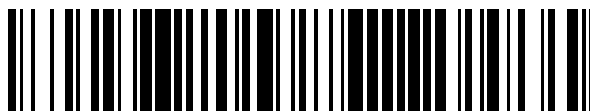


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 598 107**

51 Int. Cl.:

**H02M 5/458** (2006.01)

**H02M 7/483** (2007.01)

**H02M 7/493** (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.09.2014 PCT/EP2014/068507**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.03.2015 WO15028665**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.09.2014 E 14780769 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.07.2016 EP 2946466**

54 Título: **Convertidores de múltiples niveles modulares paralelos**

30 Prioridad:

**30.08.2013 EP 13182394**

**04.10.2013 EP 13187363**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.01.2017**

73 Titular/es:

**ABB SCHWEIZ AG (100.0%)**  
**Brown Boveri Strasse 6**  
**5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**STEIMER, PETER**

74 Agente/Representante:

**ZEA CHECA, Bernabé**

ES 2 598 107 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**

Convertidores de múltiples niveles modulares paralelos

## 5 CAMPO DE LA INVENCION

La invención se refiere al campo de la conversión de energía eléctrica. En particular, la invención se refiere a un dispositivo convertidor para convertir una primera corriente alterna o continua en una segunda corriente alterna o continua de diferente frecuencia y/o de diferente de voltaje.

10

## ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Para el accionamiento de una carga eléctrica, tal como un motor eléctrico, desde una red eléctrica, un convertidor eléctrico puede convertir una posible corriente de múltiples fases desde la red en una posible corriente de múltiples fases que se suministre a la carga.

15

Tales convertidores eléctricos también se utilizan para el suministro de la energía eléctrica generada por una fuente de alimentación a una red eléctrica. Por ejemplo, una corriente de frecuencia variable, que sea generada por un generador de una central hidroeléctrica o de un aerogenerador, puede convertirse en una corriente de frecuencia fija para ser suministrada a la red.

20

Además, es posible interconectar dos redes eléctricas de un convertidor eléctrico. En este caso, el flujo de energía puede ser en ambos sentidos.

25

Los convertidores modulares de múltiples niveles son un tipo especial de convertidor eléctrico que puede ser especialmente adecuado para la conversión de corriente de alta energía y alto voltaje. Tal convertidor tiene un diseño modular y comprende unas celdas del convertidor conectadas en serie. Cada celda del convertidor tiene generalmente dos o cuatro interruptores semiconductores y un condensador de celda. La energía almacenada en el convertidor no se almacena en un número bastante pequeño de condensadores de conexión de CC sino en los condensadores de celda, que también están sometidos únicamente a un voltaje menor en comparación con otros tipos de convertidores.

30

Para la conversión de las corrientes incluso más elevadas con voltajes elevados, es posible conectar convertidores modulares de múltiples niveles en paralelo. Una disposición en paralelo a nivel del convertidor puede resultar beneficioso debido a ninguna o casi ninguna reducción de voltaje/corriente en comparación con disponer el dispositivo en paralelo y disponer en paralelo a nivel de celda, debido al hecho de que las pérdidas del inductor centralizadas pueden ser inferiores a las pérdidas del inductor distribuidas en comparación con disponer en paralelo a nivel de celdas y de derivación y que más tensiones/corrientes de inductor sinusoidales suelen resultar en menores pérdidas en comparación con disponer en paralelo a nivel de derivación.

35

40

Noman Ahmed y otros: "HVDC SuperGrids with Modular Multilevel Converters – the Power Transmission Backbone of the Future " 2012, 9ª Multiconferencia Internacional sobre Sistemas, Señales y Dispositivos (SSD 2012): Chemnitz, Alemania, 20-23 de marzo de 2012, IEEE, Piscataway, NJ, 20 de marzo de 2012 (20-03-2012), páginas 1-7, describe un dispositivo convertidor, en el que el dispositivo convertidor comprende por lo menos un primer convertidor modular de múltiples niveles, en el que el por lo menos primer convertidor modular de múltiples niveles comprende por lo menos dos derivaciones del convertidor, en el que cada derivación del convertidor comprende una pluralidad de celdas del convertidor conectadas en serie, comprendiendo cada celda del convertidor un condensador de celda y unos interruptores de semiconductores para conectar el condensador de celda a la derivación del convertidor, en el que las por lo menos dos derivaciones del convertidor del primer convertidor modular de múltiples niveles están conectadas a través de un primer punto de conexión de derivación. Además, el dispositivo convertidor describe un sistema de protección.

45

50

## DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Sin embargo, en el caso de dos o más convertidores modulares de múltiples niveles conectados en paralelo, pueden producirse corrientes circulantes que pasan entre los convertidores y que pueden provocar mayores pérdidas, ya que los interruptores de semiconductores de potencia también tienen que conmutar corrientes que no transportan energía entre los lados del convertidor. Además, las corrientes circulantes pueden complicar el control del dispositivo convertidor que comprende los convertidores conectados en paralelo.

55

60

Un objetivo de la invención es proporcionar una conversión de energía eléctrica con bajas pérdidas y un dispositivo convertidor fácil de controlar.

Este objetivo se consigue mediante un dispositivo convertidor de acuerdo con la reivindicación independiente 1. En las reivindicaciones dependientes se definen otras realizaciones preferidas.

5 Un aspecto de la invención se refiere a un dispositivo convertidor, que comprende convertidores modulares de múltiples niveles conectados en paralelo. El dispositivo convertidor puede estar adaptado para convertir una corriente alterna en una corriente alterna, convertir una corriente continua en una corriente alterna, o convertir una corriente continua en una corriente continua. Ambas corrientes pueden ser de una sola fase o de múltiples fases.

10 De acuerdo con una realización de la invención, el dispositivo convertidor comprende por lo menos un primer y un segundo convertidor modular de múltiples niveles; donde cada uno del por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles comprende por lo menos dos derivaciones del convertidor; en el que cada derivación del convertidor comprende una pluralidad de celdas del convertidor conectadas en serie, comprendiendo cada celda del convertidor un condensador de celda y unos interruptores semiconductores para conectar el condensador de celda a la derivación del convertidor; en el que las por lo menos dos derivaciones del convertidor del primer convertidor modular de múltiples niveles están conectadas a través de un primer punto de conexión de derivación y las por lo menos dos derivaciones del convertidor del segundo convertidor modular de múltiples niveles están conectadas a través de un segundo punto de conexión de derivación; donde el por lo menos primer y segundo convertidor de múltiples niveles están conectados en paralelo a través de un punto de conexión de fase para conectar el dispositivo convertidor a una carga o una fuente de energía, en el que el punto de conexión de fase está conectado, a través de una primera inductancia, al primer punto de conexión de derivación y, a través de una segunda inductancia, al segundo punto de conexión de derivación.

25 En otras palabras, el dispositivo convertidor comprende inductancias entre un punto de conexión de fase común, que puede considerarse como una entrada o una salida del dispositivo convertidor, y puntos de conexión de derivación, que pueden considerarse como entradas o salidas de los convertidores modulares de múltiples niveles conectados en paralelo. Estas (primera y segunda) inductancias están adaptadas para amortiguar y/o controlar una corriente circular entre el primer y el segundo convertidor.

30 De acuerdo con una realización de la invención, cada uno del primer y el segundo convertidor modular de múltiples niveles comprende derivaciones del convertidor para por lo menos dos fases, y las derivaciones del convertidor de cada fase están conectadas a través de una inductancia para cada fase con un punto de conexión de fase para cada fase o un par de dos derivaciones del convertidor del primer y el segundo convertidor modular de múltiples niveles comparte una o más inductancias. En el caso en que los convertidores (en el lado de entrada o salida respectivo) comprende más de una fase (normalmente tres fases), cada una de las respectivas fases del primer convertidor puede estar conectada con la respectiva fase del segundo convertidor a través de un punto de conexión de fase para cada fase. Se dispone una inductancia independiente para cada fase entre el punto de conexión de fase y el punto de conexión de derivación. Cabe señalar que estas inductancias no pueden conectarse entre sí (por ejemplo, a través de un núcleo común). Sin embargo, puede ser posible también que vayan conectadas.

40 De acuerdo con una realización de la invención, cada una de las por lo menos dos derivaciones del convertidor de cada uno de del por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles está conectado, a través de una inductancia de derivación, al respectivo punto de conexión de derivación del convertidor. Las inductancias de derivación pueden utilizarse para amortiguar y/o controlar corrientes circulantes entre las derivaciones del convertidor del convertidor respectivo. Por ejemplo, las dos derivaciones de cada fase de un convertidor indirecto pueden conectarse a través de dos inductancias entre sí, que comparten un núcleo común. También es posible que las derivaciones del convertidor de una fase de un convertidor directo estén conectadas a través de inductancias conectadas en estrella.

