene que desplazar el punto de trabajo del convertidor en la dirección opuesta. El punto de trabajo está definido por un vector compuesto de la reactancia y la capacitancia del dispositivo de equilibrado, cuya magnitud viene determinada por el valor de potencia de éstas y cuyo ángulo viene determinado por el valor de potencia de la capacitancia de
20 compensación. El efecto de este procedimiento da como resultado que el sistema de coordenadas para el rango de funcionamiento del convertidor sea desplazado de tal manera que el origen de coordenadas termine en el rango de control. En una realización se consigue un punto de trabajo favorable del convertidor controlando el valor de potencia de la capacitancia y la inductancia para que sea aproximadamente $1/2 \sqrt{3}$ (uno por dos veces la raíz cuadrada de tres) de la potencia máxima de la carga resistiva. En otra realización se compensa el valor de potencia de la capacitancia de compensación de modo que corresponda a la mitad del ángulo del segmento circular.
25
30

En una realización práctica los elementos capacitivos e inductivos entre las fases pueden diseñarse como filtros de armónicos sintonizados. Es también parte del concepto inventivo el controlar el dispositivo de equilibrado en pasos fijos de modo que se definan puntos de trabajo favorables para el convertidor dentro del segmento circular necesario. En caso de una necesidad de control que, durante largos periodos de tiempo, comprenda una región más pequeña dentro del segmento circular, se puede utilizar así un convertidor con un rango de funcionamiento
35 adicionalmente reducido.

Según un primer aspecto de la invención, la tarea es realizada por un compensador para equilibrar una red de tensión alterna trifásica con una carga conectada entre una primera fase y una segunda fase, comprendiendo el compensador un convertidor de fuente de tensión con una batería de condensadores, unas bobinas de reactancia y un dispositivo de equilibrado, conectado a la red de tensión alterna trifásica por medio de un transformador; el convertidor de fuente de tensión está conectado en derivación y el dispositivo de equilibrado tiene una inductancia conectada entre la primera fase antes de la carga y una tercera fase, una capacitancia conectada entre la segunda fase después de la carga y la tercera fase, y una capacitancia de compensación conectada en paralelo con la carga. En caso de cargas con un componente inductivo, el dispositivo de equilibrado comprende una capacitancia de
40 compensación conectada en paralelo con la carga.
45

Conforme a un segundo aspecto de la invención, el objeto se consigue por medio de un método para equilibrar una red trifásica desigualmente cargada que comprende un convertidor de fuente de tensión con una batería de condensadores y unas bobinas de reactancias, conectado a la red de tensión alterna trifásica por medio de un transformador, teniendo la red trifásica una carga conectada entre una primera fase y una segunda fase, comprendiendo el método desplazar el rango de funcionamiento del convertidor mediante la introducción de una inductancia entre la primera fase antes de la carga y una tercera fase, la introducción de una capacitancia entre la segunda fase y la tercera fase después de la carga, y la introducción de una capacitancia de compensación entre la primera fase y la segunda fase. Según una realización, el desplazamiento del rango de control del convertidor comprende también una rotación del rango de control introduciendo una capacitancia en paralelo con los bornes de
50 la carga.
55

Breve descripción de los dibujos

Se explicará la invención con mayor detalle describiendo una realización con referencia a los dibujos adjuntos, en los

que:

La figura 1 es una red de tensión alterna con una carga entre dos de las fases, así como con un convertidor de fuente de tensión y un dispositivo de equilibrado,

La figura 2 es el rango de control necesario, es decir, dentro del cual deberá estar situada la carga,

5 La figura 3 es el rango de trabajo de un convertidor y

La figura 4 es el rango de control resultante del convertidor y el dispositivo de equilibrado.

Descripción de realizaciones preferidas

10 La figura 1 muestra una red de tensión alterna 1 con tres fases A, B y C con cargas sustancialmente simétricas 2. Entre la segunda fase B y la tercera fase C está conectada asimétricamente una carga adicional 8. La carga 8 está indicada solamente de manera simbólica y puede incluir componentes tanto resistivos como inductivos. Una instalación de compensación que comprende un convertidor de fuente de tensión 4 con una batería de condensadores 5, unas bobinas de reactancia 6 y un dispositivo de equilibrado 9 está conectada a la red de tensión alterna por medio de un transformador 3. El dispositivo de equilibrado comprende una inductancia 10 conectada entre la primera fase A y la segunda fase B, y una capacitancia conectada entre la primera fase A y la tercera fase C. En el ejemplo mostrado el dispositivo de equilibrado comprende también una capacitancia 12 conectada en paralelo con la carga.

