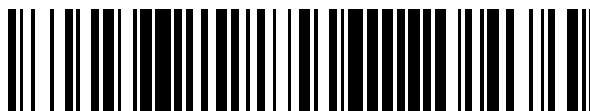


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 710 557**

51 Int. Cl.:

H02M 1/32 (2007.01)

H02H 7/122 (2006.01)

H02M 7/49 (2007.01)

H02M 7/483 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.09.2011** **PCT/EP2011/066996**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.04.2013** **WO13044961**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.09.2011** **E 11767224 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2018** **EP 2748906**

54 Título: **Protección de corriente de cortocircuito para un submódulo de un convertidor multinivel modular (MMC)**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.04.2019

73 Titular/es:

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (33.3%)
Werner-von-Siemens-Straße 1
80333 München, DE;
INFINEON TECHNOLOGIES BIPOLAR GMBH &
CO. KG (33.3%) y
FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V. (33.3%)

72 Inventor/es:

BILLMANN, MARKUS;
DORN, JÖRG;
GAMBACH, HERBERT y
WAHLE, MARCUS

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 710 557 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

Protección de corriente de cortocircuito para un submódulo de un convertidor multinivel modular (MMC)

La invención hace referencia a un submódulo para un convertidor multinivel con un acumulador de energía unipolar, dos bornes de conexión y un circuito semiconductor que presenta al menos dos interruptores de semiconductor de potencia que pueden ser activados, a los cuales, respectivamente está conectado de forma paralela en sentido opuesto un diodo libre separado, donde al acumulador de energía unipolar está conectado de forma paralela al menos un componente semiconductor, con baja inductancia, el cual puentea el acumulador de energía en caso de una falla.

Un submódulo de este tipo ya se conoce por la solicitud DE 103 23 220 A1. El submódulo allí mostrado presenta cuatro interruptores semiconductores de potencia controlables en forma de IGBTs, a los cuales respectivamente está conectado un diodo libre de forma paralela, en sentido opuesto. Además está proporcionado un condensador del acumulador, con el cual, de forma conjunta, los IGBTs conforman un así llamado circuito de puente completo. En el caso de la utilización de módulos IGBT usuales en la industria, cuyos chips están conectados unos con otros del lado del emisor mediante conductores de resistencia, para evitar que los conductores de resistencia se fundan o se rompan debido a una formación de arco voltaico, al condensador del acumulador, del lado de tensión continua, está conectado paralelamente un componente de semiconductor. De este modo, el componente de semiconductor y el condensador del acumulador están conectados uno con otro con baja inductancia, de modo que el componente de semiconductor absorbe esencialmente la corriente de cortocircuito suministrada desde el condensador del acumulador tan pronto como éste pasa a su estado conductor. Como componente semiconductor se sugiere por ejemplo un diodo inverso o sin embargo también un tiristor, cuya conexión de control está conectada a un circuito de detección que está configurado para detectar un aumento de corriente extraordinariamente rápido o la superación de una corriente máxima o de una tensión máxima, y en ese caso enciende el tiristor. El tiristor o el diodo inverso están diseñados de modo que se destruyen por ejemplo debido a que se produce un aumento de corriente elevado (di/dt). El componente de semiconductor pasa a su estado conductor. Ante todo en las publicaciones en idioma inglés esto se denomina como "falla parcial". Debido al componente de semiconductor paralelamente conductor, el condensador del acumulador se descarga, de modo que, en el mejor de los casos, los IGBTs y los diodos libres no se destruyen. Los diodos libres no destruidos, entonces, junto con el componente de semiconductor con falla parcial, proporciona una conexión conductora en ambas direcciones de la corriente, entre los bornes de conexión del submódulo. Expresado de otro modo, el submódulo defectuoso se encuentra puenteado. Un puenteo de esa clase es ventajoso, puesto que los dos submódulos bipolares, en el área de la transmisión de energía de alta tensión, se utilizan usualmente en circuitos en serie. Debido a las tensiones elevadas que predominan allí, los circuitos en serie de esa clase comprenden varios cientos de submódulos. Es evidente que la falla de un único submódulo no debe conducir a una desconexión de toda la instalación. A través del puenteo del submódulo mediante el diodo libre y el componente de semiconductor con falla parcial, sin embargo, el convertidor en el cual está instalado el submódulo puede continuar funcionando, donde la función del submódulo defectuoso es asumida por los submódulos restantes del circuito en serie.

En el submódulo antes mencionado se presenta la desventaja de que no se asegura en todos los casos que los diodos libres no resulten dañados. Más bien, a pesar del efecto del componente de semiconductor conectado con baja inductancia pueden producirse en los diodos libres corrientes de fuga tan elevadas, que sus conductores de resistencia se rompan o se fundan. Esto conduce a una destrucción de los diodos libres, de modo que los bornes de conexión del submódulo defectuoso ya no se encuentran puenteados.

Por la solicitud WO 2010/081555 se conoce además un submódulo para un convertidor multinivel modular (MMC). Los interruptores semiconductores de potencia, así como los diodos libres del submódulo, conectados a éstos de forma antiparalela, en forma de chips, están sujetos entre placas conductoras, en una así llamada disposición de paquete comprimido. Paralelamente con respecto a los chips de semiconductor, entre las placas conductoras está dispuesto adicionalmente un interruptor mecánico. El interruptor mecánico se activa en el caso de una falla de uno de los semiconductores, de modo que se produce una conexión de derivación entre las placas conductoras.

En la solicitud WO 2006/136123 A1 se describe otro submódulo para un MMC. Dicho submódulo comprende un dispositivo de protección formado por dos secciones del conductor que se extienden en sentido opuesto, las cuales, debido a un rechazo mutuo en el caso de corrientes de fuga elevadas, provocan un puenteo de todo el submódulo. Un elemento de fusible adicional, dispuesto entre los bornes del submódulo, en forma de un diodo de célula de disco, se destruye en el caso de una falla, formando una ruta de corriente adicional.

Por la solicitud WO 2006/1014430 A1 se conoce además una unidad de válvula para una válvula de convertidor de un convertidor de circuito intermedio de tensión con un dispositivo de monitoreo. Cada unidad de válvula comprende interruptores semiconductores conectados de forma paralela. El dispositivo de monitoreo conocido determina un caso de falla de un semiconductor de la válvula de convertidor de corriente, después de lo cual los semiconductores

de la unidad de válvula correspondiente pasan a un estado con un circuito de corriente cerrado en la unidad de válvula.

En la solicitud EP 0 785 625 A2 se describe una disposición de protección para un dispositivo de conmutación, en donde un tiristor está dispuesto paralelamente con respecto al dispositivo de conmutación y, en el caso de una falla, puede conformar una ruta de corriente de puenteo duradera, de menor impedancia, para el dispositivo de conmutación.

En la solicitud US 2008/0205093 A1 se describe una disposición de convertidor, en donde en un módulo de semiconductor, adicionalmente con respecto a los diodos libres, están proporcionados diodos de protección paralelos, paralelamente con respecto al elemento de conmutación semiconductor. Dichos diodos pueden estar realizados como diodos que se encuentran en contacto por presión.

Por lo tanto, el objeto de la invención consiste en proporcionar un submódulo de la clase mencionada en la introducción, el cual, en el caso de una falla, puentea de modo fiable los dos bornes de conexión del submódulo.

La invención soluciona dicho objeto a través de las características de la reivindicación 1 independiente. Según la invención se proporciona un submódulo, en donde, independientemente de la selección de los interruptores semiconductores de potencia, en el caso de una falla, está proporcionada una ruta de corriente en ambas direcciones, la cual se extiende exclusivamente sobre semiconductores que se encuentran en contacto por presión. Los componentes semiconductores que se encuentran en contacto por presión están fabricados a base de silicio. Esto aplica también para el diodo de célula de disco. Los chips semiconductores de silicio presentan la propiedad de que los mismos se destruyen en el caso de gradientes de corriente o de tensión elevados, o también en el caso de una corriente demasiado elevada que circula por los mismos, o en el caso de una tensión demasiado grande que disminuye en los mismos, donde éstos pasan a un estado conductor. Esa propiedad, en las publicaciones en idioma inglés, se denomina como "falla parcial" o "conducción en falla". En el caso de una falla, de este modo, se proporcionan rutas de corriente de baja inductancia en ambas direcciones, las cuales puentean el submódulo defectuoso. Además, el acumulador de energía puede descargarse de forma segura mediante al menos un componente semiconductor, donde debido a la conexión de baja inductancia se evita que el interruptor de semiconductor de potencia se cargue con una corriente de fuga elevada. De este modo, el interruptor de semiconductor de potencia puede estar realizado como interruptor de semiconductor de potencia usual en la industria, el cual presenta por lo tanto una pluralidad de chips de semiconductor de potencia, cuyas conexiones de carga están conectadas unas con otras mediante conductores de resistencia. En el caso de una falla, en los conductores de resistencia ya no pueden producirse densidades de corriente tan elevadas, de modo que debido a un fundido o a una rotura de los conductores de resistencia, provocados por intensidades del campo magnético elevadas, se produce un arco voltaico. Según la invención, se evita por tanto una explosión del submódulo y se asegura que la descarga del acumulador de energía tenga lugar esencialmente mediante los semiconductores que se encuentran en contacto por presión. El soporte mecánico de los diodos de célula de disco tiene lugar con la ayuda de la placa de colector y de emisor.

Aun cuando debido a la descarga del acumulador de energía o a causa de un cortocircuito en la red conectada una corriente de fuga elevada circule a través de los diodos libres, éstos no interrumpen la ruta de corriente mediante el submódulo según la invención. Más bien los diodos libres, aun en el caso de su destrucción, se vuelven igualmente conductores, de modo que el submódulo defectuoso está puenteado de modo fiable.

Según la invención, el diodo de célula de disco presenta una capa de deformación elástica y eléctricamente conductora. La capa de deformación elásticamente deformable impide una destrucción del respectivo diodo de célula de disco debido a las fuerzas de sujeción mecánicas que se producen. Para ello, la capa de deformación presenta una elasticidad adecuada. Por ejemplo, la capa de deformación se compone de cobre y presenta un grosor conveniente que depende de la presión de la sujeción. Naturalmente, el diodo de célula de disco está conectado en sentido opuesto, paralelamente con respecto a la dirección de paso del interruptor de semiconductor de potencia, al cual el mismo está conectado de forma paralela. El interruptor de semiconductor de potencia conectado de forma paralela presenta chips semiconductores de potencia controlables de forma exclusiva, como por ejemplo IGBTs, GTOs, IGCTs o similares. Los diodos que actúan como diodos libres están dispuestos fuera de la carcasa del semiconductor del interruptor de semiconductor de potencia, en forma del diodo de célula de disco. Para ello, todos los chips de semiconductor de potencia controlables del semiconductor de potencia presentan una dirección de paso común, de modo que se posibilita un control del flujo de corriente en esa dirección. La dirección de paso no controlable del diodo de célula de disco está orientada de forma opuesta con respecto a la dirección de paso de los chips de semiconductor de potencia controlables del semiconductor de potencia.

Para evitar conductores de resistencia, cada diodo de célula de disco que se encuentra en contacto por presión. Para ello, éste forma parte de una unidad de circuito que dispone de placas de colector y de emisor metálicas, de manera conveniente. La sujeción tiene lugar con la ayuda de las placas de colector y de emisor mencionadas, entre las cuales está dispuesto el diodo de célula de disco. En este caso, los medios de sujeción se utilizan para constituir

una fuerza de sujeción entre las placas mencionadas. Las placas de colector y de emisor están realizadas de forma eléctricamente conductora y preferentemente planas. Según la invención, por lo tanto, es posible que varias unidades de circuito estén conectadas eléctricamente unas con otras en un circuito en serie, donde las unidades de circuito están apiladas unas sobre otras y se sujetan como una pila. La estructura exacta del circuito semiconductor se abordará en detalle más adelante.

