

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 768 037**

51 Int. Cl.:

**H02M 3/335** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.10.2012 PCT/EP2012/070203**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.04.2014 WO14056540**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.10.2012 E 12773301 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2019 EP 2898595**

54 Título: **Convertidor CC /CC modular multinivel para aplicaciones de corriente continua de alta tensión**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**19.06.2020**

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

72 Inventor/es:  
**BAKRAN, MARK-MATTHIAS;  
KNAAK, HANS-JOACHIM y  
SCHÖN, ANDRE**

74 Agente/Representante:  
**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 768 037 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

Convertidor CC /CC modular multinivel para aplicaciones de corriente continua de alta tensión

5 La invención se refiere a un convertidor de tensión continua para unir redes de corriente continua de alta tensión, que presentan tensiones distintas, a un primer convertidor parcial y a un segundo convertidor parcial que están interconectados en serie formando un circuito en serie de convertidor, extendiéndose el circuito en serie de convertidor entre los bornes de tensión continua de una conexión de tensión continua y extendiéndose el segundo convertidor parcial entre los bornes de tensión continua de una segunda conexión de tensión continua.

10 Un dispositivo de este tipo se conoce por ejemplo del documento WO2010/145690A1. En este se describen dos convertidores parciales que están interconectados en serie, presentando cada convertidor parcial un solo módulo de fase que se compone de submódulos bipolares conectados en serie. Los submódulos bipolares están dotados de conmutadores de semiconductor de potencia y de un condensador, pudiendo generarse, según la excitación de los conmutadores de semiconductor de potencia, o bien la tensión que cae en el condensador, o bien, una tensión cero en la salida de cada submódulo. Los módulos de fase conectados en serie forman una primera conexión de tensión continua a la que se puede unir una primera red de tensión continua. La segunda conexión de tensión continua está formada por el módulo de fase del segundo convertidor parcial, siendo el polo negativo de la primera conexión de tensión continua al mismo tiempo el polo negativo de la segunda conexión de tensión continua. El dispositivo conocido tiene la desventaja de que existe el peligro de que durante un funcionamiento permanente, los condensadores de los submódulos de los convertidores parciales se carguen más allá de una medida admisible.

20 En el documento WO2010/115452 se describe un dispositivo para el control del flujo de carga de redes de tensión continua. Dicho dispositivo presenta una fuente de tensión longitudinal que está conectada en serie en una línea de tensión continua de dicha red de tensión continua. La fuente de tensión longitudinal se realiza mediante dos convertidores conectados en serie, mandados por la red, de manera que las pérdidas durante un funcionamiento permanente son reducidas. Para poder aumentar la tensión en la red de tensión continua, el convertidor conectado en serie en la red de tensión continua está unido en el lado de tensión alterna, a través de un primer transformador, una red de tensión alterna y, a través de un segundo transformador, a la conexión de tensión alterna de un convertidor conectado en paralelo a la red de tensión continua. El convertidor conectado en paralelo a la red de tensión continua también puede designarse como fuente de tensión transversal. La fuente de tensión transversal proporciona la energía necesaria para la alimentación de la fuente de tensión longitudinal. De esta manera, se hace posible un control de flujo de carga mediante un aumento de la tensión en la red de tensión continua.

30 Estado de la técnica adicional para la unión de redes de corriente continua de alta tensión que se encuentran a niveles de tensión distintos está ilustrado a modo de ejemplo en la figura 1. El convertidor de tensión continua representado allí presenta para la conexión de la primera red de corriente continua de alta tensión una primera conexión de tensión continua 1 que forma un borne de tensión continua positivo 2 y un borne de tensión continua negativo 3. Para la conexión de una segunda red de corriente continua de alta tensión con una menor tensión continua nominal está prevista una segunda conexión de tensión continua 4 que presenta a su vez un borne de tensión continua positivo 5 y un borne de conexión negativo 6. Entre el borne de tensión continua positivo 2 de la conexión de tensión continua 1 y el borne de conexión negativo 3 se extienden tres módulos de fase 7 de un primer convertidor parcial 8. Un módulo de fase se compone de dos brazos de convertidor 9 interconectados en serie así como una inductividad 10 en forma de bobinas. Además, está previsto un segundo convertidor parcial 11 que igualmente presenta tres módulos de fase 7 compuestos respectivamente por dos brazos de convertidor 9 conectados en serie y una inductividad 10. Cada módulo de fase 7 forma dos conexiones de tensión continua que forman por una parte el borne de conexión positivo 5 así como el borne de conexión negativo 6 de la segunda conexión de tensión continua 4. El punto de potencial entre los brazos de convertidor 9 forma una fase de tensión alterna 12 de una conexión de tensión alterna 12 del respectivo convertidor 8 o 11. Las dos conexiones de tensión alterna 12 están unidas entre sí a través de un transformador 14 trifásico. Los devanados de dicho transformador 14 pueden estar unidos entre sí de manera discrecional, es decir, por ejemplo en un circuito triangular o en estrella.

50 Según este dispositivo conocido, la tensión continua de la primera red de tensión continua en primer lugar es convertida, a través del primer convertidor parcial 8, en una tensión alterna, se transforma a través del transformador 14 al nivel de tensión necesario respectivamente y, a continuación, vuelve a ser convertida por el convertidor parcial 11 en la tensión continua deseada.

Un dispositivo de este tipo se conoce por ejemplo también del documento EP2458725A1.

55 En el artículo de Knudsen y col. "Description and Perspective Applications of New Multilevel-Terminal HVDC System Concepts", CIGRE CONNF. 1990 se da a conocer un sistema HGÜ (transmisión de corriente continua de alta tensión) multiterminal con dos niveles de tensión continua distintos. La transmisión de tensión entre los dos niveles de tensión continua se consigue por medio de una conexión en serie adecuada de dos convertidores de circuito intermedio autocontrolados (VSC). Las conexiones de tensión alterna de los dos convertidores están unidas entre sí así como a una red de tensión alterna por medio de transformadores.

Del documento US3942089A se conoce un dispositivo para la transformación de una primera en una segunda tensión continua. El dispositivo comprende cuatro convertidores parciales de tiristor que están dispuestos en un circuito en serie. Las conexiones de tensión alterna de los convertidores parciales están unidas entre sí por medio de transformadores. El circuito en serie se extiende entre dos polos de una conexión de tensión continua en el lado de tensión superior. Un primer polo de una conexión de tensión continua en el lado de tensión inferior está dispuesto entre el primer y el segundo convertidores parciales y un segundo polo de la conexión de tensión continua en el lado de tensión inferior está dispuesto entre el tercer y el cuarto convertidores parciales.

Un convertidor multietapa modular que se puede emplear como convertidor parcial 8 y/u 11 del convertidor de tensión continua de la figura 1 se describe en el documento WO2012/103936A1.

Otros convertidores para la transformación de tensión continua en tensión alterna y viceversa se conocen de los documentos US6519169B1 y US2012/0170338A1.

Otros convertidores CC/CC se describen en el documento WO2011/060812A1.

Los convertidores de tensión continua para energías bajas a medias igualmente son conocidos ampliamente. En este contexto cabe mencionar los convertidores elevadores o reductores que están equipados con bobinas y condensadores, proporcionando conmutadores de semiconductor de potencia una breve interrupción de un flujo de corriente. Sin embargo, los semiconductores de potencia de los convertidores elevadores o reductores conocidos serían cargados en el rango de alta tensión de manera tan fuerte que ya al cabo de poco tiempo podrían producirse daños irreparables.

La invención tiene el objetivo de proporcionar un convertidor de tensión continua del tipo mencionado al principio que sea apto también para un funcionamiento permanente.

La invención consigue este objetivo por el hecho de que el primer convertidor parcial y el segundo convertidor parcial están unidos uno a otro a través de medios de intercambio de potencia, de tal forma que es posible el intercambio de potencia eléctrica entre el primer convertidor parcial y el segundo convertidor parcial a través de los medios de intercambio de potencia.

En el marco de la invención se proporciona un convertidor de tensión continua que presenta un circuito en serie de dos convertidores parciales. Este circuito en serie de convertidores forma dos conexiones de tensión continua que están unidas respectivamente a un borne de tensión continua. Esta unión se realiza por ejemplo a través de una inductividad adecuada. Los bornes de tensión continua forman juntos una primera conexión de tensión continua, a la que se puede conectar una primera red de tensión continua. Una segunda red de tensión continua se puede unir a la segunda conexión de tensión continua del convertidor de tensión continua, de tal forma que la segunda red de tensión continua queda unida a las conexiones de tensión continua de un convertidor parcial individual. Dado que la rigidez dieléctrica del circuito en serie de dos convertidores parciales es mayor que la rigidez dieléctrica de un convertidor parcial individual del circuito en serie, la primera red de tensión continua puede presentar una tensión de servicio superior a la tensión de servicio de la segunda red de tensión continua. Por lo tanto, la primera conexión de tensión continua también puede designarse como lado de tensión superior y la segunda conexión de tensión continua puede designarse como lado de tensión inferior. En el marco de la invención se encontró que durante el funcionamiento permanente de los convertidores parciales se debe suministrar o evacuar potencia eléctrica. En caso contrario, la potencia suministrada a cada convertidor parcial debería ser en promedio igual a cero. En la práctica, sin embargo, esto no es posible. Por lo tanto, según la invención están previstos medios de intercambio de potencia, a través de los que los dos convertidores parciales igualmente están unidos uno a otro. De esta manera, los convertidores parciales pueden intercambiar potencia eléctrica entre sí, de manera que en el marco de la invención, incluso en caso de un funcionamiento continuo del convertidor de tensión continua se evitan en mayor medida errores o fallos de componentes. La potencia excesiva que cae en el primer convertidor parcial que se extiende entre el borne de tensión continua positivo de la primera conexión de tensión continua y el borne de tensión continua positivo de la segunda conexión de tensión continua, se transmite según la invención a través de los medios de intercambio de potencia al lado de tensión inferior, es decir, al segundo convertidor parcial que se extiende entre los bornes de tensión continua de la segunda conexión de tensión continua. El segundo convertidor parcial alimenta esta potencia a la red de tensión continua conectada a la segunda conexión de tensión continua. En el marco de la invención es posible un flujo de potencia en ambas direcciones, es decir, del lado de tensión superior al lado de tensión inferior o viceversa. Además, en el marco de la invención se puede realizar cualquier relación de transmisión.

La topología, es decir, la estructura y los componentes de los convertidores parciales, son básicamente discretos en el marco de la invención. Convenientemente, sin embargo, los convertidores parciales son convertidores autocontrolados que por tanto están equipados con conmutadores de semiconductor de potencia que pueden tanto conectarse como desconectarse activamente. A diferencia de ello, sólo el segundo convertidor parcial es un convertidor autocontrolado. Los convertidores presentan de manera ventajosa un circuito en serie de dos submódulos bipolares. En el marco de la invención la realización de los submódulos es básicamente discrecional.

