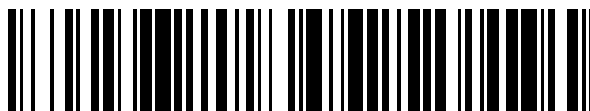


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 666 834**

51 Int. Cl.:

H02M 1/08 (2006.01)

H03K 17/041 (2006.01)

H03K 17/082 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.08.2012 E 12179944 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.01.2018 EP 2562918**

54 Título: **Dispositivo de conmutación con interruptor electrónico**

30 Prioridad:

23.08.2011 DE 102011081448

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

08.05.2018

73 Titular/es:

**BOMBARDIER TRANSPORTATION GMBH
(100.0%)
Schöneberger Ufer 1
10785 Berlin, DE**

72 Inventor/es:

LINDENMÜLLER, LARS

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 666 834 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

Dispositivo de conmutación con interruptor electrónico

- 5 La invención se refiere a un dispositivo de conmutación con un interruptor electrónico, concretamente un IGBT, que se conecta y desconecta repetidamente, a fin de provocar un flujo de corriente alterna a través de una inductancia. La corriente puede pasar por el interruptor electrónico (por ejemplo, al contrario que los MOSFETs) sólo en una dirección. Por otra parte, la invención se refiere a un dispositivo de accionamiento para un vehículo, especialmente un vehículo ferroviario, que presenta el dispositivo de conmutación, y a un dispositivo de generador para la transmisión de energía eléctrica generada por un generador eléctrico, en especial, un generador accionado por viento, presentando el dispositivo de generador el dispositivo de conmutación. La invención también se refiere a procedimientos para el funcionamiento de un dispositivo de conmutación de este tipo, para el funcionamiento del dispositivo de accionamiento y para el funcionamiento del generador. En el caso del dispositivo de conmutación se puede tratar, en particular, de un convertidor de resonancia en serie. La invención se refiere especialmente al campo de suministro de energía eléctrica para dispositivos de accionamiento de vehículos con energía de una red de alimentación eléctrica. No obstante, la invención también se puede utilizar con otros propósitos, especialmente para la transferencia de energía de un lado primario a un lado secundario de un dispositivo de conmutación. Una aplicación se refiere a los convertidores CC/CC. Además forma parte del ámbito de aplicación de la presente invención la activación del interruptor electrónico con frecuencias en la gama de frecuencia media (unos 100 Hz a unos 10 kHz), es decir, la conexión y desconexión con esta frecuencia.
- 10 En relación con la alimentación de dispositivos de accionamiento de vehículos ferroviarios, las redes de alimentación eléctrica funcionan de diferentes maneras dependiendo del país o de la región. En Alemania, por ejemplo, se realiza una alimentación eléctrica con una tensión alterna a una frecuencia de 16,7 Hz y con una tensión nominal de 15 kV. Otro sistema funciona con una tensión alterna a 50 Hz y con una tensión nominal de 25 kV. También existen sistemas de tensión continua, especialmente a 3 kV y 1,5 kV de tensión nominal.
- 15 Para el funcionamiento en redes de alimentación de tensión alterna es habitual reducir en primer lugar la tensión alterna comparativamente alta de la red de alimentación a un valor de tensión alterna inferior a través de un transformador de entrada del vehículo ferroviario, rectificándose la tensión alterna reducida y alimentándose a un así llamado circuito intermedio de tensión continua al que se conecta un ondulator de tracción para el funcionamiento de un motor de tracción o de varios motores de tracción. Esta solución tiene el inconveniente del tamaño y del peso del transformador de entrada, especialmente en caso de frecuencias de 16,7 Hz, pero también en caso de frecuencias de 50 Hz.
- 20 Para reducir el peso se puede utilizar, como filtro activo, un equipo rectificador para el funcionamiento en redes de tensión alterna durante el funcionamiento en redes de corriente continua. Este equipo rectificador presenta especialmente al menos un primer rectificador que se conecta a la red de tensión alterna sin aislamiento galvánico. La tensión continua generada por el primer rectificador se convierte en una tensión alterna con una frecuencia más alta (especialmente en la gama de frecuencia media de varios 100 Hz a varios 10 kHz), la tensión alterna se aporta al lado primario de un transformador y la tensión alterna secundaria aplicada al lado secundario del transformador se rectifica de nuevo por medio de un segundo rectificador y se aplica al rectificador indirecto desde el cual se alimenta normalmente a al menos un ondulator de tracción para el motor o los motores de tracción del vehículo ferroviario. El dispositivo de conmutación según la invención se puede utilizar, por ejemplo, en el lado primario del transformador, pudiendo ser la inductancia del lado primario la inductancia citada al principio. Especialmente si el motor de accionamiento o los motores de accionamiento funciona/funcionan como generador de corriente cuando frena el vehículo ferroviario, el dispositivo de conmutación según la invención se puede utilizar alternativa o adicionalmente en el lado secundario del transformador, es decir, en este caso la inductancia en el lado secundario es la inductancia citada al principio.
- 25 Otra aplicación consiste en el uso del dispositivo de conmutación en un convertidor CC/CC para cambiar el nivel de tensión CC en la generación de energía eléctrica y en la alimentación de la energía eléctrica en las redes de alimentación eléctrica, por ejemplo, si un generador eólico genera una tensión alterna que se convierte en una tensión continua monofásica y se aporta al convertidor CC/CC. Éste emite una tensión continua aumentada en el lado de salida (lado secundario), de manera que la energía eléctrica se pueda transmitir a través de una red de alimentación CC con pérdidas más reducidas y/o que también se pueda transmitir con pérdidas reducidas después de una nueva conversión a una tensión alterna. Los sistemas eléctricos de este tipo se describen, por ejemplo, en la publicación "1 MW, 20 kHz, Isolated, Bidirectional 12 kV to 1.2 kV DC-DC Converter for Renewable Energy Applications" de G. Ortiz et al, Proceedings of the 2010 International Power Electronics Conference, páginas 3212 a 3219, ISSN 978-1-4244-5393-1/10. La figura 6b en la página 3215 de la publicación describe, por ejemplo, un convertidor de resonancia en serie. La figura 6a describe un convertidor CC/CC con puente completo en el lado primario de un transformador. El dispositivo de conmutación según la invención se puede utilizar en ambas conexiones.
- 30 Si, como en las dos aplicaciones antes descritas (suministro de energía de tracción para vehículos o generación y alimentación de energía eléctrica a redes de alimentación eléctrica), deben transmitirse potencias elevadas y las frecuencias de los procesos de conmutación de los interruptores electrónicos implicados se encuentran en la gama