50 En resumen, puede ser posible que, en un lado del dispositivo convertidor, la carga o la fuente de alimentación esté conectada a través de una primera inductancia para amortiguar y/o controlar las corrientes circulantes entre los convertidores paralelos y una segunda inductancia para amortiguar y/o controlar una corriente circulante entre derivaciones del convertidor con una derivación de un convertidor modular de múltiples niveles.

55 De acuerdo con una realización de la invención, el por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles comprende un subconvertidor para convertir una corriente alterna en una corriente continua. Por ejemplo, uno o ambos de los convertidores pueden ser convertidores indirectos y puede comprender un primer subconvertidor modular de múltiples niveles como rectificador activo que esté conectado, a través de una conexión de corriente continua, a un segundo subconvertidor modular de múltiples niveles para convertir el voltaje de la conexión de corriente continua en una corriente alterna de salida.

60 De acuerdo con una realización de la invención, cada uno del por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles es un convertidor indirecto que comprende un rectificador activo conectado, a través de una conexión de corriente continua, a un inversor.

5 En general, dichos convertidores de múltiples fases modulares que están adaptados para convertir una corriente alterna en una corriente continua y/o viceversa, comprenden dos derivaciones del convertidor que están conectadas en serie entre dos salidas de corriente continua para cada fase y proporcionan un punto de conexión de derivación entre ellas para cada fase.

10 De acuerdo con una realización de la invención, el primer convertidor modular de múltiples niveles comprende una primera conexión de corriente continua, y el segundo convertidor modular de múltiples niveles comprende una segunda conexión de corriente continua, que está separada galvánicamente de la primera conexión de corriente continua. En otras palabras, los convertidores indirectos conectados en paralelo pueden comprender conexiones de corriente continua separadas. Hay que tener en cuenta que una conexión de corriente continua de un convertidor modular de múltiples niveles generalmente no tiene condensadores de conexión de corriente continua. La conexión de corriente continua simplemente puede comprender dos salidas de corriente continua del rectificador activo conectadas con dos entradas de corriente continua del inversor.

15 De acuerdo con una realización de la invención, el por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles comprende una conexión de corriente continua común. También es posible que las dos salidas de corriente continua de un primer rectificador estén conectadas con las dos salidas de corriente continua de un segundo rectificador, que estén conectadas con las dos entradas de corriente continua de un primer inversor y las dos entradas de corriente continua de un segundo inversor.

20 De acuerdo con una realización de la invención, el primer y el segundo convertidor modular de múltiples niveles son convertidores directos. Sin embargo, también es posible que el primer convertidor sea un convertidor indirecto y el segundo convertidor sea un convertidor directo. En un convertidor modular de múltiples niveles directo, cada punto de conexión de derivación para cada fase en un primer lado de corriente alterna del convertidor está conectado, a través de una derivación del convertidor, a un punto de conexión de derivación para cada fase de un segundo lado de corriente alterna del convertidor.

25 De acuerdo con una realización de la invención, el dispositivo convertidor comprende un transformador y el por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles están conectados al transformador, a través de un punto de conexión de fase del lado del transformador, de manera que el por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles están conectados galvánicamente. En otras palabras, los dos convertidores pueden estar conectados al mismo devanado secundario del transformador.

30 De acuerdo con una realización de la invención, el punto de conexión de fase del lado del transformador está conectado, a través de una primera inductancia del lado del transformador, a un primer punto de conexión de derivación del lado del transformador y, a través de una segunda inductancia del lado del transformador, a un segundo punto de conexión de derivación del lado del transformador. Las corrientes circulantes en el lado del transformador del dispositivo convertidor pueden amortiguarse a través de inductancias que están conectadas entre el transformador y los convertidores en paralelo.

35 De acuerdo con una realización de la invención, el por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles están conectados galvánicamente a través de un punto de conexión de fase del lado de la carga a una carga o una fuente de alimentación. El punto de conexión de fase del lado de carga está conectado, a través de una primera inductancia del lado de la carga, a un primer punto de conexión de derivación del lado de carga y, a través de una segunda inductancia del lado de carga, a un segundo punto de conexión de la derivación del lado de la carga. En el otro lado (opuesto al transformador), la carga o la fuente de alimentación puede estar conectada a través de inductancias con los convertidores paralelos para amortiguar y/o controlar corrientes circulantes en este lado del dispositivo convertidor.

40 De acuerdo con una realización de la invención, el por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles están separados galvánicamente en uno de los lados del dispositivo convertidor, por ejemplo, en un lado del transformador. En el caso de una separación galvánica, no son posibles corrientes circulantes y la inductancia correspondiente puede no ser necesaria.

45 De acuerdo con una realización de la invención, el primer convertidor modular de múltiples niveles está conectado, a través de un primer transformador, a un punto de conexión de fase, y el segundo convertidor modular de múltiples niveles está conectado, a través de un segundo transformador, al punto de conexión de fase. La separación galvánica puede conseguirse con dos transformadores conectados en paralelo.

50 De acuerdo con una realización de la invención, el primer convertidor modular de múltiples niveles está conectado a un primer devanado secundario de un transformador, y el segundo convertidor modular de múltiples niveles está conectado a un segundo devanado de un transformador secundario. Como alternativa, la separación galvánica

puede conseguirse con un transformador que comprenda dos devanados secundarios (y un bobinado primario, que puede estar dispuesto en un núcleo común).

5 En general, los convertidores de alta potencia, tales como convertidores modulares de múltiples niveles, generalmente necesitan un sistema de protección fiable. Una activación de la protección, por ejemplo, conmutando todas las celdas del convertidor a un estado de salida de voltaje cero, puede empezar a funcionar en los límites del semiconductor y puede no haber disponible ningún sistema auxiliar.

10 Otro aspecto de la presente descripción se refiere a un dispositivo convertidor con un convertidor modular de múltiples niveles, en el que el convertidor modular de múltiples niveles comprende por lo menos dos fases, comprendiendo cada fase por lo menos una derivación del convertidor con una pluralidad de celdas del convertidor conectadas en serie, comprendiendo cada celda del convertidor un condensador de celda y unos interruptores de semiconductores para conectar el condensador de celda a la derivación del convertidor; en el que la derivación del convertidor para cada una de las fases está conectada a través de un punto de conexión de fase para cada fase a una carga o fuente de alimentación; y en el que el dispositivo convertidor comprende un sistema de protección. El sistema de protección, tal como se describe aquí, puede disponerse no sólo para el dispositivo convertidor con dos convertidores modulares de múltiples niveles paralelas como se ha descrito anteriormente, sino en general para un dispositivo convertidor con un solo convertidor modular de múltiples niveles.

20 Sin embargo, de acuerdo con una realización de la invención, por lo menos uno del primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles comprende dicho sistema de protección.

25 De acuerdo con una realización de la invención, el sistema de protección comprende un dispositivo de detección de fallos; un interruptor mecánico o electrónico de potencia o para interconectar por lo menos dos fases en el punto de conexión de derivación del convertidor modular de múltiples niveles asociado; y un controlador adaptado para conmutar celdas del convertidor modular de múltiples niveles asociado a un voltaje de salida cero y para cerrar el interruptor, cuando se recibe una señal de fallo desde el dispositivo de detección de fallos. El sistema de protección puede estar adaptado para gestionar de manera fiable todos los casos de fallo especiales. Los fallos que pueden cubrirse y/o que pueden detectarse por el dispositivo de detección de fallos son fallos de arco, dobles fallos de tierra y fallos internos del convertidor.

Otro aspecto de la presente descripción se refiere a un procedimiento para proteger el dispositivo convertidor que, por ejemplo, puede ser ejecutado por el controlador.

35 El procedimiento comprende las etapas de: recibir una señal de fallo desde el dispositivo de detección de fallos; conmutar celdas del convertidor del convertidor modular de múltiples niveles asociadas a un voltaje de salida cero, y cerrar el interruptor.

40 Otro aspecto de la presente descripción se refiere a un programa de ordenador que, cuando se ejecuta por un procesador, está adaptado para realizar las etapas de este procedimiento, y un medio legible por ordenador en el cual se guarda dicho programa de ordenador. Por ejemplo, el controlador puede comprender dicho procesador y una memoria no volátil para guardar el programa de ordenador.

45 De acuerdo con un aspecto de la invención, el interruptor comprende por lo menos uno de un interruptor de accionamiento magnético y un interruptor accionado pirotécnicamente. En general, el interruptor puede estar adaptado para cerrar una conexión eléctrica con dos contactos que se ponen en contacto por movimiento.

50 De acuerdo con una realización de la invención, una celda del convertidor se conmuta a voltaje cero cerrando un interruptor de semiconductor de la celda del convertidor, lo que interconecta salidas de la celda del convertidor, por ejemplo, cortocircuitando la celda del convertidor.