Por tanto, por ejemplo, un submódulo presenta sólo un conmutador de semiconductor de potencia como por ejemplo un tiristor, GTO, IGBT, IGCT o similar, en paralelo al que está conectado en sentido contrario, en el caso de conmutadores de semiconductor de potencia desconectables, por ejemplo un diodo libre. Alternativamente, entran en consideración conmutadores de semiconductor de potencia capaces de conducir de forma inversa. Un circuito en serie de estos submódulos es necesario, ya que la resistencia dieléctrica de un submódulo individual generalmente no basta para poder recibir de manera segura tensiones originadas en el marco de la transferencia de tensión continua de alta tensión. Por esta razón, cada convertidor parcial presenta en el marco de la invención una multiplicidad de submódulos, por ejemplo aproximadamente 100 o 300, que están conectados en serie. Los convertidores parciales pueden presentar además también elementos inductivos para la limitación de las corrientes máximas que pueden fluir a través de los convertidores parciales. Evidentemente, en el marco de la invención también pueden estar previstas redes de conexión si se emplean semiconductores de potencia que no se puedan conmutar de forma dura.

De manera ventajosa, cada convertidor parcial presenta una conexión de tensión alterna, estando unida la conexión de tensión alterna del primer convertidor parcial a la conexión de tensión alterna del segundo convertidor parcial a través de los medios de intercambio de potencia. Con esta variante perfeccionada ventajosa, la tensión continua de las redes de tensión continua conectadas al convertidor de tensión continua se convierte en tensión alterna, convirtiendo los medios de intercambio de potencia las tensiones alternas de manera conocida al nivel de tensión necesario.

De manera ventajosa, los medios de intercambio de potencia por lo tanto están realizados como transformador. La estructura del transformador puede ser básicamente discrecional. Se pueden emplear transformadores usuales con devanados separados galvánicamente, que de manera conveniente están unidos entre sí de forma inductiva. Sin embargo, difiriendo de ello, también se puede emplear un transformador de ahorro. En un transformador de ahorro se prescinde de una separación galvánica de los devanados. En lugar del par de devanados se emplea sólo un devanado que presenta una derivación. Por lo tanto, un transformador de ahorro de este tipo también se puede considerar como divisor de tensión. Entre el transformador de ahorro y las conexiones de tensión alterna de los convertidores parciales están dispuestos de manera ventajosa medios para la separación de potenciales de tensión continua como por ejemplo condensadores.

De manera conveniente, el transformador presenta un devanado primario que está unido a la conexión de tensión alterna del primer convertidor parcial y un devanado secundario que está unido a la conexión de tensión alterna del segundo convertidor parcial.

Mediante un transformador de este tipo, la tensión alterna que cae en el devanado primario se transforma en una tensión alterna más baja en el lado secundario.

Según una variante perfeccionada ventajosa, cada convertidor parcial presenta al menos un módulo de fase que forma dos brazos de convertidor conectados en serie, formando el punto de potencial entre los brazos de convertidor de cada módulo de fase una fase de tensión alterna de una conexión de tensión alterna. Según esta variante perfeccionada ventajosa se emplean convertidores que forman por ejemplo brazos de convertidor o ramas de convertidor unidos entre sí formando un llamado puente Graetz. Cada brazo de convertidor se extiende entre una conexión de tensión continua y la conexión de tensión alterna. En el brazo de convertidor o el módulo de fase están dispuestas por ejemplo inductancias en forma de bobinas de reactancia. Los convertidores parciales con conexiones de puente de este tipo ya se conocen en la transferencia de corriente continua de alta tensión, de manera que para la adaptación de la topología a los respectivos requisitos se puede recurrir a experiencias.

En una variante de la invención, cada convertidor parcial presenta tres módulos de fase, cuyas conexiones de tensión alterna están unidas entre sí a través de un transformador trifásico. El transformador trifásico presenta por tanto tres devanados primarios que están acoplados a tres devanados secundarios. Los devanados secundarios o los devanados primarios pueden estar interconectados de manera discrecional. Por ejemplo, en el marco de esta variante perfeccionada son posibles una disposición en punto estrella puesta a tierra o un circuito triangular.

En una variante que difiere de ello, al menos un convertidor parcial presenta dos módulos de fase, cuya conexión de tensión alterna está acoplada a través de un transformador monofásico a la conexión de tensión alterna del otro convertidor parcial. Según esta variante perfeccionada ventajosa se pueden ahorrar costes considerables en comparación con la variante representada anteriormente con un transformador trifásico. Por tanto, aquí son necesarios sólo dos módulos de fase para cada convertidor parcial. En lugar de un transformador trifásico se emplea un transformador monofásico considerablemente más económico. El devanado primario de dicho transformador presenta dos bornes de conexión, estando unidos el borne de conexión a la fase de tensión alterna del primer módulo de fase y el otro borne de conexión a la fase de tensión alterna del segundo módulo de fase del primer convertidor parcial. Una conexión correspondiente puede resultar también para el segundo convertidor parcial, de tal forma que sus dos módulos de fase están unidos en el lado de tensión alterna respectivamente a un borne de conexión del devanado secundario.

En esta variante perfeccionada a este respecto, cada convertidor parcial o al menos uno de ellos presenta respectivamente un módulo de fase, cuya fase de tensión alterna está asignada a una fase auxiliar de condensador, que a través de un condensador está unida a un polo de la primera o segunda conexión de tensión continua, estando unidas entre sí dicha fase de tensión alterna y la fase auxiliar de condensador asignada a esta, a través de un devanado de un transformador monofásico. Según esta variante de la invención, un borne de conexión del devanado primario y un borne de conexión del devanado secundario del transformador monofásico están unidos respectivamente a una fase de tensión alterna del primer convertidor parcial o del segundo convertidor parcial. El otro borne de conexión del respectivo devanado del transformador monofásico está conectado a la fase auxiliar de condensador. La fase auxiliar de condensador está unida, a través de un condensador o de medios capacitivos comparables, a un polo de la red de tensión continua conectada o de un borne de una conexión de tensión continua. Mediante la fase auxiliar de condensador se puede generar por tanto un potencial auxiliar, de manera que el respectivo convertidor parcial puede generar con su único módulo de fase en su fase de tensión alterna con respecto al potencial de la fase auxiliar de condensador una tensión alterna.

Como ya se ha mencionado, es conveniente que en el marco de la invención al menos un convertidor parcial sea un convertidor autocontrolado que presente un conmutador de semiconductor de potencia conectable y desconectable. Según una variante preferible, tanto el primer convertidor parcial como el segundo convertidor parcial son respectivamente un convertidor autocontrolado. Difiriendo de ello, el primer convertidor parcial es un convertidor con control exterior que presenta por ejemplo tiristores conectables pero no desconectables.

Según la invención, tanto el primer convertidor parcial como el segundo convertidor parcial o uno de los dos convertidores parciales, están realizados como llamado convertidor multietapa modular que presenta brazos de convertidor con un circuito en serie de submódulos bipolares, estando equipado cada submódulo con al menos un almacén de energía y conmutadores de semiconductor de potencia. Los conmutadores de semiconductor de potencia son conmutadores de semiconductor de potencia conectables y desconectables. Convenientemente, a cada conmutador de semiconductor de potencia desconectable está conectado en paralelo en sentido contrario un diodo libre. A diferencia de ello, sin embargo, también pueden emplearse conmutadores de semiconductor de potencia de conducción inversa.

Los submódulos de este tipo pueden formar por ejemplo un llamado circuito de puente completo y/o un circuito de semipuente.

Un circuito de semipuente dispone de un circuito en serie de dos conmutadores de semiconductor de potencia almacenado en paralelo a un almacén de energía. Un borne de conexión del submódulo está unido a un polo del almacén de energía y el otro borne de conexión del submódulo está unido al punto de potencial entre los conmutadores de semiconductor de potencia.

Un circuito de puente completo presenta dos circuitos en serie de este tipo que están conectados ambos en paralelo al condensador o al almacén de energía del submódulo. En un circuito de puente completo, el primer borne de conexión está unido al punto de potencial entre los conmutadores de semiconductor de potencia del primer circuito en serie y el segundo borne de conexión está unido al punto de potencial entre los conmutadores de semiconductor de potencia del segundo circuito en serie.

Además, los submódulos también pueden formar un llamado circuito de doble módulo que se describe por ejemplo en el documento WO2011/067120 y a cuya estructura aún se hará referencia con más detalle más adelante. Los submódulos con circuitos de módulo completo o de doble módulo son submódulos capaces de bloquear bidireccionalmente.

Según otra forma de realización de la invención, cada brazo de convertidor del primer convertidor parcial presenta tanto submódulos capaces de bloquear bidireccionalmente como submódulos con circuito de semipuente. Un submódulo en circuito de semipuente tiene frente a un submódulo en circuito de puente completo o circuito de doble módulo la ventaja de que a causa del menor número de conmutadores de semiconductor de potencia – dos frente a cuatro conmutadores de semiconductor de potencia – se reducen las pérdidas. Evidentemente, los circuitos de semipuente también son más económicos que los circuitos de puente completo. Los circuitos de puente completo y los circuitos de doble módulo, sin embargo, ofrecen la ventaja de que el flujo de corriente puede ser controlado en ambos sentidos a través del submódulo. En un circuito de semipuente, en cambio, una corriente de cortocircuito puede fluir sin obstáculos a través del diodo libre dispuesto entre el primer y el segundo bornes de conexión. Como los submódulos en circuitos de puente completo, también los submódulos en circuito de doble módulo pueden controlar el flujo de corriente en ambos sentidos. El uso mixto de submódulos de puente completo y de semipuente o dobles módulos y módulos de semipuente constituyen un compromiso entre pérdidas y costes reducidos por un lado y, al mismo tiempo, la protección por ejemplo contra altas corrientes de cortocircuito, cuyo paso por el convertidor de tensión continua puede impedirse mediante la excitación correspondiente de los submódulos de puente completo. Según esta variante perfeccionada ventajosa, por tanto se proporciona un convertidor de tensión continua que impide el flujo de una corriente de cortocircuito de una red de tensión continua a la otra red de tensión continua.

Según una variante perfeccionada, el segundo convertidor parcial presenta módulos de fase que se componen exclusivamente de un circuito de semipunte, siendo la relación de transmisión  $\geq$  igual o superior a 2. Un convertidor de tensión continua de este tipo puede aislar de manera segura un cortocircuito en la red de tensión continua dispuesta en la segunda conexión de tensión continua.

