(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 916 389**

(51) Int. CI.:

H02M 1/32 (2007.01)
H02M 7/483 (2007.01)
H02J 3/36 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.06.2018 PCT/EP2018/067534**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **31.01.2019 WO19020312**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2018 E 18739776 (5)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.03.2022 EP 3635851**

(54) Título: **Unidad de convertidor de corriente**

(30) Prioridad:

28.07.2017 DE 102017213099

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.06.2022

(73) Titular/es:

SIEMENS ENERGY GLOBAL GMBH & CO. KG (100.0%)
Otto-Hahn-Ring 6
81739 München, DE

(72) Inventor/es:

BURKHARDT, MATTHIAS y
ERGIN, DOMINIK

(74) Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

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

Unidad de convertidor de corriente

La invención se refiere a una unidad de convertidor de corriente para una transmisión de corriente continua de alta tensión. Esta unidad de convertidor de corriente presenta un primer convertidor de corriente y un segundo convertidor de corriente. Además, la invención se refiere a un procedimiento para el tratamiento de fallos en una unidad de convertidor de corriente.

Los fallos que se produzcan en los convertidores de corriente se pueden solucionar al abrir un disyuntor de corriente alterna (que conecta un terminal de tensión alterna del convertidor de corriente a un sistema de tensión alterna). Esta eliminación de fallos (tratamiento de fallos) mediante un disyuntor de corriente alterna también es aplicable, en particular, a los convertidores modulares multinivel con módulos de medio puente.

A este respecto, es problemática la aparición de los denominados fallos asimétricos, en particular, los fallos asimétricos internos del convertidor de corriente. Son fallos que afectan solo a un polo o dos polos de la tensión alterna de tres polos (trifásica). Es especialmente problemático si el disyuntor de corriente alterna está conectado al terminal de tensión alterna del convertidor de corriente por medio de un transformador, el fallo asimétrico se produce en el lado secundario (es decir, en el lado que da al convertidor de corriente) del transformador y el disyuntor de corriente alterna está dispuesto en el lado primario del transformador (es decir, en el lado del transformador opuesto al convertidor de corriente). Tales fallos asimétricos provocan una densidad de corriente asimétrica en el lado secundario del transformador, que se transfiere al lado primario del transformador y hace que la corriente alterna que fluye a través del disyuntor de corriente alterna ya no presente pasos por cero de la corriente (falta de pasos por cero de la corriente alterna). Esta falta de pasos por cero de la corriente alterna impide que el disyuntor de corriente alterna se abra rápidamente después de detectar un fallo, ya que los arcos eléctricos que se producen cuando se abre el disyuntor de corriente alterna no se extinguen de forma fiable hasta que la corriente alterna tenga pasos por cero.

Sin embargo, en particular, en los convertidores de corriente modulares multinivel con módulos de medio puente se requiere una eliminación de fallos rápida, ya que, de lo contrario, los diodos de marcha libre de los módulos de medio puente, que son conductores en caso de fallo, se pueden sobrecargar térmicamente y, además del disyuntor de corriente alterna, también el convertidor de corriente puede sufrir daños irreversibles.

Para resolver este problema, en la solicitud de patente WO 2011/150963 A1 se propuso usar una unidad de puente de cortocircuito que cortocircuita las tres fases de la red de tensión alterna a tierra en caso de fallo asimétrico. Esto convierte el fallo asimétrico en un fallo simétrico (es decir, un fallo que afecta a las tres fases), por lo que aparecen pasos por cero de la corriente alterna en el lado primario del transformador.

Además, en la solicitud de patente WO 2016/055106 A1 se propuso cortocircuitar un devanado terciario del transformador mediante una unidad de puente de cortocircuito en caso de fallo asimétrico. Esto se hace de forma que las tres fases del devanado terciario se cortocircuitan entre sí.

En las dos soluciones que se han mencionado anteriormente es necesario cerrar los interruptores de cortocircuito en caso de fallo. Con la primera solución mencionada, el cortocircuito resultante supone una gran carga para la red de tensión alterna y los componentes conectados a la misma. En la segunda solución mencionada se requiere un devanado terciario del transformador diseñado para altas potencias, para poder influir con la suficiente rapidez en las corrientes que fluyen por el lado primario del transformador. Este tipo de devanado terciario es complejo y caro.

Por la solicitud de patente GB 2 536 894 A se conoce una instalación de transmisión de corriente continua de alta tensión en la que un punto de conexión entre dos convertidores de corriente de una unidad de convertidor de corriente está conectado directamente al punto de conexión correspondiente de una segunda unidad de convertidor de corriente a través de una línea de retorno formada por la tierra.

Por la solicitud publicada de patente CN 104 578 130 A se conoce una unidad de convertidor de corriente en la que un punto de conexión entre dos convertidores de corriente de la unidad de convertidor de corriente está conectado al potencial de tierra mediante un interruptor.

La solicitud de patente internacional WO 2015/172825 A1 desvela un convertidor de corriente modular multinivel en el que un terminal de tensión continua está conectado al potencial de tierra mediante un circuito paralelo que comprende un resistor y una bobina.

La invención se basa en el objetivo de indicar una unidad de convertidor de corriente y un procedimiento para el tratamiento de fallos en una unidad de convertidor de corriente, con el que se pueden conseguir pasos por cero de corriente, incluso si se produce un fallo asimétrico.

Este objetivo se resuelve de acuerdo con la invención mediante una unidad de convertidor de corriente y un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones independientes. Las formas de realización ventajosas de la unidad de convertidor de corriente y del procedimiento se indican en las reivindicaciones dependientes.

Se desvela una unidad de convertidor de corriente para una transmisión de corriente continua de alta tensión

- con un primer convertidor de corriente y un segundo convertidor de corriente,

- estando conectado (eléctricamente) un primer terminal de corriente continua del primer convertidor de corriente a un primer punto de conexión de conductor para un primer conductor de transmisión de corriente continua de alta tensión,

- estando conectado un segundo terminal de corriente continua del primer convertidor de corriente a un primer terminal de corriente continua del segundo convertidor de corriente para configurar un punto de conexión,

- estando conectado un segundo terminal de tensión continua del segundo convertidor de corriente a un segundo punto de conexión de conductor de un segundo conductor de transmisión de corriente continua de alta tensión,

- estando conectado el punto de conexión al potencial de tierra mediante un componente electrónico de amortiguación de la corriente y

- estando conectado el punto de conexión al potencial de tierra mediante un interruptor de corriente continua.