55 De acuerdo con un aspecto de la invención, el interruptor está adaptado adicionalmente para conectar las por lo menos dos fases con un potencial de tierra. Por ejemplo, en el caso de tres fases, cada una de las fases pueden conectarse a un interruptor monofásico con el potencial de tierra.

De acuerdo con una realización de la invención, el dispositivo de detección de fallos comprende un sensor de corriente para detectar una sobrecorriente en las por lo menos dos fases en el punto de conexión de fase.

60 De acuerdo con una realización de la invención, el sensor de corriente está adaptado para medir una corriente entre el punto de conexión de fase y una inductancia antes de un punto de derivación para la conexión de por lo menos dos derivaciones del convertidor modular de múltiples niveles. Esta inductancia puede ser la primera y/o la segunda inductancia que se ha mencionado anteriormente para amortiguar y/o controlar corrientes circulantes.

De acuerdo con una realización de la invención, el controlador está adaptado para cerrar el interruptor después de un tiempo predefinido después de la conmutación de las celdas del convertidor a una salida de tensión cero. Por ejemplo, el tiempo predefinido no difiere en más de un 10% del período de una frecuencia de una corriente en el punto de conexión de la derivación. De esta manera, el interruptor se cierra en la proximidad de un paso por cero de la corriente respectiva.

De acuerdo con una realización de la invención, el dispositivo convertidor comprende por lo menos dos convertidores modulares de múltiples niveles, que están conectados en paralelo a través de un punto de conexión de fase común y/o por lo menos dos convertidores modulares de múltiples niveles, que están conectados en serie a través de una conexión de corriente continua. El dispositivo convertidor puede comprender un sistema de protección para cada uno de los por lo menos dos convertidores. Cuando se recibe una señal de fallo, un primer sistema de protección está adaptado para transmitir la señal de fallo a otro segundo sistema de protección, que está adaptado para conmutar celdas de un convertidor a tensión de salida cero asociado y para cerrar un interruptor mecánico o electrónico de potencia asociado cuando se recibe una señal de fallo desde el primer sistema de protección. Los sistemas de protección para cada convertidor (o subconvertidor) pueden formar juntos un sistema de protección para el dispositivo convertidor. Cuando uno de los sistemas de protección determina un fallo, los otros sistemas de protección son informados del fallo y también conmutan sus celdas del convertidor a voltaje cero y cortocircuitan las respectivas fases de salida del convertidor asociado.

De acuerdo con la invención, el sistema de protección comprende un primer interruptor mecánico o electrónico de potencia en un primer lado de corriente alterna de un convertidor de un primer de lado y un segundo interruptor mecánico o electrónico de potencia en un segundo lado de corriente alterna de un convertidor de un segundo lado. Ambos lados de un convertidor (indirecto o directo) pueden estar protegidos por un sistema de protección. El sistema de protección puede estar adaptado para cerrar el primer interruptor mecánico o paraelectrónico después del primer instante después de la conmutación de las celdas del convertidor a una salida de voltaje cero y para cerrar el segundo interruptor mecánico o electrónico de potencia después de un segundo instante diferente del primer instante. El primer y el segundo instante pueden estar adaptados a la frecuencia de las corrientes en los respectivos primer y segundo lado del convertidor.

Éstos y otros aspectos de la invención serán evidentes y claros con referencia a las realizaciones que se describen a continuación.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

El objetivo de la invención se explicará con más detalle en el siguiente texto con referencia a realizaciones de ejemplo que se ilustran en los dibujos adjuntos.

La figura 1 muestra esquemáticamente un dispositivo convertidor de acuerdo con una realización de la invención. La figura 2 muestra esquemáticamente un dispositivo convertidor de acuerdo con otra realización de la invención. La figura 3 muestra esquemáticamente un dispositivo convertidor de acuerdo con otra realización de la invención. La figura 4 muestra esquemáticamente un dispositivo convertidor de acuerdo con otra realización de la invención. La figura 5 muestra esquemáticamente un dispositivo convertidor de acuerdo con otra realización de la invención. La figura 6 muestra esquemáticamente un dispositivo convertidor de acuerdo con otra realización de la invención. La figura 7 muestra esquemáticamente un dispositivo convertidor de acuerdo con otra realización de la invención. La figura 8 muestra esquemáticamente un dispositivo convertidor de acuerdo con otra realización de la invención. La figura 9 muestra esquemáticamente un dispositivo convertidor de acuerdo con otra realización de la invención. La figura 10 muestra esquemáticamente un dispositivo convertidor de acuerdo con otra realización de la invención. La figura 11 muestra esquemáticamente un dispositivo convertidor de acuerdo con otra realización de la invención.

Los símbolos de referencia utilizados en los dibujos, y sus significados, se enumeran de manera resumida en la lista de símbolos de referencia. En principio, en las figuras se les dan los mismos símbolos de referencia a elementos idénticos.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE REALIZACIONES DE EJEMPLO

La figura 1 muestra un dispositivo convertidor 10a con un convertidor modular de múltiples niveles 12a que comprende dos subconvertidores modulares de múltiples niveles 14a, 14b. Para cada fase  $V_U$ ,  $V_V$ ,  $V_W$ ,  $V_R$ ,  $V_S$ ,  $V_T$ , cada subconvertidor 14a, 14b comprende dos derivaciones del convertidor 16 que están conectadas en serie entre dos salidas/entradas de CC + y CC- de una conexión de corriente continua 17, y que proporcionan un punto de conexión de derivación 18 entre ellas.

Cada derivación del convertidor 16 comprende una pluralidad de celdas del convertidor 20 que están conectadas en serie. Cada celda del convertidor 20 comprende unos interruptores semiconductores 22 y un condensador de celda

24. En la figura 1, se muestra un convertidor de celda unipolar 20 que se utiliza con el convertidor indirecto 12a con un circuito de amortiguación 26. Por ejemplo, los interruptores semiconductores 22 puede comprender un IGCT con un diodo antiparalelo (como en la figura 1), un RC-IGCT (como en la figura 8 a continuación), un IGBT u otros elementos semiconductores activamente conmutables.

Las derivaciones del convertidor 16 están conectadas a través de una inductancia 28 con el punto de conexión de derivación 18. La inductancia 28 puede ser un inductor o bobina en un núcleo magnético o con un núcleo de aire. Las inductancias 28 conectadas al punto de conexión de derivación de una fase están conectadas a través de un núcleo magnético común y pueden considerarse como un reactor de derivación para amortiguar y/o controlar corrientes circulantes entre las derivaciones 16 del convertidor 12a o subconvertidor 14a, 14b.

El subconvertidor 14a está conectado, a través de un transformador 30, a una red eléctrica 32. El subconvertidor 14b está conectado a una máquina eléctrica 34, por ejemplo, un generador o, tal como se muestra, un motor eléctrico 34 para el accionamiento de una bomba o turbina 36.

Los puntos de conexión de derivación 18 están conectados, a través de unas inductancias 38, a la carga 34, 36 o fuente de alimentación 30, 32. También, las inductancias 38 puede ser inductores o bobinas con núcleos magnéticos. Sin embargo, las inductancias 38 no están conectadas entre sí.

Los puntos de conexión de derivación 18 del subconvertidor del lado de la red 14a están conectados al transformador 30 a través de unos puntos de conexión de fase del lado de la red 40, y los puntos de conexiones de derivación 18 del convertidor del lado de la carga 14b están conectados, a través unos puntos de conexiones de fase del lado de la carga 40, al motor 34. Los puntos de conexión de fase 40 se utilizan para conectar un convertidor paralelo adicional (tal como se representa en la figura 2) con la carga 34, 36 y la fuente de alimentación 30,32.

Las inductancias 38 se utilizan para amortiguar y/o controlar corrientes circulantes entre el convertidor 12a y el convertidor paralelo conectado a través de los puntos de conexión de fase 40. De esta manera, las inductancias 38 pueden considerarse como reactores en paralelo.

Entre el transformador 30 y los puntos de conexión de fase del lado de la red 40, y/o entre el motor 34 y los puntos de conexión de fase del lado de la carga 40, puede conectarse un filtro  $dv/dt$  42 con las respectivas fases.

La figura 2 muestra otra realización de un dispositivo convertidor 10b con dos convertidores modulares de múltiples niveles paralelos 10b 12a, 12b. El dispositivo convertidor 10b se muestra monofásico en ambos lados de los convertidores 12a, 12b. Sin embargo, también puede ser posible que el dispositivo convertidor 12b sea de múltiples fases en uno o ambos lados; es decir, los convertidores 12a, 12b puede estar diseñados como el convertidor 12a mostrado en la figura 1.