5 Otras formas de realización convenientes y ventajas de la invención son objeto de la siguiente descripción de ejemplos de realización de la invención haciendo referencia a las figuras del dibujo, donde los signos de referencia que son idénticos remiten a componentes de acción idéntica y donde muestran

- |    |                                    |   |
|----|------------------------------------|---|
| 10 | la figura 1<br>la figura 2         | un esquema equivalente de un convertidor de tensión continua según el estado de la técnica,<br>un esquema equivalente de un ejemplo de realización del convertidor de tensión continua según la invención,  |
| 15 | las figuras 3 a 7<br>la figura 8   | otros ejemplos de realización del convertidor de tensión continua según la invención,<br>el convertidor de tensión continua según la figura 2 que está concebido para bloquear una corriente de cortocircuito en la segunda conexión de tensión continua,                 |
| 20 | la figura 9<br>las figuras 10 a 11 | el convertidor de tensión continua según las figuras 2 y 8 que está concebido en la primera conexión de tensión continua para bloquear una corriente de cortocircuito,<br>esquemas equivalentes de submódulos para un convertidor de tensión continua según la invención, |
| 25 | la figura 13                       | un ejemplo de realización de un brazo de convertidor para un convertidor de tensión continua según la invención y   |
| 30 | la figura 14                       | otro ejemplo de realización del convertidor de tensión continua según la invención.   |

La figura 1 muestra un esquema equivalente de un convertidor de tensión continua según el estado de la técnica que ya se ha descrito al principio.

25 La figura 2 muestra un esquema equivalente de un ejemplo de realización de un convertidor de tensión continua según la invención que presenta una primera conexión de tensión continua 1 con un borne de tensión continua positivo 2 y un borne de tensión continua negativo 3. Además, está prevista una segunda conexión de tensión continua 4 con un borne de tensión continua positivo 5 así como con borne de tensión continua negativo 6. El borne de tensión continua 6 se encuentra en el mismo potencial que el borne de tensión continua 3 de la primera conexión de tensión continua 1. El convertidor de tensión continua 15 representado comprende además un primer convertidor parcial 8 así como un segundo convertidor parcial 11 que están interconectados en serie y que forman un circuito en serie de convertidor 16, estando unido el primer convertidor parcial 8 en el lado de tensión continua a través de inductividades 10 al borne de tensión continua positivo 2 de la primera conexión de tensión continua 1 y al borne de tensión continua positivo 5 de la segunda conexión de tensión continua 4. El segundo convertidor parcial 11 está unido en el lado de tensión continua igualmente a través de inductividades 10 al borne de tensión continua positivo 5 de la segunda conexión de tensión continua 4 y al borne de tensión continua negativo 3 de la primera conexión de tensión continua 1. El circuito en serie de convertidor 16 se extiende entre los bornes de tensión continua 2, 3 de la primera conexión de tensión continua 1. Entre los bornes de tensión continua 5, 6 de la segunda conexión de tensión continua 4 se extiende el segundo convertidor parcial 11 con sus módulos de fase 7. Cada módulo de fase comprende dos inductividades 10 en forma de bobinas.

40 Las inductividades 10 se consideran aquí como componentes del módulo de fase 7 y por tanto del convertidor parcial 8 u 11. La primera conexión de tensión continua 1 sirve para la conexión de una primera red de tensión continua con la tensión continua nominal  $U_{DC1}$ . La segunda conexión de tensión continua sirve para la conexión de una segunda red de tensión continua con la tensión nominal  $U_{DC2}$ . La tensión continua nominal de la primera red de tensión continua  $U_{DC1}$  es tres veces más alta que la tensión continua nominal de la segunda red de tensión continua  $U_{DC2}$  ( $U_{DC1} = 3 \cdot U_{DC2}$ ). La relación de transmisión  $\geq$  del convertidor de tensión continua 15 es por tanto igual a 3. Durante el funcionamiento del convertidor de tensión continua 15, por tanto, la tensión de la segunda red de tensión continua cae en el segundo convertidor parcial 11. El borne de tensión continua positivo 5 de la segunda conexión de tensión continua 4 se encuentra en el punto de potencial de tensión continua 17 entre el primer convertidor parcial 8 y el segundo convertidor parcial 11.

50 La topología del primer convertidor parcial 8 puede corresponder sustancialmente a la topología del segundo convertidor parcial 11. Sin embargo, para bloquear cortocircuitos en la primera red de tensión continua y al mismo tiempo poder trabajar con la menor pérdida posible, la estructura de los convertidores parciales difiere uno respecto a otro en una variante preferible de la invención.

55 En la figura 2, el primer convertidor parcial 7 y el segundo convertidor parcial 11 comprenden respectivamente tres módulos de fase 7, disponiendo cada módulo de fase de un circuito en serie de brazos de convertidor 9. El punto de potencial entre los brazos de convertidor 9 de un módulo de fase 7 corresponde a una fase de tensión alterna 12 de una conexión de tensión alterna 13 del primer convertidor parcial 8 o del segundo convertidor parcial 11. Las fases de tensión alterna 12 del primer convertidor parcial 8 están unidas galvánicamente respectivamente a un devanado primario 18 de un transformador 14 trifásico como medio de intercambio de potencia. Las fases de tensión alterna 12

de la conexión de tensión alterna 13 del segundo convertidor parcial 11, en cambio, están unidas al devanado secundario 19 del transformador 14. Por el acoplamiento inductivo de los devanados 18, 19 se hace posible un intercambio de potencia entre el primer convertidor parcial 8 y el segundo convertidor parcial 11. En este caso, los convertidores parciales 8 y 11 se excitan de tal forma que se ajusta un flujo de potencia del primer convertidor parcial 8 al segundo convertidor parcial 11 que introduce la potencia entonces en la red de tensión continua presente en la segunda conexión de tensión continua 4.

En los convertidores parciales 8 y 11 en el ejemplo de realización representado en la figura 2 se trata respectivamente de llamados convertidores multietapa modulares con brazos de convertidor 9 que están interconectados formando un llamado puente Graetz. Cada brazo de convertidor 9 presenta un circuito en serie de submódulos bipolares que están representados a modo de ejemplo en las figuras 10 a 12. Los brazos de convertidor 9 del convertidor parcial 8 están representados en la figura 13. En esta se puede ver que cada brazo de convertidor 9 presenta un circuito en serie de submódulos bipolares 20 y 21 distintos, cuya estructura está ilustrada en las figuras 10 u 11. Otra forma de realización de un submódulo 23 que en el marco de la invención puede ser parte de un circuito en serie de un brazo de convertidor 9 para emplearse en un convertidor de tensión continua 15 según la invención se muestra en la figura 12.

En el submódulo 21 ilustrado en la figura 10 se trata de un llamado circuito de semipunte. Se puede ver que este submódulo 21 presenta un almacén de energía 24 en forma de un condensador 24 unipolar. En paralelo al condensador 24 está conectado un circuito en serie 25 de dos conmutadores de semiconductor de potencia 26, aquí IGBT, estando conectado en paralelo a cada IGBT 26, en sentido contrario, un diodo libre 27. Un primer borne de conexión de submódulo 28 del submódulo 21 está unido a un polo del condensador 24, mientras que un segundo borne de conexión de submódulo 29 está unido al punto de potencial entre los IGBT 26. Según la excitación de los conmutadores de semiconductor de potencia 26, por lo tanto, se puede generar la tensión  $U_m$  que cae en el condensador 24 o una tensión cero.

La figura 11 muestra otro ejemplo de realización de un submódulo 22 que igualmente presenta un almacén de energía 24 en forma de un condensador en el que cae una tensión unipolar  $U_m$ . También aquí está previsto un primer circuito en serie 25 de dos IGBT 25, estando conectado en paralelo a cada IGBT 26, en sentido contrario, a su vez un diodo libre 27. Sin embargo, además está previsto también un segundo circuito en serie 30 que igualmente está conectado en paralelo al condensador 24. También el segundo circuito en serie 30 presenta dos IGBT 26 conectados en serie, en paralelo a los que está conectado en sentido contrario respectivamente un diodo libre 27. El primer borne de conexión de submódulo 29 está unido a su vez al punto de potencial entre los IGBT 26 del primer circuito en serie 25, formando el punto de potencial entre los IGBT 26 del segundo circuito en serie 30 el segundo borne de conexión 28. Con un circuito de puente completo, en los dos bornes de conexión 26 y 28 se puede generar por una parte la tensión  $U_m$  que cae en el almacén de energía 24, una tensión cero o la tensión de condensador inversa  $-U_m$ .

Además, con el circuito de puente completo 22 según la figura 11, el flujo de corriente entre los bornes de conexión 26 y 28 puede ser controlado de forma selectiva en ambos sentidos. Dicho de otra manera, en caso de un circuito en ambos sentidos, con la ayuda de un módulo de puente completo 22 se puede establecer un contrapotencial que se puede emplear para suprimir la corriente de cortocircuito. En un submódulo 21 según la figura 10 que por tanto está realizado como circuito de semipunte, con la polaridad correspondiente puede fluir una corriente del borne de conexión de submódulo 28, a través del diodo libre 27, al borne de conexión de submódulo 29, sin que pueda ser interrumpida activamente. Por lo tanto, no se puede influir en una corriente de cortocircuito en este sentido. En cambio, el circuito de semipunte ofrece la ventaja de que este requiere tan sólo dos IGBT y dos diodos libres para su construcción y por tanto se pueden fabricar de manera mucho más económica que el circuito de puente completo según la figura 11. Además, son más reducidas las pérdidas del circuito de semipunte 21.

Un compromiso entre las dos formas de realización, es decir, el circuito de semipunte y el circuito de puente completo, lo constituye el submódulo 23 representado en la figura 12, que se conoce también como llamado circuito de doble módulo. El circuito de doble módulo 23 se describe de forma detallada en el documento WO2011/067120 y se compone de dos subunidades 31 y 32 idénticas, cuya topología está basada en la de un circuito de semipunte. Las subunidades 31 y 32 comprenden respectivamente un almacén de energía 24 en forma de un condensador así como un circuito en serie 25 formado por dos IGBT 26 con sendos diodos libres 27 antiparalelos. Alternativamente, entran en consideración semiconductores de potencia de conducción inversa. Un primer borne de conexión de submódulo 28 está unido al punto de potencial entre los IGBT 26 de la primera subunidad 32, mientras que el segundo borne de conexión de submódulo 29 está unido al punto de potencial de los IGBT 26 de la segunda subunidad 31. Las dos subunidades 31 y 32 están unidas entre sí a través de medios de unión 33, presentando los medios de unión diodos de separación de potencial 34 así como un IGBT 26 adicional en una rama central 35, que une el cátodo del diodo de separación de potencial 34 inferior al ánodo del diodo de separación de potencial 34 superior. Este submódulo 23 puede generar en sus bornes de conexión de submódulo 18, 19 las mismas tensiones que dos circuitos de semipunte 21 conectados en serie según la figura 10, pero los medios de unión 33 garantizan que se puede establecer un contrapotencial a corrientes de cortocircuito en ambos sentidos. Por lo tanto, corrientes de cortocircuito que quieran fluir en ambos sentidos a través de los bornes de conexión 28 y 29 pueden reducirse o

incluso suprimirse de manera selectiva. A esta característica aún se hará referencia con más detalle más adelante.