de frecuencia media, al desconectar los interruptores electrónicos se producen pérdidas, es decir, la energía eléctrica se convierte en calor. Especialmente en el uso de IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistors) como interruptores electrónicos, dado que se requieren resistencias de alto voltaje de hasta varios kV, estas pérdidas se producen, ya en el IGBT todavía se encuentran portadores de carga después de la desconexión, especialmente los así llamados agujeros, es decir, con menos electrones que capas eventualmente ocupadas de átomos o moléculas. Tan pronto como el otro interruptor o IGBT del ramal de puente se conecta en un circuito de medio puente o en un circuito de puente completo, se aplica al interruptor previamente desconectado una tensión alta que expulsa los portadores de carga restantes del interruptor, pero que provoca las pérdidas mencionadas.

Una posibilidad de reducir las pérdidas consiste en prolongar el tiempo entre la desconexión del primer interruptor y la conexión del segundo interruptor del mismo ramal de puente. Sin embargo, de este modo se reduce la potencia de transmisión de energía. Otra posibilidad consiste en ajustar la corriente magnetizante de la inductancia, de manera que se extraigan los portadores de carga restantes después de la desconexión del interruptor. No obstante, una mayor corriente de magnetización significa una efectividad más reducida. Por otra parte, durante el funcionamiento del dispositivo de conmutación también pueden darse fases de funcionamiento en las que queden menos portadores de carga después de la desconexión del interruptor. En estas fases de funcionamiento, la misma corriente magnetizante fluye después de la desconexión, aunque está sobredimensionada, provocando así pérdidas eléctricas. Si, por el contrario, la corriente magnetizante se ajusta más reducida, por ejemplo, mediante la correspondiente configuración del transformador, ésta es suficiente para extraer pequeñas cantidades de carga, pero no para extraer grandes cantidades de carga en otras fases del funcionamiento.

El documento JP 5068179 A describe un circuito de desviación para una pantalla de ordenador. Un primer transistor de salida horizontal, compuesto por un IGBT, y un segundo transistor de salida horizontal, compuesto por un MOSFET, se conectan en paralelo. Una conexión de excitación horizontal se diseña de manera que el segundo transistor de salida se conecte en la fase de corriente de cola (en inglés: tail current) del primer transistor de salida.

El documento JP 61199324 A describe un procedimiento para la reducción de las pérdidas de potencia de control en un circuito de transistor. Un primer generador de señal de control controla un primer transistor y un segundo generador de señal de control controla un segundo transistor. Mientras que una señal de salida del primer generador de señal de control se encuentra en un nivel bajo, el segundo generador de señal de control emite una señal de pulso y se conecta el segundo transistor. Cuando el segundo transistor está conectado, un circuito de corriente, que contiene una alimentación de potencia de control, un primer devanado de un transformador y el segundo transistor, se cortocircuita dando lugar al potencial de masa. El primer devanado del transformador se acopla inductivamente a un segundo devanado del transformador. Como consecuencia del cortocircuito del circuito de corriente con el primer devanado, se extrae una carga almacenada de la base de un tercer transistor cuya base está conectada al segundo devanado. De este modo se desconecta el tercer transistor. Un circuito eléctrico pasa a través de un tercer devanado y un diodo, así como un colector y un emisor del primer transistor, acoplándose el tercer devanado inductivamente al segundo devanado y conectándose a través del primer transistor. Sin embargo, todavía no fluye ninguna corriente a través del circuito eléctrico con el tercer devanado.

