

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 643 896**

51 Int. Cl.:

H02M 1/00 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.12.2006 PCT/DE2006/002251**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.07.2017 WO08067788**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.12.2006 E 06828682 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.07.2017 EP 2100366**

54 Título: **Producción de un equilibrio de potencia activa de los módulos de fase de un convertidor**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.11.2017

73 Titular/es:
**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Straße 1
80333 München, DE**

72 Inventor/es:
**DOMMASCHK, MIKE;
DORN, JÖRG;
EULER, INGO;
LANG, JÖRG;
TU, QUOC-BUU y
WÜRFLINGER, KLAUS**

74 Agente/Representante:
CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 643 896 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

Producción de un equilibrio de potencia activa de los módulos de fase de un convertidor

La presente invención hace referencia a un dispositivo para convertir una corriente eléctrica según la reivindicación 1. La invención hace referencia además a un método para convertir una corriente mediante un convertidor según la reivindicación 10.

En las reivindicaciones dependientes se definen formas de ejecución ventajosas. Un dispositivo de esa clase y un método de esa clase se conocen por ejemplo por la contribución de A. Lesnicar y R. Marquardt "An Innovative Modular Multilevel Converter Topology Suitable for a Wide Power Range", la cual fue presentada en Powertech 2003. Se describe allí un convertidor que se proporciona para una conexión en una red de tensión alterna. El convertidor, para cada fase de la red de tensión alterna que debe ser conectada al mismo, presenta un módulo de fase, donde cada módulo de fase dispone de una conexión de tensión alterna, así como de dos conexiones de tensión continua. Entre cada conexión de tensión continua y la conexión de tensión alterna se extienden derivaciones del módulo de fase, de manera que se proporciona un circuito en puente de 6 pulsos. Las derivaciones del módulo se componen de un circuito en serie de submódulos, los cuales se componen respectivamente de dos semiconductores de potencia que pueden ser desconectados, a los cuales se encuentran conectados paralelamente diodos libres respectivamente en sentido opuesto. Los semiconductores de potencia que pueden ser desconectados y los diodos libres están conectados en serie, donde un condensador se proporciona paralelamente con respecto al circuito en serie mencionado. Los componentes mencionados de los submódulos están conectados unos con otros, de manera que en la salida bipolar de cada submódulo la tensión del condensador o la tensión descienden a cero.

El control de los semiconductores de potencia que pueden ser desconectados tiene lugar mediante la así llamada modulación por ancho de pulsos. Los medios de regulación para controlar los semiconductores de potencia presentan sensores de medición para detectar corrientes, obteniendo valores de corriente. Los valores de corriente son suministrados a una unidad de control que presenta una interfaz de entrada y una interfaz de salida. Entre la interfaz de entrada y la interfaz de salida se proporciona un modulador, por tanto, una rutina de software. Entre otras cosas, el modulador presenta una unidad de selección, así como un generador de ancho del pulso. El generador de ancho del pulso genera las señales de control para los submódulos individuales. Los semiconductores de potencia que pueden ser desconectados, a través de las señales de control generadas por el generador del ancho de pulso, pasan desde una posición de paso, en la cual un flujo de corriente es posibilitado mediante los semiconductores de potencia que pueden ser desconectados, a una posición de bloqueo en la cual un flujo de corriente es interrumpido mediante los semiconductores de potencia que pueden ser desconectados. De este modo, cada submódulo presenta un sensor del submódulo para detectar una tensión que desciende en el condensador.

Otras contribuciones con respecto al procedimiento de control para una así llamada topología del convertidor multi-nivel son conocidas por R. Marquardt, A. Lesnicar, J. Hildinger, "Modulares Stromrichterkonzept für Netzkupplungsanwendung bei hohen Spannungen", presentadas en la conferencia especializada ETG en Bad Nauheim, Alemania, en 2002, por A. Lesnicar, R. Marquardt, "A new modular voltage source inverter topology", EPE' 03 en Toulouse, Francia, en 2003 y por R. Marquardt, A. Lesnicar "New Concept for High Voltage - Modular Multilevel Converter", PESC 2004 Conferencia en Aquisgrán, Alemania.

En la solicitud de patente alemana 10 2005 045 090.3, aún no publicada, se describe un método para controlar un convertidor polifásico con acumuladores de energía distribuidos. El dispositivo descrito presenta igualmente una topología del convertidor multi-nivel con módulos de fase, los cuales disponen de una conexión de tensión alterna dispuesta simétricamente en el centro de cada módulo de fase y de dos conexiones de tensión continua. Cada módulo de fase está compuesto por dos derivaciones del módulo de fase que se extienden entre la conexión de tensión alterna y una de las conexiones de tensión continua. Cada derivación del módulo de fases comprende a su vez un circuito en serie compuesto por submódulos, donde cada submódulo se compone de semiconductores de potencia que pueden ser desconectados y de diodos libres conectados de forma antiparalela a los mismos. Además, cada submódulo dispone de un condensador unipolar. Para regular los semiconductores de potencia se utilizan medios de regulación que están diseñados también para regular corrientes de derivación que circulan entre los módulos de fase. A través del control de las corrientes de derivación pueden atenuarse por ejemplo oscilaciones de la corriente y pueden evitarse puntos de funcionamiento con frecuencias de salida más reducidas. Además, puede provocarse una carga regular de todos los semiconductores que pueden ser desconectados, así como una simetrización de tensiones altamente asimétricas.

El dispositivo mencionado en la introducción presenta la desventaja de que la absorción de potencia activa de una derivación del módulo de fase no siempre corresponde precisamente a las pérdidas. De este modo, puede producirse una distribución asimétrica de la energía almacenada respectivamente en una derivación del módulo de fase. Los condensadores de los submódulos, por lo tanto, son cargados con diferente intensidad, con la consecuencia de efectos secundarios no deseados.

Por consiguiente, el objeto de la presente invención consiste en proporcionar un dispositivo y un método de la clase antes mencionada, con el cual se evite una carga asimétrica de los acumuladores de energía de los submódulos.

5 La invención alcanza dicho objeto tomando como base el dispositivo mencionado en la introducción, de manera que los medios de regulación presentan una unidad de adición para sumar los valores de energía del acumulador de energía obteniendo valores reales de energía de derivación y medios para calcular valores objetivo de corriente de circulación Dvb, Dhgl, Dhge en función de los valores reales de energía de derivación, donde los medios de regulación están diseñados para compensar asimetrías en los valores reales de energía de derivación, en función de los valores objetivo de corriente de circulación Dvb, Dhgl, Dhge.

10 En base al método mencionado en la introducción, la invención alcanza el objeto gracias a que se detecta la energía almacenada en cada acumulador de energía, obteniendo un valor de energía del acumulador de energía, a que son sumados todos los valores de energía del acumulador de energía de una derivación del módulo de fase, obteniendo valores reales de energía de derivación y en función de los valores reales de energía de derivación son determinados valores objetivo de circulación de corriente, donde en función de los valores objetivo de corriente de circulación son generadas corrientes de circulación en los módulos de fase, para compensar asimetrías.

15 En el marco de la invención, los medios de regulación están diseñados para compensar asimetrías en cuanto a la energía eléctrica almacenada en los submódulos. Para ello se determina primero la energía acumulada en todos los acumuladores de energía para cada derivación del módulo de fase. Lo mencionado tiene lugar a través de la adición de valores de energía del acumulador de energía, los cuales corresponden respectivamente a una energía almacenada en el acumulador de energía de un submódulo. A partir de la suma de los valores de energía del acumulador de energía resultan valores reales de energía de derivación que corresponden a una suma de las energías de todos los acumuladores de energía de una derivación del módulo de fase. A través de la comparación de los valores reales de energía de derivación, en el marco de la invención, se determina una asimetría. Para compensar la asimetría, por último, son generadas corrientes de circulación mediante una regulación. Para ello se utilizan los valores objetivo de la corriente de circulación Dvb, Dhgl, Dhge, los cuales son determinados en función de la diferencia de los valores reales de energía de derivación. Finalmente, los valores objetivo de la corriente de circulación son suministrados a los medios de regulación, los cuales, en base a los valores objetivo de la corriente de circulación Dvb, Dhgl, Dhge, generan corrientes de circulación necesarias para compensar las asimetrías. Se procura de este modo una carga simétrica de los submódulos.