La figura 2 muestra también un sistema de protección 44 para el dispositivo convertidor 10b, que comprende un (sub-)sistema de protección 46 para cada subconvertidor 14a, 14b.

Cada sistema de protección 46 comprende un sensor de detección de fallos 48, un interruptor mecánico 50, y un controlador o centro de control 52. El sensor de detección de fallos 48 está adaptado para medir corrientes entre el punto de conexión de fase 40 y la inductancia 38 y/o el punto de conexión de derivación 18. El interruptor mecánico 50 está adaptado para cortocircuitar las fases y/o conectar a tierra una o más fases entre el punto de conexión de fase 40 y/o la inductancia 38 y el punto de derivación 18.

En el caso de fallos del convertidor, el controlador 52 desactiva los semiconductores de potencia necesarios 22 en microsegundos y pone todo el convertidor 14a, 14b en un estado seguro. Por ejemplo, las sobre-corrientes del convertidor pueden tratarse de esta manera.

Otros fallos, tales como fallos de arco, dobles fallos a tierra, y cortocircuitos internos del convertidor, que pueden medirse con el sensor 48, puede ser gestionados por el controlador 52 de la siguiente manera: Después de la detección de un fallo, todas las celdas del convertidor 20 pueden conmutarse a voltaje cero, por ejemplo, cerrando el interruptor de semiconductor 22, que interconecta las dos salidas de la celda unipolar, tal como se muestra en la figura 1. Simultáneamente, o después de un corto período de tiempo  $\Delta T$ , el interruptor mecánico se utiliza para cortocircuitar y/o conectar a tierra las fases del convertidor 14a, 14b.

El período de tiempo  $\Delta T$  puede controlarse y/o puede establecerse a un periodo de la frecuencia de la corriente correspondiente, tal como 20 ms.

Una temporización controlada del cortocircuito de las fases respecto a la conmutación de las celdas del convertidor a una salida cero pueden tener las siguientes ventajas: Es posible una reacción rápida conmutando las celdas del

convertidor que sea más rápida que el cortocircuitado de las fases. Dicha conmutación de voltaje cero global aplicada a nivel de celda puede cortocircuitar todos los potenciales del convertidor y puede extinguir rápidamente cualquier fallo de arco. Esto puede denominarse activación de la protección en base a semiconductores. Durante los fallos, los diodos de las celdas del convertidor 20 no se utilizan excesivamente, lo que puede resultar en una utilización más eficiente de los semiconductores de conducción inversa tales como RC-IGCTs.

Simultáneamente, a los otros sistemas de protección 46 se les informa acerca del fallo, que también conmutan sincrónicamente las celdas del convertidor 20 y cortocircuitan las fases correspondientemente. Los períodos de tiempo  $\Delta T$  en diferentes lados del dispositivo convertidor (que corresponden a diferentes frecuencias) pueden diferir entre sí.

Una protección sincronizada puede tener las siguientes ventajas: Una activación de la protección en base a semiconductores síncronos en las celdas del convertidor 20 puede dar lugar a una distribución homogénea de la tensión de cortocircuito en las derivaciones del convertidor 16. La activación de un interruptor mecánico síncrono puede resultar en una distribución homogénea de la tensión de cortocircuito en el dispositivo convertidor. Una activación del lado de la red y del lado de la máquina síncrona puede proteger todo el dispositivo convertidor después de la primera detección de fallo en el lado de la red o de la máquina.

Tal como se muestra en la figura 2, cada subconvertidor 14a, 14b está provisto de una inductancia 38 o un reactor paralelo 38 en su lado de corriente alterna. Si cada brazo del convertidor está provisto de una inductancia 38 (así como un interruptor mecánico 50), esto puede mejorar la modularidad del dispositivo convertidor. Sin embargo, también puede utilizarse una inductancia centralizada en lugar de inductancias distribuidas 38.

Pueden utilizarse también las inductancias 38 o reactores en paralelo 38 como reactores necesarios para la operación de bypass.

La figura 3 muestra otra realización de un dispositivo controlador 10c, en el que los subconvertidores 14a, 14b se muestran solamente como rectángulos abstractos, pero también pueden tener los componentes tal como se muestra en las figuras 1 y 2. Se utiliza un controlador 52 para ambos rectificadores activos 14a y ambos inversores 14b después de la conexión de corriente continua.

La figura 4 muestra otra realización de un dispositivo controlador 10d, en el que los sistemas de protección 46 se representan de una manera más abstracta. En las figuras 4 a 7 se muestran posibles configuraciones de paralelismo con convertidores modulares indirectos de múltiples niveles 12a, 12b para otras realizaciones de dispositivos convertidores 10d, 10e, 10f, 10g.

En las figuras 4 y 7, los convertidores 12a, 12b están conectados galvánicamente a través del devanado secundario de un transformador de dos devanados 30 en el lado de la red. Por lo tanto, las inductancias 38 van dispuestas en el lado de la red.

En las figuras 5 y 6, los convertidores 12a, 12b están separados galvánicamente por los transformadores de dos devanados 30 conectados en paralelo o bien por un transformador de tres bobinas 30'. Se evitan las inductancias 38 en el lado de la red.

En las figuras 4, 5 y 6, los convertidores 12a, 12b presentan circuitos intermedios separados 17. En la figura 7, los convertidores paralelos 12a, 12b comparten una conexión de corriente continua común 17'. En la figura 7, con una conexión de corriente continua común 17', puede haber dos potenciales de tierra separados para los subconvertidores del lado de la máquina y del lado de la red 14a, 14b. Las realizaciones de las figuras 1 a 6 pueden tener un único potencial de tierra.

En todas las realizaciones mostradas en las figuras 4 a 7, los convertidores 12a, 12b están conectados galvánicamente en el lado de la máquina o el lado de la carga. Por lo tanto, las inductancias 38 siempre se disponen en este lado.

La siguiente tabla muestra una comparación de las configuraciones descritas anteriormente:



Realizaciones 10a a 10d	Realización 10e	Realización 10f	Realización 10g
Transformador simple 30 (producción más fácil para altas potencias)	Dos transformadores 30 (puede ser preferible para potencias muy altas)	Transformador más complejo 30' (previsible)	Transformador simple 30 (producción más fácil para altas potencias)
Puede requerirse inductancias en paralelo 38 en el lado de la red	No se requieren inductancias en paralelo 38 en el lado de la red	No se requieren inductancias en paralelo 38 en el lado de la red	Puede requerirse inductancias en paralelo 38 en el lado de la red
Dos líneas de conexión de corriente continua 17 para subconvertidores del lado de la red y de la máquina remotos 14, 14b	Dos líneas de conexión de corriente continua 17 para subconvertidores del lado de la red y de la máquina remotos 14, 14b	Dos líneas de conexión de corriente continua 17 para subconvertidores del lado de la red y de la máquina remotos 14, 14b	Única conexión de corriente continua 17' para subconvertidores del lado de la red y de la máquina remotos 14, 14b
Sin barras conductoras entre convertidores paralelos 12a, 12b para convertidores cercanos del lado de la red y la máquina 14a, 14b	Sin barras conductoras entre convertidores paralelos 12a, 12b para convertidores cercanos del lado de la red y la máquina 14a, 14b	Sin barras conductoras entre convertidores paralelos 12a, 12b para convertidores cercanos del lado de la red y la máquina 14a, 14b	Barras conductoras adicionales entre convertidores paralelos 12a, 12b para convertidores cercanos del lado de la red y la máquina 14a, 14b

5 La figura 8 muestra otra realización de un dispositivo convertidor 10h, análogo a la figura 1, con las diferencias principales de que el convertidor modular de múltiples niveles 12a es un convertidor directo. El convertidor directo 12a interconecta directamente las fases  $V_U, V_V, V_W$  del lado de la red con las fases  $V_R, V_S, V_T$  del lado de la carga, en el que cada fase del lado de la red está conectada a través de una derivación del convertidor 16 con el lado de la carga. Las celdas del convertidor 20' del convertidor directo 12a son celdas bipolares con cuatro interruptores semiconductores 22.

10 Los inductores de derivación 28 del convertidor indirecto 12a no están conectados; por lo tanto, pueden realizar la función de inductores paralelos 38. De este modo, es posible que las configuraciones mostradas en la figura 8 a la figura 11 tengan solamente inductancias paralelas 38 en el lado sin las inductancias de derivación 28.

15 La figura 9 a la figura 11 muestran realizaciones de dispositivos convertidores 10a a 10k análogamente a los dispositivos convertidores 10a a 10f, respectivamente. Solamente los convertidores indirectos se substituyen por convertidores directos 12a, 12b, tal como se muestra en la figura 8.