El documento DE 10 2005 045 099 A1 describe un circuito de desaturación para un IGBT. En este caso se reduce una inundación del elemento constructivo con portadores de carga antes de la desconexión del IGBT. En la introducción de la descripción de la memoria impresa se explica que los IGBT combinan un principio de transistor bipolar con un control sin potencia de un MOSFET. En este caso, para el control del IGBT se conduce una corriente de electrones a través de un canal MOS, provocando la corriente de electrones una inyección de agujeros. De este modo, mediante la inyección es posible aumentar, en el estado conectado del IGBT, la baja conductividad de una capa que absorbe la tensión en varios órdenes de magnitud. Sin embargo, cuando el IGBT se desconecta, es necesario separar este plasma conductor, lo que da lugar inevitablemente a pérdidas de desconexión, dado que durante un aumento de la tensión entre el emisor y el colector del IGBT, sigue fluyendo una corriente de vaciado para la eliminación del plasma del agujero de electrones. Por medio de un ejemplo de realización se muestran las curvas de señal temporales de la corriente de carga, de la tensión colector emisor, de la tensión del emisor de entrada, así como de la corriente de entrada de un IGBT durante la desaturación y la desconexión de una carga inductiva. En este caso, la entrada se descarga con corriente alta. Aquí la tensión de entrada desciende en primer lugar por debajo del nivel Miller, lo que es posible en virtud de los portadores de carga almacenados en el IGBT para el mantenimiento de un flujo constante de corriente de carga. Una inyección brevemente desconectada de los portadores de carga a través del MOSFET en el IGBT da lugar a una rápida desaturación. Una vez transcurrido el tiempo de desaturación, la corriente de carga disminuye a medida que un diodo de rueda libre absorbe gradualmente la corriente de carga. En comparación con otra forma de realización, la corriente de cola se reduce.

El documento DE 40 12 843 A1 describe el control para un tiristor GTO utilizado como interruptor rápido. Para bloquear el GTO se aplica una tensión negativa a la entrada del GTO a través de un interruptor. Cuando el voltaje del cátodo ánodo regresa al final de un intervalo de supresión, se aplica, a través de un interruptor adicional, un voltaje negativo adicional a la entrada del GTO que atraviesa la trayectoria de los cátodos de entrada del GTO.

El documento US 2011/0181261 A1 describe un convertidor de potencia con un circuito de control de una primera bobina, con un primer interruptor controlado electrónicamente que se asigna a la primera bobina y que reacciona al circuito de control. Un segundo interruptor electrónico se dispone de manera que cortocircuite la bobina cuando está cerrado.

El documento US 6,836,414 B1 describe el control de un convertidor CC-CC de medio puente para conmutar al menos uno de los interruptores a 0 V. El sistema de convertidor permite una conmutación suave de todos los interruptores, añadiéndose un ramal adicional con un interruptor y un diodo sobre el lado primario de un transformador de aislamiento.

5 El documento US 5,923,547 describe un convertidor de potencia con un circuito acoplado a un devanado primario de un transformador y con un rectificador acoplado a un devanado secundario del transformador. Un interruptor auxiliar en el lado secundario del transformador genera un circuito para descargar la inductancia de fuga del transformador y poder desconectar más fácilmente el circuito de conmutación con una corriente fundamentalmente 0.

10 Una tarea de la presente invención consiste en proponer un dispositivo de conmutación con un interruptor electrónico, concretamente un IGBT, que se conecta y desconecta de forma repetida y que puede funcionar con pérdidas reducidas. Otra tarea de la presente invención consiste en proponer un procedimiento correspondiente para el funcionamiento del dispositivo de conmutación.

15 La invención se refiere al caso de que el interruptor electrónico, en un estado conectado, permita que pase la corriente eléctrica sólo en una dirección de flujo de corriente, pero no en la dirección de flujo de corriente opuesta. Este es el caso de los interruptores electrónicos bipolares, especialmente los IGBT, pero también de los transistores bipolares (por ejemplo, los transistores npn o pnp).

20 De acuerdo con una idea básica de la presente invención, los portadores de carga restantes en el interruptor electrónico, que es un IGBT, se extraen del mismo mediante la conexión de un interruptor adicional controlable directamente antes, simultáneamente con o después de la desconexión del interruptor electrónico. En especial, se conecta el interruptor adicional controlable, iniciándose así el proceso de extracción de los portadores de carga antes de conectar un segundo interruptor eventualmente existente que, en caso de estar disponible, es absolutamente necesario para el funcionamiento deseado del dispositivo de conmutación (por ejemplo, un segundo IGBT conectado en serie al primer IGBT), y extrayéndose de este modo los portadores de carga del primer interruptor electrónico o pudiéndose recombinar en el interruptor los portadores de carga con carga opuesta. En el caso del circuito de medio puente o del circuito de puente completo antes mencionados, el interruptor adicional se conecta primero y a continuación el otro (segundo) interruptor. El interruptor adicional controlable se dispone en un segundo circuito eléctrico. Especialmente, el interruptor adicional no es necesario para la función deseada del dispositivo de conmutación (por ejemplo, un convertidor de resonancia en serie), sino que se utiliza para sacar los portadores de carga del primer interruptor electrónico (y, opcionalmente, de al menos otro interruptor electrónico necesario para el funcionamiento del dispositivo de separación).

30 Alternativamente, los portadores de carga que quedan en el interruptor electrónico se pueden extraer del mismo mediante la desconexión de un interruptor adicional controlable inmediatamente antes, simultáneamente con o después de la desconexión del interruptor electrónico.