30 Como valor de energía del acumulador de energía de un submódulo se utiliza por ejemplo un valor de tensión del acumulador de energía, el cual es obtenido a través de la medición de la tensión descendente en el acumulador de energía. A diferencia de ello, el cuadrado del valor de tensión del acumulador de energía sirve como valor de energía del acumulador de energía. En el marco de la invención puede utilizarse en principio cualquier valor que pueda servir como medida para la energía acumulada en el respectivo acumulador de energía.

35 El acumulador de energía de un submódulo, en el marco de la invención, puede estar compuesto también por varios acumuladores de energía secundaria. El valor de energía del acumulador de energía es entonces la suma de los valores de energía de los acumuladores de energía secundaria.

40 De manera conveniente, los medios de regulación comprenden un regulador en cuya entrada se encuentran presentes los valores objetivo de la corriente de circulación Dvb, Dhgl, Dhge y en cuya salida son captados valores objetivo de la tensión de circulación. El regulador es por ejemplo un regulador proporcional. Los medios de regulación comprenden además una unidad de regulación de corriente que combina unos con otros de forma lineal diferentes valores objetivo de tensión, incluyendo los valores objetivo de la tensión de circulación, es decir a través de adición y de la formación de diferencias. El resultado de esa combinación lineal de valores objetivo de tensión son valores objetivo de la tensión de derivación, los cuales se encuentran asociados respectivamente a una derivación del módulo de fase. El valor o los valores objetivo de tensión de derivación son suministrados a unidades de activación, las cuales igualmente se encuentran asociadas a una derivación del módulo de fase.

45 De manera ventajosa, el dispositivo de acuerdo con la invención presenta una conexión de tensión continua positiva y una conexión de tensión continua negativa, donde medios de adición suman los valores reales de energía de derivación de las derivaciones del módulo de fase, las cuales se encuentran conectadas a la conexión de tensión continua positiva, para formar una suma de derivación positiva, y los valores reales de energía de derivación de las derivaciones del módulo de fase, las cuales se encuentran conectadas con la conexión de tensión continua negativa, para formar una suma de derivación negativa, y presenta medios de diferencia que forman la diferencia a partir de las sumas de derivación positiva y negativa, obteniendo un valor objetivo de corriente de circulación vertical para compensar una asimetría vertical. Una asimetría vertical existe cuando las derivaciones del módulo de fase que se encuentran conectadas a la conexión de tensión continua positiva han absorbido más o menos energía que las derivaciones del módulo de fase que se encuentran conectadas a la conexión de tensión continua negativa. Por lo tanto, una asimetría vertical puede determinarse a través de la comparación de los valores reales de energía de derivación, donde la suma de derivación de las derivaciones del módulo de fase que están conectadas a la conexión

de tensión continua positiva es restada de la suma de derivación de las derivaciones del módulo de fase, la cual se encuentra conectada a la conexión de tensión continua negativa. La diferencia resultante representa una medida para la asimetría vertical, de manera que de ese modo puede deducirse un valor objetivo para la regulación, para compensar la asimetría vertical.

5 De acuerdo con un perfeccionamiento conveniente a este respecto, el dispositivo de acuerdo con la invención presenta medios para generar una tensión objetivo del sistema directo $U_{vb1,2,3}$, frecuente de la red, en función del valor objetivo de la corriente de circulación vertical D_{vb} , para compensar la asimetría vertical. La tensión objetivo del sistema directo $U_{vb1,2,3}$; frecuente de la red, hace referencia a la relación de fase de la tensión alterna polifásica de la red conectada. En el caso de un sistema directo, frecuente de la red, en la representación indicadora, la tensión generada rota en la misma dirección de rotación que los indicadores de la tensión alterna de la red conectada. Se establece la conexión de la tensión objetivo del sistema directo, del modo antes descrito, a través de los medios de regulación, hacia otros valores objetivo de tensión.

15 A diferencia de ello, pueden proporcionarse medios para generar una tensión asimétrica U_{asym} en función de los valores objetivo de la corriente de circulación D_{vb} , para compensar la asimetría vertical. Los medios de esa clase para generar una tensión de asimetría son por ejemplo reguladores simples, en cuya entrada se encuentran presentes los valores objetivo de la corriente de circulación, donde en la salida del regulador puede obtenerse la tensión de asimetría U_{asym} . El regulador se trata por ejemplo de un regulador proporcional simple.

20 De manera ventajosa se proporcionan medios para verificar una asimetría horizontal en el mismo sentido, donde los medios mencionados generan valores objetivo de la corriente de circulación D_{hgl} en función de de la asimetría horizontal en el mismo sentido verificada. Junto con una asimetría vertical son posibles también asimetrías horizontales, a saber, cuando los valores reales de energía de derivación de las derivaciones del módulo de fase, que se encuentran conectadas a la conexión de tensión continua positiva, son de un tamaño diferente. Lo mencionado aplica de forma correspondiente para los valores reales de energía de derivación de las derivaciones del módulo de fase, las cuales se encuentran conectadas a la conexión de tensión continua negativa. Una asimetría horizontal en el mismo sentido se encuentra presente cuando la asimetría entre las derivaciones del módulo de fase positivas es igual a la asimetría entre las derivaciones del módulo de fase negativas. En cambio, una asimetría horizontal en el sentido opuesto se produce cuando la asimetría entre las derivaciones del módulo de fase positivas es inversa con respecto a la asimetría entre las derivaciones del módulo de fase negativas.

30 De manera ventajosa, el dispositivo de acuerdo con la invención presenta medios para verificar una asimetría horizontal en el mismo sentido, donde los medios mencionados generan valores objetivo de la corriente de circulación D_{hgl} en función de de la asimetría horizontal en el mismo sentido verificada.

35 De acuerdo con un perfeccionamiento conveniente a este respecto se proporcionan medios para generar valores objetivo de la tensión de circulación u_{hgl} , los cuales se encuentran asociados respectivamente a un módulo de fase. Los valores objetivo de la tensión de circulación u_{hgl} son conectados por los medios de regulación, a otros valores objetivo de tensión.

De manera ventajosa, en el marco de la invención, se proporcionan medios para verificar una asimetría horizontal en el sentido opuesto, donde los medios mencionados generan valores objetivo de la corriente de circulación D_{hge} en función de la asimetría horizontal en el sentido opuesto verificada.

40 De acuerdo con un perfeccionamiento conveniente a este respecto se proporcionan medios para generar un sistema de tensión inversa u_{ghe} , frecuente de la red, en función de la asimetría horizontal en el sentido opuesto verificada. El sistema de tensión inversa, frecuente de la red, se caracteriza por una tensión, cuyo indicador, en el modelo indicador, rota en contra de la dirección de la red de tensión alterna.

De acuerdo con otro ejemplo de ejecución se proporcionan medios para la compensación simultánea de asimetrías verticales y horizontales en el sentido opuesto.

45 De acuerdo con un perfeccionamiento conveniente del método según la invención son sumados los valores reales de energía de derivación de todos los módulos de fase que se encuentran conectados a una conexión de tensión continua positiva, obteniendo una suma total positiva y son sumados los valores reales de energía de derivación de todas las derivaciones del módulo de fase que se encuentran conectadas a una conexión de tensión continua negativa, obteniendo una suma total negativa, donde la diferencia entre la suma total positiva y la suma total negativa se forma mediante la obtención de un valor objetivo de corriente de circulación vertical D_{vb} . De esa manera puede determinarse una asimetría vertical y ésta puede ser cuantificada con la ayuda del valor objetivo de la corriente de circulación.

De manera ventajosa, partiendo del valor objetivo de la corriente de circulación vertical es generada una tensión objetivo del sistema directo, frecuente de la red. De manera ventajosa, el valor objetivo de corriente continua se incluye como amplitud de una función periódica.

5 A diferencia de ello, partiendo del valor objetivo de corriente de circulación vertical D_{vb} , mediante un regulador proporcional, se genera una tensión objetivo de asimetría.

10 La determinación de una asimetría horizontal en el mismo sentido, a modo de ejemplo, tiene lugar a través de la formación de los valores reales de energía de derivación de todas las derivaciones del módulo de fase de un módulo de fase, obteniendo valores de adición de energía del módulo de fase, a través de la formación del valor medio de todos los valores de adición de energía del módulo de fase y a través de la formación de diferencias a partir del valor medio mencionado y de cada valor de adición de energía del módulo de fase, obteniendo valores objetivo de corriente de asimetría horizontales en el mismo sentido.