Esta unidad de convertidor de corriente presenta el componente electrónico de amortiguación de la corriente que conecta el punto de conexión con el potencial de tierra. El componente presenta una impedancia eléctrica distinta de cero. A diferencia de una unidad de convertidor de corriente en la que el punto de conexión está directamente conectado a tierra (es decir, en la que el punto de conexión está conectado al potencial de tierra mediante un conductor eléctrico prácticamente sin impedancia), aquí se proporciona el componente electrónico de amortiguación de la corriente para conectar el punto de conexión al potencial de tierra. Este componente amortigua la corriente de fallo que fluye desde el potencial de tierra hasta el punto de conexión cuando se produce un fallo asimétrico. Esto garantiza que las corrientes alternas del lado primario también presenten pasos por cero de corriente cuando se produce un fallo asimétrico. Las corrientes alternas del lado primario son las corrientes alternas que fluyen por el lado primario de un transformador que conecta un terminal de tensión alterna del convertidor de corriente a un sistema de tensión alterna (red de tensión alterna, red de alimentación). Ventajosamente, ya se puede conseguir con un simple componente electrónico de amortiguación de la corriente que las corrientes alternas del lado primario presenten pasos por cero en caso de fallo asimétrico.

Sin embargo, si una parte considerable de la corriente continua de alta tensión fluye desde el punto de conexión a través del potencial de tierra/tierra hacia otra unidad de convertidor de corriente durante la transmisión de corriente continua de alta tensión (la llamada operación de retorno a tierra), se producirían considerables pérdidas eléctricas en el componente electrónico de amortiguación de la corriente; el componente electrónico de amortiguación de la corriente impediría considerablemente la transmisión de corriente continua de alta tensión. Por lo tanto, el punto de conexión está conectado adicionalmente al potencial de tierra mediante el interruptor de corriente continua. Mientras no se produzca un fallo asimétrico, el interruptor de corriente continua estará cerrado. La corriente continua de alta tensión fluye entonces hacia el potencial de tierra evitando el componente electrónico de amortiguación de la corriente; no se producen pérdidas eléctricas significativas en el componente electrónico de amortiguación de la corriente. Sin embargo, si se produce un fallo asimétrico, se abre el interruptor de corriente continua. A continuación, la corriente se conmuta desde el interruptor de corriente continua al componente electrónico de amortiguación de la corriente. A continuación, la corriente se amortigua mediante el componente y se acumula una tensión en el componente. Con esto se logra que una corriente alterna del lado primario presente pasos por cero, de modo que esta corriente alterna se pueda desconectar mediante un disyuntor de corriente alterna. A continuación, se abre el disyuntor de corriente alterna y se desconecta la corriente alterna. Con esto se elimina el fallo asimétrico.

La unidad de convertidor de corriente está configurada de tal manera que

- el interruptor de corriente continua está conectado en paralelo al componente. De este modo, el interruptor de corriente continua puentea el componente electrónico de amortiguación de la corriente en el estado cerrado.

La unidad de convertidor de corriente también puede estar configurada de forma que

- el componente presenta un descargador de sobretensiones (o el componente es un descargador de sobretensiones). Un descargador de sobretensiones presenta propiedades eléctricas de amortiguación de corriente, por lo que un descargador de sobretensiones se puede utilizar como componente electrónico de amortiguación de la corriente.

La unidad de convertidor de corriente también puede estar configurada de forma que

- el interruptor de corriente continua es un disyuntor de corriente continua. Mediante un disyuntor de corriente continua de este tipo, las elevadas corrientes continuas que se producen durante la transmisión de HVDC se pueden conducir de forma segura al potencial de tierra (evitando el componente electrónico de amortiguación de la corriente).

La unidad de convertidor de corriente también puede estar configurada de forma que

- la conexión al potencial de tierra se establece mediante un electrodo de tierra que presenta capacidad de transporte de corriente para la corriente continua que se va a transmitir durante la transmisión de corriente continua de alta tensión. Esto permite que la corriente continua se introduzca con seguridad en el suelo que rodea al electrodo de tierra. Además, el electrodo de tierra puede presentar una capacidad de transporte de corriente para una corriente de fallo que se produzca en caso de fallo, en particular, una corriente de cortocircuito que se produzca en caso de fallo.

La unidad de convertidor de corriente también puede estar configurada de forma que

- el primer convertidor de corriente y/o el segundo convertidor de corriente presentan una conexión en serie de módulos, presentando los módulos en cada caso al menos dos elementos electrónicos de conmutación y un acumulador de energía eléctrica. Tales módulos pueden estar diseñados, en particular, como los llamados módulos de medio puente.

La unidad de convertidor de corriente también puede estar configurada de forma que

- el primer convertidor de corriente y/o el segundo convertidor de corriente es, en cada caso, un convertidor de corriente modular multinivel. En particular, en el caso de un convertidor de corriente modular multinivel con módulos de medio puente, el componente electrónico de amortiguación de la corriente se puede utilizar ventajosamente para garantizar los pasos por cero de corriente en la corriente alterna del lado primario a través del disyuntor de corriente alterna.

Se desvela además una instalación de transmisión de corriente continua de alta tensión con una unidad de convertidor de corriente de acuerdo con una de las variantes que se han descrito anteriormente.

Se desvela además un procedimiento para el tratamiento de fallos en una unidad de convertidor de corriente para una transmisión de corriente continua de alta tensión

- presentando la unidad de convertidor de corriente un primer convertidor de corriente y un segundo convertidor de corriente,

- estando conectado (eléctricamente) un primer terminal de corriente continua del primer convertidor de corriente a un primer punto de conexión de conductor para un primer conductor de transmisión de corriente continua de alta tensión,

- estando conectado un segundo terminal de corriente continua del primer convertidor de corriente a un primer terminal de corriente continua del segundo convertidor de corriente para configurar un punto de conexión,

- estando conectado un segundo terminal de tensión continua del segundo convertidor de corriente a un segundo punto de conexión de conductor de un segundo conductor de transmisión de corriente continua de alta tensión,

- estando conectado el punto de conexión al potencial de tierra mediante un componente electrónico de amortiguación de la corriente,

- estando conectado el punto de conexión al potencial de tierra mediante un interruptor de corriente continua y

- estando conectado un terminal de tensión alterna del primer convertidor de corriente a un devanado secundario de un primer transformador, y estando conectado un devanado primario del primer transformador a través de un primer disyuntor de corriente alterna a una red de alimentación, en donde en el procedimiento

- una corriente continua fluye desde el punto de conexión a través del interruptor de corriente continua cerrado, el electrodo de tierra y la tierra a otra unidad de convertidor de corriente que participa en la transmisión de corriente continua de alta tensión,

- el interruptor de corriente continua se abre en respuesta a un fallo en el terminal de tensión alterna del primer convertidor de corriente, en particular, un fallo unipolar o bipolar (interno del convertidor de corriente) en el terminal de tensión alterna del primer convertidor de corriente,

- entonces una corriente que fluye a través del interruptor de corriente continua se conmuta por el interruptor de corriente continua al componente electrónico de amortiguación de la corriente,

- la corriente se amortigua mediante el componente y se acumula una tensión en el componente, por lo que una corriente alterna que fluye a través del devanado primario del primer transformador presenta pasos por cero, de modo que esta corriente alterna se puede desconectar mediante el primer disyuntor de corriente alterna.

Este procedimiento se lleva a cabo de tal manera que

- entonces se abre el primer disyuntor de corriente alterna.