35 En especial, la inductancia por la que pasa la corriente eléctrica con el interruptor electrónico conectado, está acoplada/se acopla magnéticamente a una segunda inductancia. En el caso de esta segunda inductancia no se trata de la inductancia en el lado secundario de un transformador cuando el dispositivo de conmutación se utiliza para transferir la energía del lado primario de un transformador al lado secundario del transformador. Más bien, en el caso de la segunda inductancia se trata de una inductancia adicional que se puede realizar, por ejemplo, mediante un bobinado adicional de una línea eléctrica alrededor del núcleo magnético de la primera inductancia o del transformador. Si (como con un transformador) un núcleo, de todos modos necesario para el funcionamiento del dispositivo de conmutación y, por lo tanto, ya existente (es decir, un cuerpo de un material magnetizable para guiar las líneas de campo magnético en el transformador como, por ejemplo, la ferrita), se utiliza también para el acoplamiento magnético entre el primer y el segundo circuito eléctrico o sólo se modifica para este fin, el esfuerzo adicional para el acoplamiento magnético del segundo circuito eléctrico es particularmente reducido. No es preciso que un núcleo se envuelva con todos los devanados del transformador en el sentido clásico. En general, un núcleo sólo es un componente para el guiado de las líneas de campo magnético.

40 En este caso, el interruptor adicional controlable se prevé de manera que, en su estado conectado, permita un flujo de corriente eléctrica a través de la segunda inductancia, por ejemplo, porque las conexiones opuestas de la segunda inductancia se cortocircuitan como consecuencia de la conexión del interruptor adicional o se conectan a través de al menos otro componente eléctrico y/o electrónico.

50 Sin embargo, en caso de una configuración alternativa, que en especial no presenta la segunda inductancia antes mencionada, el interruptor adicional controlable se prevé de manera que una corriente eléctrica, que extrae los portadores de carga del primer interruptor electrónico, también fluya al menos parcialmente a través del interruptor adicional controlable. Por este motivo, el primer interruptor electrónico y el interruptor adicional controlable se conectan eléctricamente entre sí. Son posibles combinaciones de ambas configuraciones. Por ejemplo, es posible tanto conectar eléctricamente un interruptor adicional controlable al primer interruptor electrónico, como también estar disponible una segunda inductancia a la que se conecta opcionalmente otro interruptor adicional controlable.

60 Por consiguiente, mediante un control adecuado (especialmente la selección de los tiempos de conmutación para la conexión y la desconexión) del interruptor adicional se puede provocar, en un momento apropiado y/o dentro de un período de tiempo adecuado, un flujo de corriente que saca al menos una parte de los portadores de carga que quedan en el primer interruptor electrónico y especialmente que también provoca una corriente a través de la

segunda inductancia. En este caso se aprovecha preferiblemente que, en virtud del acoplamiento magnético de la primera inductancia con la segunda inductancia, existe al menos temporalmente un flujo magnético en la ubicación de la segunda inductancia que provoca un flujo de corriente eléctrica a través de la segunda inductancia después de la conexión del interruptor adicional controlable. No obstante, debido al acoplamiento magnético, este flujo de corriente a través de la segunda inductancia modifica el flujo magnético, induciendo de este modo una corriente eléctrica a través de la primera inductancia que se utiliza para la extracción de los portadores de carga restantes después de la desconexión del primer interruptor electrónico. En este caso resulta preferible que, mediante el control del interruptor adicional y la corriente resultante a través de la primera inductancia, se extraigan por completo los portadores de carga del primer interruptor electrónico desconectado. Sin embargo, la invención también incluye casos en los que esta corriente adicional no extrae completamente los portadores de carga.

Especialmente si el interruptor adicional se conecta antes de la desconexión del primer interruptor electrónico, la conexión se puede realizar, por ejemplo, controlada por tiempo. Esto es especialmente posible si el dispositivo de conmutación (como en el caso de los convertidores de resonancia) se acciona periódicamente, es decir, si el primer interruptor electrónico se conecta y desconecta periódicamente. Por ejemplo, la corriente a través del primer interruptor electrónico tiene, en este caso, una curva de tiempo senoidal. Especialmente durante el funcionamiento periódico se determina de antemano cuándo la corriente a través del primer interruptor electrónico es sólo de un 10% (u otro porcentaje) de su máximo una vez alcanzado su máximo. En especial, el momento para la conexión del interruptor adicional, en caso de estar disponible un generador de ciclos (el así llamado Clock), se puede preestablecer mediante el número de ciclos desde la conexión anterior del primer interruptor electrónico. No obstante, alternativa o adicionalmente, la corriente se puede medir a través del primer interruptor electrónico y al alcanzar un valor preestablecido (que es, por ejemplo, de un 10% o menos que el valor máximo anterior de la corriente), el interruptor adicional se puede conectar. Si el interruptor adicional debe conectarse después de la desconexión del primer interruptor electrónico, esto se puede determinar especialmente a través de un retardo (es decir, un intervalo de tiempo de retardo preestablecido) mediante el cual el interruptor adicional se conecta con retardo después de la desconexión del primer interruptor electrónico. Un circuito de retardo correspondiente representa el estado de la técnica y se puede realizar, por ejemplo, por medio de un FPGA (Field Programmable Gate Array).

En una variante del procedimiento descrito anteriormente o en una variante del dispositivo de conmutación, una tensión adicional que desciende a través de la segunda inductancia se puede utilizar para conducir la corriente a través de la segunda inductancia o para conducir la corriente a través de la segunda inductancia junto con el flujo magnético mencionado del acoplamiento magnético. Sin embargo, no se prefiere el uso de una tensión adicional, dado que significa el uso de energía adicional. No obstante, en este caso se trata de una posibilidad de inducir un flujo de corriente a través de la primera inductancia sin intervenir directamente en el circuito eléctrico en el que se disponen el primer interruptor electrónico y la primera inductancia.