20 El transformador 30, 30' y la máquina eléctrica 34 pueden tener diferentes opciones para sus bobinados en una configuración de múltiples fases. A continuación, se enumeran posibles opciones:

- 25 Los bobinados (primarios) del lado de alto voltaje del transformador 30, 30' pueden conectarse en Y y pueden tener un punto de conexión neutro.
- La configuración del bobinado para el transformador de dos bobinados 30 puede ser YN yn o YN d.
- La configuración del bobinado para el transformador de tres bobinados 30' puede ser YN yn yn, YN yn o YN d d.
- La configuración del bobinado de la máquina eléctrica puede ser YN, Y o D.

La siguiente tabla muestra una comparación para tipos de bobinado en un transformador de dos bobinados 30.

YN yn	YN d
Peor utilización del núcleo para la misma relación de configuración	Mejor utilización del núcleo para la misma relación de configuración
Preferido para transformadores de interconexión grandes	Preferido para transformadores de unidades generadoras grandes
El punto neutro del lado secundario (convertidor) puede servir de potencial de tierra del sistema convertidor	El potencial de tierra del dispositivo convertidor debe suministrarse al lado de la máquina (o en alguna parte, de alguna manera, dentro del convertidor)

30

La siguiente tabla muestra una comparación para tipos de bobinado de un transformador de tres bobinados.

<i>YNyn yn</i>	<i>YN yn d</i>	<i>YN d d</i>
Sin desplazamiento de fase entre los bobinados secundarios	Los desplazamientos de fase entre los bobinados secundarios cancelan cierta corriente armónica	Sin desplazamiento de fase entre los bobinados secundarios

La siguiente tabla muestra una comparación para tipos de bobinado de una máquina.

<i>Yn</i>	<i>Y</i>	<i>D</i>
El punto neutro está disponible para servir al potencial de tierra del sistema	El punto neutro no está disponible. La tierra del sistema debe ser suministrada por el transformador (o en alguna parte, de alguna manera, dentro del convertidor)	El punto neutro no está disponible. La tierra del dispositivo convertidor debe ser suministrada por el transformador (o en alguna parte, de alguna manera, dentro del convertidor)

5 En base a las opciones de bobinado disponibles, existen ciertas configuraciones posibles teniendo en cuenta que el potencial de tierra debe ser suministrado por lo menos en el lado del transformador y/o el lado de la máquina.

Las siguientes configuraciones son las preferidas por las siguientes razones:

10 . *Bobinados del transformador YN d, YN d d*: La conexión en estrella del transformador en el lado MV (secundario) generalmente es mejor para la utilización del núcleo del transformador en una configuración de voltaje.

15 . *Bobinados de la máquina Yn*: Debido al transformador conectado en estrella, la máquina necesita servir al punto neutro.

20 . *Bobinados del transformador YN d d*: Dado que las corrientes del convertidor son sinusoidales de muy alta calidad, puede no haber necesidad de mejorarlas a través de una disposición de bobinados del transformador.

#### LISTA DE SÍMBOLOS DE REFERENCIA

10a a 10k	dispositivo convertidor
25 12a, 12b	convertidores modulares de múltiples niveles
14a, 14b	subconvertidores
16	derivación del convertidor
17, 17'	conexión de corriente continua
18	punto de conexión de derivación
30 20, 20'	celda del convertidor
22	conmutador semiconductor
24	condensador de celda
26	circuito de amortiguación
28	inductancia de derivación
35 30, 30'	transformador
32	red eléctrica
34	motor
36	turbina
38	inductancia
40 40	punto de conexión de fase
42	filtro
44	sistema de protección del convertidor
46	sistema de protección del subconvertidor
48	dispositivo de detección de fallos
45 50	interruptor mecánico
52	controlador

## REVINDICACIONES

1. Dispositivo convertidor (10a a 10k), en el que el dispositivo convertidor comprende por lo menos un primer y un segundo convertidor modular de múltiples niveles (12a, 12b); en el que cada uno del por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles comprende por lo menos dos derivaciones del convertidor (16); en el que cada derivación del convertidor (16) comprende una pluralidad de celdas del convertidor conectadas en serie (20, 20'), comprendiendo cada celda del convertidor un condensador de celda (24) y unos interruptores de semiconductores (22) para conectar el condensador de celda a la derivación del convertidor (16); en el que las por lo menos dos derivaciones del convertidor (16) del primer convertidor modular de múltiples niveles (12a) están conectadas a través de un primer punto de conexión de derivación (18); en el que las por lo menos dos derivaciones del convertidor (16) del segundo convertidor modular de múltiples niveles (12b) están conectadas a través de un segundo punto de conexión de derivación (18); en el que el por lo menos primer y segundo convertidor de múltiples niveles (12a, 12b) están conectados en paralelo a través de un punto de conexión de fase (40) para conectar el dispositivo convertidor a una carga (34, 36) o una fuente de alimentación (30, 32), en el que el punto de conexión de fase (40) está conectado, a través de una primera inductancia (38), al primer punto de conexión de derivación (18) y/o a través de una segunda inductancia (38) con el segundo punto de conexión de derivación (18), en el que por lo menos uno del primer y el segundo convertidor modular de múltiples niveles (12a, 12b) comprende un sistema de protección (44, 46), que comprende:
- un dispositivo de detección de fallos (48);
  - un interruptor mecánico o electrónico de potencia (50) para interconectar por lo menos dos fases en el punto de conexión de derivación (18) del convertidor modular de múltiples niveles asociado (12a, 12b); y
  - un controlador (52) adaptado para conmutar celdas de convertidor (20, 20') del convertidor modular de múltiples niveles asociado (12a, 12b) a una tensión de salida cero y para cerrar el interruptor (50), cuando se recibe una señal de fallo desde el dispositivo de detección de fallos (48), en el que el dispositivo de detección de fallos (48) comprende un sensor de corriente para detectar una sobrecorriente en las por lo menos dos fases en el punto de conexión de fase (40); y/o en el que el sensor de corriente está adaptado para medir una corriente entre el punto de conexión de fase (40) y la primera y/o segunda inductancia (38) antes del punto de conexión de derivación (18).
2. Dispositivo convertidor (10a a 10k) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que cada uno del primer y el segundo convertidor modular de múltiples niveles (12a, 12b) comprende derivaciones del convertidor (16) para por lo menos dos fases, y las derivaciones del convertidor de cada fase están conectadas a través de una inductancia para cada fase con un punto de conexión de fase para cada fase, o bien un par de dos derivaciones del convertidor del primer y el segundo convertidor modular de múltiples niveles (12a, 12b) comparten una o más inductancias.
3. Dispositivo convertidor (10a a 10k) de acuerdo con las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado por el hecho de que cada una de las por lo menos dos derivaciones del convertidor (16) de cada uno del por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles (12a, 12b) está conectada a través de una inductancia de derivación (28) con el punto de conexión de derivación del convertidor (18) respectivo.
4. Dispositivo convertidor (10a a 10g) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles (12a, 12b) comprende un subconvertidor (14a, 14b) para convertir una corriente alterna en una corriente continua.
5. Dispositivo convertidor (10a a 10g) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que cada uno del por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles (12a, 12b) es un convertidor indirecto que comprende un rectificador activo (14a) conectado, a través de una conexión de corriente continua (17, 17'), a un inversor (14b).
6. Dispositivo convertidor (10a a 10f) de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado por el hecho de que el primer convertidor modular de múltiples niveles (12a) comprende una primera conexión de corriente continua (17) y el segundo convertidor modular de múltiples niveles (12b) comprende una segunda conexión de corriente continua (17), que está separada galvánicamente de la primera conexión de corriente continua.
7. Dispositivo convertidor (10 g) de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado por el hecho de que el por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles (12a, 12b) comprende una conexión de corriente continua (17').
8. Dispositivo convertidor (10h a 10k) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por el hecho de que el primer y el segundo convertidor modular de múltiples niveles (12a, 12b) son convertidores directos.