Según una variante preferente, el componente semiconductor, o cada componente semiconductor, es un tiristor, cuya conexión de control está conectada a medios para la detección del caso de falla, donde el tiristor está diseñado de modo que el mismo, después de su encendido, se destruye debido a la corriente de fuga que se produce, y a continuación permanece de forma conductora. Según esa variante preferente de la invención, un tiristor está conectado de forma paralela al acumulador de energía, con baja inductancia. En el sentido de la invención, esto significa que la inductancia de la ruta de corriente que conduce mediante el componente o los componentes semiconductores es menor que la inductancia de la ruta de corriente que conduce mediante el circuito semiconductor. De este modo se asegura que la corriente, en el caso de una falla, después del cortocircuito del tiristor o de la falla parcial de otro componente semiconductor, circule mediante el componente o los componentes semiconductores y precisamente no mediante partes del circuito semiconductor. El tiristor, el cual se denomina aquí también como tiristor de descarga, está orientado de modo que el mismo, en su estado conductor, se encarga de un puenteo o, expresado de otro modo, de un cortocircuito del acumulador de energía. A través del encendido del tiristor, de este modo, el acumulador de energía se descarga de forma selectiva y activa. De este modo, debido a la conexión de baja inductancia, la corriente de fuga circula casi exclusivamente mediante el tiristor, el cual en particular se destruye debido a las velocidades de aumento de corriente elevadas que se producen, y pasa a un estado conductor. Después de la descarga del acumulador de energía, de este modo, en ambas direcciones se proporciona una ruta de corriente, paralelamente con respecto al acumulador de energía. Dependiendo de la realización del circuito semiconductor, la potencia circula entre los dos bornes de conexión, mediante los diodos de célula de disco y/o mediante el tiristor con falla parcial, el cual se denomina aquí también como tiristor de descarga.

De manera ventajosa, los medios para la detección de un caso de falla presentan un circuito sensor que está configurado para detectar variables de monitoreo del submódulo en forma de una variación de tensión, de una variación de corriente, de una corriente y/o de una tensión que disminuye en el acumulador de energía, donde el circuito sensor enciende el tiristor de descarga cuando la variable de monitoreo supera un valor umbral previamente establecido. Un circuito sensor de este tipo es conocido por ejemplo por la solicitud DE 103 23 220 A1. El circuito sensor, de manera ventajosa, comprende un seccionador de tensión capacitiva u óhmico, en el cual un diodo de ruptura está conectado de forma paralela a uno de los condensadores o resistencias del seccionador de tensión. Si la tensión que disminuye en el condensador puenteado y, con ello en el diodo de ruptura, supera la tensión de ruptura inversa, en la entrada de control de un semiconductor de potencia que puede activarse se genera una tensión que finalmente se ocupa de la descarga de un condensador de carga. La corriente de descarga es conducida mediante una bobina de encendido que está conectada a la entrada de control del tiristor. La tensión inducida por la bobina de encendido enciende el tiristor. En el caso de una variante un poco modificada, para encender el tiristor se utilizan inductancias en forma de bobinas.

Según otra variante de la invención, los medios para la detección del caso de falla presentan un diodo de ruptura, en el cual disminuye una tensión que al menos es proporcional con respecto a la tensión que disminuye en el acumulador de energía, donde el diodo de ruptura está conectado con la entrada de control del tiristor y está diseñado de modo que el mismo se vuelve conductor al superarse una tensión límite previamente establecida. En el marco de la invención, la conexión mencionada entre el diodo de ruptura y la entrada de control del tiristor de ningún modo debe tener lugar de forma directa - del modo antes indicado. Más bien, pueden utilizarse otros componentes electrónicos o eléctricos para encender el tiristor del modo más seguro y rápido posible después de la reacción del diodo de ruptura. A este respecto se remite nuevamente a la solicitud DE 103 23 220 A1.

En una variante preferente, el diodo de ruptura está integrado en el tiristor, de modo que un circuito de activación adicional se ha vuelto innecesario.

Según una variante diferente, los medios para detectar el caso de falla comprenden medios de acoplamiento que están conectados del lado de entrada con la entrada de control del tiristor, donde los medios de acoplamiento están acoplados de forma inductiva con una línea de conexión que se extiende entre el acumulador de energía y el circuito semiconductor. A través del acoplamiento inductivo, en el caso de un aumento de corriente rápido se genera una tensión de encendido suficientemente elevada para encender el tiristor. De este modo puede encenderse el tiristor, donde al mismo tiempo se evita un aumento de corriente demasiado elevado en el circuito semiconductor. De este modo se evitan interconexiones costosas o unidades electrónicas de activación.

De manera conveniente, los componentes de semiconductor comprenden un tiristor y un diodo inverso, donde tanto el tiristor, como también el diodo inverso están conectados paralelamente con baja inductancia al acumulador de energía. Según esa variante de la invención, se procura un puenteado y una descarga del acumulador de energía que tiene lugar al mismo tiempo, también cuando deben presentarse procesos de inversión que no son detectados por los medios para detectar el caso de falla.

Según la reivindicación 1 independiente, cada circuito de semiconductor de potencia presenta chips del semiconductor de potencia dispuestos en una carcasa del semiconductor, donde conductores de resistencia conectan unas con otras las conexiones de carga de chip de los chips del semiconductor de potencia. De este modo, en el submódulo están introducidos interruptores de semiconductor de potencia usuales en la industria, los cuales están configurados para conducir la corriente de carga. Según un perfeccionamiento conveniente, la unidad de circuito dispone de una pared lateral eléctricamente aislante y circunferencialmente cerrada, cuya altura es más reducida que la altura del diodo de célula de disco, donde la placa de emisor, la placa de colector y la pared lateral conforman una carcasa del circuito. Según ese ejemplo de ejecución, el diodo (los diodos) con su capa de deformación absorbe(n) además la presión en el caso de una sujeción. Al mismo tiempo, sin embargo, se proporciona una carcasa que proporciona una protección frente a suciedad o explosiones. Para sostener sin tensión la pared lateral, la placa de emisor y la placa de colector, de manera ventajosa, presentan medios de retención adecuados en forma de ranuras de retención, salientes de retención con plegado libre o similares. Según otra variante de la invención, la carcasa del semiconductor dispone de una placa base eléctricamente conductora, donde cada chip de semiconductor de potencia del interruptor de semiconductor de potencia presenta dos conexiones del chip, y con una de sus conexiones de carga del chip está conectado de forma eléctricamente conductora con la placa base, de modo que la placa base conforma una de las conexiones de carga del interruptor de semiconductor de potencia. Según esa variante de la invención se utiliza un interruptor de semiconductor de potencia unido modificado de forma conveniente. Éste presenta conexiones de carga que están dispuestas en lado de la carcasa, de la carcasa del semiconductor, en lados de la carcasa apartados unos de otros. De este modo es posible conectar de forma mecánica y eléctrica el interruptor de semiconductor de potencia con su placa base, directamente con una de las placas de la unidad de circuito. De manera conveniente, la placa base está unida a la placa del colector, por ejemplo atornillada. La conexión de emisor del semiconductor de potencia, en cambio, está conectada a la placa de emisor con líneas de conexión eléctricas adecuadas.

En una realización ventajosa de esa variante del submódulo según la invención, cada chip de semiconductor de potencia del interruptor de semiconductor de potencia está conectado de forma plana con la placa base o con una capa intermedia eléctricamente conductora que se encuentra en contacto eléctrico con la placa base. El chip de semiconductor de potencia, para ello, con el método deseado, puede conectarse de forma plana con la placa base, directamente o con la capa intermedia. De manera ventajosa, el chip de semiconductor de potencia está soldado de forma plana.

De manera conveniente, están proporcionados medios de refrigeración para refrigerar los chips de semiconductor de potencia. Para ello, tubos de refrigeración se extienden por ejemplo a través de la placa de colector y/o de emisor. Éstos, por ejemplo, se encuentran en contacto plano térmicamente conductor con una placa base. Los tubos de refrigeración están fabricados por ejemplo de un material no conductor, el cual sin embargo presenta una conductividad térmica suficiente para la refrigeración. A diferencia de ello, en la placa de refrigeración están realizadas perforaciones tubulares, donde los tubos de refrigeración eléctricamente no conductores desembocan en las perforaciones de forma estanca al fluido. Como líquido de refrigeración es adecuada por ejemplo el agua desmineralizada. A diferencia de ello, los tubos de refrigeración pueden extenderse sin embargo a través de la propia placa base, la cual actúa entonces como placa de refrigeración. Naturalmente, también la placa base puede presentar perforaciones tubulares.

De manera conveniente, el circuito semiconductor, junto con el acumulador de energía, conforma un circuito de medio puente. Un circuito de medio puente dispone de un circuito en serie de dos unidades de circuito, donde un borne de conexión está conectado al punto de potencial entre las dos unidades de circuito mencionadas. El otro borne de conexión está conectado directamente a un borne del acumulador de energía. Si el acumulador de energía es un condensador de acumulador unipolar, el borne de conexión mencionado, por lo tanto, está conectado a una placa o a un polo del condensador de acumulador.

En lugar de dos unidades de circuito individuales, el circuito en serie de semiconductor de potencia puede presentar también dos circuitos en serie de varias unidades de circuito. Las unidades de circuito de un circuito en serie se activan de forma síncrona, de modo que el circuito en serie actúa como un interruptor individual. De acuerdo con esa realización del submódulo según la invención, por tanto, están proporcionados dos circuitos en serie de unidades de circuito, donde los circuitos en serie mencionados nuevamente están conectados en serie. El circuito en serie de semiconductor de potencia con los dos circuitos en serie de unidades de circuito, a su vez, está conectado paralelamente con respecto al acumulador de energía y, con ello, está conectado paralelamente al componente de semiconductor. Un borne de conexión se sitúa en el punto de potencial entre los circuitos en serie de las unidades de circuito, donde el otro borne de conexión a su vez está conectado con un borne del acumulador de energía o con un polo del condensador de acumulador.

A diferencia de ello, el circuito semiconductor, junto con el acumulador de energía, conforma un circuito de puente completo. Según esa realización de la invención están proporcionadas cuatro unidades de circuito. De este modo, respectivamente dos unidades de circuito conforman nuevamente un circuito en serie de semiconductor de potencia que, respectivamente, está conectado al acumulador de energía y, con ello, está conectado paralelamente al componente de semiconductor. El punto de potencial entre las unidades de circuito está conectado respectivamente

con un borne de conexión. En lugar de una única unidad de circuito, también en el circuito de puente completo, la función de una única unidad de circuito puede ser cumplida por un circuito en serie de por ejemplo ocho unidades de circuito. Los interruptores de semiconductor de potencia de las unidades de circuito conectadas en serie se activan nuevamente de forma síncrona. De este modo, por ejemplo la placa de colector de una unidad de circuito puede estar directamente en contacto sobre la placa de emisor de las unidades de circuito directamente contiguas, donde las unidades de circuito están sujetadas unas con otras mediante medios de sujeción. De este modo, entre las unidades de circuito del circuito en serie está proporcionado un contacto de presión. El punto de potencial entre dos circuitos en serie de unidades de circuito está conectado nuevamente con un borne de conexión del submódulo.