En especial, el primer interruptor electrónico sólo se desconecta cuando su corriente de carga (por ejemplo, la corriente de colector emisor de un IGBT) es baja o nula. Especialmente, la corriente de carga es baja si es inferior a un 10%, preferiblemente inferior a un 5% y, en particular, inferior a un 2% de un valor máximo de corriente que la corriente de carga ha alcanzado previamente, disminuyendo la corriente de carga de forma continua después de dejar el valor máximo hasta que se desconecta el primer interruptor electrónico. Una disminución continua como ésta de la corriente de carga se puede observar, por ejemplo, en cada ciclo de un proceso de repetición cíclica de un dispositivo de conmutación que contiene el primer interruptor electrónico como elemento de conmutación activo, por ejemplo, en caso de convertidores de potencia de conmutación cíclica. La invención se refiere, en particular, a unos convertidores de potencia de este tipo y a los procedimientos de funcionamiento correspondientes. Especialmente, el interruptor adicional sólo se desconecta cuando la corriente de carga es, en este sentido, baja o nula.

Por ejemplo, en un convertidor de resonancia en serie, cuyo funcionamiento se explica más detalladamente por medio de las figuras, la conexión y desconexión de preferiblemente todos los interruptores controlables (en particular del primer interruptor electrónico y del interruptor adicional) se pueden realizar en especial repitiendo periódicamente patrones de pulsos (los pulsos son las señales de control para activar la conexión o desconexión). El patrón de pulsos respectivo que se utiliza para el funcionamiento de un dispositivo de conmutación determina la secuencia temporal de los procesos de conmutación.

Las pérdidas de conmutación se reducen mediante la desconexión del primer interruptor electrónico con corriente de carga reducida. Sin embargo, a diferencia de la así llamada desconexión dura con una corriente de carga elevada, se produce el problema antes mencionado de los portadores de carga que quedan en el primer interruptor electrónico y que también dan lugar a pérdidas de conmutación si, por ejemplo, se conecta un segundo interruptor electrónico, necesario para el funcionamiento del dispositivo de conmutación, a fin de, por ejemplo, invertir o aumentar de nuevo la corriente a través de la primera inductancia. Mediante la conexión del interruptor adicional se extraen los portadores de carga y, por lo tanto, se reducen aún más las pérdidas de conmutación.

También resulta preferible que el interruptor adicional sólo se conecte cuando la corriente de carga ya no fluye a través del primer interruptor electrónico y el primer interruptor electrónico está desconectado. Sin embargo, esto no es absolutamente necesario. Por ejemplo, el interruptor adicional también se puede conectar poco antes de la desconexión del primer interruptor electrónico, especialmente porque en primer lugar el flujo de corriente a través de la segunda inductancia sólo fluye a intensidades de corriente reducidas debido al efecto de la autoinducción.

Así se considera también en el caso de que un segundo interruptor electrónico, conectado en serie al primer interruptor electrónico, se conecte después de un período de espera desde la desconexión del primer interruptor electrónico. Preferiblemente, el interruptor adicional se desconecta de nuevo antes de la conexión del segundo interruptor electrónico. Especialmente si los portadores de carga restantes en el primer interruptor electrónico ya se han extraído por completo, el interruptor adicional también se puede desconectar poco después de la conexión del segundo interruptor electrónico.

Si en los párrafos anteriores se habla de la desconexión del primer interruptor electrónico, se entiende el proceso de control correspondiente del interruptor. En el caso de un IGBT, para el control del interruptor se modifica el estado de carga de la entrada, es decir, fluye una corriente de entrada eléctrica. Por el momento de desconexión se entiende el momento en el que comienza el proceso de control, por ejemplo, porque un circuito de excitación que ejecuta el proceso de control ha recibido una señal de conmutación de un control de orden superior. Especialmente, el proceso de control comienza, por consiguiente, con la recepción de la señal de conmutación (por ejemplo, el pulso del patrón de pulsos).

La invención tiene la ventaja de que los portadores de carga restantes como consecuencia del control adecuado del interruptor adicional después de la desconexión del primer interruptor electrónico se pueden extraer del mismo sin que una tensión eléctrica alta descienda durante la extracción de los portadores de carga por encima del primer interruptor electrónico. Como se mencionó anteriormente, una tensión eléctrica alta caería por encima del primer interruptor electrónico si se conecta un segundo interruptor electrónico conectado en serie. Especialmente en los procesos de conmutación de frecuencia media (algunos kHz), el tiempo de conexión del interruptor adicional puede ser siempre el mismo después de la desconexión del primer interruptor electrónico o en parte antes y en parte después de la desconexión del primer interruptor electrónico. Alternativamente, este período de tiempo puede variar, siendo en este caso el período de tiempo preferiblemente más largo si una cantidad de portadores de carga más grande debe extraerse del primer interruptor electrónico. Pero incluso con un período de tiempo constante, pueden extraerse del primer interruptor electrónico diferentes cantidades de portadores de carga restantes sin generar pérdidas adicionales significativas, como sería el caso con una corriente magnetizante alta.