Este procedimiento se puede llevar a cabo de forma que

- un terminal de tensión alterna del segundo convertidor de corriente está conectado a un devanado secundario de un segundo transformador, y un devanado primario del segundo transformador está conectado a través de un segundo disyuntor de corriente alterna a una red de alimentación, en donde en el procedimiento

- el interruptor de corriente continua se abre en respuesta a un fallo en el terminal de tensión alterna del primer convertidor de corriente o en el terminal de tensión alterna del segundo convertidor de corriente, en particular, un fallo unipolar o bipolar (interno del convertidor de corriente) en el terminal de tensión alterna del primer convertidor de corriente o en el terminal de tensión alterna del segundo convertidor de corriente,

- entonces la corriente conmuta por el interruptor de corriente continua al componente electrónico de amortiguación de la corriente,

- la corriente se amortigua mediante el componente y se acumula una tensión en el componente, por lo que una corriente alterna que fluye a través del devanado primario del primer transformador o del devanado primario del segundo transformador presenta pasos por cero, de modo que esta corriente alterna se puede desconectar mediante el primer disyuntor de corriente alterna o el segundo disyuntor de corriente alterna.

Este procedimiento se puede llevar a cabo de forma que

- entonces se abre el primer disyuntor de corriente alterna o el segundo disyuntor de corriente alterna.

El procedimiento presenta ventajas similares a las que se han representado anteriormente en relación con la unidad de convertidor de corriente.

A continuación, la invención se explica con más detalle mediante ejemplos de realización. Las referencias idénticas se refieren a elementos idénticos o que actúan de forma idéntica. Para ello se representa en

la figura 1 un ejemplo de realización de un convertidor de corriente que presenta una pluralidad de módulos, en

la figura 2 un ejemplo de realización de un módulo del convertidor de corriente y en

la figura 3 un ejemplo de realización de una instalación de transmisión de corriente continua de alta tensión con dos unidades de convertidor de corriente.

En la figura 1 se representa un convertidor de corriente 1 en forma de un convertidor de corriente modular multinivel (MMC) 1. Este convertidor de corriente multinivel 1 presenta un primer terminal de tensión alterna 5, un segundo terminal de tensión alterna 7 y un tercer terminal de tensión alterna 9. El primer terminal de tensión alterna 5 está conectado eléctricamente a una primera rama de módulo de fase 11 y a una segunda rama de módulo de fase 13. La primera rama de módulo de fase 11 y la segunda rama de módulo de fase 13 forman un primer módulo de fase 15 del convertidor de corriente 1. El extremo de la primera rama de módulo de fase 11 opuesto al primer terminal de tensión alterna 5 está conectado eléctricamente a un primer terminal de tensión continua 16; el extremo de la segunda rama de módulo de fase 13 opuesto al primer terminal de tensión alterna 5 está conectado eléctricamente a un segundo terminal de tensión continua 17.

El segundo terminal de tensión alterna 7 está conectado eléctricamente a un extremo de una tercera rama de módulo de fase 18 y a un extremo de una cuarta rama de módulo de fase 21. La tercera rama de módulo de fase 18 y la cuarta rama de módulo de fase 21 forman un segundo módulo de fase 24. El tercer terminal de tensión alterna 9 está conectado eléctricamente a un extremo de una quinta rama de módulo de fase 27 y a un extremo de una sexta rama de módulo de fase 29. La quinta rama de módulo de fase 27 y la sexta rama de módulo de fase 29 forman un tercer módulo de fase 31.

El extremo de la tercera rama de módulo de fase 18 opuesto al segundo terminal de tensión alterna 7 y el extremo de la quinta rama de módulo de fase 27 opuesto al tercer terminal de tensión alterna 9 están conectados eléctricamente al primer terminal de tensión continua 16. El extremo de la cuarta rama de módulo de fase 21 opuesto al segundo terminal de tensión alterna 7 y el extremo de la sexta rama de módulo de fase 29 opuesto al tercer terminal de tensión alterna 9 están conectados eléctricamente al segundo terminal de tensión alterna 17. La primera rama de módulo de fase 11, la tercera rama de módulo de fase 18 y la quinta rama de módulo de fase 27 forman una parte del convertidor de corriente 32; la segunda rama de módulo de fase 13, la cuarta rama de módulo de fase 21 y la sexta rama de módulo de fase 29 forman una parte del convertidor de corriente 33.

Cada rama de módulo de fase presenta múltiples módulos (1_1, 1_2, 1_3, 1_4 ... 1_n; 2_1 ... 2_n; etc.), que están conectados eléctricamente en serie (mediante sus conexiones de corriente galvánica). Tales módulos también se denominan submódulos. En el ejemplo de realización de la figura 1, cada rama de módulo de fase presenta n módulos. El número de módulos conectados eléctricamente en serie mediante sus conexiones de corriente galvánica puede ser muy diferente, al menos tres módulos están conectados en serie, pero también pueden estar conectados eléctricamente en serie, por ejemplo, 50, 100 o más módulos. En el ejemplo de realización, n = 36: la primera rama de módulo de fase 11 presenta, por lo tanto, 36 módulos 1_1, 1_2, 1_3, ... 1_36. Las otras ramas de módulo de fase 13, 18, 21, 27 y 29 tienen la misma estructura.

Los módulos 1_1 a 6_n están controlados por un equipo de control no representado. Los mensajes ópticos o las señales ópticas se transmiten desde este equipo de control central a los módulos individuales a través de una conexión de comunicación óptica 37 (por ejemplo, a través de una fibra óptica). La transmisión de mensajes entre el equipo de control y un módulo está representada simbólicamente, en cada caso, por una flecha 37; la dirección de la transmisión de mensajes está simbolizada por la punta de la flecha. Esto se representa con el ejemplo de los módulos 1_1, 1_4 y 4_5; los mensajes se envían a los demás módulos de la misma manera. Por ejemplo, el equipo de control envía a los módulos individuales, en cada caso, un valor teórico para el nivel de la tensión de salida que debe proporcionar el respectivo módulo.

El primer terminal de tensión alterna 5, el segundo terminal de tensión alterna 7 y el tercer terminal de tensión alterna 9 están conectados eléctricamente a los devanados secundarios 50 de un transformador trifásico 53. Los devanados primarios 56 del transformador 53 están conectados eléctricamente a un sistema de tensión alterna 62 a través de un disyuntor de corriente alterna 59 trifásico. El sistema de tensión alterna 62 puede ser, por ejemplo, una red de tensión alterna 62 (en particular, una red de alimentación de tensión alterna). Los devanados secundarios 50 y los devanados primarios 56 pueden estar conectados a este respecto en cada caso de forma discrecional, por ejemplo, en una conexión en estrella o en una conexión en triángulo.