15 De acuerdo con un perfeccionamiento conveniente a este respecto, a partir de los valores objetivo de corriente de asimetría horizontales en el mismo sentido D_{hgl} , mediante un regulador, se forman valores objetivo de tensión de circulación, los cuales son conectados como tensión objetivo por los medios de regulación, a otros valores objetivo de tensión.

20 De acuerdo con otra variante de la invención, los valores reales de energía de derivación de todas las derivaciones del módulo de fase de un módulo de fase son sustraídos unos de otros, obteniendo valores de diferencia de energía del módulo de fase, los cuales se encuentran respectivamente asociados a una fase. A continuación, el valor medio de los valores de diferencia de energía del módulo de fase se calcula sobre todas las fases y para cada fase se calcula la diferencia a partir del valor medio mencionado y del respectivo valor de diferencia de energía del módulo de fase, obteniendo valores objetivo de corriente de asimetría horizontales en el sentido opuesto D_{hge1} , D_{hge2} , D_{hge3} .

25 Según un perfeccionamiento a este respecto, a partir de los valores objetivo de corriente de asimetría horizontales en el sentido opuesto D_{hge1} , D_{hge2} , D_{hge3} se determina un sistema de tensión inverso, frecuente de la red, u_{hge1} , u_{hge2} , u_{hge3}

30 De manera ventajosa, se resta el valor real de energía de derivación de una derivación del módulo de fase que se encuentra conectada a una conexión de tensión continua negativa, del valor real de energía de derivación de la derivación del módulo de fase del mismo módulo de fase, la cual se encuentra conectada a la conexión de tensión continua positiva, obteniendo una diferencia del módulo de derivación de fase, donde la diferencia del módulo de derivación de fase se utiliza como amplitud de una función periódica que oscila con la frecuencia de la red y se encuentra asociada a un módulo de fase, donde las funciones periódicas de los otros módulos de fase respectivamente se encuentran desplazadas en cuanto a las fases, de manera que se forma una tensión objetivo del sistema directo. La tensión objetivo del sistema directo se conecta nuevamente a otros valores objetivo de la regulación.

35 Otras variantes convenientes y ventajas son objeto de la siguiente descripción de ejemplos de ejecución de la invención, haciendo referencia a las figuras del dibujo, donde los mismos signos de referencia remiten a componentes que actúan del mismo modo, y donde

La figura 1 muestra un ejemplo de ejecución de un dispositivo de acuerdo con la invención, en una representación esquemática,

40 La figura 2 muestra una representación alternativa de un submódulo de un dispositivo según la figura 1,

La figura 3 ilustra un método para determinar una asimetría vertical,

La figura 4 ilustra la generación de una tensión del sistema directo, frecuente de la red,

La figura 5 ilustra la generación de una tensión de asimetría,

La figura 6 ilustra la verificación de una asimetría horizontal en el mismo sentido,

45 La figura 7 ilustra la verificación de una asimetría vertical en el mismo sentido,

La figura 8 ilustra un método para generar tensiones de asimetría,

La figura 9 representa un método para generar una tensión del sistema inverso, frecuente de la red,

La figura 10 representa medios para la compensación simultánea de asimetrías verticales y horizontales en el sentido opuesto,

La figura 11 muestra la estructura de los medios de regulación del dispositivo según la figura 1; y

La figura 12 ilustra la conexión de valores objetivo de la tensión de circulación a otros valores objetivo de los medios de regulación.

La figura 1 muestra un ejemplo de ejecución del dispositivo 1 de acuerdo con la invención, el cual se compone de tres módulos de fase 2a, 2b y 2c. Cada módulo de fase 2a, 2b y 2c está conectado a una línea de tensión continua positiva p, así como a una línea de tensión continua negativa n, de manera que cada módulo de fase 2a, 2b, 2c presenta dos conexiones de tensión continua. Además, para cada módulo de fase 2a, 2b y 2c se proporciona respectivamente una conexión de tensión alterna 3₁, 3₂ y 3₃. Las conexiones de tensión alterna 3₁, 3₂ y 3₃ están conectadas a una red de tensión alterna trifásica 5, mediante un transformador 4. En las fases de la red de tensión alterna 5, las tensiones de fase U₁, U₂ y U₃ descienden, donde circulan corrientes de la red I_{n1}, I_{n2} y I_{n3}. La corriente de fase del lado de tensión alterna de cada módulo de fase se indica con I₁, I₂ y I₃. La corriente de tensión continua es I_d. Entre cada una de las conexiones de tensión alterna 3₁, 3₂ ó 3₃ y la línea de tensión continua positiva p se extienden derivaciones del módulo de fase 6p₁, 6p₂ y 6p₃. Entre cada conexión de tensión alterna 3₁, 3₂, 3₃ y la línea de tensión continua negativa n se encuentran conformadas las derivaciones del módulo de fase 6n₁, 6n₂ y 6n₃. Cada derivación del módulo de fase 6p₁, 6p₂, 6p₃, 6n₁, 6n₂ y 6n₃ se compone de un circuito en serie formado por submódulos, no representados en detalle en la figura 1, y de una inductancia, la cual en la figura 1 se indica con L_{Kr}.

En la figura 2 se representa con más precisión el circuito en serie de los submódulos 7 y en particular la estructura de los submódulos, a través de un diagrama de conexión eléctrico alternativo, donde en la figura 2 sólo fue seleccionada la derivación del módulo de fase 6p₁. No obstante, el resto de las derivaciones del módulo de fase está estructurado de forma idéntica. Puede observarse que cada submódulo 7 presenta dos semiconductores de potencia T₁ y T₂ conectados en serie, los cuales pueden ser desconectados. Los semiconductores de potencia que pueden ser desconectados son por ejemplo IGBTs, GTOs, IGCTs conocidos, o similares. Los mismos son conocidos por el experto, de manera que no es necesaria en este punto una explicación detallada. A cada semiconductor de potencia que puede ser desconectado T₁, T₂ se encuentra conectado de forma antiparalela un diodo libre D₁, D₂. De forma paralela con respecto al circuito en serie de los semiconductores de potencia que pueden ser desconectados T₁, T₂; así como de los diodos libres D₁ y D₂, se encuentra conectado un condensador 8 como acumulador de energía. Cada condensador 8 está cargado de forma unipolar. En los bornes de conexión bipolares X₁ y X₂ de cada submódulo 7 pueden generarse ahora dos estados de tensión. Si desde una unidad de activación 9 es generada por ejemplo una señal de activación, con la cual el semiconductor de potencia que puede ser desconectado T₁, T₂ es cambiado a su posición de paso, en donde se posibilita un flujo de corriente mediante los semiconductores de potencia T₂, entonces en los bornes X₁, X₂ del submódulo 7 la tensión desciende a cero. De este modo, el semiconductor de potencia que puede ser desconectado T₁ se encuentra en su posición de bloqueo, en donde un flujo de corriente es interrumpido mediante el semiconductor de potencia que puede ser desconectado T₁. Esto impide la descarga del condensador 8. En cambio, si el semiconductor de potencia que puede ser desconectado T₁ es cambiado a su posición de paso, pero el semiconductor de potencia que puede ser desconectado T₂ pasa a su posición de bloqueo, entonces en los bornes X₁, X₂ del submódulo 7 se aplica la tensión del condensador completa U_c.

El ejemplo de ejecución del dispositivo de acuerdo con la invención según las figuras 1 y 2 se denomina también como el así llamado convertidor multi - nivel. Un convertidor multi - nivel de esa clase es adecuado por ejemplo para accionar máquinas eléctricas, como por ejemplo motores o similares. Además, un convertidor multi - nivel de esa clase es adecuado también para una utilización en el área de la distribución y la transmisión de energía. De este modo, el dispositivo de acuerdo con la invención se utiliza por ejemplo como acoplamiento apretado, el cual se compone de dos convertidores conectados uno con otro del lado de tensión continua, donde los convertidores respectivamente están conectados a una red de tensión alterna. Los acoplamientos apretados de esa clase se utilizan para el intercambio de energía entre dos redes de distribución eléctrica, donde las redes de distribución eléctrica presentan por ejemplo una frecuencia, una relación de fase, un tratamiento del punto neutro diferentes, o similares. Se consideran además aplicaciones en el área de la compensación de potencia aparente, como los así llamados FACTS (Flexible AC Transmission Systems/ sistemas de transmisión CA flexibles). Con convertidores multi - nivel de esa clase es posible también la transmisión de corriente continua de alta tensión más allá de tramos prolongados.