De nuevo con referencia a la figura 2, por tanto, según la excitación de los submódulos 21, 22 o 23, se puede variar gradualmente la tensión que cae entre la respectiva conexión de tensión continua 2, 5, 3 y la respectiva conexión de tensión alterna 13. Por lo tanto, en la conexión de tensión alterna 13 de cada convertidor parcial 8 u 11 se puede generar una tensión alterna.

La figura 3 muestra otro ejemplo de realización del convertidor de tensión continua 15 según la invención con un circuito en serie de convertidor 16 formado por dos convertidores parciales 8 y 11, presentando cada convertidor parcial 8 y 11 dos módulos de fase 7 que comprenden respectivamente un circuito en serie de dos brazos de convertidor 9 así como dos inductividades 10. El segundo convertidor parcial 11 está dispuesto entre los bornes de tensión continua 5, 6 de la segunda conexión de tensión continua 4 y el circuito en serie de convertidor 16 está dispuesto entre los bornes 2, 3 de la primera conexión de tensión continua 1. Igual que en la figura 2, el primer convertidor parcial 8 se extiende entre el borne de tensión continua positivo 2 de la primera conexión de tensión continua 1 y el borne de tensión continua positivo 5 de la segunda conexión de tensión continua 4. Los brazos de convertidor 9 corresponden en cuanto a su estructura a los brazos de convertidor 9 mencionados ya en relación con la figura 2. A causa del número reducido de módulos de fase 7, en el ejemplo de realización según la figura 3 está previsto sólo un transformador 14 monofásico con un solo devanado primario 18 y un solo devanado secundario 19. El devanado primario 18 presenta dos bornes de conexión de transformador, estando unido un borne de conexión de transformador a la fase de tensión alterna 12 del primer módulo de fase 7 del primer convertidor parcial 8 y estando unido el otro borne de conexión de transformador a la fase de tensión alterna 12 del segundo submódulo 7 del primer convertidor parcial 8. Una conexión correspondiente resulta para el devanado secundario 19 con sus dos bornes de conexión de transformador, estando unido uno de los bornes de conexión de transformador a la fase de tensión alterna 12 del primer módulo de fase 7 del segundo convertidor parcial y estando unido el otro borne de conexión de transformador a la fase de tensión alterna 12 del segundo módulo de fase 7 del segundo convertidor parcial 11. A causa de esta realización bifásica monofásica, el convertidor de tensión continua 15 según la figura 3 es considerablemente más económico en comparación con aquel de la figura 2, pero en el convertidor de tensión continua 15 según la figura 3 está reducido el flujo de potencia máximo.

La figura 4 muestra otro ejemplo de realización del convertidor de tensión continua 15 según la invención que se diferencia del convertidor de tensión continua 15 representado en la figura 3 en que cada uno de los convertidores parciales 8 u 11 presenta tan sólo un módulo de fase 7. En lugar de un segundo módulo de fase, cada convertidor parcial 8 u 11 dispone de un condensador 36 que está unido al borne de tensión continua positivo 5 de la segunda conexión de tensión continua 4 así como al borne de tensión continua negativo 3,6 común de las dos conexiones de tensión continua, formando el otro polo del respectivo condensador 36 una fase auxiliar de condensador 37 que está asignada fijamente a la fase de tensión alterna 12 del respectivo convertidor parcial 8 u 11 en el sentido de que el borne de conexión de transformador del devanado primario 18 está unido a la fase de tensión alterna 12 del primer convertidor parcial 8 y el otro borne de conexión de transformador del devanado primario 18 está unido a la fase auxiliar de condensador del primer convertidor parcial 8. Lo análogo es válido para el segundo convertidor parcial 11 o el devanado secundario 19 del transformador 14 monofásico. Los costes del convertidor de tensión continua 15 según la figura 4 se consiguieron reducir aún más frente al de la figura 3.

La figura 5 muestra otro ejemplo de realización del convertidor de tensión continua 15 según la invención que se diferencia del ejemplo de realización representado en la figura 4 en que tan sólo el primer convertidor parcial 8 forma una fase auxiliar de condensador 37 por medio de un condensador 36 que está unido al borne de conexión de tensión continua positivo 5 de la segunda conexión de tensión continua 4. El segundo convertidor parcial 11, en cambio, presenta al igual que el segundo convertidor parcial 11 representado en la figura 3 dos módulos de fase 7 con dos fases de tensión alterna 12 que están unidas respectivamente a un borne de conexión de transformador del devanado secundario.

La figura 6 muestra otro ejemplo de realización del convertidor de tensión continua 15 según la invención, en el que el segundo convertidor parcial 11 presenta, al igual que el convertidor parcial 11 representado en la figura 5, dos módulos de fase 7 con dos fases de tensión alterna 12. El primer convertidor parcial 8, sin embargo, dispone de dos condensadores 36 que están interconectados en serie formando un circuito en serie de condensador 38. El circuito en serie de condensador 38 se extiende por tanto entre el borne de tensión continua positivo 2 de la primera conexión de tensión continua 1 y el borne de tensión continua positivo 5 de la segunda conexión de tensión continua 4. Por lo tanto, el circuito en serie de condensador 38 está conectado en paralelo al módulo de fase 7 incluidas las inductividades 10 del primer convertidor parcial 8. El punto de potencial entre los condensadores 36 del circuito en serie de condensador 38 forma a su vez una fase auxiliar de condensador 37 que – como ya se ha explicado en relación con las figuras 4 y 5 – está unida a un borne de conexión de transformador del devanado primario 18 del transformador 14. Mediante el uso de dos condensadores 36 se puede ajustar de manera más estable el potencial de la fase auxiliar de condensador 37.

En la figura 7 se muestra otro ejemplo de realización del convertidor de tensión continua según la invención, en el que, sin embargo, también el segundo convertidor parcial 11 presenta en lugar de un segundo módulo de fase 7

como en la figura 6 un circuito en serie de condensador 38 que está conectado en paralelo al módulo de fase 7 incluida la inductividad 10. Por lo tanto, también el segundo convertidor parcial 11 forma una fase auxiliar de condensador 37, cuyo potencial está determinado por un circuito en serie de dos condensadores 36.

5 Las figuras 8 y 9 ilustran el modo de acción del convertidor de tensión continua según la figura 2, presentando su primer convertidor parcial 8 brazos de convertidor 9 según la figura 13. Los brazos de convertidor 9 del segundo convertidor parcial 11, en cambio, están realizados exclusivamente por submódulos 21 en circuito de semipunte según la figura 10. Por lo tanto, el primer convertidor parcial 8 se diferencia del segundo convertidor parcial 11 en que sus brazos de convertidor 9 presentan tanto submódulos 22 en circuito de puente completo según la figura 11 como submódulos 21 en circuito de semipunte según la figura 10. Como ya se ha descrito, el circuito de puente completo es capaz de bloquear bidireccionalmente, es decir, que puede desconectar de manera selectiva corrientes que fluyen en ambos sentidos a través de sus bornes de conexión 28 y 29.

15 Como ya se ha explicado, según la invención, la primera conexión de tensión continua 1 está prevista para la conexión de una primera red de tensión continua con la tensión nominal  $U_{DC1}$ . La segunda conexión de tensión continua 4 sirve para la conexión de una segunda red de tensión continua con la tensión nominal  $U_{DC2}$ . Según la invención, la conexión de tensión continua 1 forma el lado de tensión superior, mientras que la segunda conexión de tensión continua 4 también puede designarse como lado de tensión inferior. En el ejemplo de realización representado en la figura 8, en la segunda red de tensión continua, es decir, en el lado de tensión inferior y por tanto en la segunda conexión de tensión continua 4 existe un cortocircuito 39, de manera que la tensión  $U_{DC2}$  que cae en la segunda conexión de tensión continua 4 es igual a cero. El convertidor de tensión continua 5 puede aislar el cortocircuito en el lado de tensión inferior, si la tensión en el lado de tensión superior, es decir, la tensión nominal, en la primera conexión de tensión continua 1  $U_{DC1}$  es superior o igual al doble de la tensión continua  $U_{DC2}$  en la segunda conexión de tensión continua 4. Esto resulta de la siguiente reflexión: en caso de la tensión  $U_{up}$  que cae en el primer convertidor parcial 8, esta tensión resulta de la diferencia de las tensiones nominales de las redes conectadas según

$$25 \quad U_{up} = U_{DC1} - U_{DC2} .$$

Si la relación de transmisión  $\ddot{u}$  se define como  $\ddot{u} = \frac{U_{DC1}}{U_{DC2}}$  resulta:

$$U_{up} = U_{DC1} \left( 1 - \frac{1}{\ddot{u}} \right) = U_{DC1} \left( \frac{\ddot{u} - 1}{\ddot{u}} \right) .$$

Para  $\ddot{u} \geq 2$ , por consiguiente, cada brazo de convertidor 9 del primer convertidor parcial 8 puede bloquear la mitad de la tensión  $U_{DC1}$ . Por lo tanto, dos brazos de convertidor 9 en serie pueden bloquear la tensión  $U_{DC1}$  total.

30 La figura 9 muestra un cortocircuito 39 en el lado de tensión superior, es decir, en la primera red de tensión continua presente en la conexión de tensión continua 1. Para poder lograr un aislamiento eficaz del lado de tensión superior, en el primer convertidor parcial 8 debe estar dispuesto un número suficiente de submódulos 22 o 23 de bloqueo bidireccional según las figuras 11 o 12, para poder recibir completamente la tensión del lado de tensión inferior. Si  $U_m$  es la tensión que puede bloquear como máximo cada submódulo 22 o 23, resulta el número  $n_{VB}$  necesario de los submódulos 22 o 23 de bloqueo bidireccional en un brazo de convertidor 9 del primer convertidor parcial 8 según:

$$n_{VB} = \frac{U_{DC2}}{2U_m}$$

Para el número de módulos de semipunte en un brazo de convertidor 9 del primer convertidor parcial 8 resulta:

$$n_{HB} = \frac{U_{DC1} - U_{DC2}}{U_m} - \frac{U_{DC2}}{2U_m} = \frac{2U_{DC1} - 3U_{DC2}}{2U_m} = \frac{U_{DC1}}{U_m} \left( \frac{2\ddot{u} - 3}{2\ddot{u}} \right)$$

40 Si se cumplen las condiciones indicadas en función de la relación de transmisión  $\ddot{u}$ , se pueden bloquear de manera segura corrientes de cortocircuito en ambos lados del convertidor de tensión continua.