En la figura 1 se muestra a modo de ejemplo de fallo unipolar (monofásico) 65 que se produce en el tercer terminal de tensión alterna 9 del convertidor de corriente 1. En el ejemplo de realización se trata a este respecto de un contacto a tierra 65 de la fase de la tensión alterna asignada al tercer terminal de tensión alterna 9. Un fallo de este tipo que se produce desde una fase de la tensión alterna del convertidor de corriente 1 hasta el potencial de tierra 68 provoca una densidad de corriente asimétrica en el lado secundario (es decir, el lado dirigido hacia el convertidor de corriente 1) del transformador, que se transfiere al lado primario (es decir, el lado opuesto al convertidor de corriente 1) del transformador y lleva a que la corriente alterna que fluye a través del disyuntor de corriente alterna 59 ya no tenga ningún paso por cero de corriente. Tales "pasos por cero ausentes" de la corriente alterna que circula por el disyuntor de corriente alterna 59 alteran (tras la detección del fallo 65) la apertura rápida del disyuntor de corriente alterna 59. La razón es que, con pasos por cero ausentes de la corriente, un arco eléctrico (que se produce cuando se abren los contactos mecánicos del disyuntor de corriente alterna 59) no se extingue de forma fiable. Por lo tanto, es deseable que la corriente que fluye a través del disyuntor de corriente alterna 59 siga presentando pasos por cero de corriente incluso en caso de fallo asimétrico 65. Esto se consigue mediante el componente electrónico de amortiguación de la corriente, como se explicará a continuación.

En la figura 2 está representado un ejemplo de realización de un módulo 200 del convertidor de corriente 1. A este respecto se puede tratar, por ejemplo, de uno de los módulos 1_1 ... 6_n representados en la figura 1.

El módulo 200 está diseñado como un módulo de medio puente 200. El módulo 200 presenta un primer elemento electrónico de conmutación 202 (que se puede desconectar) (primera válvula semiconductora 202 que se puede desconectar) con un primer diodo 204 conectado en antiparalelo. Además, el módulo 200 presenta un segundo elemento electrónico de conmutación 206 (que se puede desconectar) (segunda válvula semiconductora 206 que se puede desconectar) con un segundo diodo 208 conectado en antiparalelo, así como un acumulador de energía eléctrica 210 en forma de un condensador 210. El primer elemento electrónico de conmutación 202 y el segundo elemento electrónico de conmutación 206 están configurados, en cada caso, como un IGBT (transistor bipolar de puerta aislada). El primer elemento electrónico de conmutación 202 está conectado eléctricamente en serie con el segundo elemento electrónico de conmutación 206. En el punto de conexión entre los dos elementos electrónicos de conmutación 202 y 206 está dispuesta una primera conexión de módulo galvánico 212. En la conexión del segundo elemento electrónico de conmutación 206, que se encuentra frente al punto de conexión, está dispuesta una segunda conexión de módulo galvánico 215. La segunda conexión de módulo 215 está además conectada eléctricamente a una primera conexión del acumulador de energía 210; una segunda conexión del acumulador de energía 210 está conectada eléctricamente a la conexión del primer elemento electrónico de conmutación 202 que está frente al punto de conexión.

Así, el acumulador de energía 210 está conectado eléctricamente en paralelo con la conexión en serie del primer elemento electrónico de conmutación 202 y el segundo elemento electrónico de conmutación 206. Controlando correspondientemente el primer elemento electrónico de conmutación 202 y el segundo elemento electrónico de conmutación 206 mediante un equipo de control electrónico (no representado) del convertidor de corriente, se puede conseguir que se emita la tensión del acumulador de energía 210 o que no se emita ninguna tensión (es decir, que se emita una tensión cero) entre la primera conexión de módulo 212 y la segunda conexión de módulo 215. De este modo, mediante la interacción de los módulos de las ramas individuales de los módulos de fase, se puede generar la tensión de salida deseada en cada caso del convertidor de corriente.

En la figura 3 está representado un ejemplo de realización de una instalación de transmisión de corriente continua de alta tensión 300 (instalación de transmisión de HVDC 300). Esta instalación de transmisión de HVDC presenta una primera unidad de convertidor de corriente 303 y una segunda unidad de convertidor de corriente 306. La primera unidad de convertidor de corriente 303 y una segunda unidad de convertidor de corriente 306 están conectadas eléctricamente una con otra mediante un primer conductor de transmisión de corriente continua de alta tensión 309 (conductor de transmisión de HVDC 309) y mediante un segundo conductor de transmisión de HVDC 312. La primera unidad de convertidor de corriente 303 forma una primera estación de convertidor de corriente 303 de la instalación de transmisión de HVDC 300; la segunda unidad de convertidor de corriente 306 forma una segunda estación de convertidor de corriente 306 de la instalación de transmisión de HVDC 300.

La primera unidad de convertidor de corriente 303 presenta un primer convertidor de corriente 315 y un segundo convertidor de corriente 318. Esta segunda unidad de convertidor de corriente 306 presenta un primer convertidor de corriente 321 y un segundo convertidor de corriente 324. Un primer terminal de corriente continua 327 del primer convertidor de corriente 315 se puede conectar eléctricamente a un primer punto de conexión de conductor 330 para el primer conductor de transmisión de corriente continua de alta tensión 309. Un segundo terminal de corriente continua 333 del primer convertidor de corriente 315 está conectado eléctricamente a un componente electrónico 339 de amortiguación de la corriente para configurar un punto de conexión 336. El componente electrónico 339 de amortiguación de la corriente

presenta una impedancia eléctrica distinta de cero. El componente electrónico 339 de amortiguación de la corriente conecta el punto de conexión 336 con el potencial de tierra 342. En otras palabras, el punto de conexión 336 está conectado eléctricamente al potencial de tierra 342 mediante el componente electrónico 339 de amortiguación de la corriente. El punto de conexión 336 está conectado eléctricamente a un primer terminal de tensión continua 345 del segundo convertidor de corriente 318. Un segundo terminal de corriente continua 348 del segundo convertidor de corriente 318 está conectado eléctricamente a un segundo punto de conexión de conductor 352 para el segundo conductor de transmisión de corriente continua de alta tensión 312.

Los interruptores eléctricos S1 a S16 están dispuestos en la instalación de transmisión de HVDC 300. Con estos interruptores S1 a S16 se pueden desconectar o puentear eléctricamente diferentes partes de la instalación cuando sea necesario. Mediante estos interruptores, por lo tanto, se puede configurar la instalación de transmisión de HVDC 300, por ejemplo, puenteando convertidores de corriente individuales o desconectando convertidores de corriente individuales del resto de la instalación. El interruptor S7 es un primer disyuntor de corriente alterna S7; el interruptor S8 es un segundo disyuntor de corriente alterna S8. El interruptor S15 es un tercer disyuntor de corriente alterna S15 y el interruptor S16 es un cuarto disyuntor de corriente alterna S16. Los restantes interruptores S1-S6 y S9-S14 son interruptores opcionales, es decir, en general la instalación de transmisión de HVDC 300 funciona también sin estos interruptores opcionales.