En el caso de la segunda inductancia, el motivo consiste en que el flujo de corriente a través de la segunda inductancia no da lugar a una tensión comparativamente alta a través del primer interruptor electrónico, como sería el caso después de la conexión de un segundo interruptor electrónico conectado en serie. Si el interruptor adicional controlable permanece conectado porque aún no se ha alcanzado el tiempo de conexión y los portadores de carga restantes en el primer interruptor electrónico ya se han extraído, en el mismo está presente una tensión y la corriente de vaciado deja de fluir automáticamente. Alternativa o adicionalmente, se puede seleccionar siempre el mismo tiempo para la conexión del interruptor adicional con respecto al tiempo de desconexión del primer interruptor electrónico.

En especial, se propone lo siguiente: un dispositivo de conmutación que presenta:

- un primer interruptor electrónico que en el estado conectado del interruptor electrónico (T_1) sólo permite el paso de la corriente eléctrica en una dirección de flujo de corriente, pero no en la dirección de flujo de corriente opuesta, en particular un IGBT,
- opcionalmente una primera inductancia,
- al menos partes de un primer circuito eléctrico en el que, durante el funcionamiento del dispositivo con el primer interruptor electrónico conectado, una corriente eléctrica fluye a través del primer interruptor electrónico y, en particular, también a través de la primera inductancia,
- un primer control para la conexión y desconexión del primer interruptor electrónico, configurándose el primer control para conectar y desconectar repetidamente el primer interruptor electrónico,
- un interruptor adicional controlable que se puede controlar mediante el primer control o mediante un segundo control adicional,

configurándose el primer control y el control del interruptor adicional de manera que el primer interruptor electrónico en especial sólo se desconecte y el interruptor adicional en particular sólo se conecte cuando la corriente de carga a través del primer interruptor electrónico sea inferior a un 10% de un valor máximo de corriente que la corriente de carga ha alcanzado previamente, habiendo disminuido de forma continua la corriente de carga después de dejar el valor máximo de corriente,

y extrayéndose mediante la conexión del interruptor adicional los portadores de carga que quedan en el primer interruptor electrónico después de su desconexión.

El dispositivo de conmutación presenta preferiblemente:

- una segunda inductancia acoplada magnéticamente a la primera inductancia,
- un segundo circuito eléctrico en el que se dispone la segunda inductancia, y

disponiéndose el interruptor adicional en el segundo circuito eléctrico, de manera que mediante la conexión del interruptor adicional y mediante el acoplamiento magnético de la segunda inductancia a la primera inductancia fluya una corriente que extraiga los portadores de carga que quedan en el primer interruptor electrónico.

5 Especialmente, el interruptor adicional (y por lo tanto el segundo circuito eléctrico) se conecta durante intervalos de tiempo en los que el primer interruptor electrónico está desconectado.

En particular, el interruptor adicional se puede conectar al mismo tiempo que se desconecta el interruptor principal. Sin embargo, esto no es absolutamente necesario. En función del tipo de interruptor adicional, también se puede conectar antes de la desconexión del interruptor principal. Además, el interruptor adicional se puede conectar después de la desconexión del interruptor principal.

10 En especial, el segundo circuito eléctrico se puede aislar eléctricamente del primer circuito eléctrico. No obstante, esto no es absolutamente necesario. Por lo tanto, la segunda inductancia se puede suprimir. En este caso, la primera inductancia no es necesaria para el acoplamiento magnético a la segunda inductancia.

15 Por otra parte, la invención también incluye un dispositivo de accionamiento para un vehículo, especialmente un vehículo ferroviario, presentando el dispositivo de accionamiento el dispositivo de conmutación en una de sus configuraciones y pudiendo conectarse eléctrica o magnéticamente a una red de alimentación eléctrica a través de una conexión por el lado de alimentación, conectándose el dispositivo de conmutación con el primer circuito eléctrico a la conexión por el lado de alimentación y conectándose magnéticamente una conexión por el lado del motor del dispositivo de conmutación a la primera inductancia, de manera que durante el funcionamiento del vehículo se pueda transmitir la energía desde la conexión por el lado de alimentación a un motor de accionamiento del vehículo a través de la primera inductancia y de la conexión por el lado del motor.

20 También forma parte de la invención un dispositivo de generador para la transmisión de energía eléctrica generada por un generador eléctrico, especialmente un generador accionado por viento, presentando el dispositivo de generador el dispositivo de conmutación en una de sus configuraciones y pudiéndose conectar al generador a través de una conexión por el lado del generador, conectándose el dispositivo de conmutación con el primer circuito eléctrico a la conexión por el lado del generador y conectándose magnéticamente a la primera inductancia una conexión por el lado de alimentación del dispositivo de conmutación para la conexión a una red de alimentación eléctrica, de manera que durante el funcionamiento del generador se pueda transmitir la energía desde la conexión por el lado del generador a la red de alimentación eléctrica a través de la primera inductancia mediante la conexión por el lado de alimentación.

25 La presente invención incluye además un convertidor de resonancia en serie que presenta el dispositivo de conmutación en una de sus configuraciones, utilizándose la primera inductancia para el acoplamiento magnético del lado primario y del lado secundario del convertidor. Especialmente en el caso del convertidor de resonancia en serie se puede tratar de un convertidor que funciona en la gama de media tensión como se describe en la publicación "A Bidirectional Isolated DC/DC Converter as a Core Circuit of the Next-Generation Medium-Voltage Power Conversion System" de S. Inoue. y H. Akagi, publicada en la Conferencia de Especialistas en Electrónica de Potencia, 2006 (por ejemplo, por medio de la figura 3 (b) de la publicación).