45 La figura 14 muestra otra variante de la invención. El convertidor de tensión continua 15 representado allí dispone a su vez de dos convertidores parciales 8, 11 conectados en serie formando un circuito en serie de convertidor 16. Cada convertidor parcial 8, 11 dispone de un solo módulo de fase 7 que presenta dos brazos de convertidor 9 y una conexión de tensión alterna 13 con una fase de tensión alterna 12 que está dispuesta entre los brazos de convertidor 9. Como medio de intercambio de potencia está previsto un transformador de ahorro 40. El transformador de ahorro

5 40 presenta sólo un único devanado con una derivación 41. Un borne de conexión de transformador terminal del transformador de ahorro 40 está unido al borne de conexión de tensión continua positivo 5 de la conexión de tensión continua 4. El otro borne de conexión de transformador terminal y la derivación 41 están conectados respectivamente a través de un condensador 36 a la conexión de tensión alterna 13 del primer o del segundo convertidor parcial 11. Los dos condensadores 36 sirven aquí como medio para la separación de los potenciales de tensión continua de los convertidores parciales 8 y 11.

## REIVINDICACIONES

1. Convertidor de tensión continua (15) para unir redes de corriente continua de alta tensión, que presentan tensiones distintas, a un primer convertidor parcial (8) y a un segundo convertidor parcial (11) que están interconectados en serie formando un circuito en serie de convertidor (16), extendiéndose el circuito en serie de convertidor (16) entre los bornes de tensión continua (2, 3) de una conexión de tensión continua (1) y extendiéndose el segundo convertidor parcial (11) entre los bornes de tensión continua (5, 6) de una segunda conexión de tensión continua (4), y estando unidos uno a otro el primer convertidor parcial (8) y el segundo convertidor parcial (11) a través de medios de intercambio de potencia (14), de tal forma que es posible el intercambio de potencia eléctrica entre el primer convertidor parcial (8) y el segundo convertidor parcial (11) a través de los medios de intercambio de potencia (14), **caracterizado por que** el primer convertidor parcial (8) y/o el segundo convertidor parcial (11) son respectivamente convertidores multietapa modulares autocontrolados que presentan brazos de convertidor (9) con un circuito en serie de submódulos bipolares, estando equipado cada submódulo (21, 22, 23) con al menos un almacén de energía (24) y con conmutadores de semiconductor de potencia (26) conectables y desconectables, formando cada submódulo un circuito de puente completo, un circuito de doble módulo y/o un circuito de semipunto.
2. Convertidor de tensión continua (15) según la reivindicación 1, **caracterizado por que** cada convertidor parcial (8, 11) forma una conexión de tensión alterna (13), estando unida la conexión de tensión alterna (13) del primer convertidor parcial (8) a la conexión de tensión alterna (13) del segundo convertidor parcial (11) a través de los medios de intercambio de potencia (14).
3. Convertidor de tensión continua (15) según la reivindicación 2, **caracterizado por que** los medios de intercambio de potencia están realizados como transformador (14).
4. Convertidor de tensión continua (15) según la reivindicación 3, **caracterizado por que** el transformador (14) presenta un devanado primario (18) que está unido a la conexión de tensión alterna (13) del primer convertidor parcial (8) y un devanado secundario (19) que está unido a la conexión de tensión alterna (12) del segundo convertidor parcial (11).
5. Convertidor de tensión continua (15) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** cada convertidor parcial (8, 11) presenta al menos un módulo de fase (7) que forma dos convertidores (9) conectados en serie, formando el punto de potencial entre los brazos de convertidor (9) de cada módulo de fase (7) una fase de tensión alterna (12) de una conexión de tensión alterna (13).
6. Convertidor de tensión continua (15) según la reivindicación 5, **caracterizado por que** cada convertidor parcial (8, 11) forma tres módulos de fase (7), cuyas conexiones de tensión alterna (12) están acopladas entre sí a través de un transformador (14) trifásico.
7. Convertidor de tensión continua (15) según la reivindicación 5, **caracterizado por que** al menos un convertidor parcial (8, 11) presenta dos módulos de fase (7), cuya conexión de tensión alterna (13) está acoplada a través de un transformador (4) monofásico a la conexión de tensión alterna (13) del otro convertidor parcial (8, 11).
8. Convertidor de tensión continua (15) según la reivindicación 5 o 7, **caracterizado por que** cada convertidor parcial (8, 11) o al menos uno de ellos presenta solamente un módulo de fase (7), cuya fase de tensión alterna (12) está asignada a una fase auxiliar de condensador (37), que a través de un condensador (36) está unida a un borne de tensión continua (2, 3, 5, 6) de la primera o la segunda conexión de tensión continua (1, 4), estando unidas entre sí dicha fase de tensión alterna (12) y la fase auxiliar de condensador (37) asignada a esta, a través de un devanado (18, 19) de un transformador (14) monofásico.
9. Convertidor de tensión continua (15) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** en cada brazo de convertidor (9) del primer convertidor parcial (8) están previstos tanto submódulos (22, 23) capaces de bloquear bidireccionalmente como submódulos con circuito de semipunto.
10. Convertidor de tensión continua (15) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el segundo convertidor parcial (11) presenta exclusivamente submódulos con un circuito de semipunto (21), siendo igual o superior a 2 la relación de transmisión ( $\ddot{u}$ ) entre la primera conexión de tensión continua (1) y la segunda conexión de tensión continua (4).
11. Convertidor de tensión continua (15) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el número de submódulos ( $n_{VB}$ ) capaces de bloquear bidireccionalmente resulta según

$$n_{VB} = \frac{U_{DC2}}{2U_m}$$

en la que ( $U_{DC2}$ ) es la tensión nominal de la segunda red de tensión continua y  $U_m$  es la tensión que cae en el almacén de energía del submódulo (22, 23) capaz de bloquear bidireccionalmente.

- 5 12. Convertidor de tensión continua (15) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el número de submódulos con circuito de semipunte (21) ( $n_{HB}$ ) en cada brazo de convertidor (9) del primer convertidor parcial (8) resulta según la ecuación

$$n_{HB} = \frac{U_{DC1}}{U_m} \left( \frac{2\ddot{u} - 3}{2\ddot{i}} \right)$$

en la que  $U_{DC1}$  es la tensión nominal de la red de tensión continua presente en la primera conexión de tensión continua (1) y  $\ddot{u}$  es la relación de transmisión del convertidor de tensión continua (15).

- 10 13. Convertidor de tensión continua (15) según la reivindicación 1, 2 o 3, **caracterizado por que** los medios de intercambio de potencia presentan un transformador de ahorro (40) que a través de medios para la separación de potenciales de tensión continua (36) está unido a los convertidores parciales (8, 11).

FIG 1 (Estado de la técnica)