En el ejemplo de la realización, el componente electrónico 339 de amortiguación de la corriente es un descargador de sobretensiones 339. Este descargador de sobretensiones 339 presenta propiedades resistivas, por lo que la corriente que fluye a través del descargador de sobretensiones 339 se amortigua. Un interruptor de corriente continua 355 está conectado en paralelo con el componente electrónico 339 de amortiguación de la corriente. De este modo, el punto de conexión 336 puede estar conectado adicionalmente al potencial de tierra 342 mediante el interruptor de corriente continua 355. La conexión entre el componente electrónico 339 de amortiguación de la corriente y el potencial de tierra 342 o entre el interruptor de corriente continua 355 y el potencial de tierra 342 se establece mediante al menos un electrodo de tierra 358. En particular, el electrodo de tierra 358, que conecta el interruptor de corriente continua 355 con el potencial de tierra 342, presenta una capacidad de transporte de corriente para la corriente continua de alta tensión que se ha de transmitir durante la transmisión de corriente continua de alta tensión. Esto significa que, dado el caso, toda la corriente continua de alta tensión que se va a transmitir puede fluir (permanentemente) a través de este electrodo de tierra 358 y a través de la tierra hasta la unidad de convertidor de corriente 306 adicional que participa en la transmisión de corriente continua de alta tensión. Esta transmisión de la corriente a través de la tierra se representa en la figura 3 mediante una línea discontinua 361.

El interruptor de corriente continua 355 puede estar realizado de varias maneras. Ventajosamente, el interruptor de corriente continua 355 está diseñado como un interruptor de corriente continua de electrónica de potencia. Es decir, el interruptor de corriente continua presenta un elemento de conmutación de electrónica de potencia y una vía de absorción de energía conectada en paralelo. Un descargador de sobretensiones puede estar dispuesto en la vía de absorción de energía. Ventajosamente, el interruptor de corriente continua 355 puede ser un interruptor de corriente continua de electrónica de potencia sin circuito resonante.

Un terminal de tensión alterna 364 del primer convertidor de corriente 315 está conectado eléctricamente a devanados secundarios 367 de un transformador trifásico 370. Los devanados primarios 373 del transformador 370 están conectados eléctricamente a un primer sistema de tensión alterna 379 (en particular, a una red de tensión alterna 379) a través del disyuntor de corriente alterna trifásico S7.

Asimismo, un terminal de tensión alterna 385 del segundo convertidor de corriente 318 está conectado eléctricamente a los devanados secundarios 388 de un segundo transformador 391. Los devanados primarios 394 del segundo transformador 391 están conectados al sistema de tensión alterna 379 a través de un segundo disyuntor de corriente alterna S8.

Para la corriente alterna que fluye por el disyuntor de corriente alterna S7, el componente electrónico 339 de amortiguación de la corriente garantiza la presencia de pasos por cero de la corriente, incluso en caso de fallo asimétrico. La corriente alterna que fluye por este disyuntor de corriente alterna S7 forma, por lo tanto, la corriente que fluye por el lado primario del primer transformador 370. En funcionamiento normal, el disyuntor de corriente alterna S7 está cerrado, de modo que la corriente de servicio del convertidor de corriente fluye a través del disyuntor de corriente alterna S7. Cuando se detecta un fallo, en particular cuando se detecta un fallo asimétrico, se abre el disyuntor de corriente alterna S7. Esto también se aplica análogamente al segundo disyuntor de corriente alterna S8. También para la corriente alterna que fluye por el segundo disyuntor de corriente alterna S8, el componente electrónico 339 de amortiguación de la corriente garantiza la presencia de pasos por cero de la corriente en caso de fallo asimétrico.

La segunda unidad de convertidor de corriente 306 está construida de la misma manera que la primera unidad de convertidor de corriente 303. El primer convertidor de corriente 321 y el segundo convertidor de corriente 324 de la segunda unidad de convertidor de corriente 306 están conectados eléctricamente en serie formando un segundo punto de conexión 336'. Del mismo modo, la segunda unidad de convertidor de corriente 306 está conectada de forma similar a un segundo sistema de tensión alterna 398 (en particular, a una segunda red de tensión alterna 398) mediante transformadores y disyuntores de corriente alterna. La segunda unidad de convertidor de corriente 306 puede presentar opcionalmente un segundo componente electrónico de amortiguación de la corriente 399 con un segundo interruptor de

corriente continua 400 conectado en paralelo. Mediante el segundo disyuntor de potencia de corriente continua 400, el segundo componente electrónico de amortiguación de la corriente 399 puede ser puenteado.

Cuando en la transmisión de corriente continua de alta tensión está presente la llamada operación de retorno a tierra, los disyuntores de corriente alterna S7, S8, S15, S16, el primer interruptor de corriente continua 355 y el segundo interruptor de corriente continua 400 están cerrados. Una parte sustancial de la corriente continua de alta tensión (o incluso toda la corriente continua de alta tensión) fluye desde el primer punto de conexión 336 de la primera unidad de convertidor de corriente 303 a través del primer interruptor de corriente continua 355 cerrado, el primer electrodo de tierra 358, la tierra 361 y el segundo interruptor de corriente continua 400 cerrado hasta el segundo punto de conexión 336' de la segunda unidad de convertidor de corriente 306. Por lo tanto, esta corriente fluye sin pasar por el primer componente electrónico 339 de amortiguación de la corriente y sin pasar por el segundo componente electrónico de amortiguación de la corriente 399. Como resultado, no se producen pérdidas eléctricas sustanciales en los componentes electrónicos de amortiguación de la corriente 339, 399; los componentes electrónicos de amortiguación de la corriente no impiden la transmisión de corriente continua de alta tensión.

Si, por ejemplo, ahora se produce un fallo asimétrico (en particular, interno del convertidor de corriente) en el terminal de tensión alterna 364 del primer convertidor de corriente 315, esto puede dar lugar a que al menos una de las corrientes alternas del lado primario del transformador 370 ya no presente pasos por cero regulares (pasos por cero ausentes de la corriente alterna del lado primario). En consecuencia, al menos esta corriente alterna del lado primario no se puede desconectar de forma fiable con el disyuntor de corriente alterna S7. Por lo tanto, el interruptor de corriente continua 355 se abre cuando se produce el fallo asimétrico. La corriente que fluye a través del interruptor de corriente continua 355 se conmuta entonces por el interruptor de corriente continua 355 al componente electrónico 339 de amortiguación de la corriente. A continuación, esta corriente se amortigua mediante el componente 339 y se acumula una tensión en el componente 339. Con esto se logra que una corriente alterna del lado primario (que aparece en el transformador 370) presente pasos por cero, de modo que esta corriente alterna se pueda desconectar mediante el disyuntor de corriente alterna S7. A continuación, se abre el disyuntor de corriente alterna S7 y se desconecta la corriente alterna. Con esto se elimina el fallo asimétrico.