30 Se propone además un procedimiento para el funcionamiento de un dispositivo de conmutación (y especialmente también del dispositivo de funcionamiento o del dispositivo de generador) que presenta los siguientes elementos:

35 - un primer interruptor electrónico que en el estado conectado del interruptor electrónico (T_1) sólo permite el paso de la corriente eléctrica en una dirección de flujo de corriente, pero no en la dirección de flujo de corriente opuesta, en especial un IGBT,

- opcionalmente una primera inductancia,

40 - al menos partes de un primer circuito eléctrico en el que se disponen el primer interruptor electrónico y (si existe) la primera inductancia,

45 conectándose y desconectándose de forma repetida el primer interruptor electrónico y fluyendo así, con el primer interruptor electrónico conectado, una corriente eléctrica a través del primer interruptor electrónico y especialmente también a través de la primera inductancia. En especial, el primer interruptor electrónico sólo se desconecta y un interruptor adicional especialmente sólo se conecta cuando la corriente de carga a través del primer interruptor electrónico es inferior a un 10% de un valor máximo de corriente que la corriente de carga ha alcanzado previamente, habiendo disminuido de forma continua la corriente de carga después de dejar el valor máximo de corriente. Además mediante la conexión del interruptor adicional después de la desconexión del primer interruptor electrónico se extraen los portadores de carga que quedan en el mismo.

50 La primera inductancia puede funcionar acoplada magnéticamente a una segunda inductancia, disponiéndose la segunda inductancia en un segundo circuito eléctrico que, por ejemplo, puede estar aislado eléctricamente del primer circuito eléctrico. Mediante la conexión del interruptor adicional y mediante el acoplamiento magnético de la segunda inductancia a la primera inductancia, fluye una corriente que extrae los portadores de carga que quedan en el primer interruptor electrónico, pudiéndose generar especialmente mediante la conexión de al menos un interruptor adicional un flujo de corriente durante los intervalos de tiempo en los que se desconecta el primer interruptor electrónico, a fin de extraer los portadores de carga del mismo.

Como se ha mencionado antes, el intervalo de conexión durante el cual se conecta el interruptor adicional se puede iniciar opcionalmente antes del intervalo de tiempo respectivo en el que se desconecta el primer interruptor electrónico.

5 Especialmente el primer control, que sirve para la conexión y la desconexión del primer interruptor electrónico, puede ser bien el control del interruptor adicional o bien conectarse a un segundo control que es el control del interruptor adicional. Si hay dos controles, éstos se conectan preferiblemente entre sí de manera que se pueda coordinar la sincronización de los procesos de control ejecutados por los controles (en particular la salida de las señales a los interruptores a conmutar y, por lo tanto, la determinación de los tiempos de conmutación). En especial, el primer control puede transmitir de este modo al segundo control la información de que se ha desconectado y/o
10 cuándo se ha desconectado el primer interruptor electrónico o de que se ha emitido la señal correspondiente. Utilizando esta información, el segundo control puede determinar que y/o cuándo se conecta el interruptor adicional. En particular, el interruptor adicional se puede conectar al mismo tiempo que se desconecta el primer interruptor electrónico, en su caso, con un ligero retardo debido al intervalo de tiempo necesario para la transmisión de información del primer control al segundo control y a la ejecución del proceso de control correspondiente a través del segundo control. Si el interruptor adicional está controlado por el primer control, se aplica lo mismo que se describió anteriormente. Simplemente ya no es necesario que el primer control emita una señal a un segundo control. Por ejemplo, la lógica de control del primer y/o del segundo control se puede ejecutar a través del software de un ordenador apropiado. En este caso, el software genera, por ejemplo al mismo tiempo, el comando para la desconexión del primer interruptor electrónico y el comando para la conexión del interruptor adicional. Para la desconexión del interruptor adicional se puede tener en cuenta, por ejemplo, un intervalo de tiempo fijo preestablecido que transcurre entre la conexión del interruptor adicional y la desconexión del interruptor adicional. En caso de un software de control, se mide el tiempo transcurrido desde la conexión del interruptor adicional (por ejemplo, contando el número de ciclos de trabajo del ordenador) y en un momento correspondiente se emite la orden para la desconexión del interruptor adicional.

25 En el caso de la primera inductancia se puede tratar especialmente de la inductancia en el lado primario de un transformador, utilizándose en el segundo circuito eléctrico el núcleo magnético del transformador preferiblemente también para el acoplamiento magnético entre la primera inductancia y (si existe) la segunda inductancia. Por este motivo, el dispositivo de conmutación presenta un transformador, formando la primera inductancia parte del transformador en un lado primario del transformador. Esto no excluye que por el lado primario del transformador haya otra inductancia en otro circuito eléctrico separado del primer circuito eléctrico.