15 La figura 2 muestra, en un sistema de coordenadas 18, el rango dentro del cual se encuentra normalmente la corriente de secuencia negativa para una carga conectada entre dos fases. El rango de carga 15 constituye un segmento circular limitado por el origen de coordenadas, así como por el eje de coordenadas horizontal y por el círculo 16, que indica la posibilidad de control necesaria como máximo. Para poder controlar apropiadamente la carga dentro del rango de carga 15, el dispositivo de equilibrado tiene que comprender un rango de control 14 que constituye una imagen especular del rango de carga. La figura 3 muestra, en un segundo sistema de coordenadas 19, el rango de funcionamiento 17 del convertidor de fuente de tensión en forma de la corriente de secuencia negativa. Dado que un convertidor de fuente de tensión es capaz de controlar la corriente de secuencia negativa en todas las direcciones, el rango de funcionamiento constituye un círculo centrado alrededor del origen de coordenadas.

20 La figura 4 muestra el rango de funcionamiento de la combinación de un convertidor de fuente de tensión ajustado por el dispositivo de equilibrado según la invención. La figura muestra tres sistemas de coordenadas, de los que el sistema de la izquierda en la figura se refiere al rango de control necesario, el sistema central se refiere al rango de funcionamiento del convertidor y el sistema de la derecha se refiere a la potencia total del convertidor y el dispositivo de equilibrado. El rango de control necesario 14 en el primer sistema de coordenadas 18 es igual que en la figura 2 y corresponde a la imagen especular del rango de carga 15. En el primer sistema de coordenadas está indicado también un vector 20 para desplazar el punto de trabajo del convertidor que se crea por medio del dispositivo de equilibrado. El segundo sistema de coordenadas 19 es en principio igual que en la figura 3, pero en la figura 4 el rango de funcionamiento se reduce seleccionando un convertidor con una potencia nominal considerablemente más baja. El tercer sistema de coordenadas, que es una combinación del primer sistema de coordenadas 18 y el segundo sistema de coordenadas 19, muestra el modo en que se desplaza el rango de funcionamiento 17 del convertidor con ayuda del vector de desplazamiento 20 de tal manera que el rango de funcionamiento 17 del convertidor, que se introduce con una potencia nominal más pequeña, cubra el rango de control necesario 14. Se estudiará un caso con una carga con la potencia activa P y el factor de potencia $\cos \varphi$ conectada entre las fases b y c. La red tiene la tensión principal V_{L-L} .

$$I_{load} = \frac{P}{V_{L-L} \cos \varphi}$$

en donde load significa carga.

45 La tensión fase a tierra en la fase a se utiliza como fase de referencia y se la asigna el ángulo cero. Es obvio que las corrientes de fase son

$$\vec{I}_a = 0 \quad \text{e} \quad \vec{I}_c = -\vec{I}_b$$

Así, con ayuda de las ecuaciones generales para componentes simétricos

$$\vec{I}_{load}^+ = \frac{1}{3} \left[e^{j(\frac{2\pi}{3})} - e^{-j(\frac{2\pi}{3})} \right] \vec{I}_b = \frac{1}{\sqrt{3}} e^{j\frac{\pi}{2}} I_{load} e^{-j(\frac{\pi}{2}+\varphi)} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{load} e^{-j(\varphi)}$$

$$\vec{I}_{load}^- = \frac{1}{3} \left[e^{-j(\frac{2\pi}{3})} - e^{j(\frac{2\pi}{3})} \right] \vec{I}_b = \frac{1}{\sqrt{3}} e^{-j\frac{\pi}{2}} I_{load} e^{-j(\frac{\pi}{2}+\varphi)} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{load} e^{-j(\pi+\varphi)}$$

$$\vec{I}^0 = 0$$

en donde load significa carga.