Según otra variante de la invención, para cada unidad de circuito están proporcionados medios de cortocircuito que están configurados para cortocircuitar la placa de emisor y la placa de colector en el caso de una falla. Con la ayuda de los medios de cortocircuito se incrementa aún más la protección del interruptor de semiconductor de potencia controlable.

De manera ventajosa, los medios de cortocircuito, junto con medios de activación convenientes, presentan un interruptor de puenteo. El interruptor de puenteo, en el estado cerrado, puentea la placa de emisor y la placa de colector. Como interruptor de puenteo se considera un interruptor mecánico o un interruptor eléctrico, como por ejemplo un tiristor. Como interruptor mecánico se utiliza por ejemplo un interruptor con accionamiento pirotécnico o electromagnético. El encendido o la activación del interruptor de puenteo tiene lugar a través de medios de activación adecuados. Por ejemplo, los medios de activación detectan una distribución de corriente asimétrica en el interruptor de semiconductor de potencia debido al daño de chips de semiconductor de potencia.

De manera ventajosa, los medios de cortocircuito están dispuestos entre la placa de emisor y la placa de colector. En ese caso, la placa de emisor y la placa de colector conforman por ejemplo una carcasa del circuito, donde los medios de cortocircuito están dispuestos al menos parcialmente en la carcasa del circuito. La carcasa del circuito proporciona una protección frente a suciedad y, en caso necesario, también frente a explosiones en el interior de la carcasa del circuito. Por ejemplo, los medios de activación están dispuestos dentro de la carcasa del circuito, mientras que el interruptor de puenteo está dispuesto por fuera de la carcasa del circuito. A diferencia de ello, también el interruptor de cortocircuito está dispuesto dentro de la carcasa del circuito. Según otra variante, la carcasa del circuito puede estar diseñada de forma estanca al gas y puede estar llenada con un gas de protección. Esto reduce las distancias de contacto del interruptor mecánico que deben observarse, y conduce a un cierre más rápido del interruptor.

Según una variante preferente, cada interruptor de semiconductor de potencia de una unidad de circuito está equipado con al menos dos segmentos de semiconductor de potencia conectados paralelamente uno con respecto a otro, los cuales respectivamente presentan dos conexiones de carga en forma de un colector o conexión de emisor, donde los medios de cortocircuito presentan medios para detectar una distribución asimétrica de la corriente en las conexiones de carga del interruptor de semiconductor de potencia asociado. Según esa variante de la invención, los medios de activación para activar el interruptor están realizados a través de medios para detectar una distribución asimétrica de la corriente en las conexiones de carga del interruptor de semiconductor de potencia. Debido a ello es posible una detección de fallos sencilla también en el caso de interruptores de semiconductor de potencia conectados en serie, de modo que se posibilita un puenteo de los interruptores de semiconductor de potencia defectuosos de la conexión en serie, por tanto en una pila. Se proporciona además un dispositivo de detección y de activación que no requiere un suministro de energía propio o para el cual en todo caso es suficiente con potencias muy reducidas para abastecer de energía a los componentes necesarios para el monitoreo de fallas. Los segmentos de semiconductor de potencia de cada interruptor de semiconductor de potencia del submódulo conforman rutas de corriente conectadas de forma paralela unas con respecto a otras e independientes en alto grado. De este modo, cada segmento de semiconductor de potencia dispone de sus dos propias conexiones de carga, a saber, de la conexión de colector, así como de la conexión de emisor, donde las conexiones de emisor, o preferentemente de colector, pueden estar conectadas eléctricamente unas con otras y conformar una conexión de carga común. En ese caso, los medios para detectar una distribución asimétrica de la corriente están dispuestos en las conexiones de carga conectadas eléctricamente unas con otras.

De manera ventajosa, los medios para detectar una distribución de corriente asimétrica presentan sensores de medición que están configurados para detectar un flujo de corriente mediante al menos dos conexiones de carga o para detectar una variable derivada del flujo de corriente mencionado. Los sensores de medición están asociados por ejemplo a una conexión de carga, donde los mismos detectan el flujo de corriente en la entrada de la conexión de carga mencionada y lo comparan con el flujo de corriente en otra conexión de carga. Si los dos flujos de corriente detectados no son iguales puede deducirse una falla del interruptor de semiconductor de potencia. De este modo, al menos dos segmentos de semiconductor de potencia disponen de al menos un sensor de medición que está asociado de forma fija a ese segmento. Las señales de medición de los sensores de medición de las conexiones de emisor o de colector se comparan unas con otras, donde en el caso de la presencia de una asimetría o de una asimetría que supera un valor umbral previamente establecido, se deduce la presencia de una falla y a continuación por ejemplo se cierra un interruptor de derivación para puenteo el respectivo interruptor de semiconductor de potencia.

De manera conveniente, la cantidad de sensores de medición corresponde a un número entero par, donde los sensores de medición se dividen en dos mitades y las señales de los sensores de medición de una mitad con signos opuestos se suman a las señales de los sensores de medición de la otra mitad. Con esa realización ventajosa de la invención se simplifica la inversión requerida para la evaluación, con la consecuencia de costes aún más reducidos.

5 Según esa realización ventajosa, en el caso de una distribución de corriente simétrica en los segmentos de semiconductor de potencia y, con ello, en las conexiones de carga individuales, una adición de las señales de medición llega a cero. En cambio, si la suma de las señales de medición de los sensores de medición supera un valor umbral previamente establecido, puede deducirse la presencia de una falla del semiconductor de potencia. La adición de las señales del sensor de medición puede lograrse por ejemplo a través de una interconexión conveniente
10 de los sensores de medición, donde el valor umbral se implementa en la práctica a través de una unidad mecánica de activación que dispone de una cierta inercia de respuesta. La interconexión, por tanto por ejemplo el circuito paralelo o en serie de los sensores de medición, depende del tipo de sensor de medición utilizado. El signo diferente de las señales de medición puede alcanzarse a través de diferentes direcciones de bobinado en las bobinas de medición de los sensores de medición.

15 De manera ventajosa, en cada conexión de colector y/o en cada conexión de emisor está dispuesto un sensor de medición. Por ejemplo, $2n$ segmentos de semiconductor de potencia están realizados en el interruptor de semiconductor de potencia, en donde n es un número entero. En el caso de cuatro segmentos de semiconductor de potencia, por ejemplo las conexiones de colector se equipan respectivamente con un sensor de medición, donde las respectivas señales de medición se suman con signos diferentes. Esto puede tener lugar también paralelamente en
20 la respectiva conexión de emisor, donde las señales de medición de los sensores de medición se suman con signos opuestos que están dispuestos en las dos conexiones de emisor. A diferencia de ello, sin embargo, también es posible disponer respectivamente un sensor de medición en la conexión de colector de un segmento de semiconductor de potencia y en la conexión de colector del otro segmento de semiconductor de potencia, donde las señales de medición de los dos sensores de medición se suman unas a otras con signos diferentes.

25 Según otra variante de la invención, los medios para la detección de una distribución de corriente asimétrica comprenden una culata magnéticamente blanda y al menos un sensor de medición que está configurado para detectar un campo magnético en la culata magnéticamente blanda. Según ese perfeccionamiento ventajoso se utiliza una culata magnéticamente blanda para concentrar una variable derivada de flujos de corriente, en ese caso, un campo magnético. Esa concentración reduce la inversión en cuanto a la técnica de medición. De este modo, la
30 culata magnéticamente blanda, de modo conveniente, rodea uno o varios pares de conexiones de carga, de modo que en el caso de una distribución de corriente simétrica en las conexiones de carga rodeadas por la culata magnéticamente blanda los campos magnéticos que se presentan en la culata magnéticamente blanda se extinguen en todo caso de forma mutua en una sección monitoreada por técnicas de medición. Sólo en el caso de una distribución de corriente asimétrica o, expresado de otro modo, no simétrica, se produce un aumento del campo magnético en la culata magnéticamente blanda o en su sección monitoreada. El campo magnético es una variable
35 comprobable que, por ejemplo, puede ser detectada por una única bobina de medición de un sensor de medición, la cual está enrollada alrededor de una cara de la culata magnéticamente blanda. Puesto que no se requieren varios sensores de medición, sino tan sólo un sensor de medición, los costes del submódulo se reducen.

De manera conveniente, la culata magnéticamente blanda rodea conexiones de carga del interruptor de semiconductor asociado, en forma de pares. Por ejemplo, la culata rodea una conexión de colector de un segmento de semiconductor de potencia, así como una conexión de emisor del otro segmento de semiconductor de potencia. A diferencia de ello, la culata magnéticamente blanda comprende dos conexiones de emisión de segmentos de semiconductor de potencia paralelos, así como dos conexiones de colector de otros segmentos de semiconductor de potencia paralelos. En este contexto también es posible que la culata magnéticamente blanda rodee cuatro
40 conexiones de emisión de cuatro segmentos de semiconductor de potencia. Naturalmente, también barras intermedias pueden estar conformadas en la culata magnéticamente blanda, de modo que respectivamente dos conexiones de colector o de emisor del interruptor de semiconductor de potencia están rodeadas por las mismas caras de la culata magnéticamente blanda. En esa variante, los campos magnéticos se extinguen en el funcionamiento normal sólo de forma mutua en la barra de conexión. En la barra de unión está dispuesto el sensor de medición.
50

De manera conveniente, al menos un componente de semiconductor está equipado con un sistema de refrigeración. Como sistema de refrigeración es adecuado por ejemplo un sistema de refrigeración por agua que presenta un circuito de refrigeración con un intercambiador de calor. En el circuito de refrigeración circula un líquido de refrigeración, como por ejemplo agua desmineralizada. El sistema de refrigeración disipa el calor que se genera a
55 través de la corriente de funcionamiento que circula mediante el componente semiconductor, después de que el mismo ha fallado de forma parcial.

Otras realizaciones convenientes y ventajas de la invención son objeto de la siguiente descripción de ejemplos de ejecución de la invención mediante referencia a las figuras del dibujo, donde los mismos símbolos de referencia remiten a los componentes que actúan del mismo modo, y donde las figuras muestran:

Figura 1: un interruptor de semiconductor de potencia usual en la industria, según el estado del arte,

Figura 2: la fijación de un chip de semiconductor de potencia en el interruptor de semiconductor de potencia según la figura 1,

Figura 3: la estructura de un interruptor IGBT que se encuentra en contacto por presión, según el estado del arte,

5 Figura 4: un esquema de circuito equivalente de un submódulo conocido por la práctica,

Figura 5: un esquema de circuito equivalente de un submódulo conocido por la práctica,

Figura 6: un esquema de circuito equivalente de un ejemplo de ejecución del submódulo según la invención,

Figura 7: un esquema de circuito equivalente de otro ejemplo de ejecución del submódulo según la invención,

Figura 8: un esquema de circuito equivalente de otro ejemplo de ejecución del submódulo según la invención,

10 Figura 9: una unidad de circuito de un submódulo según la invención en una vista lateral en sección,

Figura 10: otra unidad de circuito posible, en una vista lateral,

Figura 11: una unidad de circuito posible para un submódulo según la invención en una vista superior,

Figura 12: un circuito en serie de unidades de circuito, el cual es adecuado para la estructura de un submódulo según la invención,

15 Figura 13: otra realización posible de una unidad de circuito para un submódulo según la invención, y

Figura 14: un interruptor de semiconductor de potencia que es particularmente adecuado para una utilización en una unidad de circuito para un ejemplo de ejecución del submódulo según la invención.