Se ha descrito una unidad de convertidor de corriente y un procedimiento en los que se garantizan los pasos por cero de la corriente alterna en los terminales de tensión alterna del lado primario del transformador mediante un componente electrónico de amortiguación de la corriente, incluso si existe un fallo asimétrico (interno al convertidor de corriente). Mediante el componente electrónico de amortiguación de la corriente se introduce una impedancia eléctrica en la vía de puesta a tierra de la unidad de convertidor de corriente (cuando se produce un fallo asimétrico). A este respecto, es particularmente ventajoso que se puedan eliminar los fallos asimétricos mediante el componente electrónico de amortiguación de la corriente sin necesidad de interruptores de cortocircuito en el lado primario, lado secundario o lado terciario del transformador. En comparación con un interruptor de cortocircuito de este tipo, es particularmente ventajoso que no se produzca una carga adicional en la red de tensión alterna (sistema de tensión alterna). Además, se puede utilizar ventajosamente un disyuntor de corriente alterna habitual, ya que se garantizan los pasos por cero de la corriente (que fluye a través del disyuntor de corriente alterna). No es necesario un control novedoso del disyuntor de corriente alterna (se puede utilizar el software de control y protección convencional) y no es necesaria ninguna otra coordinación novedosa del disyuntor de corriente alterna.

En comparación con un cortocircuito del lado terciario, se obtienen las siguientes ventajas:

- es posible un diseño de transformador rentable (no es necesario un devanado terciario de alta capacidad de carga)

- en esencia no hay dependencia de los parámetros de la red

- no son necesarias adaptaciones novedosas del software de control y protección, dado que se puede utilizar un disyuntor de corriente alterna común.

Además, la unidad de convertidor de corriente y el procedimiento también se pueden utilizar ventajosamente en la operación de retorno a tierra. Al puentear el componente electrónico de amortiguación de la corriente mediante el interruptor de corriente continua, no se producen pérdidas eléctricas en ausencia de un fallo asimétrico en el componente electrónico de amortiguación de la corriente. En otras palabras, a través del componente electrónico de amortiguación de la corriente solo fluye generalmente una corriente cuando se produce un fallo asimétrico, es decir, cuando se abre el interruptor de corriente continua. El interruptor de corriente continua representa un interruptor de corriente continua que está dispuesto entre el electrodo de tierra y el punto de conexión.

De este modo, es posible, en particular, eliminar fallos asimétricos (dentro del conversor) internos al convertidor de corriente (por ejemplo, fallos que se producen de un solo polo a tierra). La solución descrita se puede utilizar de forma particularmente ventajosa para los convertidores bipolares de fuente de tensión con módulos de medio puente. En particular, la unidad de convertidor de corriente y el procedimiento se pueden aplicar a sistemas de transmisión de HVDC bipolares y a sistemas de transmisión de HVDC monopolares asimétricos.

La unidad de convertidor de corriente descrita y el procedimiento descrito para la transmisión de HVDC con conexión de toma de electrodo de tierra a través de un interruptor de corriente continua también presentan las siguientes ventajas:

- para el funcionamiento bipolar y monopolar existe una amortiguación de corriente suficiente a través de la conexión de alta impedancia mediante el componente electrónico de amortiguación de la corriente para garantizar la eliminación de fallos con el disyuntor de corriente alterna.

- solo en el caso de funcionamiento a través de electrodos de tierra/tierra, el interruptor de corriente continua está dispuesto en la vía de la corriente y permite una eliminación segura de fallos mediante el disyuntor de corriente alterna.

REIVINDICACIONES

1. Unidad de convertidor de corriente (303) para una transmisión de corriente continua de alta tensión

- con un primer convertidor de corriente (315) y un segundo convertidor de corriente (318),

- pudiendo conectarse un primer terminal de corriente continua (327) del primer convertidor de corriente (315) a un primer punto de conexión de conductor (330) para un primer conductor de transmisión de corriente continua de alta tensión (309),

- estando conectado un segundo terminal de corriente continua (333) del primer convertidor de corriente (315) a un primer terminal de corriente continua (345) del segundo convertidor de corriente (318) para configurar un punto de conexión (336),

- pudiendo conectarse un segundo terminal de tensión continua (348) del segundo convertidor de corriente (318) a un segundo punto de conexión de conductor (352) de un segundo conductor de transmisión de corriente continua de alta tensión (312),

- con un interruptor de corriente continua (355), estando el punto de conexión (336) conectado a un electrodo de tierra (358) mediante el interruptor de corriente continua (355), y

- con un primer transformador (370) y un primer disyuntor de corriente alterna (S7), estando conectado un terminal de tensión alterna (364) del primer convertidor de corriente (315) a un devanado secundario (367) del primer transformador (370) y pudiendo conectarse un devanado primario (373) del primer transformador (370) a una red de alimentación (379) a través del primer disyuntor de corriente alterna (S7),

caracterizada porque

- la unidad de convertidor de corriente (305) presenta un componente electrónico (339) de amortiguación de la corriente, estando el punto de conexión (336) conectado al electrodo de tierra (358) mediante el componente electrónico (339) de amortiguación de la corriente,

- el interruptor de corriente continua (355) está conectado en paralelo al componente (339),

estando preparada la unidad de convertidor de corriente (303) de forma que

- el interruptor de corriente continua (355) se abre en respuesta a un fallo en el terminal de corriente alterna (364) del primer convertidor de corriente (315), en particular, un fallo unipolar o bipolar (interno del convertidor de corriente) en el terminal de corriente alterna (364) del primer convertidor de corriente (315),

- entonces una corriente que fluye a través del interruptor de corriente continua se conmuta por el interruptor de corriente continua (355) al componente electrónico (339) de amortiguación de la corriente,

- la corriente se amortigua mediante el componente (339) y se acumula una tensión en el componente (339), por lo que una corriente alterna que fluye a través del devanado primario (373) del primer transformador (370) presenta pasos por cero, de modo que esta corriente alterna se puede desconectar mediante el primer disyuntor de corriente alterna (S7), y

- entonces se abre el primer disyuntor de corriente alterna (S7).

2. Unidad de convertidor de corriente de acuerdo con la reivindicación 1,

presentando el componente (339) un descargador de sobretensión (339).

3. Unidad de convertidor de corriente de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes,

siendo el interruptor de corriente continua (355) un disyuntor de corriente continua.

4. Unidad de convertidor de corriente de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes,

presentando el electrodo de tierra (358) una capacidad de transporte de corriente para la corriente continua que se va a transmitir durante la transmisión de corriente continua de alta tensión y una corriente de fallo que se produce en caso de fallo, en particular, una corriente de cortocircuito que se produce en caso de fallo.

5. Unidad de convertidor de corriente de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes,

presentando el primer convertidor de corriente (315) y/o el segundo convertidor de corriente (318) una conexión en serie de módulos (200), presentando los módulos (200) en cada caso al menos dos elementos electrónicos de conmutación (202, 206) y un acumulador de energía eléctrica (210).

6. Unidad de convertidor de corriente de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes,

siendo el primer convertidor de corriente (315) y/o el segundo convertidor de corriente (318) un convertidor de corriente modular multinivel.

7. Instalación de transmisión de corriente continua de alta tensión (300) con una unidad de convertidor de corriente (303) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6.