Para evitar una distribución asimétrica de la energía en los submódulos 7, por tanto, en los condensadores 8 de los submódulos 7, en el marco de la invención, se determina primero si se encuentran presentes asimetrías.

De manera esquemática, la figura 3 ilustra un método para detectar una asimetría vertical. Para ello, de cada derivación del módulo de fase 6p₁,...,6n₃ son determinados primero los valores reales de energía de derivación

5 $U_{c\Sigma p1, \dots, Uc\Sigma n3}$. Lo mencionado tiene lugar a través de la medición de la tensión U_c que desciende en el condensador 8 para cada submódulo 7. Tal como se muestra en la figura 2 a través de la flecha que señala hacia la derecha, el valor de tensión del condensador U_c detectado por el sensor de tensión es transmitido a la unidad de evaluación 9. La unidad de evaluación 9 suma todos los valores de tensión del condensador U_c de una derivación del módulo de fase $6p1, \dots, 6n3$, formando valores de energía de derivación $U_{c\Sigma p1, \dots, Uc\Sigma n3}$. No se considera relevante si se encuentra conectado el submódulo del circuito en serie y si proporciona o no un aporte. Para obtener una medida para la energía almacenada es posible también elevar al cuadrado la tensión U_c que desciende en los condensadores formando U_c^2 , sumando a continuación U_c^2 a los valores reales de energía de derivación.

10 Los valores reales de energía de derivación corresponden aquí por tanto a valores reales de tensión de derivación $U_{c\Sigma p1, \dots, Uc\Sigma n3}$. Éstos se transforman en valores intermedios a través de un regulador proporcional 10, y los valores intermedios de las derivaciones del módulo de fase $6p1, 6p2, 6p3$, que están conectadas a la conexión de tensión continua positiva p son sumados unos con otros. Se procede de forma correspondiente con los valores intermedios de las derivaciones del módulo de fase $6n1, 6n2, 6n3$, las cuales están conectadas con la conexión de tensión continua negativa n . De este modo se produce una suma de derivación positiva, así como una suma de derivación negativa, las cuales son sustraídas una de otra mediante el formador de diferencias 11, debido a lo cual se forma el valor objetivo de corriente de circulación D_{vb} para la compensación de una asimetría vertical.

20 La figura 4 ilustra la generación de una tensión objetivo del sistema directo, frecuente de la red. En primer lugar se forma tanto una función seno como una función coseno, con el argumento de ωt agregando un desplazamiento de fases δ . ω corresponde aquí a la frecuencia de la tensión de la red conectada. La función seno, así como la función coseno, se multiplican respectivamente por una amplitud que se forma a partir del valor objetivo de corriente de circulación D_{vb} , utilizando un regulador proporcional 10. A través de la transformación subsiguiente del espacio vectorial bidimensional al espacio tridimensional resulta la tensión objetivo del sistema directo u_{vb1} , u_{vb2} y u_{vb3} , frecuente de la red. Ésta se conecta a otras tensiones objetivo en una unidad de regulación de corriente.

25 Partiendo del valor objetivo D_{vb} formado según la figura 3, en lugar de la generación de una tensión objetivo del sistema directo, frecuente de la red, es posible también la generación de una tensión de asimetría U_{asym} . Para ello, tal como se muestra en la figura 5, el valor objetivo de corriente de circulación D_{vb} se aplica en la entrada de un regulador 10, donde éste se trata por ejemplo de un regulador proporcional. En la salida del regulador 10 puede ser detectada la tensión de asimetría U_{asym} .

30 La figura 6 ilustra la verificación de una asimetría horizontal en el mismo sentido. Para ello, los valores reales de energía de derivación $U_{c\Sigma p1, \dots, Uc\Sigma n3}$ de las derivaciones del módulo de fase $6p1, \dots, 6n3$ del mismo módulo de fase $2a, 2b, 2c$ se suman respectivamente a valores de adición de energía del módulo de fase, donde los valores reales de energía de derivación son aumentados previamente de forma proporcional a través del regulador 10, formando valores intermedios. Para la adición se utiliza un sumador 12. A partir de los valores de adición de energía del módulo de fase en la salida del sumador 12 se forma el valor medio a través del formador del valor medio 13 y de cada valor de adición de energía del módulo de fase se sustrae una fase a través del formador de diferencias 11. En la salida de cada formador de diferencias 11 pueden detectarse valores objetivo de corriente de circulación verticales D_{hgl1} , D_{hgl2} , D_{hgl3} para cada fase.

40 La figura 7 muestra cómo puede ser verificada una asimetría horizontal en el sentido opuesto. Para ello, los valores reales de energía de derivación $U_{c\Sigma p1, \dots, Uc\Sigma n3}$ primero son aumentados nuevamente a través de un regulador 10. A continuación, a diferencia del método mostrado en la figura 6, se calcula la diferencia entre valores reales de energía de derivación $U_{c\Sigma p1}, U_{c\Sigma n1}$ de las derivaciones del módulo de fase del mismo módulo de fase $2a, 2b, 2c$. A partir de la diferencia se forma nuevamente el valor medio sobre las tres fases, donde el valor medio se sustrae de la diferencia mencionada. En la salida del segundo formador de diferencias 11 puede detectarse finalmente el valor objetivo de corriente de asimetría horizontal en el sentido opuesto D_{hge1} , D_{hge2} y D_{hge3} , para cada fase.

45 La figura 8 ilustra cómo a partir de los valores objetivo de corriente de circulación D_{hgl1} , D_{hgl2} , D_{hgl3} , a través de un regulador proporcional 10, son generados valores objetivo de tensión de circulación u_{hgl1} , u_{hgl2} y u_{hgl3} . Dichos valores objetivo de tensión de circulación, del modo antes descrito, son suministrados para la regulación, de manera que se presentan las corrientes de circulación deseadas para compensar las simetrías.

50 La figura 9 ilustra la generación de una tensión del sistema directo, frecuente de la red, u_{hge1} , u_{hge2} y u_{hge3} . Partiendo de los valores objetivo de corriente de asimetría horizontales en el sentido opuesto D_{hge1} , D_{hge2} y D_{hge3} , los valores objetivo de corriente de asimetría mencionados son transformados primero en el espacio vectorial bidimensional y a continuación son aumentados proporcionalmente a través de un regulador 10. Los valores objetivo de asimetría aumentados se utilizan como amplitud de una función coseno y de una función seno negativa con el argumento ωt y el desplazamiento de fases δ . Después de la transformación en el espacio tridimensional se obtiene la tensión objetivo del sistema inverso, frecuente de la red, $u_{hge1}, u_{hge2}, u_{hge3}$ para suministrarla a la unidad de regulación de corriente y para conectarla a otros valores objetivo, para la regulación.

La figura 10 ilustra medios para la compensación simultánea de asimetrías verticales y asimetrías horizontales en el sentido opuesto. Tal como se describe con relación a la figura 7, en primer lugar valores reales de energía de derivación $U_{c\Sigma p1}, \dots, U_{c\Sigma n3}$ de las derivaciones del módulo de fase $6p1, \dots, 6n3$ de un módulo de fase común son aumentados proporcionalmente a través de un regulador 10, donde a continuación en el formador de diferencias 11 se forma la diferencia. Paralelamente con respecto a ello se forman funciones coseno que dependen de la frecuencia de la red ω y de la fase δ . Las funciones coseno formadas a modo de fases están desplazadas en cuanto

a sus fases en $\frac{2\pi}{3}$ unas con respecto a otras. Las funciones coseno formadas desplazadas en cuanto a sus fases son multiplicadas por la diferencia del módulo de derivación de fase que resulta en la salida del formador de diferencias 11, como amplitud, de manera que resulta una tensión objetivo del sistema directo u_{vb1}, u_{vb2} y u_{ub3} .