- 5 Un sistema de elementos reactivos conectados entre las fases – una batería de equalización – da lugar a las corrientes de secuencia siguientes

$$\vec{I}_{Offsetbank}^+ = \frac{1}{V} [Q_{ab} + Q_{bc} + Q_{ca}] e^{j\frac{\pi}{2}}$$

$$\vec{I}_{Offsetbank}^- = \frac{1}{V} \left[Q_{ab} e^{j\frac{5\pi}{6}} + Q_{bc} e^{-j\frac{\pi}{2}} + Q_{ca} e^{j\frac{\pi}{6}} \right]$$

en donde Offsetbank significa batería de equalización.

- 10 Para equilibrar la carga asimétrica es necesario generar una corriente de secuencia negativa en oposición de fase con respecto a la componente de secuencia negativa en la corriente de la carga. La componente activa en la corriente de la carga se equilibra conectando una bobina de inductancia entre la fase A y la fase B, y un condensador entre la fase C y la fase A.

$$\vec{I}_{Offsetbank_{aktiv}}^- = \frac{1}{V} \left[Q_{ab} e^{j\frac{5\pi}{6}} + Q_{ca} e^{j\frac{\pi}{6}} \right]$$

- 15 en donde Offsetbank_{aktiv} significa batería de equalización activa.

La componente reactiva de la carga se equilibra conectando un condensador entre la fase B y la fase C

$$\vec{I}_{Offsetbank_{reaktiv}}^- = \frac{1}{V} \left[Q_{bc} e^{-j\frac{\pi}{2}} \right]$$

en donde Offsetbank_{reaktiv} significa batería de equalización reactiva.

- 20 Para no generar una corriente de secuencia positiva se ajustan todos los componentes en las fases en una dirección inductiva:

$$\vec{I}_{Offsetbank}^+ = \frac{1}{V} [Q_{ab} + Q_{bc} + Q_{ca}] e^{j\frac{\pi}{2}} = 0$$

en donde Offsetbank significa batería de equalización.

- 25 La batería de equalización se selecciona de tal manera que se obtenga aproximadamente la mitad de la necesidad de corriente de secuencia negativa máxima. El ángulo se selecciona de modo que sea aproximadamente la mitad del ángulo máximo para el rango de carga. La necesidad instantánea total es satisfecha por el convertidor VSC, que contribuye con la diferencia entre la necesidad y la corriente de la batería de equalización. Es de hacer nota que,

para conseguir un punto arbitrario en el rango de funcionamiento después del desplazamiento con los componentes discretos, el convertidor necesita ser capaz de generar una corriente de secuencia negativa en todas las direcciones.

5 Aunque son ventajosas, la invención no se limita a las realizaciones mostradas, sino que comprende también realizaciones que son evidentes para un experto en la materia. Así, como se ha expuesto antes, la invención comprende el caso en el que el dispositivo de equilibrado es controlado de una manera paso a paso. Además, como se ha indicado más arriba, la invención comprende el caso en el que el dispositivo de equilibrado se construye junto con un filtro, si lo hay, para filtrar y eliminar del convertidor las resonancias y armónicos del sistema.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un compensador para equilibrar una red de tensión alterna trifásica con una carga (8) conectada entre una primera fase (B) y una segunda fase (C), comprendiendo el compensador un convertidor de fuente de tensión (4) con una batería de condensadores (5), unas bobinas de reactancia (6) y un dispositivo de equilibrado (9), conectado a la red de tensión alterna trifásica por medio de un transformador (3), **caracterizado** por que el convertidor de fuente de tensión está conectado en derivación y por que el dispositivo de equilibrado (9) tiene una inductancia (10) conectada entre la primera fase (B) antes de la carga y una tercera fase (A), una capacitancia (11) conectada entre la segunda fase (C) después de la carga y la tercera fase (A), y una capacitancia de compensación (12) conectada en paralelo con la carga.
- 10 2. Un compensador según la reivindicación 1, en el que el valor de potencia de la inductancia (10) y la capacitancia (11) es sustancialmente igual.
3. Un compensador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el valor de potencia de tanto la inductancia (10) como la capacitancia (11) contiene la máxima potencia de carga resistiva dividida por dos veces las raíz cuadrada de tres.
- 15 4. Un método para equilibrar una red trifásica desigualmente cargada con un convertidor de fuente de tensión (4), conectado en derivación, que lleva una batería de condensadores (5) y unas bobinas de reactancia (6), conectado a la red de tensión alterna trifásica por medio de un transformador (3), teniendo la red trifásica una carga (8) conectada entre una primera fase (B) y una segunda fase (C), **caracterizado** por que el método comprende desplazar el rango de funcionamiento del convertidor introduciendo una inductancia (10) entre la primera fase (B) antes de la carga y una tercera fase (A), introduciendo una capacitancia (11) entre la segunda fase (C) y la tercera fase (A) después de la carga, e introduciendo una capacitancia de compensación (12) entre la primera fase (B) y la segunda fase (C).
- 20 5. Un método según la reivindicación 4, en el que el desplazamiento del punto de trabajo comprende también una rotación del rango de control introduciendo una capacitancia (12) en paralelo con los bornes de la carga.