8. Procedimiento para el tratamiento de fallos en una unidad de convertidor de corriente (303) para una transmisión de corriente continua de alta tensión

- presentando la unidad de convertidor de corriente (303) un primer convertidor de corriente (315) y un segundo convertidor de corriente (318),

- estando conectado un primer terminal de corriente continua (327) del primer convertidor de corriente (315) a un primer punto de conexión de conductor (330) para un primer conductor de transmisión de corriente continua de alta tensión (309),

- estando conectado un segundo terminal de corriente continua (333) del primer convertidor de corriente (315) a un primer terminal de corriente continua (345) del segundo convertidor de corriente (318) para configurar un punto de conexión (336),

- estando conectado un segundo terminal de tensión continua (348) del segundo convertidor de corriente (318) a un segundo punto de conexión de conductor (352) de un segundo conductor de transmisión de corriente continua de alta tensión (312),

- presentando la unidad de convertidor de corriente un interruptor de corriente continua (355), un componente electrónico (339) de amortiguación de la corriente, un primer transformador (370) y un primer disyuntor de corriente alterna (S7), estando el punto de conexión (336) conectado al potencial de tierra (342) mediante el componente electrónico (339) de amortiguación de la corriente,

- estando conectado el punto de conexión (336) al potencial de tierra (342) mediante el interruptor de corriente continua (355) y

- estando conectado un terminal de corriente alterna (364) del primer convertidor de corriente (315) a un devanado secundario (367) del primer transformador (370), y estando conectado un devanado primario (373) del primer transformador (370) a través del primer disyuntor de corriente alterna (S7) a una red de alimentación (379),

en donde en el procedimiento

- una corriente continua (I) fluye desde el punto de conexión (336) a través del interruptor de corriente continua (355) cerrado, el electrodo de tierra (358) y la tierra (361) a otra unidad de convertidor de corriente (306) que participa en la transmisión de corriente continua de alta tensión,

- el interruptor de corriente continua (355) se abre en respuesta a un fallo en el terminal de corriente alterna (364) del primer convertidor de corriente (315), en particular, un fallo unipolar o bipolar (interno del convertidor de corriente) en el terminal de corriente alterna (364) del primer convertidor de corriente (315),

- entonces una corriente que fluye a través del interruptor de corriente continua se conmuta por el interruptor de corriente continua (355) al componente electrónico (339) de amortiguación de la corriente,

- la corriente se amortigua mediante el componente (339) y se acumula una tensión en el componente (339), por lo que una corriente alterna que fluye a través del devanado primario (373) del primer transformador (370) presenta pasos por cero, de modo que esta corriente alterna se puede desconectar mediante el primer disyuntor de corriente alterna (S7), y

- entonces se abre el primer disyuntor de corriente alterna (S7).

9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8,

presentando la unidad de convertidor de corriente (303) un segundo transformador (391), estando conectado un terminal de corriente alterna (385) del segundo convertidor de corriente (345) a un devanado secundario (388) del segundo transformador (391), y estando conectado un devanado primario (394) del segundo transformador (391) a través de un segundo disyuntor de corriente alterna (S8) a la red de alimentación (379),

en donde en el procedimiento

- el interruptor de corriente continua (355) se abre en respuesta a un fallo en el terminal de tensión alterna (364) del primer convertidor de corriente (315) o en el terminal de tensión alterna (385) del segundo convertidor de corriente (318), en particular, un fallo unipolar o bipolar (interno del convertidor de corriente) en el terminal de tensión alterna (364) del primer convertidor de corriente (315) o en el terminal de tensión alterna (385) del segundo convertidor de corriente (318),

- entonces una corriente que fluye a través del interruptor de corriente continua (355) se conmuta al componente electrónico (339) de amortiguación de la corriente,

- la corriente se amortigua mediante el componente (339) y se acumula una tensión en el componente (339), por lo que una corriente alterna que fluye a través del devanado primario (373) del primer transformador (370) o del devanado primario (394) del segundo transformador (391) presenta pasos por cero, de modo que esta corriente alterna se puede desconectar mediante el primer disyuntor de corriente alterna (S7) o mediante el segundo disyuntor de corriente alterna (S8).

10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9,

abriéndose entonces el primer disyuntor de corriente alterna (S7) o el segundo disyuntor de corriente alterna (S8).

FIG 1

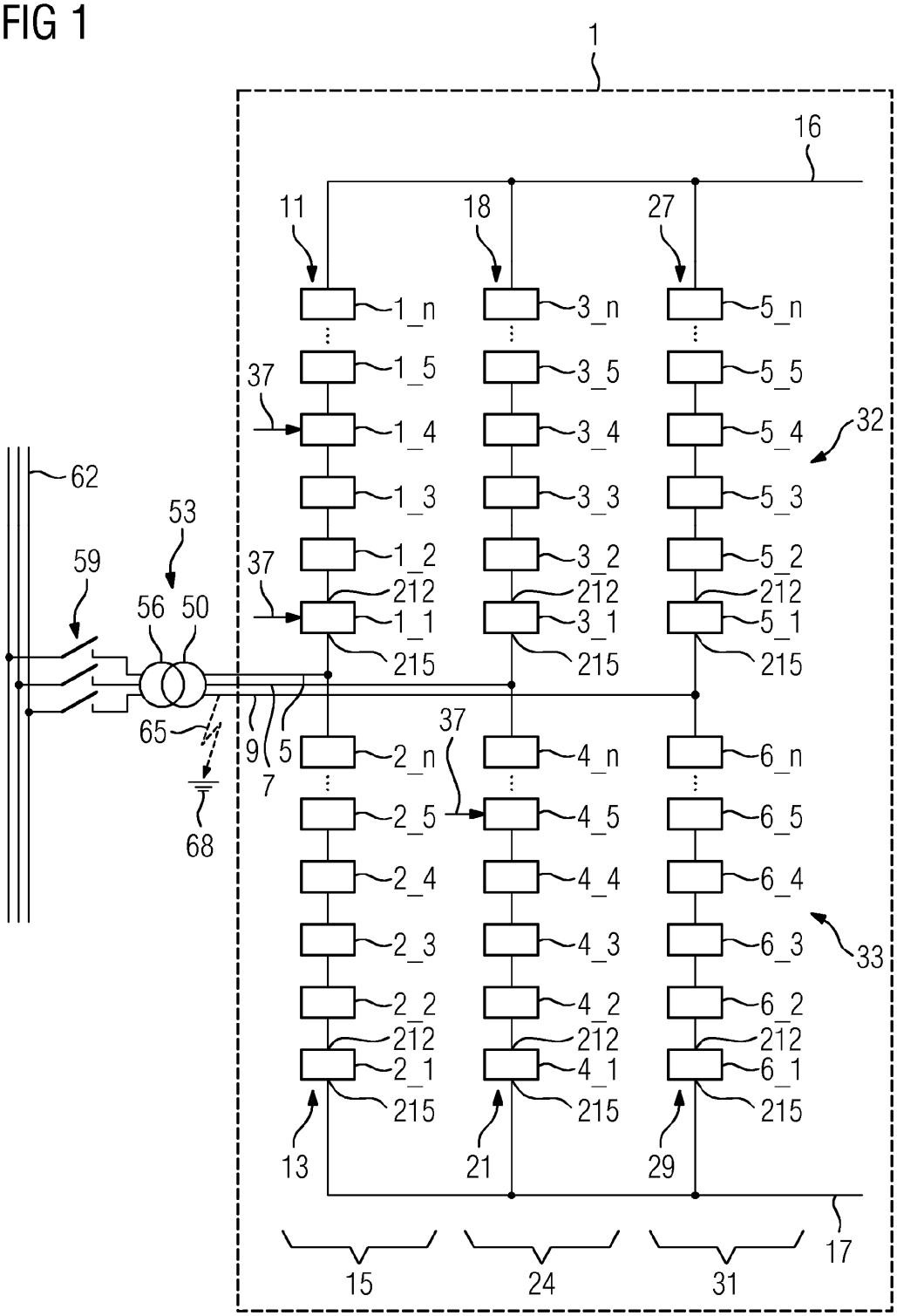
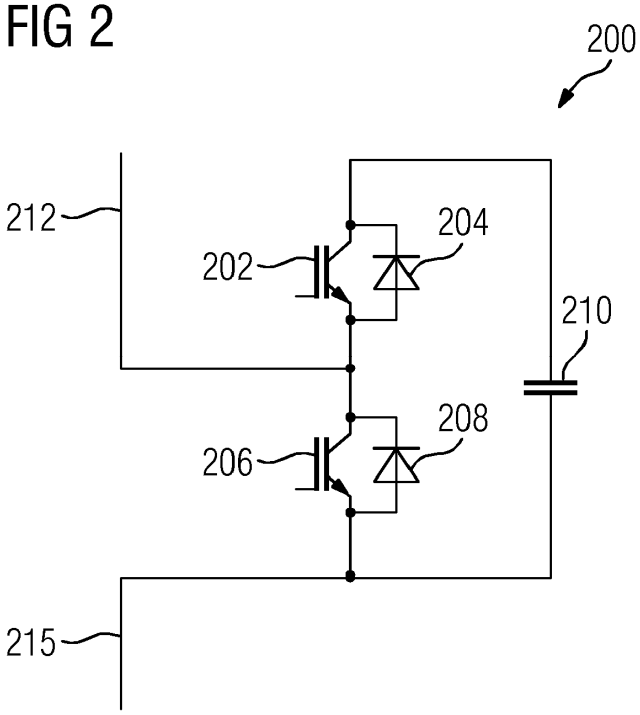