La figura 11 ilustra la estructura de los medios de regulación. Los medios de regulación comprenden una unidad de regulación de corriente 10, así como unidades de activación $9p1, 9p2, 9p3$ y $9n1, 9n2$ y $9n3$. Cada una de las unidades de activación se encuentra asociada a una derivación del módulo de fase $6p1, 6p2, 6p3, 6n1, 6n2$, así como $6n3$. La unidad de activación $9p1$ se encuentra conectada por ejemplo a cada submódulo 7 de la derivación del módulo de fase $6p1$, generando señales de control para los semiconductores de potencia que pueden ser desconectados T1, T2. En cada submódulo 7 se proporciona un sensor de tensión del submódulo, el cual no se representa en la figura. El sensor de tensión del submódulo se utiliza para detectar la tensión del condensador que descende en el condensador 8, como acumulador del energía del submódulo 7, obteniendo un valor de tensión del condensador U_c . El valor de tensión del condensador U_c se pone a disposición de la respectiva unidad de activación, en este caso $9p1$. De este modo, la unidad de activación $9p1$ obtiene los valores de tensión del condensador de todos los submódulos 7 de la derivación del módulo de fase $6p1$ asociada a la misma, y los suma para obtener un valor real de energía de derivación o , en este caso, un valor real de tensión de derivación $U_{c\Sigma p1}$, el cual igualmente se encuentra asociado a la derivación del módulo de fase $6p1$. Dicho valor real de tensión de derivación $U_{c\Sigma p1}$ es suministrado a la unidad de regulación de corriente 10.

Además, la unidad de regulación de corriente 10 está conectada a diferentes sensores de medición no representados en la figura. De este modo, transformadores de corriente dispuestos del lado de la tensión alterna de los módulos de fase 2a, 2b, 2c se utilizan para generar y suministrar valores de medición de corriente de fase I1, I2, I3 y transformadores de corriente dispuestos en cada módulo de fase se utilizan para generar y suministrar corrientes de derivación del módulo de fase I_{zwg} , así como un transformador de corriente dispuesto en el circuito de tensión continua del convertidor se utiliza para proporcionar valores de medición de corriente continua I_d . Los transformadores de tensión de la red de corriente alterna proporcionan valores de medición de tensión de la red $U1, U2, U3$ y los transformadores de tensión continua proporcionan valores de medición de tensión continua positiva positivos U_{dp} y valores de medición de tensión continua negativos U_{dn} , donde los valores de tensión continua positivos U_{dp} corresponden a una tensión continua que descende entre la conexión de tensión continua positiva p y la tierra, y los valores de tensión continua negativos U_{dn} corresponden a una tensión que descende entre la conexión de tensión continua negativa y la tierra.

A la unidad de regulación de corriente 10 son suministrados además valores objetivo. En el ejemplo de ejecución mostrado en la figura 11, a la unidad de regulación 10 son suministrados un valor objetivo de corriente activa I_{pref} , así como un valor objetivo de corriente reactiva I_{qref} . Además, un valor objetivo de tensión continua U_{dref} se aplica en la entrada de la unidad de regulación de corriente 10. En lugar de un valor objetivo de tensión continua U_{dref} , en el marco de la invención es posible también la utilización de un valor objetivo de corriente continua I_{dref} .

Los valores objetivo I_{pref}, I_{qref} y U_{dref} , así como los valores de medición mencionados, interactúan unos con otros utilizando diferentes reguladores, donde para cada unidad de activación $9p1, 9p2, 9p3, 9n1, 9n2$ y $9n3$ es generado un valor objetivo de tensión de derivación $U_{p1ref}, U_{p2ref}, U_{p3ref}, U_{n1ref}, U_{n2ref}, U_{n3ref}$. Cada unidad de activación 9 genera señales de control para los submódulos 7 asociados a la misma, de manera que la tensión $U_{p1}, U_{p2}, U_{p3}, U_{n1}, U_{n2}, U_{n3}$ que se presenta en el circuito en serie de los submódulos corresponde lo más posible al respectivo valor objetivo de tensión de derivación $U_{p1ref}, U_{p2ref}, U_{p3ref}, U_{n1ref}, U_{n2ref}, U_{n3ref}$.

La unidad de regulación de corriente 10, a partir de sus valores de entrada, forma valores objetivo de tensión de derivación adecuados $U_{p1ref}, U_{p2ref}, U_{p3ref}, U_{n1ref}, U_{n2ref}, U_{n3ref}$.

La figura 12 muestra que por ejemplo el valor objetivo de tensión de derivación U_{pref} es calculado a través de la combinación lineal de un valor objetivo de tensión de fases de la red U_{netz1} , de un valor objetivo intermedio de tensión de derivación U_{zwgp1} , de un valor objetivo de tensión continua U_{dc} , de un valor objetivo de tensión de simetrización U_{asym} y de un valor objetivo de tensión de equilibrio U_{balp1} . Esto tiene lugar para cada una de las derivaciones del módulo de fase $6p1, 6p2, 6p3, 6n1, 6n2, 6n3$, independientemente una de otra. Con los valores objetivo intermedios de tensión de derivación U_{zwg} , en combinación con las inductancias de derivación reguladas, las corrientes de circulación pueden ser reguladas de forma selectiva. También los valores objetivo de tensión de equilibrio U_{bal} se utilizan para compensar asimetrías en cuanto a la energía almacenada en las derivaciones del módulo de fase $6p1, 6p2, 6p3, 6n1, 6n2, 6n3$.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (1) para convertir una corriente eléctrica con al menos un módulo de fase (2a,2b,2c) que presenta una conexión de tensión alterna (31,32,33) y al menos una conexión de tensión continua (p, n), donde entre cada conexión de tensión continua (p, n) y cada conexión de tensión alterna (31,32,33) se encuentra conformada una derivación del módulo de fase (6p1,6p2,6p3,6n1,6n2,6n3), y donde cada derivación del módulo de fase (6p1,6p2,6p3,6n1,6n2,6n3) dispone de un circuito en serie compuesto por submódulos (7), los cuales respectivamente presentan un acumulador de energía (8) y al menos un semiconductor de potencia (T1,T2), con sensores del submódulo para detectar una energía almacenada en el acumulador de energía (8) obteniendo valores de energía del acumulador de energía, y con medios de regulación (9) para regular el dispositivo (1) en función de los valores de energía del acumulador de energía y de valores objetivo predeterminados, caracterizado porque los medios de regulación (9) presentan una unidad de adición para sumar los valores de energía del acumulador de energía (Uc) obteniendo valores reales de energía de derivación ($Uc\Sigma p1, \dots, Uc\Sigma n3$) y medios para calcular valores objetivo de corriente de circulación (Dvb,Dhgl,Dhge) en función de los valores reales de energía de derivación ($Uc\Sigma p1, \dots, Uc\Sigma n3$), donde los medios de regulación (9) están diseñados para compensar asimetrías en los valores reales de energía de derivación ($Uc\Sigma p1, \dots, Uc\Sigma n3$) en función de los valores objetivo de corriente de circulación (Dvb,Dhgl,Dhge).
2. Dispositivo (1) según la reivindicación 1, caracterizado por una conexión de tensión continua positiva y una conexión de tensión continua negativa (p, n), donde medios de adición suman los valores reales de energía de derivación de las derivaciones del módulo de fase, las cuales se encuentran conectadas a la conexión de tensión continua positiva (p), para formar una suma de derivación positiva, y los valores reales de energía de derivación de las derivaciones del módulo de fase, las cuales se encuentran conectadas con la conexión de tensión continua negativa (n), para formar una suma de derivación negativa, y por medios de diferencia (11) que forman la diferencia a partir de la suma de derivación positiva y la suma de derivación negativa obteniendo un valor objetivo de corriente de circulación vertical (Dvb) para compensar una asimetría vertical.
3. Dispositivo (1) según la reivindicación 2, caracterizado por medios para generar una tensión objetivo del sistema directo (Uvb1, Uvb2, Uvb3), frecuente de la red, en función de la corriente objetivo de circulación vertical (Dvb) para compensar la asimetría vertical.
4. Dispositivo (1) según la reivindicación 2, caracterizado por medios para generar una tensión de asimetría (Uasym) en función de los valores objetivo de corriente de circulación (Dvb) para compensar la asimetría vertical.
5. Dispositivo (1) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por medios para verificar una asimetría horizontal en el mismo sentido, donde los medios mencionados presentan valores objetivo de corriente de circulación (Dhg11, Dhg12, Dhg13) en función de la asimetría horizontal en el mismo sentido verificada.
6. Dispositivo (1) según la reivindicación 5, caracterizado por medios para generar valores objetivo de tensión de circulación (uhg11, uhg12, uhg13) que se encuentran asociados respectivamente a un módulo de fase (2a,2b,2c).
7. Dispositivo (1) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por medios para verificar una asimetría horizontal en el sentido opuesto, donde los medios mencionados presentan valores objetivo de corriente de circulación (Dhge1, Dhge2, Dhge3) en función de la asimetría horizontal en el sentido opuesto verificada.
8. Dispositivo (1) según la reivindicación 7, caracterizado por medios para generar una tensión de circulación del sistema inverso (uhge1, uhge2, uhge3), frecuente de la red, en función de los valores objetivo de corriente de circulación (Dhge1, Dhge2, Dhge3).
9. Dispositivo (1) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por medios para la compensación simultánea de asimetrías verticales y horizontales en el sentido opuesto.
10. Método para convertir una corriente mediante un convertidor (1) que presenta al menos un módulo de fase (2a,2b,2c) con al menos una conexión de tensión continua (p, n) y una conexión de tensión alterna (31,32,33), donde entre cada conexión de tensión continua (p, n) y la conexión de tensión alterna (31,32,33) se encuentra conformada una derivación del módulo de fase (6p1,6p2,6p3,6n1,6n2,6n3), la cual dispone de un circuito en serie compuesto por submódulos (7), los cuales respectivamente presentan un acumulador de energía (8) y al menos un semiconductor de potencia (T1, T2), donde es detectada la energía almacenada en cada acumulador de energía (8), obteniendo un valor de energía del acumulador de energía (U, c), son sumados todos los valores de energía del acumulador de energía (U, c) de una derivación del módulo de fases obteniendo valores reales de energía de derivación ($Uc\Sigma p1, \dots, Uc\Sigma n3$) y en función de los valores reales de energía de derivación ($Uc\Sigma p1, \dots, Uc\Sigma n3$) son determinados valores objetivo de corriente de circulación, donde en función de los valores objetivo de corriente de circulación son generadas corrientes de circulación en los módulos de fase (2a,2b,2c) para compensar asimetrías.