- 5 9. Dispositivo convertidor (10a a 10d, 10g a 10i) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el dispositivo convertidor comprende un transformador (30) y el por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles (12a, 12b) está conectado al transformador a través de un punto de conexión de fase del lado del transformador (40), de manera que el por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles (12a, 12b) está conectado galvánicamente; en el que el punto de conexión de fase del lado del transformador (40) está conectado, a través de una primera inductancia del lado del transformador (38), a un primer punto de conexión de la derivación del lado del transformador (18) y, a través de una segunda inductancia del lado del transformador (38), a un segundo punto de conexión de derivación del lado del transformador (18).
- 10
- 15 10. Dispositivo convertidor (10e, 10f, 10j, 10k) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el por lo menos primer y segundo convertidor modular de múltiples niveles (12a, 12b) están separados galvánicamente en un lado del transformador; en el que el primer convertidor modular de múltiples niveles (12a) está conectado, a través de un primer transformador (30), a un punto de conexión de fase (40) y el segundo convertidor modular de múltiples niveles (12b) está conectado, a través de un segundo transformador (30), al punto de conexión de fase (40); o en el que el primer convertidor modular de múltiples niveles (12a) está conectado a una primera bobina secundaria de un transformador (30') y el segundo convertidor modular de múltiples niveles (12b) está conectado a una segunda bobina secundaria del transformador (30').
- 20
- 25 11. Dispositivo convertidor (10a a 10k) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que por lo menos el primer y el segundo convertidor modular de múltiples niveles (12a, 12b) están conectados galvánicamente, a través de un punto de conexión de fase del lado de carga (40), a una carga (34) o una fuente de alimentación; en el que el punto de conexión de fase del lado de carga (40) está conectado, a través de una primera inductancia del lado de la carga (38), a un primer punto de conexión de la derivación del lado de carga (18) y, a través de una segunda inductancia del lado de carga (38), a un segundo punto de conexión de derivación del lado de la carga (18).
- 30
- 35 12. Dispositivo convertidor (10b a 10g, 10i a 10k) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que el controlador (52) está adaptado para cerrar el interruptor (50) después de un tiempo predefinido ( $\Delta T$ ) después de la conmutación de las celdas del convertidor (20, 20') a un voltaje de salida cero; y/o en el que el tiempo predefinido no difiere más de un 10% del periodo de una frecuencia de una corriente en el punto de conexión de derivación (40).
- 40 13. Dispositivo convertidor (10b a 10g, 10i a 10k) de una de las reivindicaciones 1 ó 12, caracterizado por el hecho de que el dispositivo convertidor comprende por lo menos dos convertidores modulares de múltiples niveles (12a, 12b), que están conectados en paralelo a través de un punto de conexión de fase común (40) y/o por lo menos dos convertidores modulares de múltiples niveles (14a, 14b), que están conectados en serie a través de una conexión de corriente continua (17, 17'); en el que el dispositivo convertidor comprende un sistema de protección (44, 46) para cada uno de los por lo menos dos convertidores; en el que, al recibir una señal de fallo, un primer sistema de protección está adaptado para transmitir la señal de fallo a otro segundo sistema de protección, el cual está adaptado para conmutar celdas del convertidor (20, 20') de un convertidor asociado a un voltaje de salida cero y para cerrar un interruptor asociado (50), cuando se recibe una señal de fallo desde el primer sistema de protección.

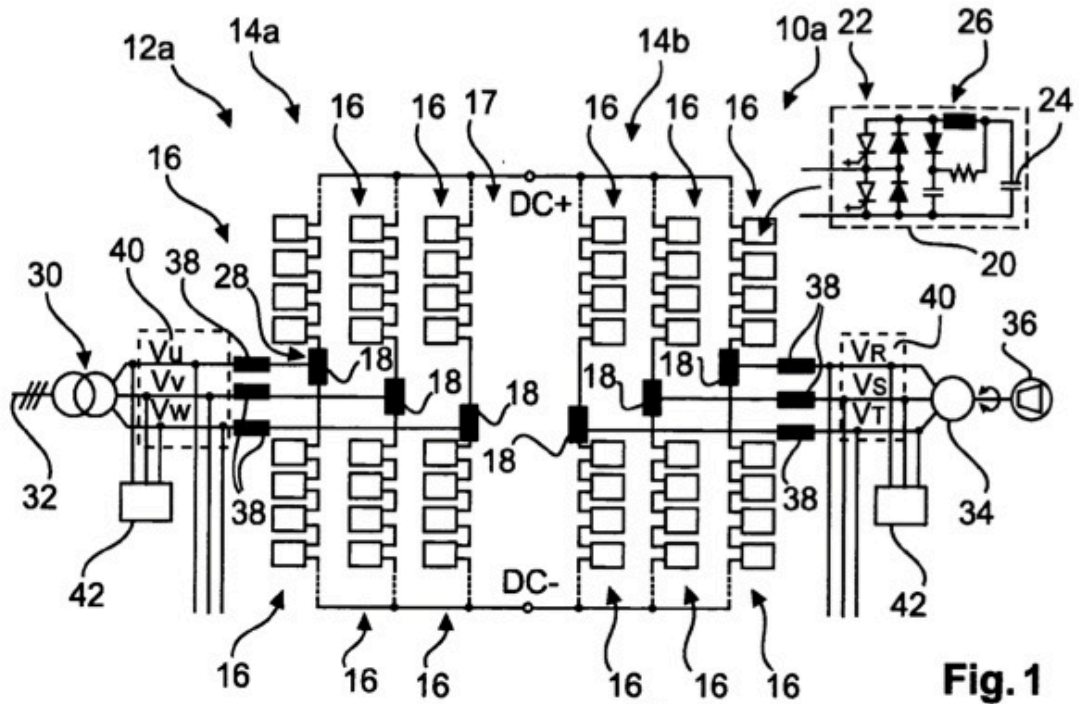


Fig. 1

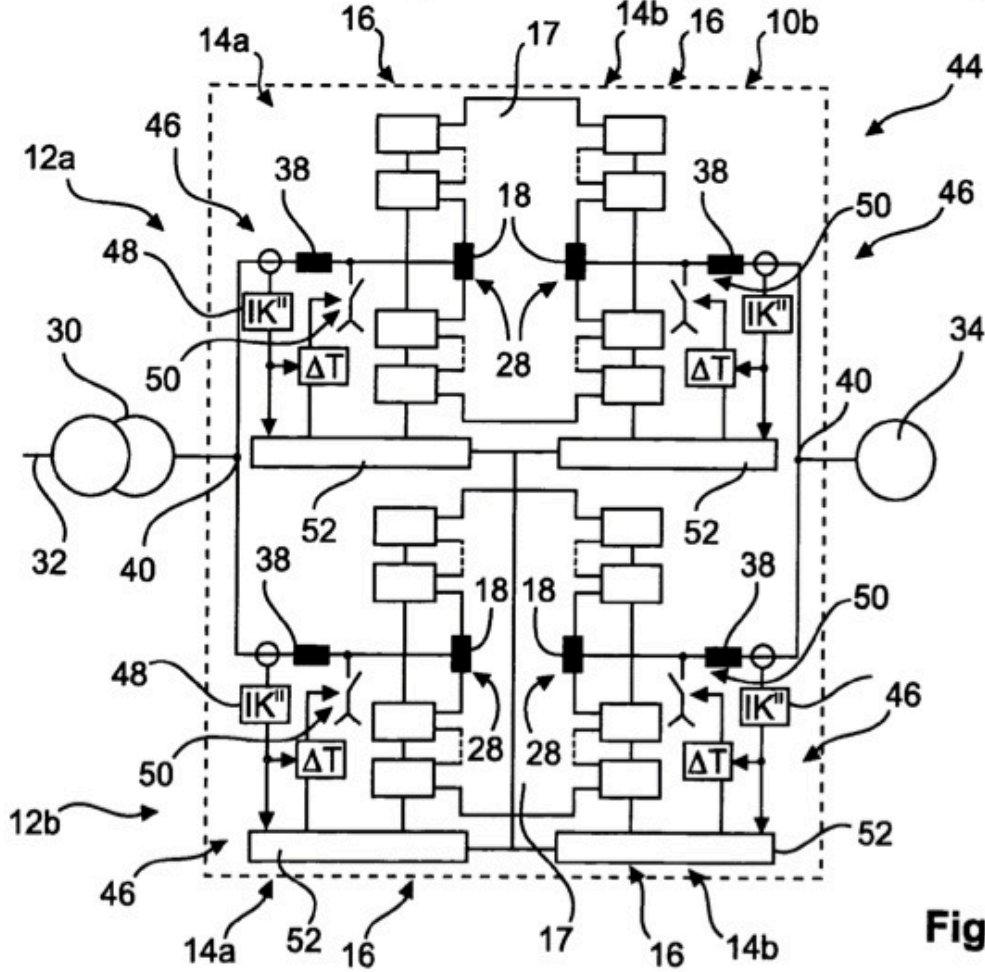
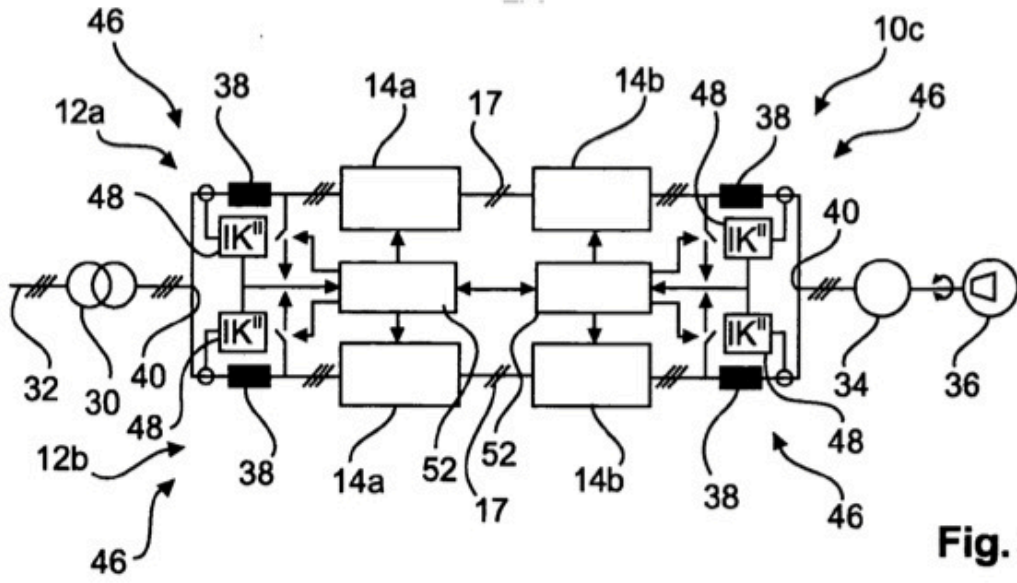
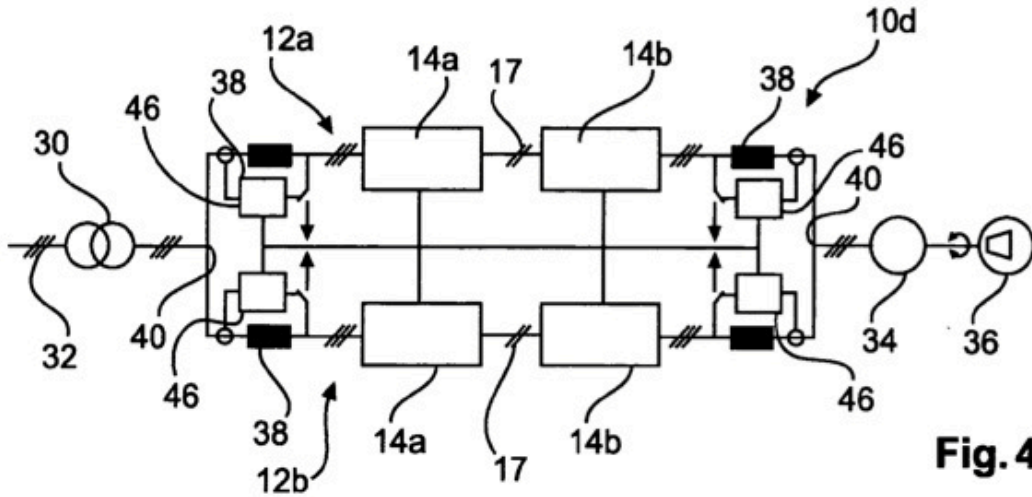