La figura 1 muestra un interruptor de semiconductor de potencia 1 según el estado del arte, en una vista en perspectiva, el cual se denomina también como módulo de semiconductor de potencia. Puede observarse que el interruptor de semiconductor de potencia 1 presenta una carcasa del semiconductor 2 que se compone de un material aislante no conductor y que está conectado a una placa base 3 metálica. En su lado superior, el interruptor de semiconductor de potencia 1 presenta tres conexiones de emisor 4, así como tres conexiones de colector 5, que son conducidas hacia fuera desde la carcasa del semiconductor 2. Para la activación se utiliza una así llamada conexión de portal o de control 6. Puede observarse además una conexión de emisor auxiliar 7a con el cual a la conexión de control 6 se le puede imprimir el potencial eléctrico conveniente. Una conexión de colector auxiliar se indica con la referencia 7b. Naturalmente es posible que la conexión de carga provista del símbolo de referencia 4 conforme la conexión de colector y la conexión de carga 5 provista del símbolo de referencia 5 conforme la conexión de emisor.

Dentro de la carcasa de semiconductor 2 están dispuestos chips de semiconductor de potencia, por ejemplo chips IGBT-(transistores de puerta aislada), los cuales igualmente corresponden al estado del arte y se muestran en la figura 2.

La figura 2, en una vista lateral, muestra esquemáticamente un chip IGBT 8 del interruptor de semiconductor de potencia 1 según la figura 1, el cual está conectado mediante una unión por soldadura 9 a una capa de cobre conductora 10 que está aplicada sobre un sustrato 11 no conductor, por ejemplo de una cerámica conveniente. El sustrato 11, de forma mecánica, está conectado a la placa base 3 mediante otra unión por soldadura 9. Para la conexión eléctrica con otros chips de semiconductor de potencia 8 se utilizan conductores de resistencia 12, de los cuales en la figura 2, con el fin de una mayor claridad, sólo se muestra uno. Los conductores de resistencia 12, en el ejemplo de ejecución mostrado, están conectados con el lado de emisor del chip IGBT 8, como conexión de carga de chip. Puede observarse además que la capa de cobre 10 conforma vías conductoras con las cuales se posibilita una interconexión conveniente de los chips IGBT 8, mediante los conductores de resistencia 12. Los conductores de resistencia se utilizan de este modo para conectar las conexiones de carga de chip.

El interruptor de semiconductor de potencia 1 mostrado en la figura 1 presenta en total 24 chips IGBT según la figura 2, así como doce chips de diodos conectados de modo correspondiente paralelamente en sentido opuesto, los cuales están colocados todos en la carcasa 2. De manera alternativa con respecto a esto, también pueden estar instalados 18 chips IGBT y 18 chips de diodos. Como otra alternativa, 36 chips IGBT conductores en inversa pueden estar colocados en la carcasa, donde un diodo paralelo en sentido opuesto y el chip IGBT están integrados en un

chip. Esos chips de semiconductor de potencia 8 están dispuestos entre segmentos de semiconductor de potencia conectados paralelamente, independientes uno de otro en alto grado, de modo que un segmento de semiconductor de potencia dispone respectivamente de ocho chips IGBT y de cuatro chips de diodo. Las conexiones de carga de esos tres segmentos de semiconductor de potencia, por tanto tres conexiones de emisor 4, así como tres conexiones de colector 5, son conducidas individualmente hacia el exterior desde la carcasa del semiconductor 2 y, con ello, pueden contactarse de forma individual. Según el estado del arte, las conexiones de carga están dispuestas en el mismo lado de la carcasa. Durante el funcionamiento normal, toda la corriente que circula mediante el interruptor de semiconductor de potencia 1 se divide de forma aproximadamente idéntica entre los tres segmentos de semiconductor de potencia con su respectiva conexión de emisor 4 y de colector 5. Expresado de otro modo, el alimentador de cada conexión de colector 5, así como el alimentador de cada conexión de emisor 4, conduce aproximadamente hacia la misma corriente.

La figura 3 muestra un chip IGBT 8 de un interruptor de semiconductor de potencia 1 que se encuentra en contacto por presión, ya conocido, el cual igualmente presenta la propiedad mencionada en la introducción de "conducción en falla". El interruptor de semiconductor de potencia 1 mostrado en la figura 3 está dividido igualmente en segmentos, donde cada segmento dispone de una conexión de emisor 4, así como de una conexión de colector 5. A diferencia del modo de construcción modular, un "paquete comprimido" según la figura 3, sobre el lado de emisor, no presenta sin embargo conductores de resistencia para conectar las conexiones de carga de los chips IGBT 8. En su lado emisor, se aplica presión a los chips de semiconductor de potencia 8 mediante un elemento de resorte 13, de modo que del lado del emisor se proporciona un contacto por presión. Del lado del colector, los chips IGBT 8 por ejemplo están soldados. La conexión eléctricamente conductora con la conexión de emisor 4 se proporciona mediante un conductor de banda flexible 14, con el cual el elemento de resorte 13 está puenteado eléctricamente. En el caso de una falla, el chip de semiconductor de potencia 8 se vuelve conductor, de modo que se proporciona la propiedad de "conducción en falla" deseada. En el caso de un circuito en serie del así llamado paquete comprimido según la figura 3, la falla de un interruptor semiconductor de potencia 1 no conduce a que todo el circuito en serie ya no pueda continuar funcionando. Más bien, los interruptores de semiconductor de potencia 1 conectados en serie al interruptor de semiconductor de potencia defectuoso 1 asumen la función que había cumplido hasta el momento el interruptor de semiconductor de potencia defectuoso 1, donde los conductores de banda 14 del chip defectuoso están en condiciones de conducir toda la corriente de carga. En el caso de trabajos de mantenimiento que tienen lugar según un turno, finalmente el interruptor de semiconductor de potencia defectuoso 1 puede ser reemplazado.

La figura 4 muestra un esquema de circuito equivalente de un submódulo conocido por la práctica. Puede observarse que el submódulo conforma un así llamado circuito de medio puente. En este caso, a un acumulador de energía 16 está conectado de forma paralela un circuito en serie 17, el cual se compone de dos interruptores de semiconductor de potencia 18 y 19, donde a cada uno de los interruptores de semiconductor de potencia 18 y 19 está conectado de forma paralela, en sentido opuesto, respectivamente un diodo libre 20 y 21. El interruptor de semiconductor de potencia 18 y el diodo libre 20, así como 19 y 21, forman un interruptor de semiconductor de potencia 1 según la figura 1 y están dispuestos respectivamente en una carcasa del semiconductor 2 común. En el punto de potencial entre los interruptores de semiconductor de potencia 18 y 19, así como entre los diodos libres 20 y 21, está conectado un primer borne de conexión 22. Un segundo borne de conexión 23 está conectado directamente a un borne del acumulador de energía 16. Durante el funcionamiento, el acumulador de energía 16, el cual preferentemente está realizado como condensador del acumulador, está cargado, de modo que en el mismo disminuye una tensión del acumulador de energía U_c . Dependiendo de la activación de los interruptores de semiconductor de potencia 18 y 19, de este modo, puede generarse la tensión que disminuye en el acumulador de energía 16, o sin embargo una tensión de equilibrio en los bornes de conexión 22 y 23. Un circuito en serie de submódulos de esa clase, de este modo, puede considerarse como fuente de tensión, cuya tensión inicial o total puede modificarse por etapas.

Los circuitos en serie de los submódulos de esa clase se utilizan en los así llamados convertidores multinivel. Los convertidores multinivel son conocidos por el experto, de modo que aquí no es necesario abordar con más detalle su topología. Solamente cabe señalar que los convertidores multinivel, en las publicaciones en idioma inglés, se denominan como "Multi-Level-Converter" o también como "Modular Multi-Level-Converter (MMC)". Un MMC se compone de así llamados módulos de fase que esencialmente se componen de un circuito en serie de los submódulos mencionados. Los submódulos forman un así llamado puente de Graetz (puente de 6 pulsos). La cantidad de los módulos de fase corresponde a la cantidad de las fases de la red de tensión alterna. De este modo, un módulo de fase se extiende entre dos conexiones de tensión continua para los polos de un circuito intermedio de tensión continua. Además, cada módulo de fase está equipado con una conexión de tensión alterna que se utiliza para la conexión a una fase de una red de tensión alterna. Dos o varios MMCs conectados respectivamente a una red de tensión alterna, los cuales están conectados unos con otros mediante un circuito intermedio de tensión continua, o bien mediante una red de tensión continua, se denominan como instalaciones (HGÜ), de transmisión de corriente continua de alta tensión.

La falla de un interruptor de semiconductor de potencia o de la unidad electrónica asociada, debido a exigencias de disponibilidad, no puede conducir a una desconexión de todo el MMCs o de toda la instalación HGÜ. Después de la falla de un interruptor de semiconductor de potencia 18 ó 19, para poner a disposición una ruta de corriente de baja

impedancia, los bornes de conexión 22 y 23 pueden ser puenteados a través de un interruptor de derivación 24. La activación del interruptor de derivación 24 tiene lugar mediante una detección de la superación de un nivel de tensión o de un gradiente de la tensión o de la corriente en el acumulador de energía 16. Para ello, sin embargo, se necesita un suministro de energía relativamente costoso para la unidad electrónica de monitoreo, la cual proporciona la señal de activación necesaria para el interruptor de derivación 24. Como interruptor de derivación 24 es adecuado por ejemplo un interruptor mecánico accionamiento pirotécnicamente. El submódulo defectuoso puenteado puede reemplazarse en los próximos trabajos de mantenimiento.

En el caso de un cortocircuito en el circuito intermedio de tensión continua de la instalación HGÜ se produce una corriente de cortocircuito que es conducida mediante el diodo libre 21, la cual es operada por la red de tensión alterna conectada. Para evitar una destrucción del diodo libre 21, a éste se encuentra conectado de forma paralela un tiristor de protección paralela 25, del lado de tensión alterna. Expresado de otro modo, el tiristor de protección paralela 25 está dispuesto entre el primer 22 y el segundo borne de conexión 23. El tiristor de protección paralela 25 puede descargar el diodo libre 21 rápidamente, por tanto ya después de pocos microsegundos.

La figura 5 muestra otro ejemplo de ejecución de un submódulo 15, conocido por la práctica, el cual, en el caso mostrado, está realizado como circuito de puente completo. El circuito de puente completo se diferencia del circuito de medio puente mostrado en la figura 4 en el hecho de que se proporciona un segundo circuito en serie 26 de interruptores de semiconductor de potencia 27 y 28, donde a los interruptores de semiconductor de potencia 27, 28 está conectado otra vez paralelamente, en sentido opuesto, respectivamente un diodo libre 29, así como 30. El segundo borne de conexión 23 ahora ya no está conectado directamente o indirectamente a un polo del acumulador de energía 16. Más bien, también el segundo borne de conexión 23 está conectado al punto de potencial entre dos interruptores de semiconductor de potencia 27 y 28. En el primer y en el segundo borne de conexión, dependiendo de la activación de los interruptores de semiconductor de potencia 18, 19, 27 y 28, puede generarse ahora la tensión del acumulador de energía que disminuye en el acumulador de energía 16, la tensión del acumulador de energía inversa, o sin embargo una tensión de equilibrio. Para la transmisión de la corriente continua de alta tensión, el circuito de puente completo presenta la ventaja de que, en el caso de un cortocircuito del lado de tensión continua, la corriente de cortocircuito no puede circular sin impedimentos mediante diodos libres. Los cortocircuitos del lado de tensión continua pueden dominarse mejor con el circuito de puente completo. No obstante, se considera una desventaja que el circuito de puente completo necesita el doble de interruptores de semiconductor de potencia que el circuito de medio puente. Esto repercute también de forma desventajosa sobre las pérdidas que se producen. Sin embargo, un tiristor de protección paralela 25 ya no es necesario en el caso de un circuito de puente completo.