1
16
11
18
27
1_n
3_n
5_n
1_5
3_5
5_5
37
1_4
3_4
5_4
32
62
1_3
3_3
5_3
53
59
37
1_2
3_2
5_2
212
212
212
56
50
1_1
3_1
5_1
215
215
215
65
37
9
5
2_n
4_n
6_n
7
2_5
4_5
6_5
68
2_4
4_4
6_4
2_3
4_3
6_3
33
2_2
4_2
6_2
212
212
212
2_1
4_1
6_1
215
215
215
13
21
29
17
15
24
31

FIG 2



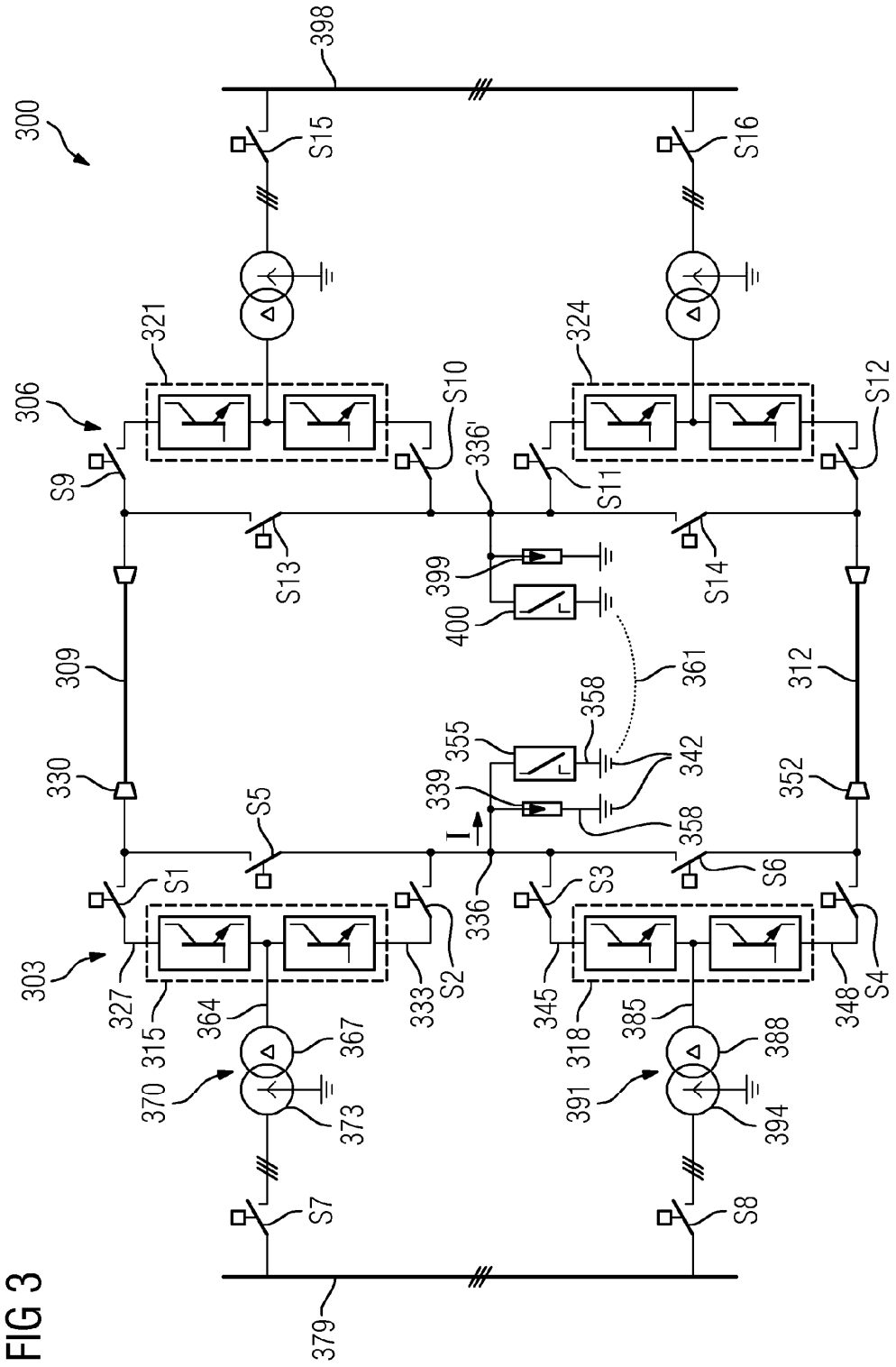

300
398
S15
S16
321
324
306
S10
S12
336'
S9
S11
S13
S14
399
400
309
312
361
358
330
355
342
339
352
S5
I
358
S1
S6
S3
336
303
S2
S4
327
333
345
348
315
364
318
385
367
388
370
373
391
394
S7
S8
379

FIG 3