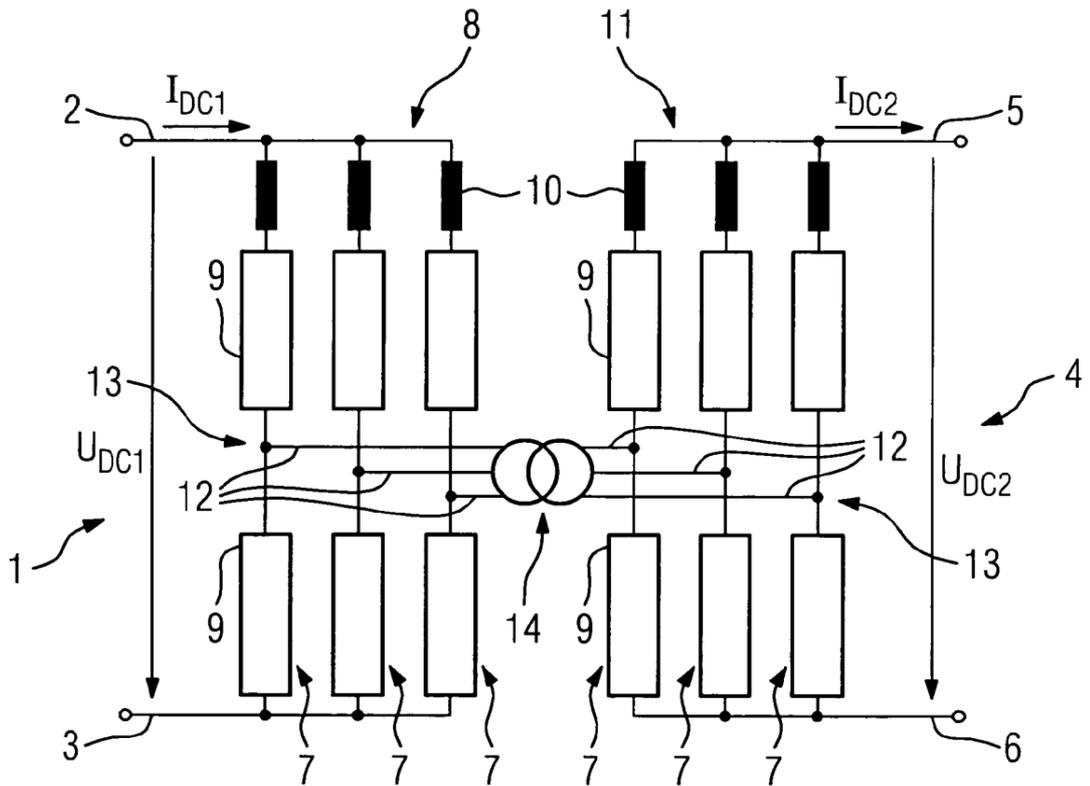


FIG 2

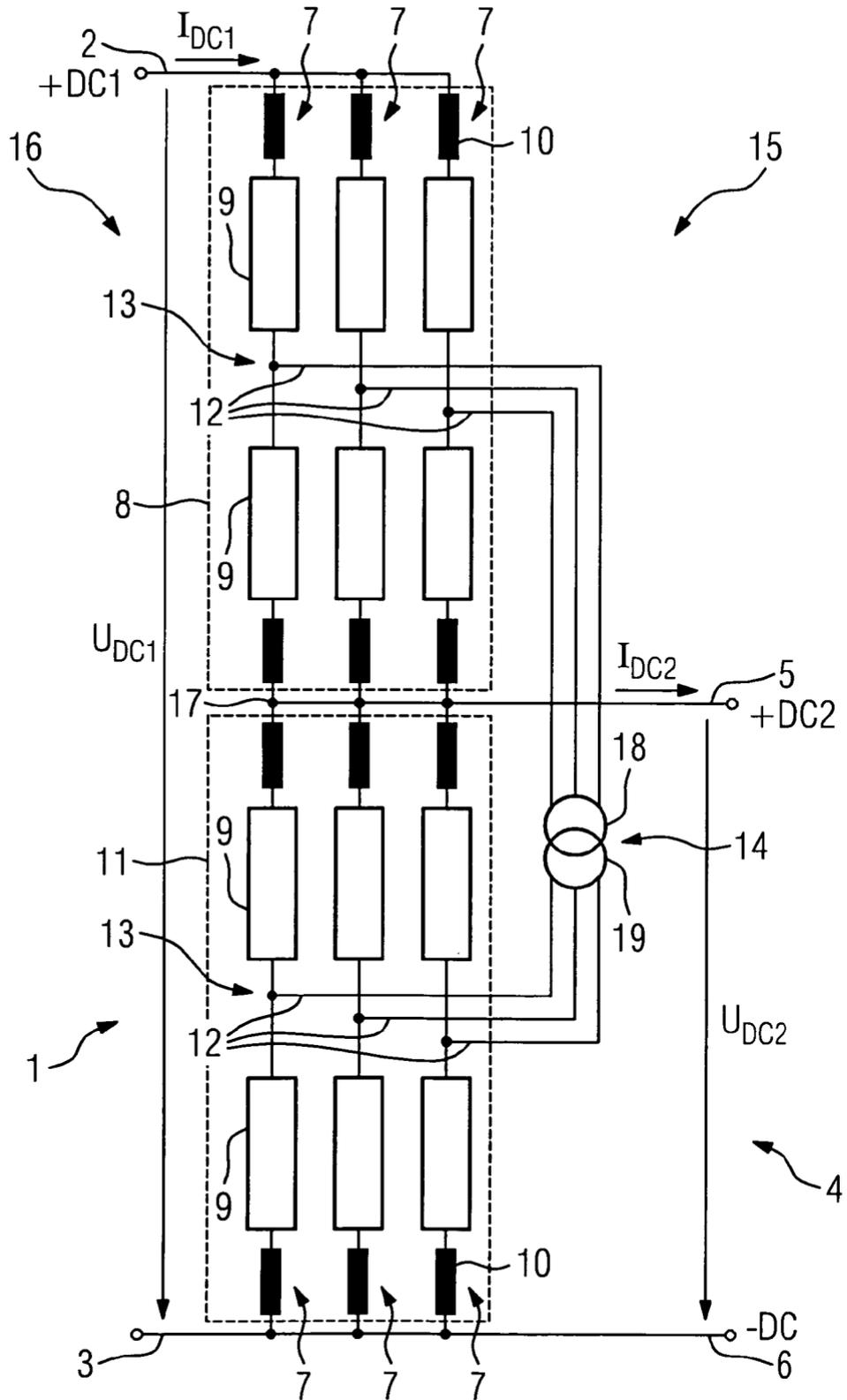


FIG 3

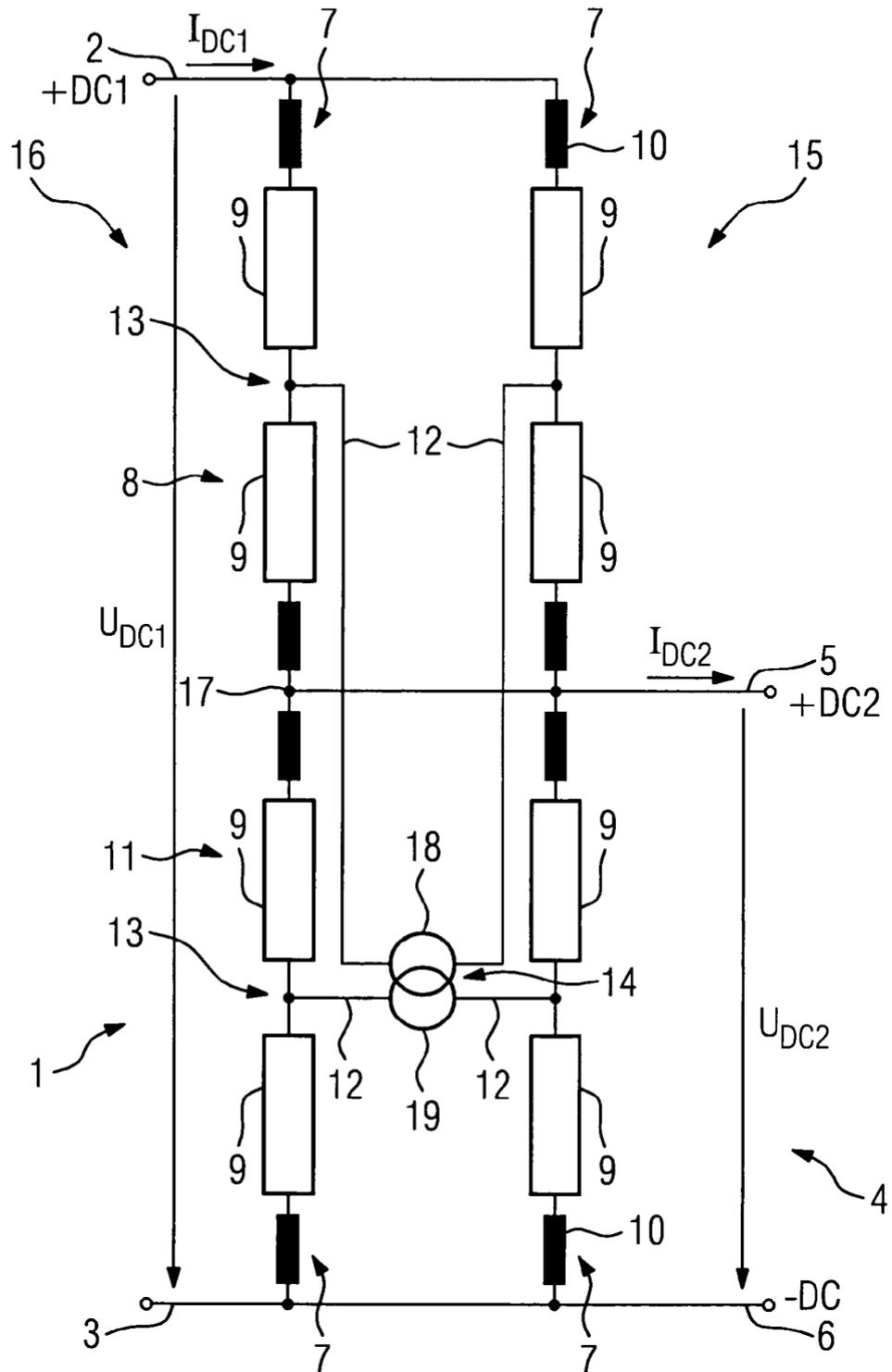


FIG 4

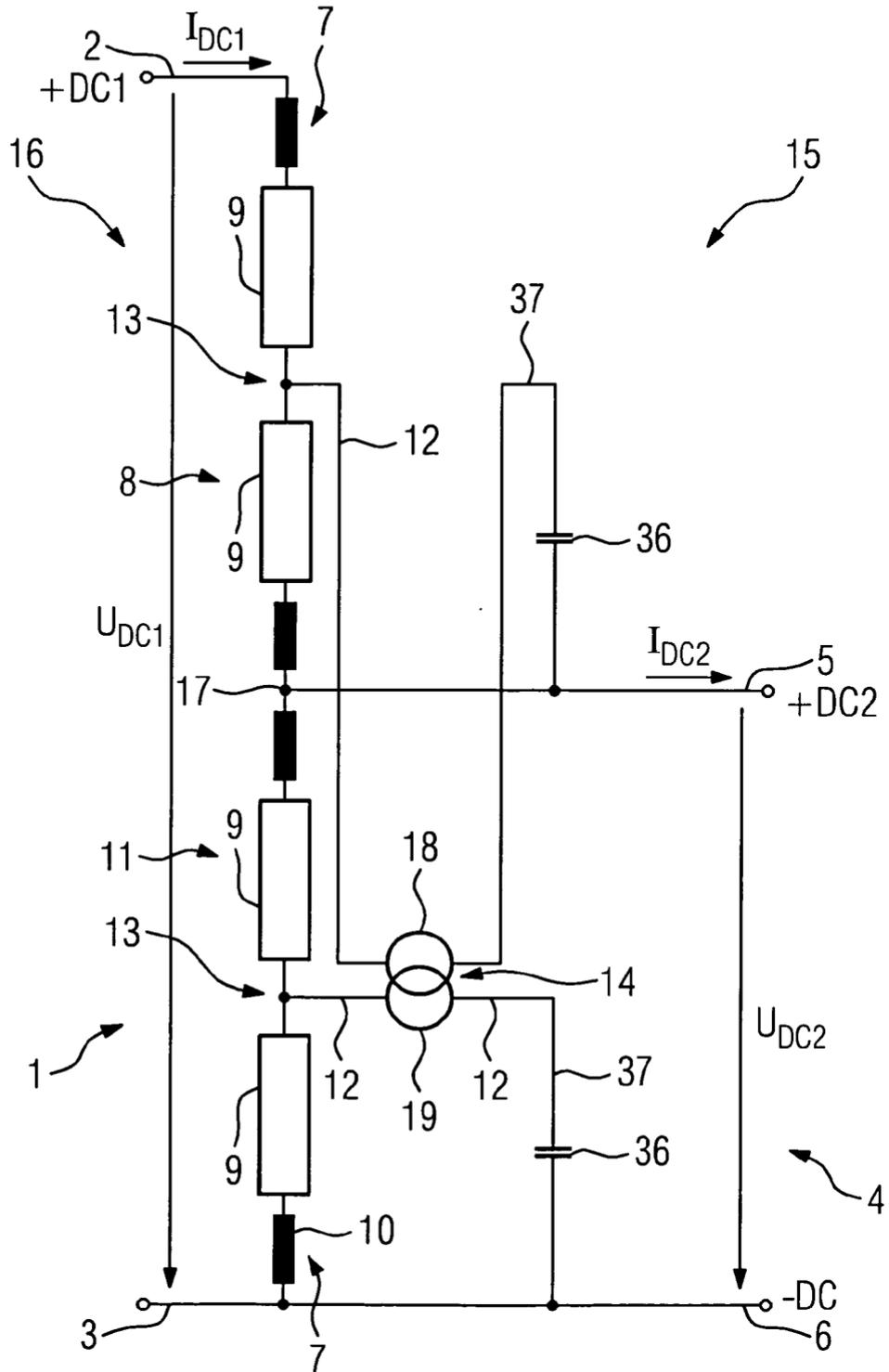


FIG 5