- 5 11. Método según la reivindicación 10, caracterizado porque son sumados los valores reales de energía de derivación ($U_{c\Sigma p1}, U_{c\Sigma p2}, U_{c\Sigma p3}$) de todos los módulos de fase que se encuentran conectados a una conexión de tensión continua positiva (p), obteniendo una suma total positiva y son sumados los valores reales de energía de derivación ($U_{c\Sigma n1}, U_{c\Sigma n2}, U_{c\Sigma n3}$) de todas las derivaciones del módulo de fase que se encuentran conectadas a una conexión de tensión continua negativa (n), obteniendo una suma total negativa, donde la diferencia entre la suma total positiva y la suma total negativa se forma mediante la obtención de un valor objetivo de corriente de circulación vertical (Dvb).
12. Método según la reivindicación 11, caracterizado porque a partir del valor objetivo de corriente de circulación vertical (Dvb) es generada una tensión objetivo del sistema directo ($U_{vb1}, U_{vb2}, U_{vb3}$), frecuente de la red.
- 10 13. Método según la reivindicación 11, caracterizado porque a partir del valor objetivo de corriente de circulación vertical (Dvb), mediante un regulador proporcional (10), es generada una tensión objetivo de asimetría (U_{asym}).
- 15 14. Método según una de las reivindicaciones 10 a 13, caracterizado porque son sumados los valores reales de energía de derivación ($U_{c\Sigma p1}, U_{c\Sigma n1}$) de todas las derivaciones de módulo de fase de un módulo de fase (2a,2c,2c) obteniendo valores de adición de energía del módulo de fase que se encuentran asociados respectivamente a una fase, es calculado el valor medio de los valores de adición de energía del módulo de fase sobre todas las fases y para cada fase se calcula la diferencia a partir del valor medio mencionado y del respectivo valor de adición de energía del módulo de fase, obteniendo valores objetivo de corriente de asimetría horizontales en el mismo sentido ($D_{hg11}, D_{hg12}, D_{hg13}$).
- 20 15. Método según la reivindicación 14, caracterizado porque valores objetivo de tensión de circulación ($U_{hg11}, U_{hg12}, D_{hg13}$) son formados a partir de los valores objetivo de corriente de asimetría horizontales en el mismo sentido ($D_{hg11}, D_{hg12}, D_{hg13}$), mediante reguladores, los cuales se incluyen en la regulación como tensión objetivo.
- 25 16. Dispositivo (1) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque son restados unos de otros los valores reales de energía de derivación ($U_{c\Sigma p1}, U_{c\Sigma n1}$) de todas las derivaciones de módulo de fase de un módulo de fase (2a,2c,2c) obteniendo valores de diferencia de energía del módulo de fase que se encuentran asociados respectivamente a una fase, es calculado el valor medio de los valores de diferencia de energía del módulo de fase sobre todas las fases y para cada fase se calcula la diferencia a partir del valor medio mencionado y del respectivo valor de diferencia de energía del módulo de fase, obteniendo valores objetivo de corriente de asimetría horizontales en el sentido opuesto ($D_{hge1}, D_{hge2}, D_{hge3}$).
- 30 17. Dispositivo (1) según la reivindicación 16, caracterizado porque un sistema de tensión inversa ($u_{hge1}, u_{hge2}, u_{hge3}$), frecuente de la red, es generado a partir de los valores objetivo de corriente de asimetría horizontales en el sentido opuesto ($D_{hge1}, D_{hge2}, D_{hge3}$).
- 35 18. Método según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque se resta el valor real de energía de derivación $U_{c\Sigma p1}$ de una derivación del módulo de fase (6n1) que se encuentra conectada a una conexión de tensión continua negativa (n), del valor real de energía de derivación $U_{c\Sigma p1}$ de la derivación del módulo de fase (6p1) del mismo módulo de fase (2a), la cual se encuentra conectada a la conexión de tensión continua positiva (p), obteniendo una diferencia del módulo de derivación de fase, donde la diferencia del módulo de derivación de fase se utiliza como amplitud de una función periódica que oscila con la frecuencia de la red y se encuentra asociada a un módulo de fase, donde las funciones periódicas de los otros módulos de fase respectivamente se encuentran desplazadas en cuanto a las fases, de manera que se forma una tensión objetivo del sistema directo.
- 40