Del modo ya explicado, en el caso de una falla el interruptor de derivación 24 debe cerrarse para evitar el apagado de toda la instalación HGÜ. El interruptor de cortocircuito 24 está configurado para conducir la corriente de funcionamiento. Desde la aparición y la detección del caso de una falla hasta el cierre del interruptor de derivación 24 mecánico transcurren usualmente hasta 1 milisegundos. En ese lapso de tiempo, corrientes de cortocircuito elevadas circulan mediante los chips de semiconductor de potencia de los semiconductores de potencia 18, 19, 20 y 21, así como 27, 28, 29 y 30. Las corrientes elevadas conducen primero a una falla de un chip, donde a continuación toda la corriente de carga se concentra en ese chip averiado. Los conductores de resistencia conectados a ese chip averiado se sobrecargan a través de la corriente de carga, de modo que éstos se funden y se rompen debido a fuerzas magnéticas elevadas. Esto conduce a la formación de un arco voltaico y, con ello, a la explosión de todo el interruptor de semiconductor de potencia. Por tanto, los interruptores de semiconductor de potencia 18, 19, 20, 21, 27, 28, 29 y 30, según el estado del arte, están dispuestos en una carcasa del submódulo resistente a explosiones, la cual impide una propagación no controlada de los gases de la explosión y, con ello, una destrucción del MMCs.

La figura 6 muestra un ejemplo de ejecución del submódulo 31 según la invención, el cual nuevamente está estructurado como circuito de medio puente y, con ello, corresponde en gran medida al submódulo 15 mostrado en la figura 4. También en este caso, a un acumulador de energía 16 nuevamente está conectado de forma paralela un circuito en serie 17, el cual se compone de dos interruptores de semiconductor de potencia 18 y 19, donde a cada uno de los interruptores de semiconductor de potencia 18 y 19 nuevamente está conectado de forma paralela, en sentido opuesto, un diodo libre 20 y 21. Además, sin embargo, se proporciona un tiristor de descarga 32 como componente de semiconductor, el cual está conectado paralelamente al acumulador de energía 16, con baja inductancia. El tiristor de descarga 32 presenta una conexión de control 33 a la cual están conectados medios de acoplamiento. Los medios de acoplamiento comprenden una bobina 34, así como una resistencia óhmica 35. De este modo, la bobina rodea un conductor de conexión 35 que proporciona una conexión eléctrica del acumulador de energía 16 con el circuito semiconductor, en forma del circuito en serie 17. Además, en la figura 6 se ilustran esquemáticamente inductancias, en donde se muestran la inductancia L1 del primer circuito eléctrico, la cual conduce al acumulador de energía 16 mediante el tiristor de descarga 32, y la inductancia L2 de un segundo circuito eléctrico, la cual conduce desde el acumulador de energía 16 mediante el circuito en serie 17. En el marco de la invención, el término unión de baja inductancia significa que la inductancia L1 del circuito eléctrico que conduce mediante el tiristor de descarga 32, es más reducida que la inductancia L2 del circuito eléctrico que conduce mediante el circuito en serie 17.

A diferencia del ejemplo de ejecución mostrado en la figura 4, los diodos libres 20 y 21 están realizados como diodos libres separados que no están dispuestos junto con los chips de semiconductor de potencia controlables de los interruptores de semiconductor de potencia 18 y 19 en una carcasa. Los diodos libres 20 y 21 están realizados como diodos de célula de disco externas. De este modo, los diodos de célula de disco 20 y 21 están dispuestos respectivamente entre una placa de colector y una placa de emisor de una unidad de circuito y, de manera conveniente, presentan una capa de deformación eléctricamente conductora y elástica, de modo que los diodos libres 20 y 21 no pueden destruirse debido a la sujeción entre la placa de colector y la placa de emisor. La capa de deformación es eléctricamente conductora y elástica. La misma se compone por ejemplo de cobre. La placa de emisor está conectada con la conexión de emisor del interruptor de semiconductor de potencia 18 ó 19 asociado. La placa de colector, en cambio, está conectada a la conexión de colector del interruptor de semiconductor de potencia 18, así como 19. La estructura de esa unidad de circuito 39 se abordará en detalle más adelante.

En el caso de una falla del interruptor de semiconductor de potencia 18, así como 19, o de su unidad electrónica, se presentan de inmediato corrientes de cortocircuito elevadas que son impulsadas por el acumulador de energía 16. Se produce por tanto un aumento de presión rápido en la línea de conexión 36. Debido al acoplamiento inductivo de la conexión de control 33 del tiristor de descarga 32, en la conexión de control 33, a través del gradiente de corriente, es inducida una tensión que provoca un encendido del tiristor de descarga 32. Por lo tanto, el tiristor de descarga 32, en el caso de una falla, pasa a su estado conductor. Expresado de otro modo, el acumulador de energía 16 cortocircuita también a través del tiristor de descarga 32. Debido a la conexión de baja inductancia, ahora una corriente de descarga circula esencialmente mediante el tiristor de descarga 32. En el caso de tensiones en el rango de 2 a 20kV, las cuales pueden reducirse en el acumulador de energía 16, inmediatamente después de su encendido se produce un aumento de corriente muy intenso también en el tiristor de descarga 32, el cual debido a ello falla de forma parcial, de modo que se vuelve conductor en ambas direcciones. El tiristor de descarga 32 recibe entonces esencialmente toda la corriente de descarga del acumulador de energía 16, donde los interruptores de semiconductor de potencia 18 y 19 están protegidos de corrientes elevadas. No tiene lugar la conformación de un arco voltaico. Los diodos libres 20 y 21 están realizados como diodos de célula de disco, de modo que los mismos no se destruyen tampoco en el caso de corrientes de cortocircuito más elevadas. Sin embargo, si la corriente que circula mediante los diodos libres 20 y 21, o un aumento de corriente o un aumento de tensión superan un valor umbral establecido, sin embargo, a pesar del tiristor de descarga 32, puede producirse una destrucción de los diodos libres 20 y 21. En el marco de la invención, esto tampoco conduce sin embargo a una formación de arco voltaico o a una avería de los diodos. Más bien, los diodos libres 20 y 21, debido a la utilización de chips que se encuentran en contacto por presión, presentan una así llamada propiedad de conducción en falla. Expresado de otro modo, en el marco de la invención, en el caso de una falla, un flujo de corriente se proporciona solamente mediante componentes que se encuentran en contacto por presión. Se produce de este modo un puenteo seguro del submódulo 31 defectuoso, en el caso de una falla. En el marco de la invención ya no se necesitan interruptores mecánicos costosos entre los bornes de conexión 22 y 23. Esto aplica también para el tiristor de protección paralela indicado con la referencia 25 en la figura 4, para proteger el diodo libre 21. El mismo está realizado ahora como diodo de célula de disco que puede fallar parcialmente, el cual posee una resistencia $I2t$ elevada.

La figura 7 muestra otro ejemplo de ejecución del submódulo según la invención, el cual se diferencia del ejemplo de ejecución mostrado en la figura 6, en el hecho de que el mismo está realizado como circuito de puente completo según la figura 5. También en este caso los diodos libres 20, 21, 29 y 30 están realizados nuevamente como diodos de célula de disco, los cuales están sujetos respectivamente entre una placa de emisor y una placa de colector de una unidad de circuito 39. Con la ayuda del tiristor de puenteo o de descarga 32, de este modo, en el caso de una falla se procura que los interruptores de semiconductor de potencia 18, 19, 27 y 28 estén protegidos de corrientes de fuga elevadas. En el caso de una falla, un flujo de corriente es posible solamente mediante componentes que se encuentran en contacto por presión, en ambas direcciones, mediante el submódulo según la invención.

Para poder conducir de forma segura las corrientes de funcionamiento también durante períodos más prolongados, el tiristor de descarga 32 está equipado con un sistema de refrigeración. El sistema de refrigeración comprende un circuito de refrigeración en donde circula un líquido de refrigeración, como agua desmineralizada. Se proporciona además un intercambiador de calor conectado con el circuito de refrigeración. Un tiristor de descarga refrigerado puede utilizarse en principio en cualquier submódulo según la invención. Por ejemplo, el tiristor de descarga 32 del submódulo según las figuras 6, 7 u 8 es un tiristor de descarga refrigerado.

La figura 8 muestra otro ejemplo de ejecución del submódulo 31 según la invención, el cual está realizado como el submódulo 31 mostrado en la figura 6, como circuito de medio puente. El circuito de medio puente dispone de un acumulador de energía 16 y de un único circuito en serie 17 como circuito de semiconductor, el cual está conectado de forma paralela al acumulador de energía 16. El circuito en serie 17 está equipado nuevamente con dos interruptores de semiconductor de potencia 18, 19 conectados en serie, que pueden desconectarse, a los cuales respectivamente están conectados paralelamente, en sentido opuesto, dos diodos de célula de disco 20, 21 separados. Los diodos de célula de disco 20, 21 actúan como diodos libres. Los interruptores de semiconductor de potencia 18, 19 están realizados como módulos IGBT usuales en la industria y, de este modo, disponen de conductores de resistencia que se utilizan para conducir la corriente de carga del respectivo interruptor de semiconductor de potencia 18, así como 19. También el tiristor de descarga 32 puede observarse en un circuito

paralelo con respecto al acumulador de energía. El mecanismo de activación para el tiristor de descarga 32 corresponde al mecanismo de activación mostrado en la figura 6. Tanto el submódulo 31 según la figura 6, como también el submódulo 31 según la figura 8, presentan un primer borne de conexión 22 que está conectado al punto de potencial entre los interruptores de semiconductor de potencia 18 y 19. En los dos submódulos 31, el segundo borne de conexión 23 está conectado a un borne o polo del acumulador de energía 16. En el ejemplo de ejecución del submódulo 31 según la figura 6, el segundo borne de conexión 23, sin embargo, está conectado directamente al emisor del interruptor de semiconductor de potencia 19 y, con ello, está conectado directamente al polo negativo del acumulador de energía 16. En el submódulo 31 según la figura 8, en cambio, el segundo borne de conexión 23 está conectado directamente al colector del interruptor de semiconductor de potencia 18 y, con ello, al polo positivo del acumulador de energía 16. El funcionamiento de los submódulos 31 mostrado en las figuras 6 y 8, sin embargo, es casi idéntico. Dependiendo del estado de conmutación de los interruptores de semiconductor de potencia 18 y 19, entre el primer 22 y el segundo borne de conexión 23 puede generarse la tensión que disminuye en el acumulador de energía 16, o sin embargo, una tensión de equilibrio. Dependiendo de la realización del circuito de medio puente cambia solamente la polaridad de los bornes de conexión 22, 23 del submódulo 31.

La figura 9 muestra un ejemplo de ejecución de una unidad de circuito 39 que comprende un interruptor de semiconductor de potencia 18, así como un diodo libre 20 que está conectado paralelamente, en sentido opuesto, con respecto al interruptor de semiconductor de potencia 18. El interruptor de semiconductor de potencia 18 está estructurado de forma similar al interruptor de semiconductor de potencia mostrado en la figura 1 y dispone de cuatro segmentos de semiconductor de potencia paralelos, de los cuales cada segmento de semiconductor de potencia conforma una conexión de emisor 4 y una conexión de colector 5 dispuesta oculta en la figura 9. Las conexiones de carga 4, 5 mencionadas son conducidas hacia el exterior desde una carcasa del semiconductor 2 eléctricamente no conductor, en el cual están dispuestos chips de semiconductor de potencia que pueden activarse de forma exclusiva, y preferentemente chips IGBT 8. Las conexiones de emisor de chip de los chips de semiconductor de potencia 8, entre otras cosas, están conectadas unas con otras mediante conductores de resistencia.