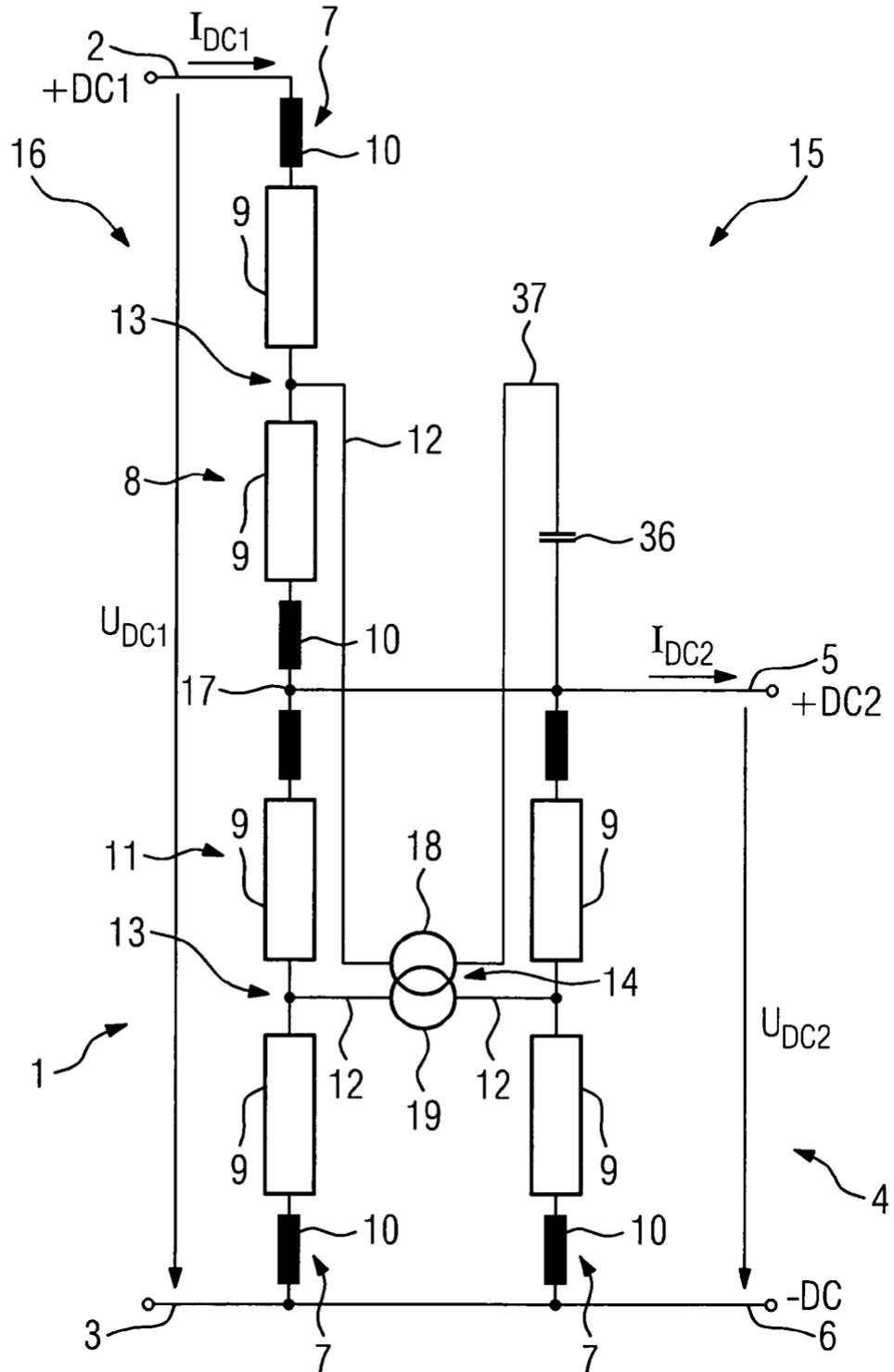


FIG 6

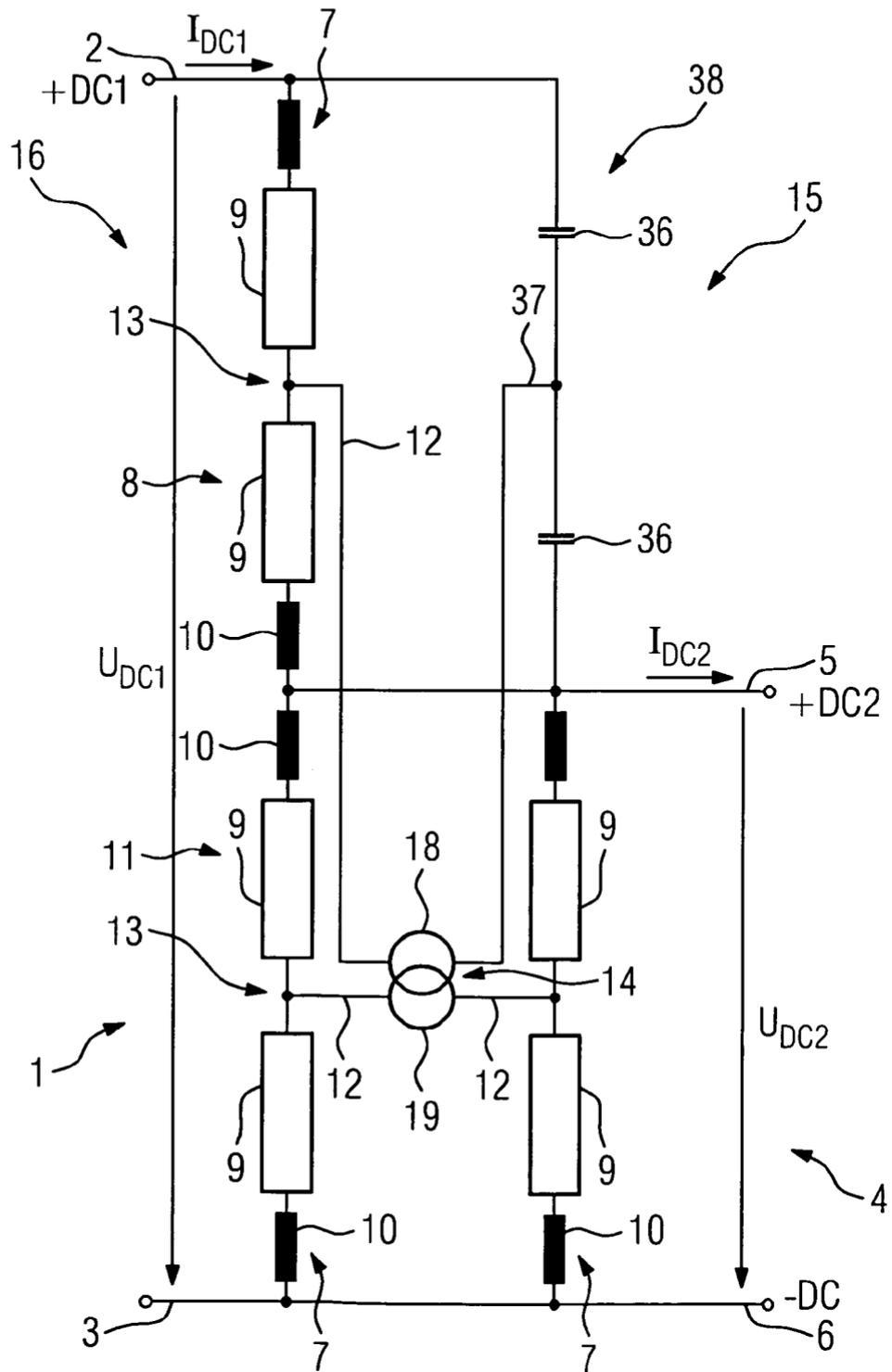




FIG 8

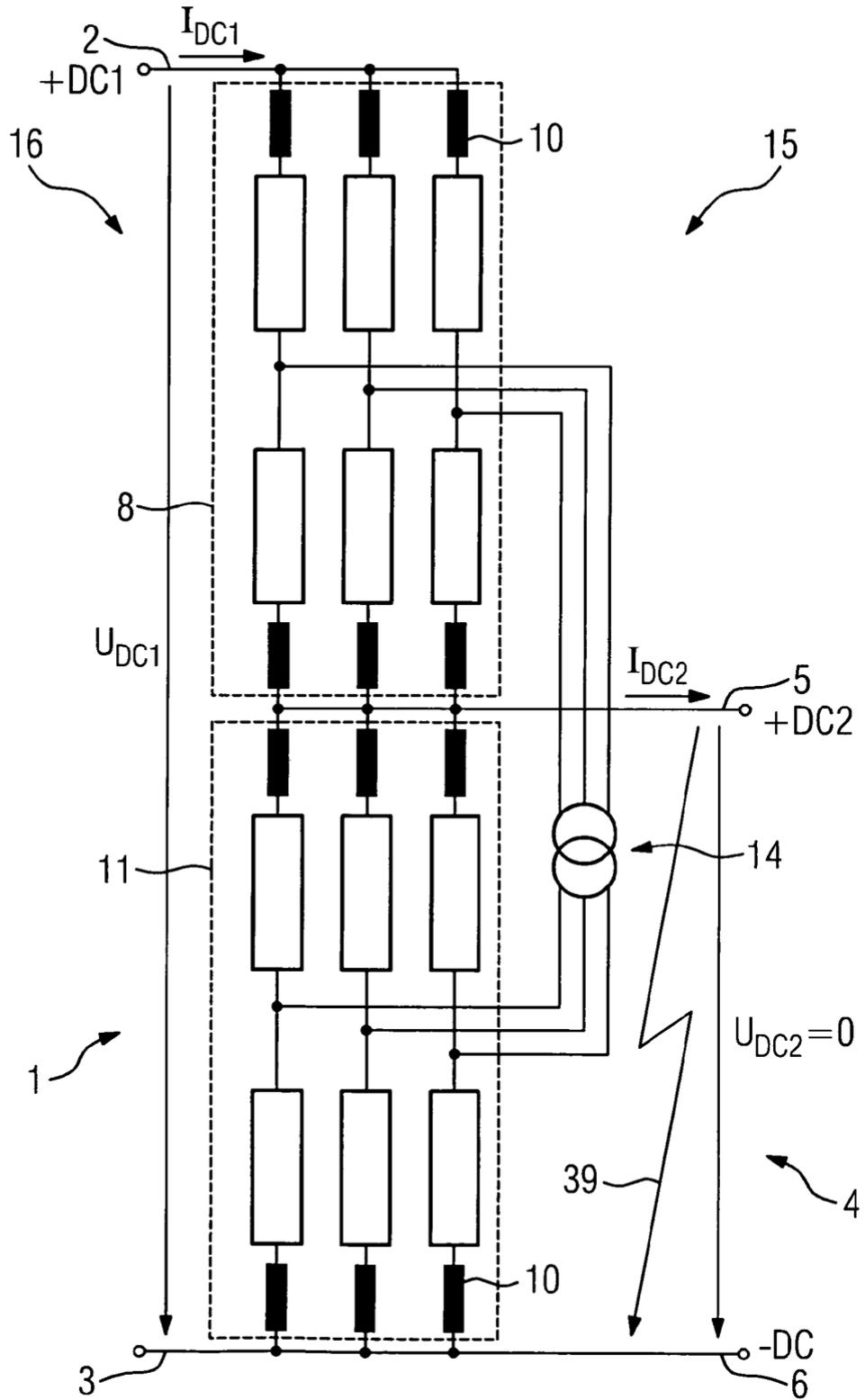


FIG 9

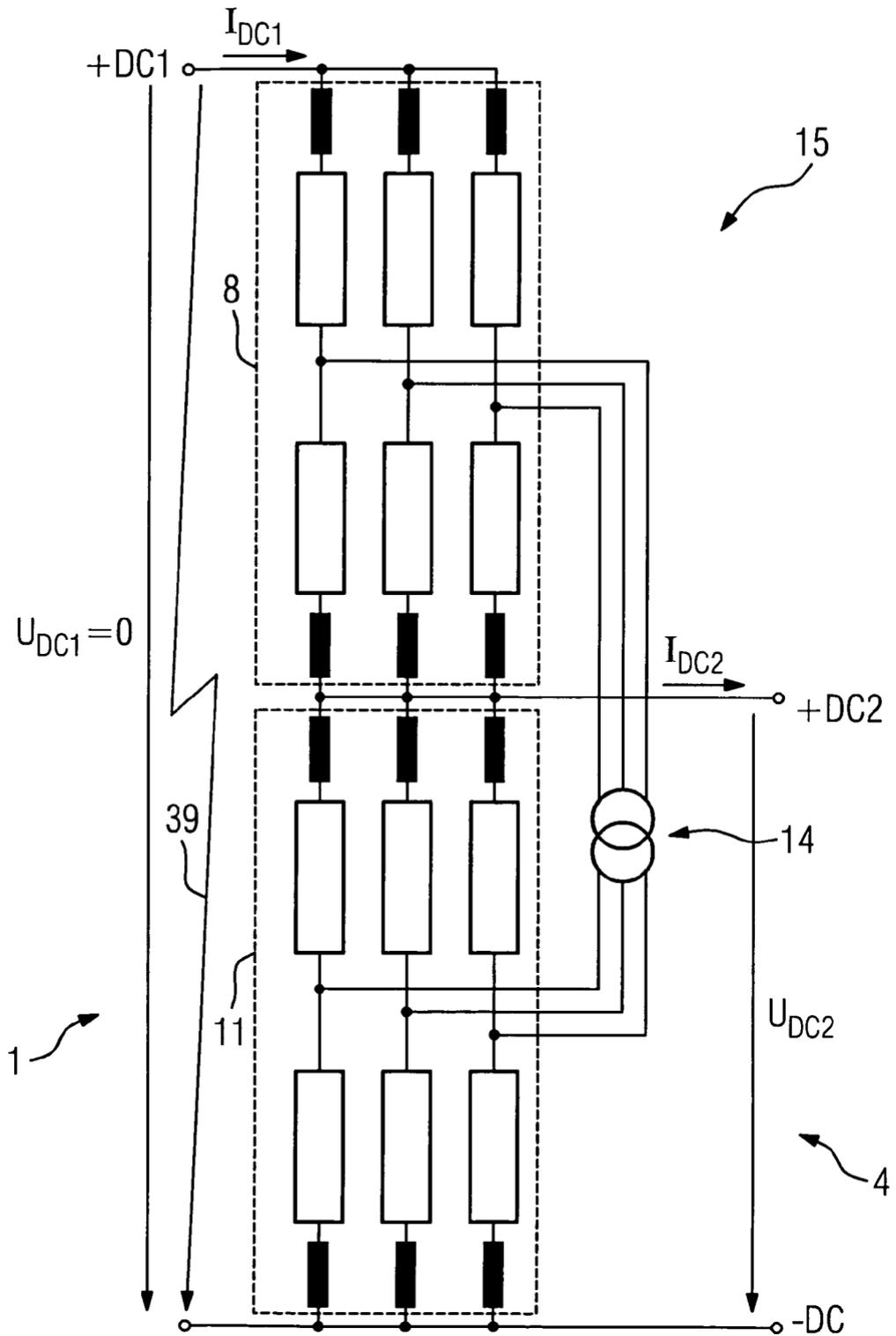


FIG 10