FIG 2

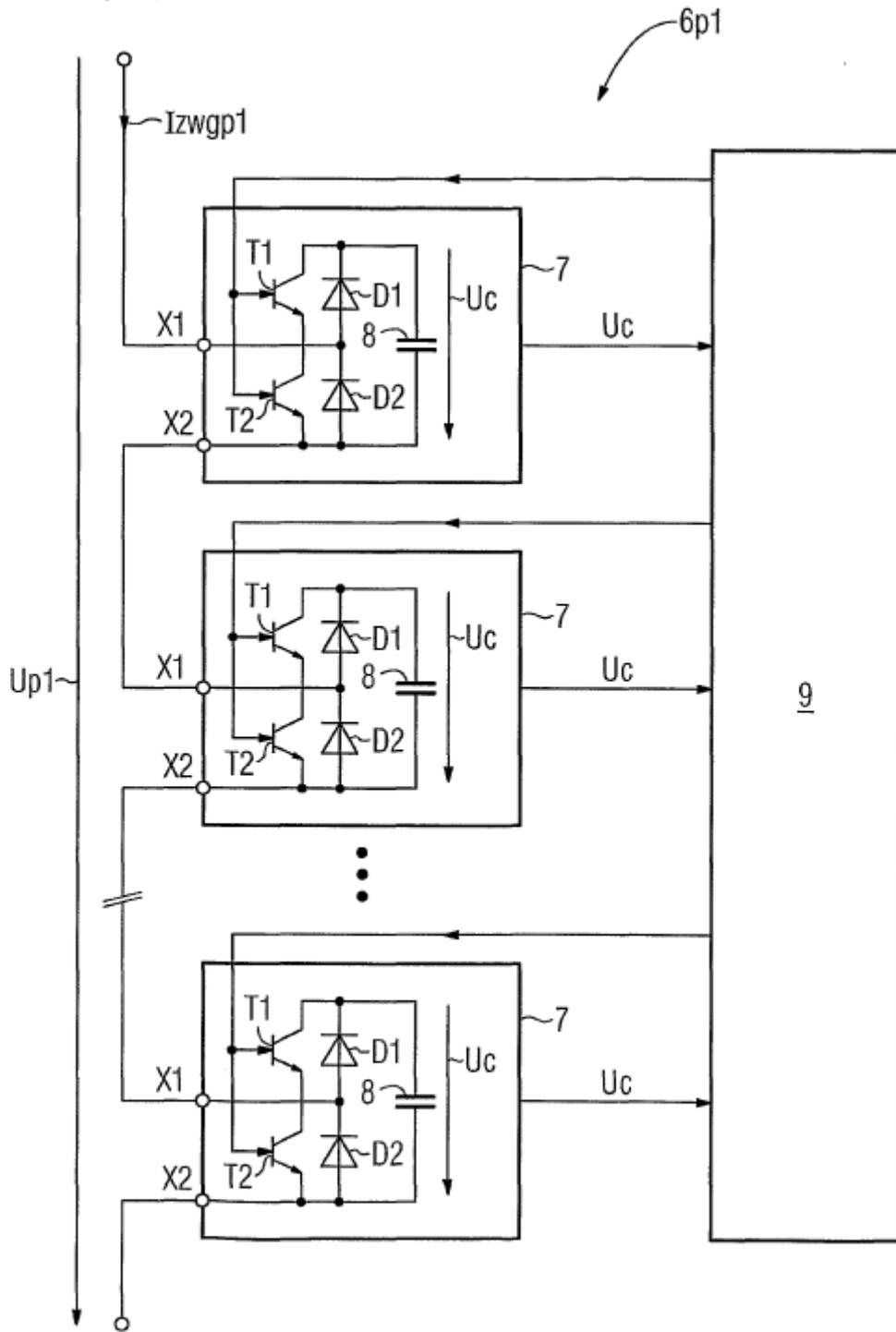


FIG 3

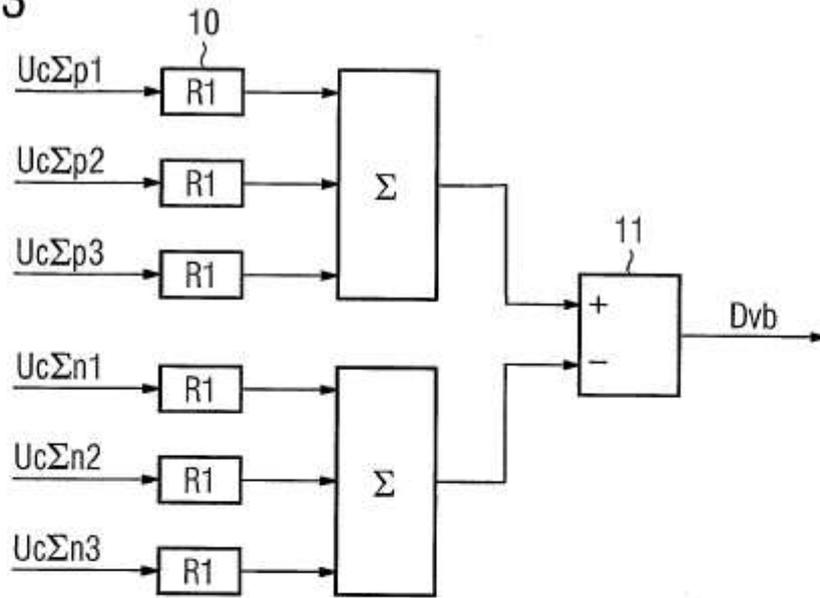


FIG 4

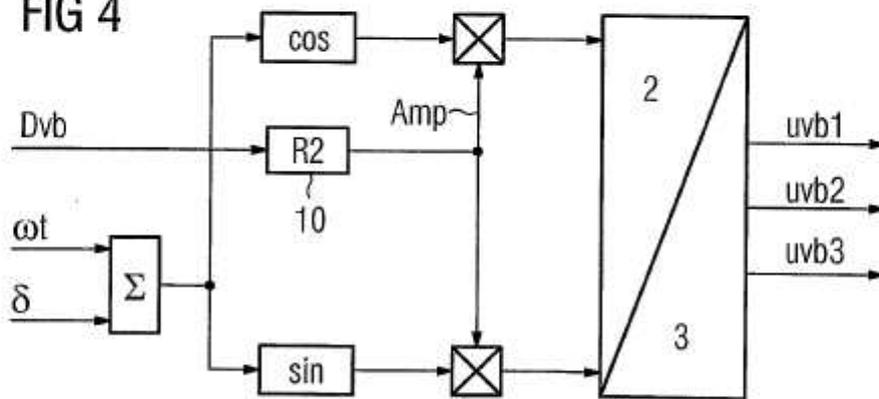


FIG 5

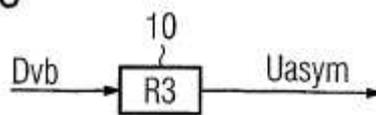


FIG 6

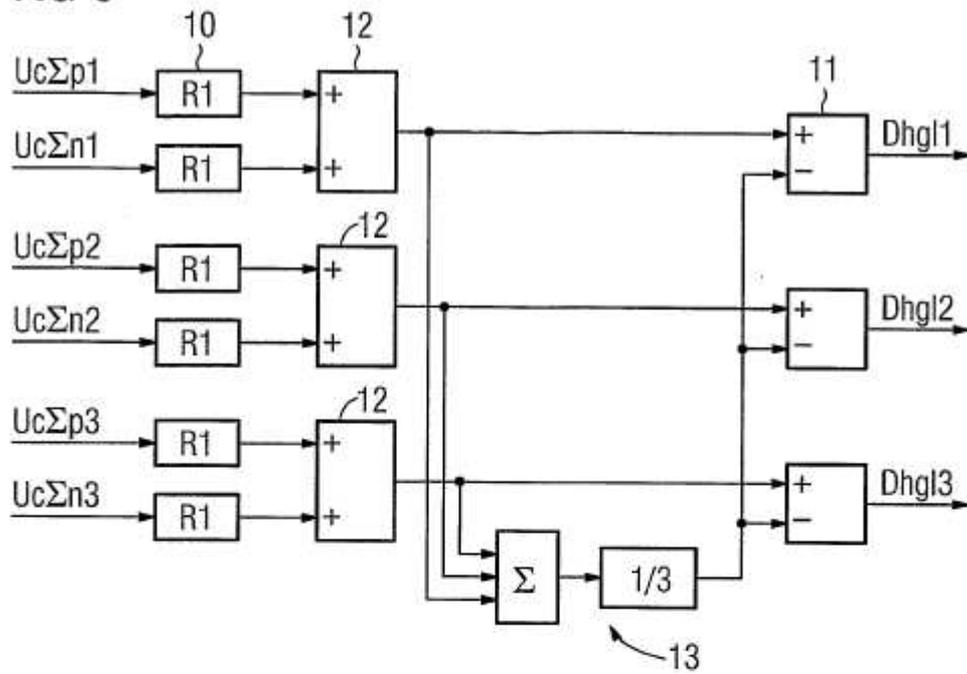


FIG 7