En la figura 9 puede observarse además que las conexiones de emisor 4, mediante una línea de alimentación o línea de conducción 40, están conectadas a una placa de emisor 41, mientras que las conexiones de colector que no pueden observarse en la figura 9, mediante líneas de conexión correspondientes, están conectadas eléctricamente a una placa de colector 42. Entre la placa de emisor 41 y la placa de colector 42 está dispuesto un diodo libre 20 con una capa de deformación de cobre 43 que impide una destrucción mecánica de los diodos de célula de disco 20 en el caso de una sujeción entre las placas 41 y 42. Puede observarse además la pared lateral 44 de un material no conductor, cuya altura es algo menor que la altura del diodo de célula de disco 20, incluyendo la capa de deformación 43. De este modo, la presión que se presenta en el caso de una sujeción es absorbida solamente por el diodo de célula de disco 20, así como por la capa de deformación 43. La pared lateral 44 protege de suciedad o similares. Para la sujeción positiva de la pared lateral 44 pueden observarse soportes positivos en forma de salientes de retención 45 que están dispuestos en la placa de emisor 41, así como en la placa de colector 42. Para refrigerar los chips IGBT 8 se utilizan tubos de refrigeración 46 que desembocan en perforaciones de las placas 41, 42. Los tubos de refrigeración 46 están fabricados de un material no conductor, donde agua desmineralizada circula en los tubos de refrigeración 46. De este modo se proporciona un sistema de refrigeración aislado. En el ejemplo de ejecución mostrado, los tubos de refrigeración 46 se extienden tanto hasta la placa de colector 42, como también hasta la placa de emisor 41.

La figura 10 muestra otro ejemplo de ejecución de una unidad de circuito 39 para un submódulo 31 según la invención, en una vista lateral parcialmente seccionada. El ejemplo de ejecución mostrado en la figura 10 se diferencia del ejemplo de ejecución mostrado en la figura 9, en el hecho de que ya no está proporcionada una pared lateral aislante 44. Más bien, el interruptor de semiconductor de potencia 18 y el diodo libre 22 están dispuestos expuestos entre la placa de emisor 41 y la placa de colector 42. Nuevamente, el diodo de célula de disco 20 con su capa de deformación 43 se utiliza para absorber la presión de sujeción entre las placas 41 y 42 mencionadas. Además, sin embargo, se proporcionan medios de cortocircuito que presentan una culata magnéticamente blanda 47, la cual rodea cuatro conexiones de emisor 4. En el centro de la culata magnéticamente blanda 47 está dispuesta una barra de conexión que no puede observarse aquí, de modo que respectivamente dos conexiones de emisor están rodeadas por caras comunes de la culata 47. Alrededor de la barra de conexión central está enrollada una bobina de medición que está configurada para detectar un campo magnético. La salida de la bobina de medición está conectada directamente a una unidad de activación 49 que está configurada para cerrar un interruptor mecánico 50. La unidad de activación 49, a modo de ejemplo, es un accionamiento pirotécnico o un accionamiento electromagnético. Naturalmente, también es posible realizar el interruptor 50 como interruptor electrónico, donde la línea de señal 48 se utiliza entonces para el encendido eléctrico directo del interruptor de puenteo 50. Puede observarse además que solamente la placa de colector 42 está equipada con tubos de refrigeración 46.

La figura 11 muestra otro ejemplo de ejecución de una unidad de circuito 39 para el submódulo 31 según la invención. En la forma de ejecución según la figura 11 se proporciona nuevamente un interruptor de semiconductor de potencia 18, al cual se encuentra conectado paralelamente, en sentido opuesto, el diodo libre 20. En la vista superior mostrada pueden observarse las conexiones de colector 5 del interruptor de semiconductor de potencia 18,

las cuales están conectadas a la placa de colector 42 mediante las líneas de conexión 51. Puede observarse además que la culata magnéticamente blanda 47 rodea dos conexiones de emisor 4, así como dos conexiones de colector 5. Durante el funcionamiento normal del interruptor de semiconductor de potencia 18 se produce una distribución de corriente simétrica en las conexiones de carga 4, 5. Los campos magnéticos que se presentan en la culata magnéticamente blanda 47 se extinguen de forma mutua. Una bobina de medición 52 que comprende una cara de la culata magnéticamente blanda 47, por lo tanto, no puede detectar ningún campo magnético. En el caso de una falla, sin embargo, se produce una concentración del flujo de corriente en una de las conexiones de emisor 4 o en una de las conexiones de colector 5, debido a lo cual una distribución de corriente asimétrica genera un campo magnético en la culata magnéticamente blanda 47. En la salida del electrodo de medición 52, de este modo, se recibe una señal de activación que es suministrada a la unidad de activación 49, la cual se encarga de una activación del interruptor 50. De este modo, en el caso de una falla, el interruptor de semiconductor de potencia 18 se protege de forma adicional.

La figura 12 muestra un circuito en serie 54 de unidades de circuito 39, las cuales por ejemplo están realizadas según la figura 9, 10 u 11. Puede observarse que las unidades de circuito 39 están apiladas unas sobre otras, donde la placa de colector 42 de una unidad de circuito 39 está en contacto plano con una placa de emisor 41 de la unidad de unidad de circuito 39 directamente contigua. Las unidades de circuito 39, de este modo, se encuentran en contacto por presión unas con otras. Para procurar un buen contacto suficiente, las unidades de circuito 39 están sujetadas unas con otras. Para ello se utilizan dos placas de sujeción 55 que están sujetadas de forma fija una con otra mediante medios de tracción 56. De este modo, un circuito en serie 54 de esa clase puede utilizarse en lugar de una única unidad de circuito 39 en el circuito de puente completo o de medio puente según las figuras 6 ó 7. El primer borne de conexión 22, entonces, estaría conectado con un punto de potencial entre dos circuitos en serie 54 según la figura 12, donde el circuito en serie 17 según la figura 6 estaría conformado a través de dos circuitos en serie 54 según la figura 12. Los interruptores de semiconductor de potencia, que pueden ser activados, de las unidades de circuito 39 del circuito en serie 54, se temporizan de forma síncrona unos con otros y, con ello, se activan. Según esa realización de la invención pueden dominarse tensiones más elevadas. Pueden utilizarse acumuladores de energía 16 más grandes, por ejemplo en forma de condensadores del acumulador, en los cuales disminuye una tensión más elevada. De este modo, por ejemplo, una unidad de circuito 39 está diseñada para tensiones de entre 2kV y 4kV. Un circuito en serie de cuatro unidades de circuito según la figura 12, de este modo, está configurado para conmutar tensiones en el orden de magnitud de por ejemplo 8kV a 16kV. De este modo se reduce la cantidad de submódulos en un módulo de fase de una instalación HGÜ.

La figura 13 muestra un interruptor de semiconductor de potencia que difiere del interruptor de semiconductor de potencia representado en la figura 1. Puede observarse que el interruptor de semiconductor de potencia 18 mostrado en la figura 13 presenta en su lado superior solamente tres conexiones de emisor 4 que son conducidas hacia el exterior, desde la carcasa 2 eléctricamente no conductora. Las conexiones de emisor 4 de los chips de semiconductor de potencia dispuestos en la carcasa de semiconductor 2, en cambio, se encuentran en contacto directo con la placa base 3 que, en el interruptor de semiconductor de potencia 18 mostrado en la figura 13, se utiliza por tanto como conexión de colector 5. La conexión plana directa de las conexiones de colector de chip, por ejemplo, tiene lugar debido a que los chips de semiconductor de potencia 8, por ejemplo chips IGBT 8, no están soldados sobre una cerámica eléctricamente aislante. Más bien, la conexión de colector del chip está soldada sobre una placa soporte metálica que a su vez está en contacto plano eléctricamente no conductor con la placa base 3. Puede suprimirse por lo tanto un desplazamiento adicional.

La figura 14 muestra una unidad de circuito para un submódulo según la invención en una vista superior, donde fue seleccionado un interruptor de semiconductor de potencia 18 que está estructurado según la figura 13. El interruptor de semiconductor de potencia 18 mostrado en la figura 14, sin embargo, en lugar de tres, presenta cuatro segmentos de semiconductor de potencia, de modo que cuatro conexiones de emisor 4 son conducidas hacia el exterior desde la carcasa del semiconductor 2. A su vez, las conexiones de emisor 4 están rodeadas por la culata magnéticamente blanda 47, donde la culata magnéticamente blanda 47 conforma una barra de conexión central 57. Alrededor de la barra de conexión 57 está enrollada una bobina de medición 52, cuya salida está conectada a la unidad de activación 49 mediante líneas de señal 48. La unidad de activación 49 se utiliza a su vez para conmutar un interruptor 50. Según esa realización de la invención en la barra de conexión 57, en el caso de una distribución de corriente simétrica, no puede detectarse ningún campo magnético, ya que esos campos magnéticos que se presentan debido a la distribución de corriente simétrica en las conexiones de emisor 4, se extinguen de forma mutua. En el caso de una distribución de corriente asimétrica, por tanto en el caso de una falla, sin embargo, se produce un campo magnético detectable en la barra de conexión 57 y, con ello, una activación del interruptor 50.