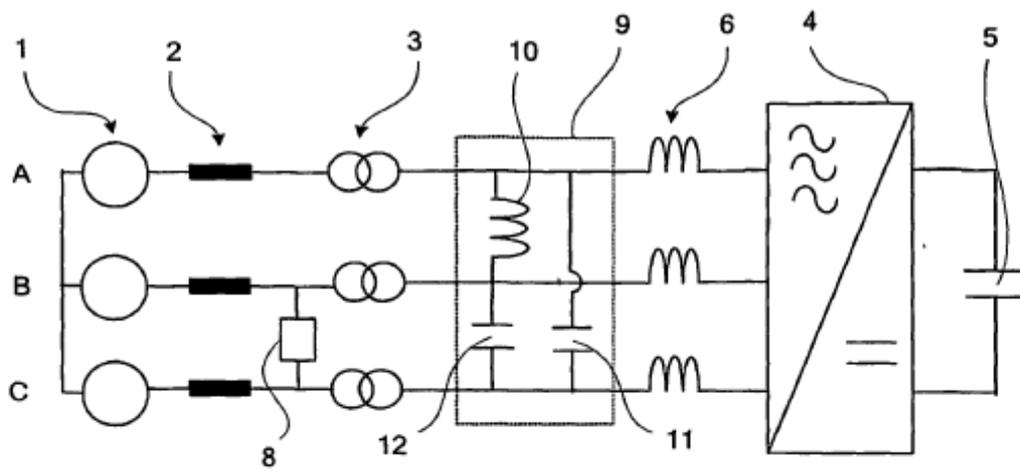


Fig 1

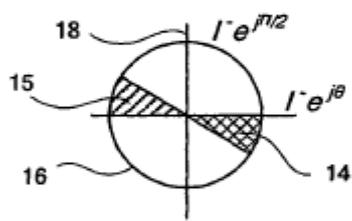


Fig 2

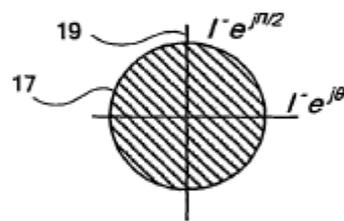


Fig 3

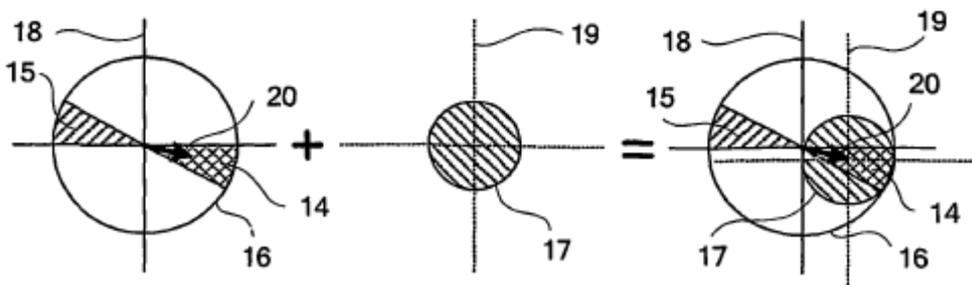


Fig 4