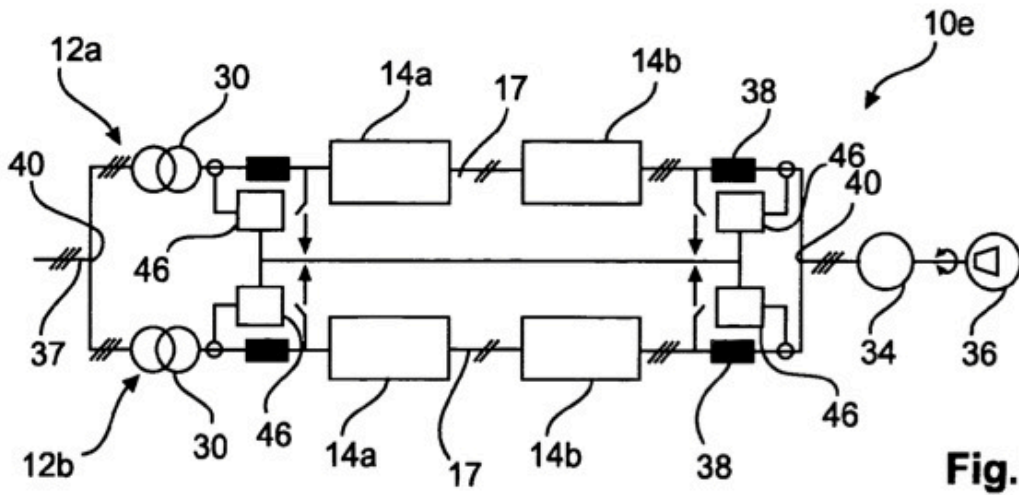
Fig. 2



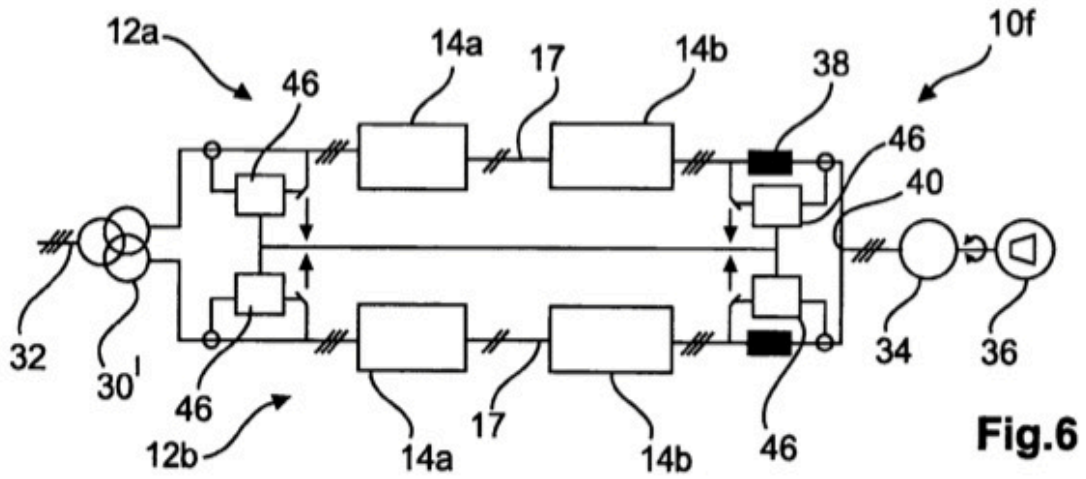
**Fig. 3**



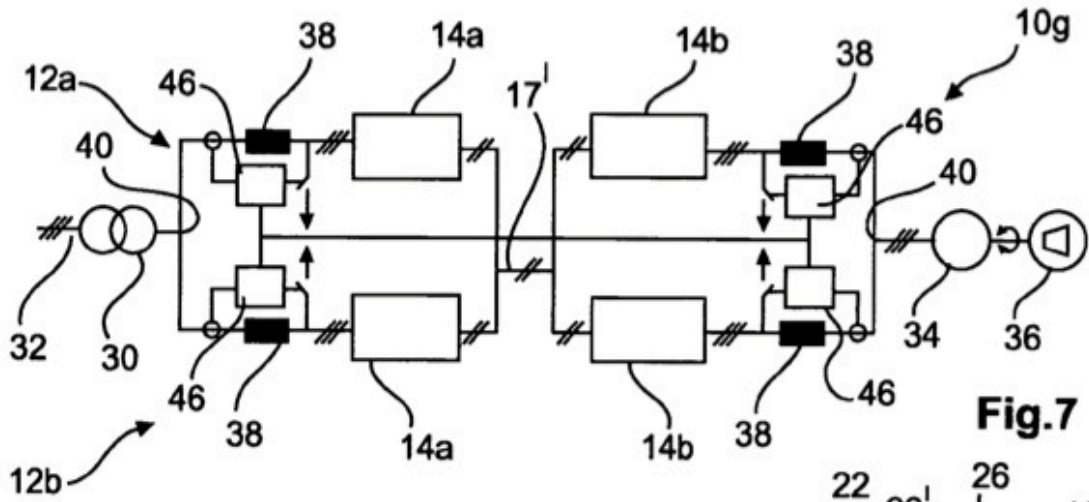
**Fig. 4**



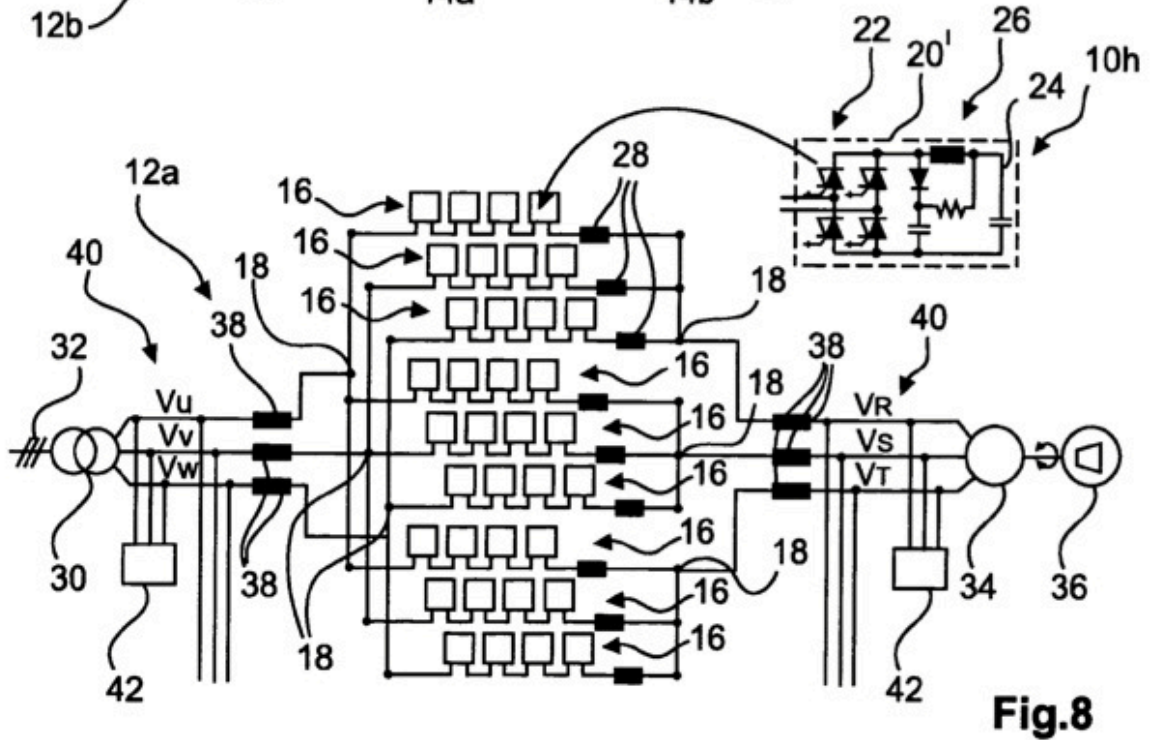
**Fig. 5**



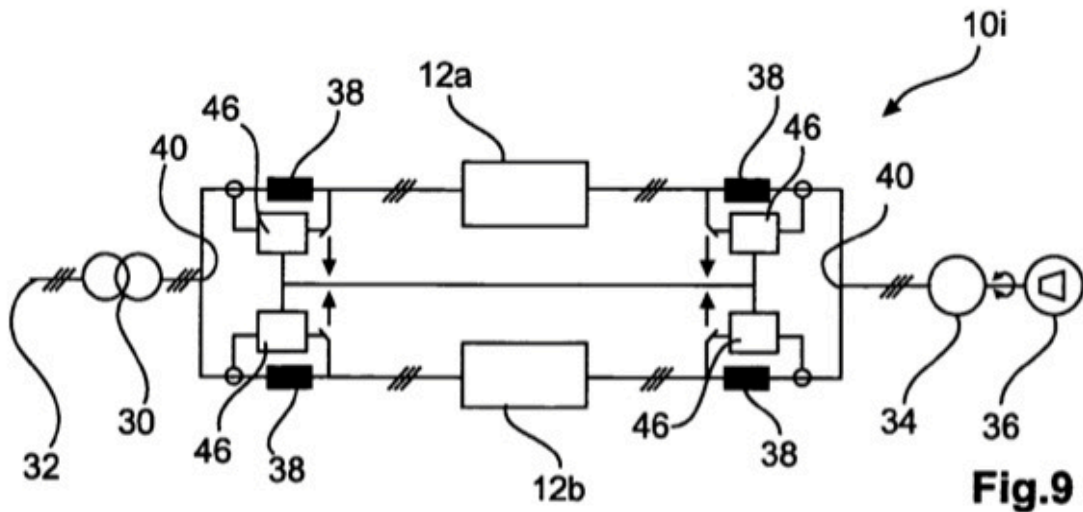
**Fig.6**



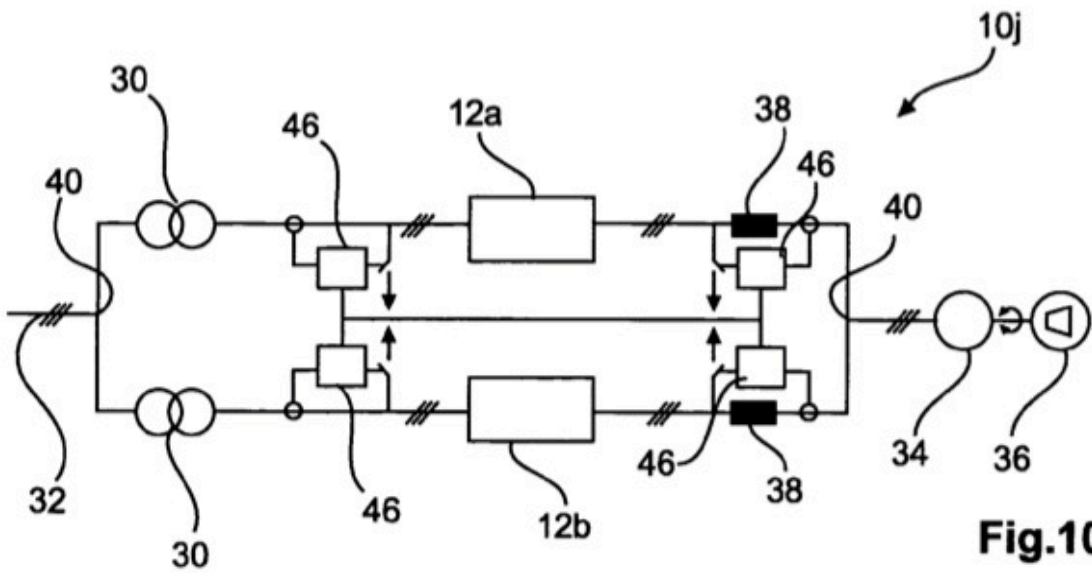
**Fig.7**



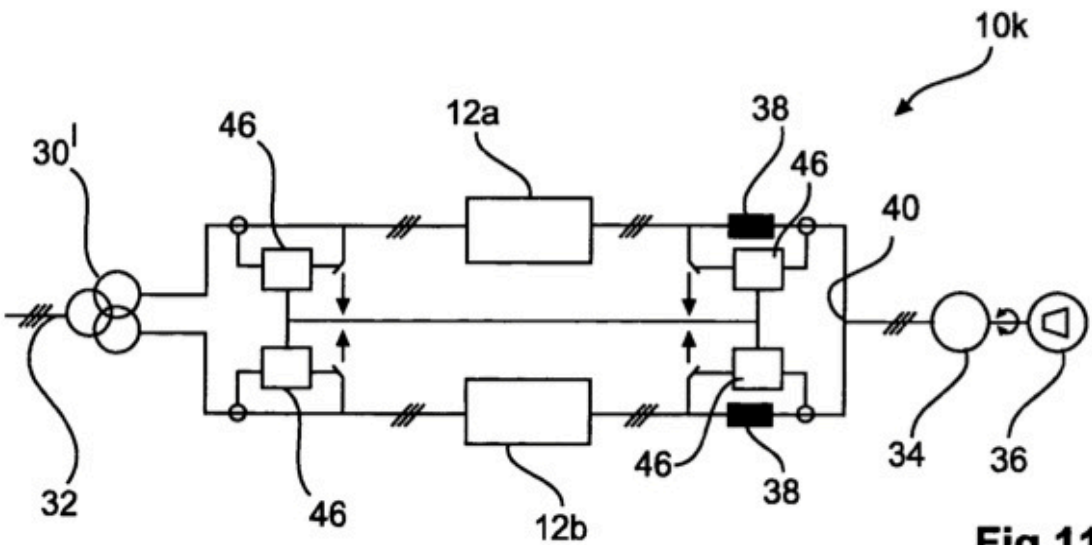
**Fig.8**



**Fig.9**



**Fig.10**



**Fig.11**



**REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN**

5 *Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para la comodidad del lector. No forma parte del documento de la patente europea. A pesar del cuidado tenido en la recopilación de las referencias, no se pueden excluir errores u omisiones y la EPO niega toda responsabilidad en este sentido.*

**Literatura diferente de patentes citada en la descripción**

- 10 • *HVDC SuperGrids with Modular Multilevel Converters - the Power Transmission Backbone of the Future.*  
AHMED y otros. Multiconferencia Internacional sobre Sistemas, Señales y Dispositivos (SSD 2012): Chemnitz, Alemania. IEEE, 20 de marzo de 2012, 1-7 [0007]