REIVINDICACIONES

1. Submódulo (31) para un convertidor multinivel con un acumulador de energía unipolar (16), dos bornes de conexión (22, 23) y un circuito semiconductor (17, 26) que presenta al menos dos interruptores semiconductores de potencia (18,19,27,28) que pueden ser activados, a los cuales, respectivamente por fuera de la carcasa del semiconductor (2) del interruptor semiconductor de potencia (18,19,27,28), está conectado de forma paralela en sentido opuesto un diodo libre (20,21,29,30) separado, donde al acumulador de energía unipolar (16) está conectado de forma paralela al menos un componente semiconductor (32), con baja inductancia, el cual puentea el acumulador de energía (16) en caso de una falla, donde cada interruptor semiconductor de potencia (18,19,27,28) presenta chips del semiconductor de potencia (8) dispuestos en una carcasa del semiconductor (2), que pueden controlarse de forma exclusiva, con conexiones de carga de chip, donde conductores de resistencia (12) conectan unas con otras las conexiones de carga de chip de los chips del semiconductor de potencia (8), caracterizado porque cada diodo libre (20,21,27,28) es un diodo de célula de disco que se encuentra en contacto por presión para evitar conductores de resistencia, y forma parte de una unidad de circuito (39) que presenta una placa de emisor (41), así como una placa de colector (42), entre las cuales está sujetado el diodo de célula de disco (20,21,29,30), donde la placa de colector (42) está conectada con una conexión del colector (5) del interruptor semiconductor de potencia (18,19,27,28), y la placa de emisor (41) está conectada con una conexión de emisor (4) del interruptor de semiconductor de potencia (18,19,27,28), la cual está conectada de forma paralela con respecto al diodo libre (20,21,29,30) mencionado.
2. Submódulo (31) según la reivindicación 1, caracterizado porque el componente semiconductor es un tiristor (32), cuya conexión de control (33) está conectada con medios (34,35) para detectar el caso de falla, donde el tiristor (32) está diseñado de modo que después de su encendido, se destruye debido a la corriente de fuga que se produce, y a continuación permanece de forma conductora.
3. Submódulo (31) según la reivindicación 2, caracterizado porque los medios para la detección de un caso de falla presentan un circuito sensor que está configurado para detectar variables de monitoreo del submódulo en forma de una variación de tensión, de una variación de corriente, de una corriente y/o de una tensión que disminuye en el acumulador de energía, donde el circuito sensor enciende el tiristor (32) cuando la variable de monitoreo supera un valor umbral previamente establecido.
4. Submódulo (31) según la reivindicación 2, caracterizado porque los medios para la detección del caso de falla presentan un diodo de ruptura, en el cual disminuye la tensión que disminuye en el acumulador de energía (16), donde el diodo de ruptura está conectado con la entrada de control (33) del tiristor (32) y está diseñado de modo que el mismo se vuelve conductor al superarse una tensión límite previamente establecida.
5. Submódulo (31) según la reivindicación 2, caracterizado porque los medios para la detección del caso de falla presentan medios de acoplamiento (34) que están conectados del lado de entrada con la entrada de control del tiristor (32), donde los medios de acoplamiento (34) están acoplados de forma inductiva con una línea de conexión (36) que se extiende entre el acumulador de energía (16) y el circuito semiconductor (17, 26).
6. Submódulo (31) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los componentes semiconductores presentan un tiristor (32) y un diodo inverso, donde tanto el tiristor (32), como también los diodos inversos están conectados paralelamente con baja inductancia al acumulador de energía (16).
7. Submódulo (31) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque cada unidad de circuito (39) presenta una pared lateral (4) eléctricamente aislante y circunferencialmente cerrada, cuya altura es un poco más reducida que la altura del diodo de célula de disco (20, 43), donde la placa de emisor (41), la placa de colector (42) y la pared lateral (44) conforman una carcasa del circuito.
8. Submódulo (31) según la reivindicación 7, caracterizado porque la pared lateral (44) está sostenida de forma positiva por la placa de emisor (41) y/o por la placa de colector (42).
9. Submódulo (31) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque al menos un componente semiconductor (32) está equipado con un sistema de refrigeración.
10. Submódulo (31) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el circuito semiconductor (17), junto con el acumulador de energía (16), conforma un circuito de medio puente.
11. Submódulo (31) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el circuito semiconductor (17,26), junto con el acumulador de energía (16), conforma un circuito de puente completo.
12. Submódulo (31) según la reivindicación 10 u 11, caracterizado porque el circuito semiconductor (17, 26) presenta dos o cuatro circuitos en serie (54) de unidades de circuito.

13. Submódulo (31) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque cada unidad de circuito (39) está equipada con medios de cortocircuito (47,48,49,50,52,57) adicionales que están configurados para cortocircuitar la placa de emisor (41) y la placa de colector (42) en caso de una falla.
- 5 14. Submódulo (31) según la reivindicación 13, caracterizado porque cada interruptor de semiconductor de potencia (18,19,27,28) de una unidad de circuito (39) está equipado con al menos dos segmentos de semiconductor de potencia conectados paralelamente uno con respecto a otro, los cuales presentan respectivamente dos conexiones de carga en forma de una conexión del colector (5) o del emisor (4), donde los medios de cortocircuito presentan medios (47,48,52,57) para detectar una distribución asimétrica de la corriente en las conexiones de carga (4, 5) del interruptor de semiconductor de potencia (18,19,27,28).
- 10 15. Submódulo (31) según la reivindicación 14, caracterizado porque los medios para la detección de una distribución de corriente asimétrica presentan al menos un sensor de medición (52) que está/n configurado/s para la detección de un flujo de corriente mediante al menos dos conexiones de carga (4, 5) o para la detección de una variable derivada del flujo de corriente mencionado.
- 15 16. Submódulo (31) según la reivindicación 14, caracterizado porque los medios para la detección de una distribución de corriente asimétrica presentan una culata magnéticamente blanda (47) y al menos un sensor de medición (52) que está configurado para detectar un campo magnético en la culata magnéticamente blanda (47).
- 20 17. Submódulo (31) según una de las reivindicaciones 14 a 16, caracterizado porque los medios de cortocircuito presentan un interruptor de puenteo (50) que está conectado a medios (47,48,52,57) para detectar una distribución de corriente asimétrica de un modo en el cual el interruptor de puenteo (50) se cierra en caso de presentarse una distribución de corriente asimétrica.

FIG 1

Estado del Arte

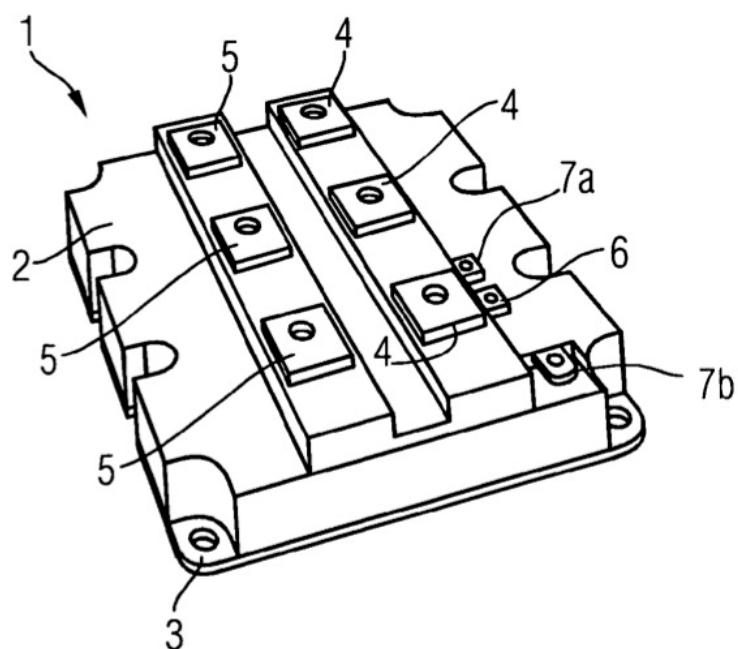


FIG 2

Estado del Arte

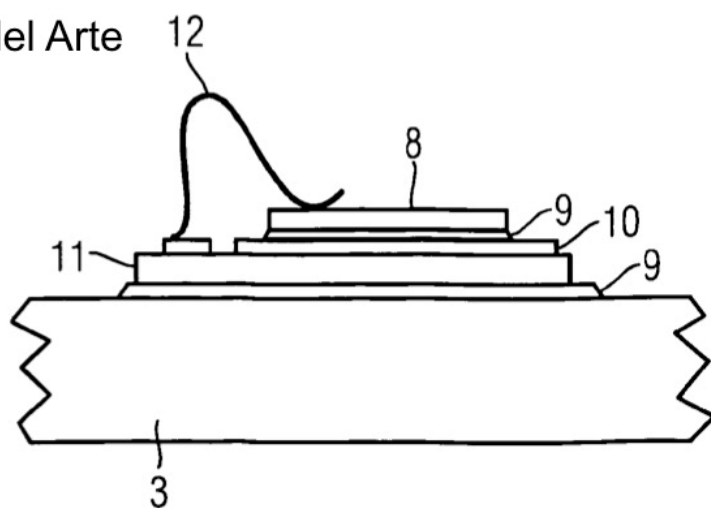


FIG 3
Estado del arte

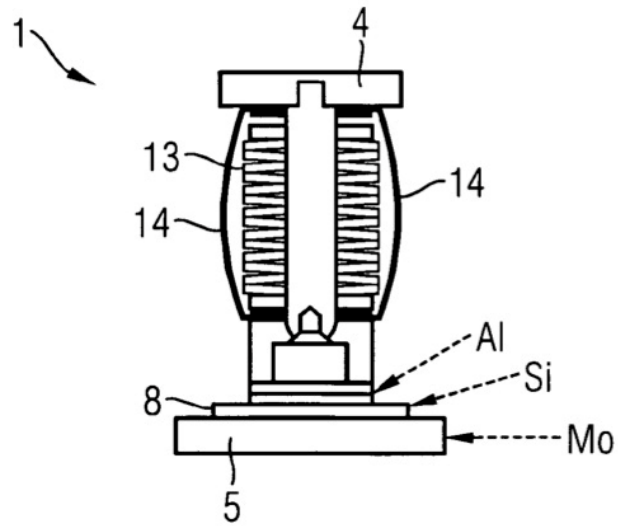


FIG 4
(Estado del arte)

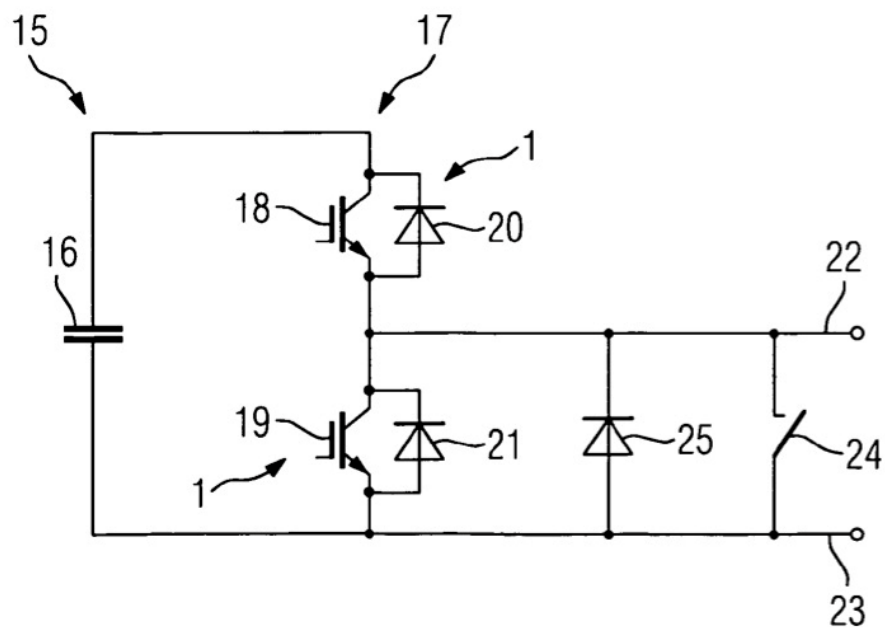


FIG 5
(Estado del arte)