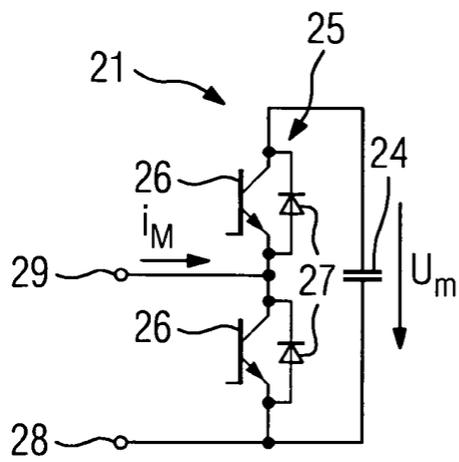


FIG 11

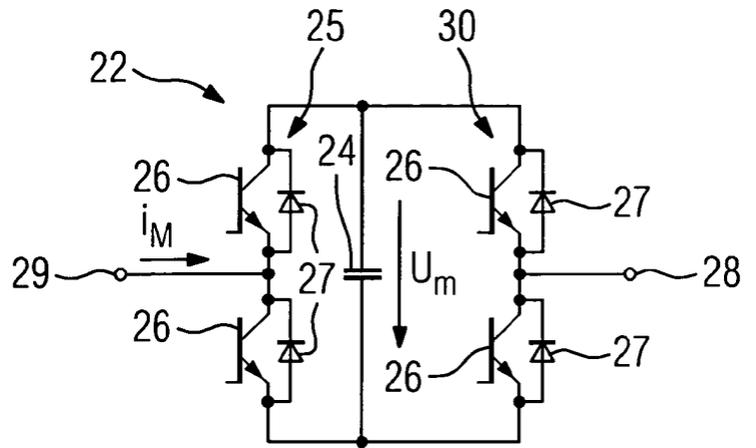


FIG 12

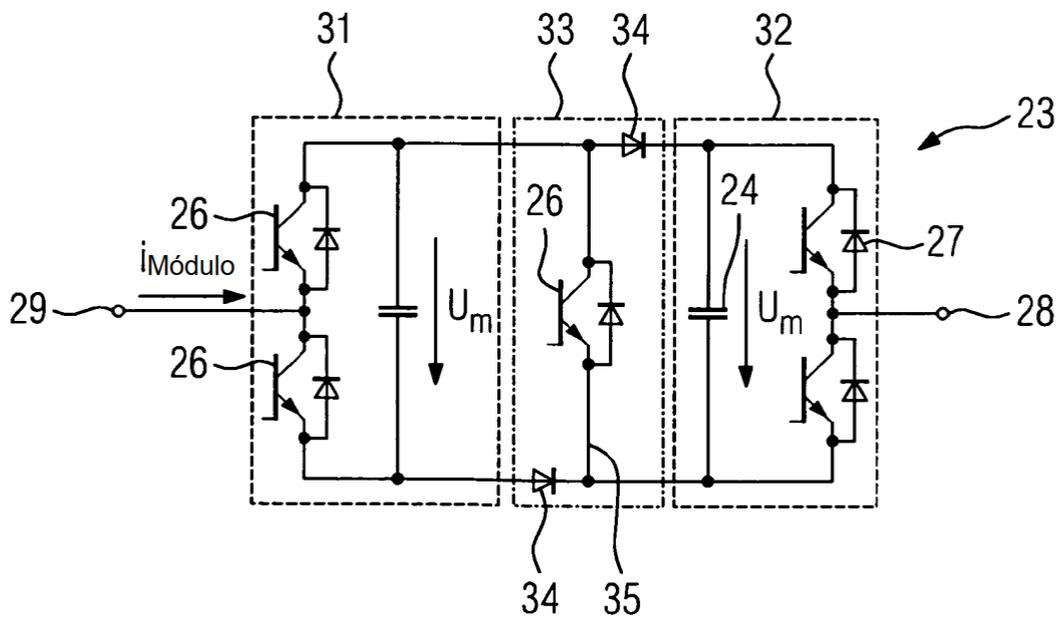


FIG 13

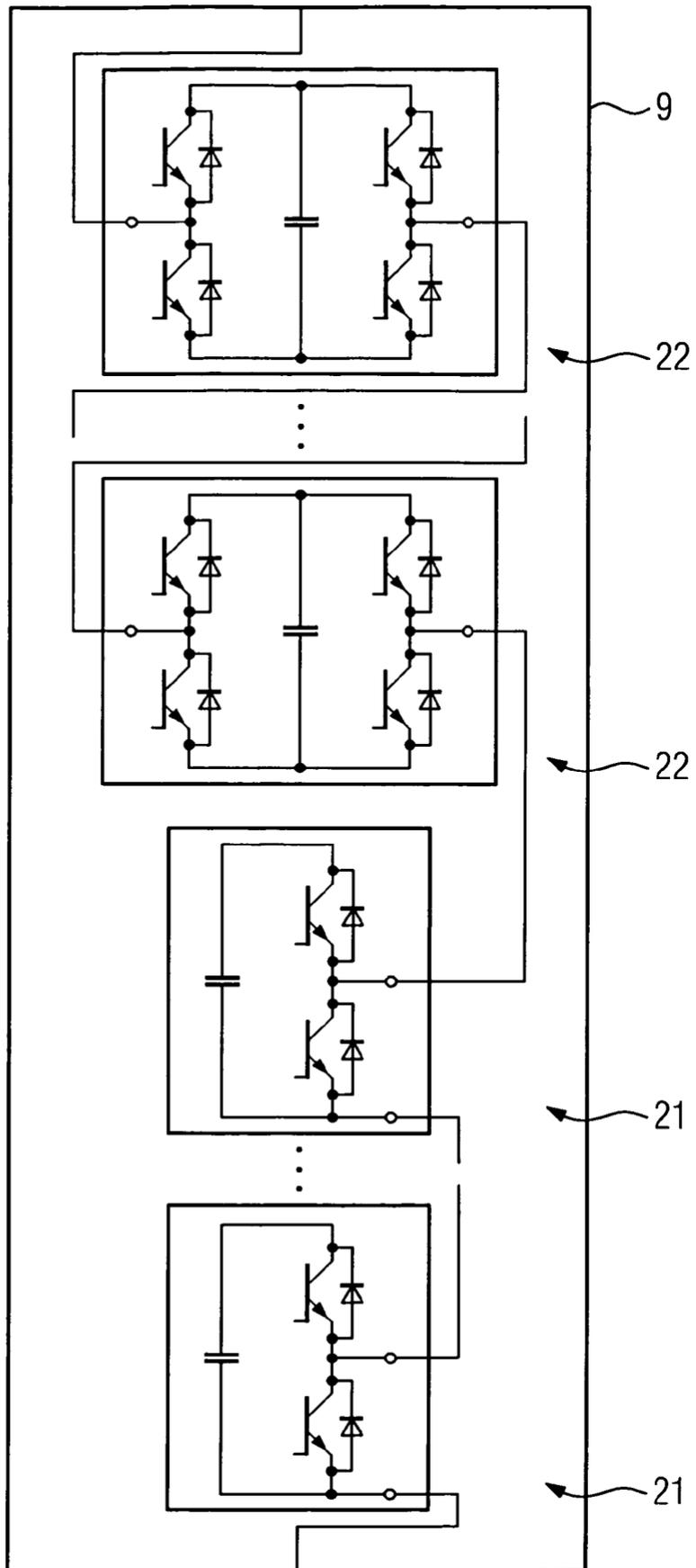


FIG 14