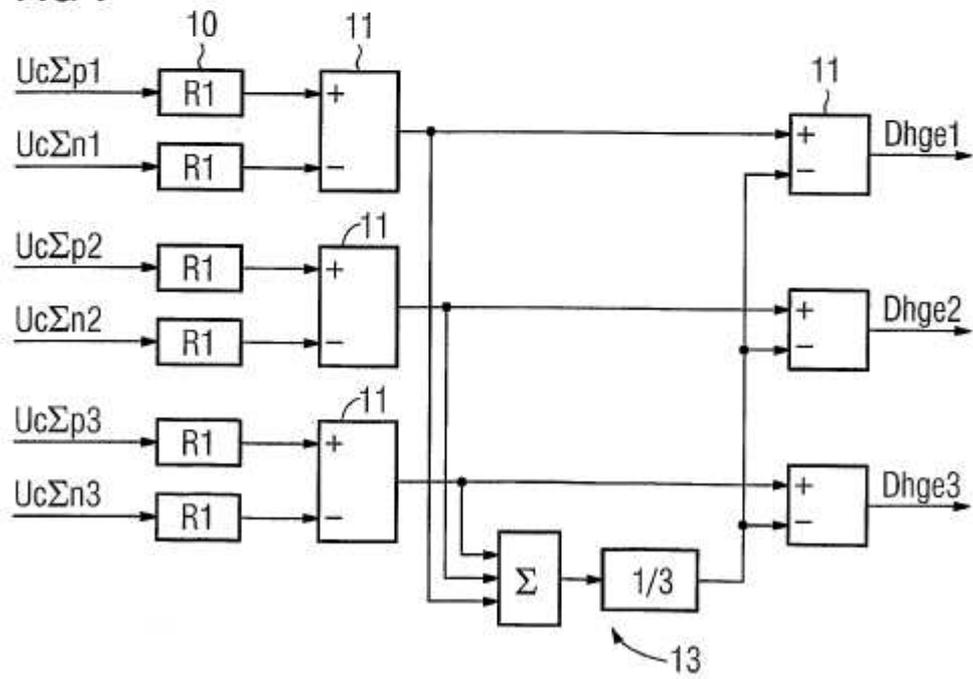


FIG 8

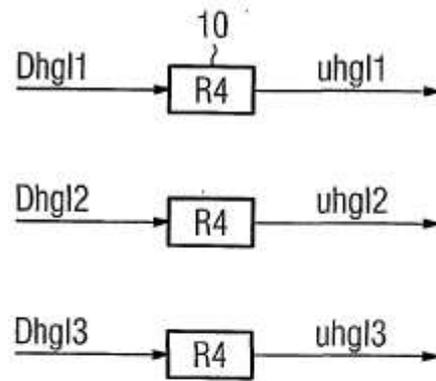


FIG 9

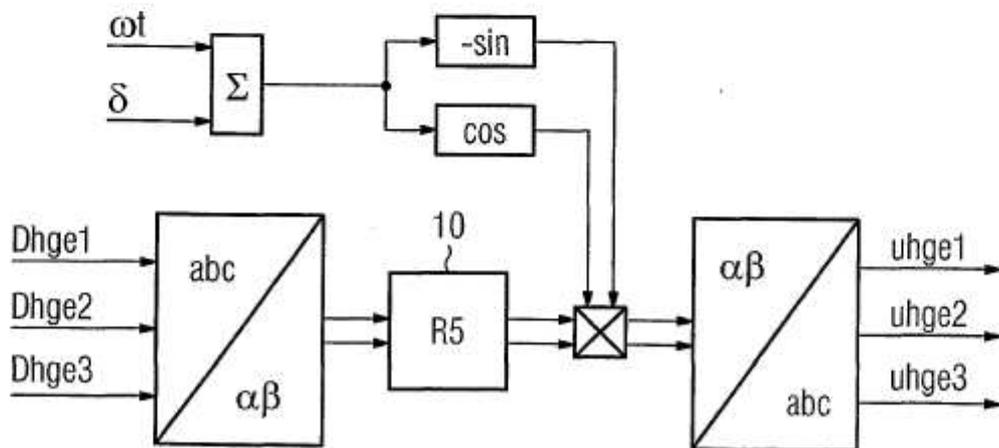


FIG 10

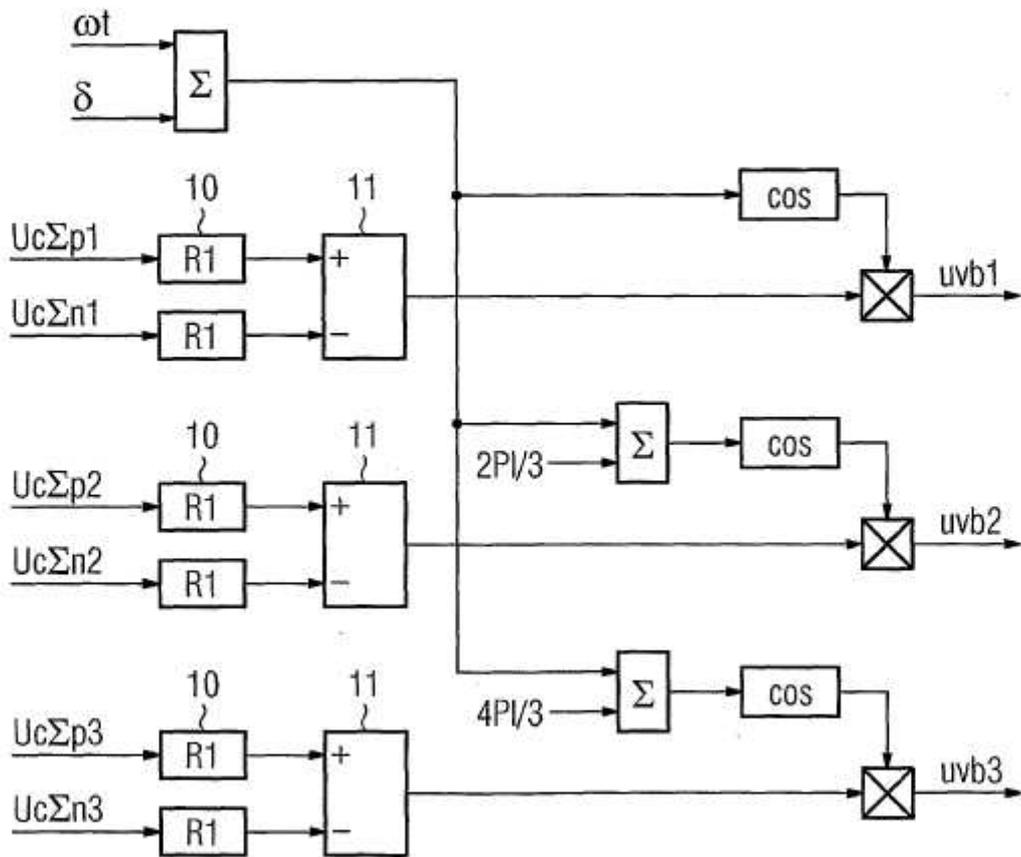


FIG 11

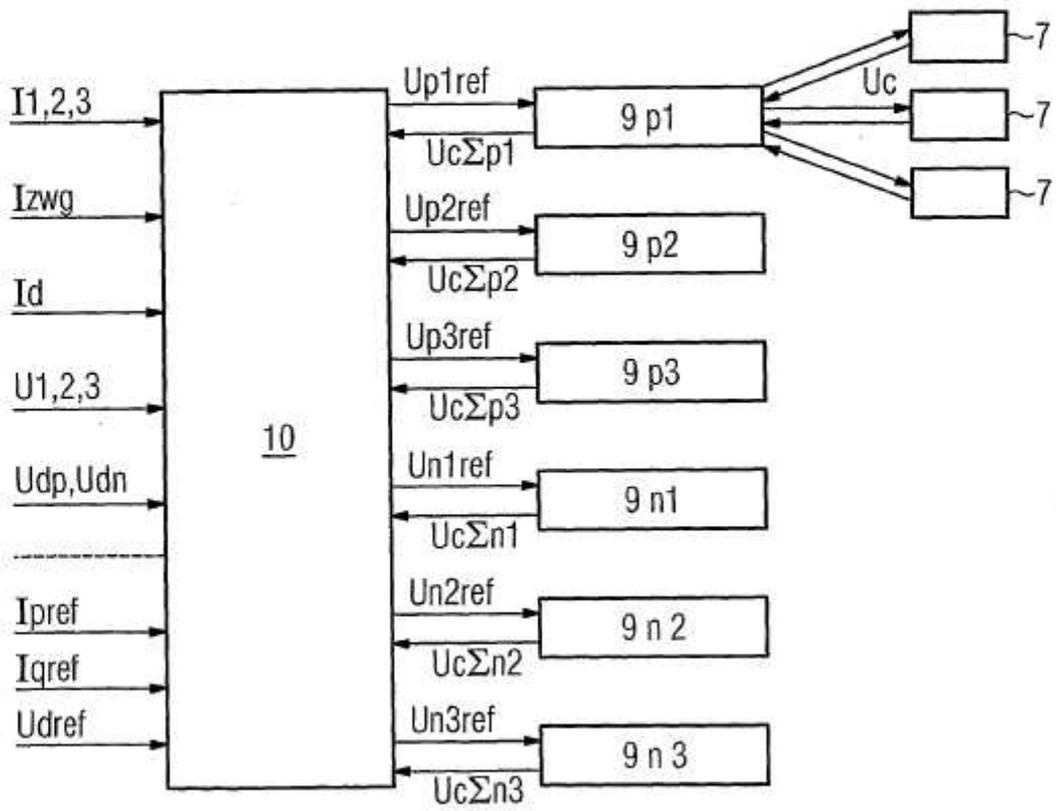


FIG 12