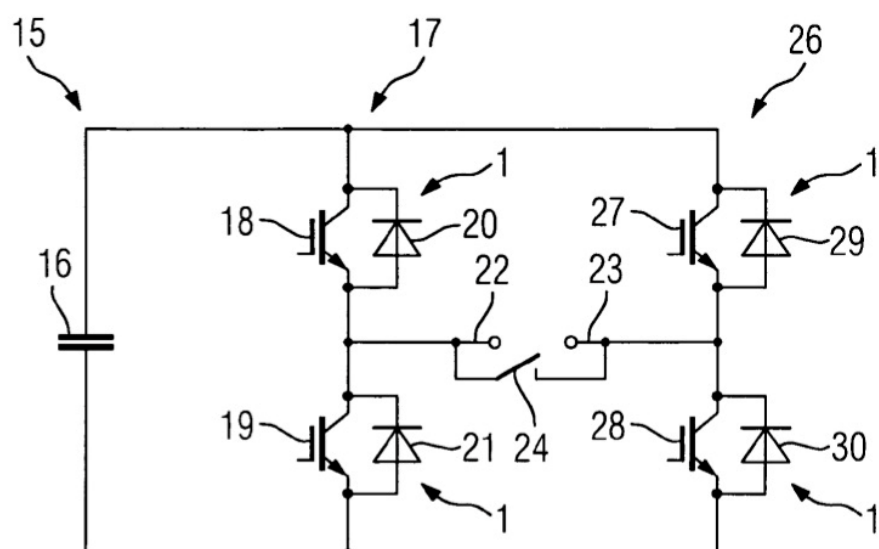


FIG 6

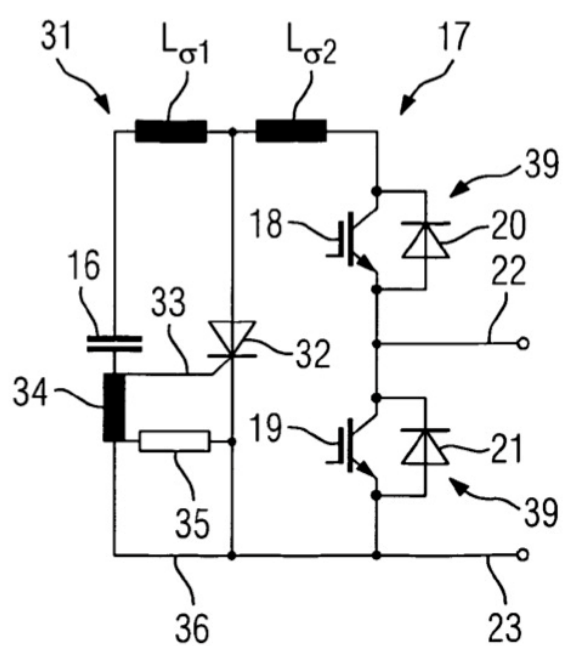


FIG 7

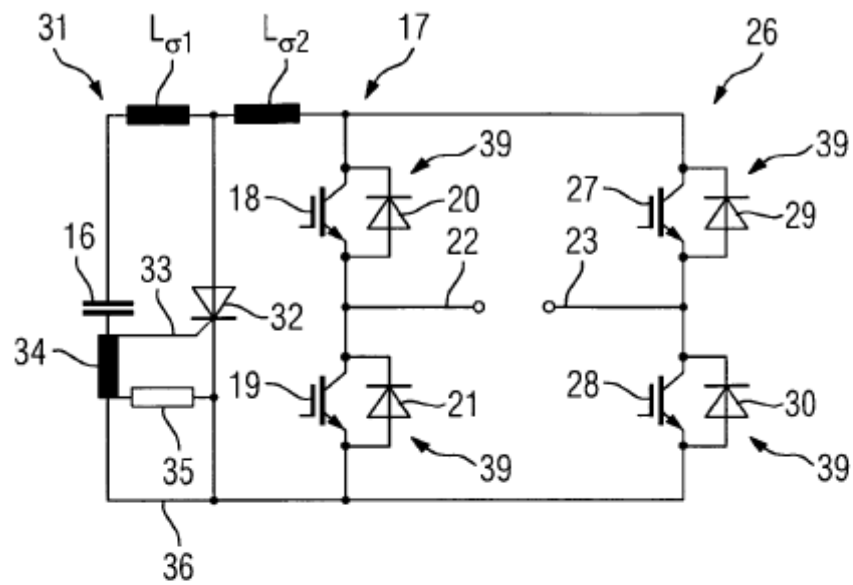


FIG 8

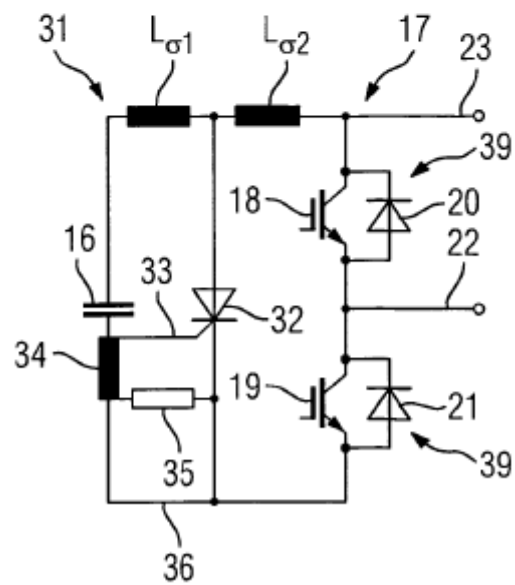


FIG 9

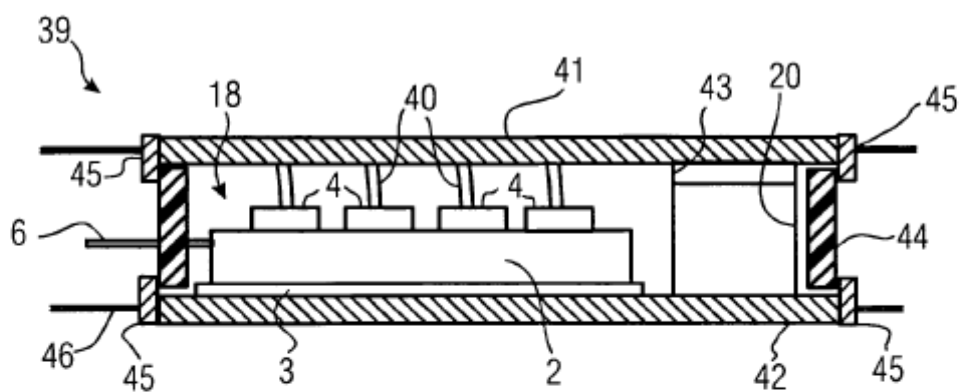


FIG 10

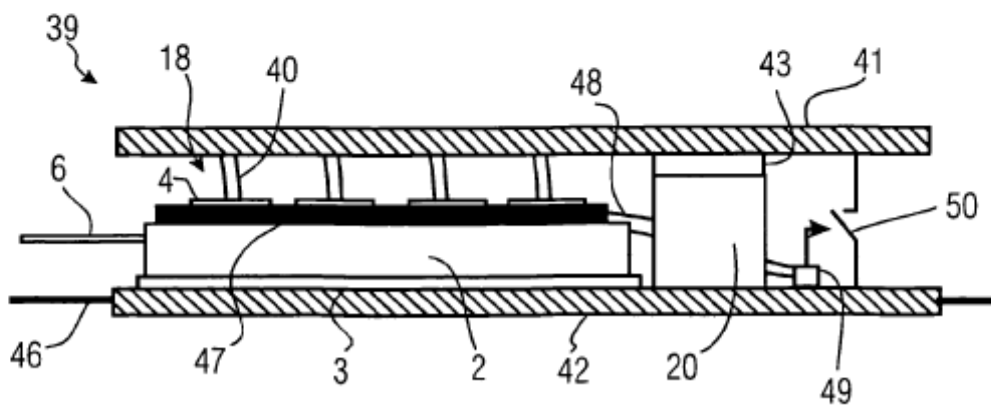


FIG 11

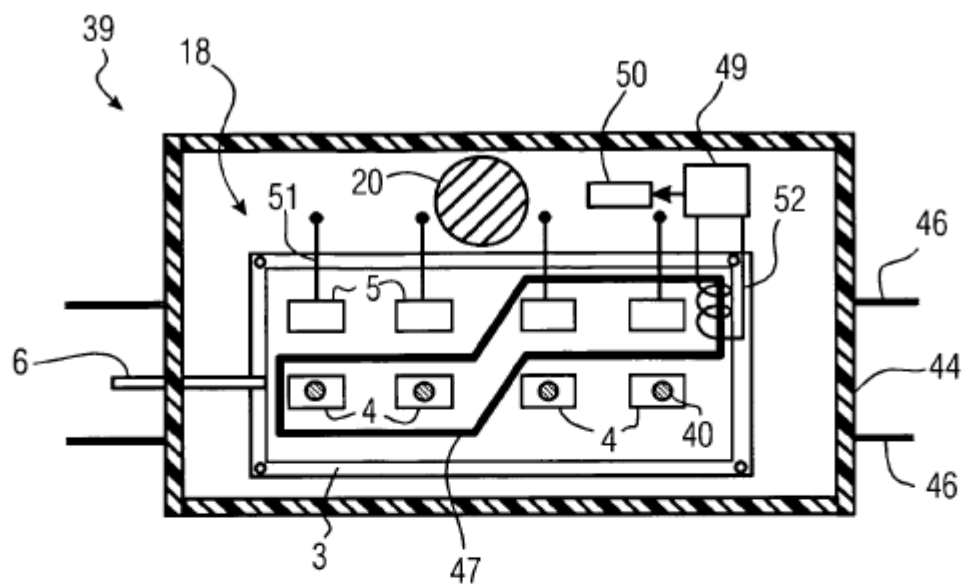


FIG 12

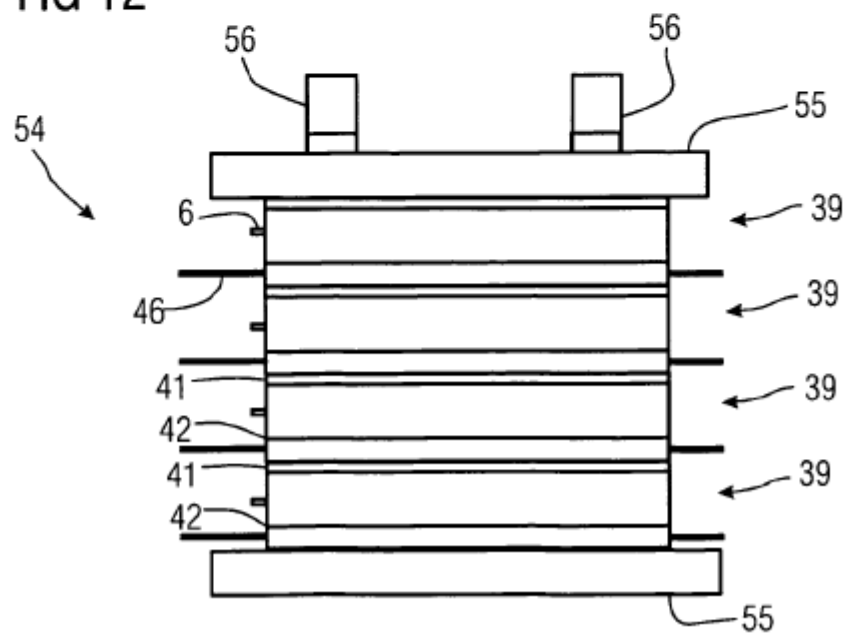


FIG 13

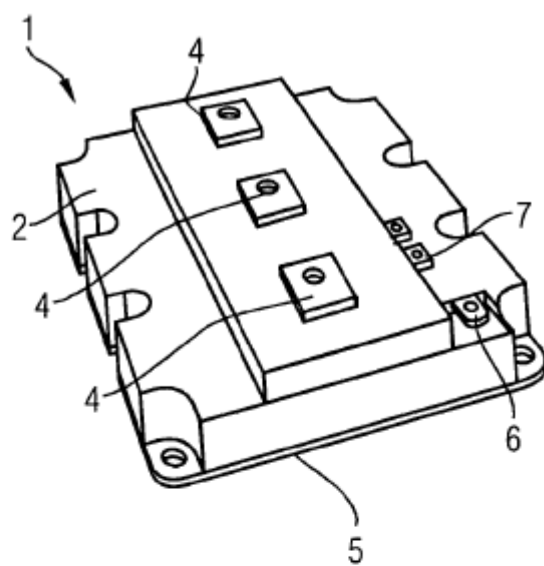


FIG 14