30 Además de las conexiones eléctricas necesarias, el primer circuito eléctrico incluye el primer interruptor electrónico y opcionalmente también la primera inductancia. Si el interruptor electrónico está conectado, una corriente fluye tanto a través del primer interruptor electrónico, como también a través de la primera inductancia. Por otra parte, el primer circuito eléctrico puede presentar al menos un condensador conectado en serie a la primera inductancia, de manera que la primera inductancia y el al menos un condensador formen un circuito resonante en serie. Este es el caso, por ejemplo, de un así llamado convertidor de resonancia en serie. Además puede haber al menos un condensador conectado entre los diferentes potenciales eléctricos de una tensión continua aplicada al lado primario del dispositivo de conmutación que provoca el flujo de corriente a través del primer interruptor electrónico y de la primera inductancia. La fuente de tensión correspondiente pertenece al primer circuito eléctrico, pero no necesariamente al dispositivo de conmutación según la invención.

35 El dispositivo de conmutación presenta preferiblemente un segundo interruptor electrónico que se conecta a través de una conexión eléctricamente conductora al primer interruptor electrónico formando una primera conexión en serie, pudiéndose conectar eléctricamente una primera conexión de la primera inductancia a la conexión eléctricamente conductora de la primera conexión en serie y configurándose el primer control o el segundo control adicional para la conexión y la desconexión del interruptor adicional, de manera que el interruptor adicional (y, por consiguiente, opcionalmente también el segundo circuito eléctrico) se conecte durante intervalos de tiempo en los que se desconecta tanto el primer interruptor electrónico, como también el segundo interruptor electrónico.

40 Según un procedimiento correspondiente, el primer interruptor electrónico y un segundo interruptor electrónico del dispositivo de conmutación, que se conecta mediante una conexión eléctricamente conductora al primer interruptor electrónico formando una primera conexión en serie, se conectan y desconectan alternativamente, de manera que, respectivamente al conectar un interruptor, una corriente eléctrica pueda fluir a través de la primera inductancia conectada de forma opcional eléctricamente a la conexión eléctricamente conductora de la primera conexión en serie, y generándose, mediante la conexión y desconexión de al menos un interruptor adicional en el segundo circuito eléctrico, un flujo de corriente durante intervalos de tiempo en los que se desconecta tanto el primer interruptor electrónico, como también el segundo interruptor electrónico.

45 El período de tiempo entre la desconexión del primer interruptor electrónico y la conexión del segundo interruptor electrónico ya se ha descrito anteriormente como tiempo de espera. Normalmente, este tiempo de espera ya se cumple, dado que debe excluirse de forma segura que los dos interruptores electrónicos se conecten al mismo tiempo. El dispositivo de conmutación se diseña preferiblemente (en particular, gracias a una configuración correspondiente del acoplamiento magnético entre la primera inductancia y la segunda inductancia mediante la sección adecuada de la segunda inductancia y mediante un control correspondiente del interruptor adicional) de manera que los portadores de carga que permanecen en el primer interruptor electrónico después de la desconexión
60

se extraigan por completo durante el tiempo de espera. Pero incluso si los portadores de carga no se extraen por completo, las pérdidas eléctricas se reducen en comparación con las soluciones conocidas. Los portadores de carga restantes aún presentes en el primer interruptor electrónico después de la conexión del segundo interruptor electrónico, se extraen en virtud de la tensión eléctrica que se genera a través del primer interruptor electrónico.

5 En el caso de la conexión en serie con los dos interruptores electrónicos conectados entre sí a través de la conexión eléctricamente conductora, en los extremos opuestos de la conexión en serie se encuentra normalmente la tensión continua que impulsa el flujo de corriente a través del interruptor electrónico respectivamente conectado y a través de la primera inductancia opcional. Más adelante se tratarán los ejemplos de realización. Como es habitual, a cada uno de los interruptores electrónicos se puede conectar en antiparalelo un diodo de rueda libre.

10 Por ejemplo, el interruptor adicional es un IGBT, un MOSFET (Metal-Oxido-Semiconductor Field-Effect Transistor) o un tiristor.

Esta es una posibilidad de utilizar el dispositivo de conmutación para extraer los portadores de carga del segundo interruptor electrónico, incluso después de la desconexión del segundo interruptor electrónico conectado en serie al primer interruptor electrónico (véase arriba). Otra posibilidad consistiría en prever un tercer circuito eléctrico adicional que presente otro interruptor adicional y, por ejemplo, otra inductancia acoplada magnéticamente a la primera inductancia, estando el circuito eléctrico adicional de forma opcional aislado eléctricamente del primer circuito eléctrico. Otra posibilidad consiste en controlar una dirección del flujo de corriente en el segundo circuito eléctrico en dependencia de si una corriente ha pasado previamente a través del primer o del segundo interruptor electrónico. A esto corresponde un dispositivo de conmutación en el que el segundo circuito eléctrico presenta un primer y un segundo interruptor adicional, permitiendo el primer interruptor adicional en su estado conectado un flujo de corriente a través del segundo circuito eléctrico en una primera dirección y permitiendo el segundo interruptor adicional en su estado conectado un flujo de corriente a través del segundo circuito eléctrico en la dirección opuesta. Todas las soluciones posibles se basan en el problema de que durante el funcionamiento de la conexión en serie con los dos interruptores electrónicos conectados en serie, el flujo de corriente fluye a través del primer circuito eléctrico en una dirección con el primer interruptor electrónico conectado y en la dirección opuesta con el segundo interruptor electrónico conectado. Por consiguiente, al extraer los portadores de carga que quedan en los interruptores electrónicos, la corriente correspondiente fluiría a través de la segunda inductancia en la dirección opuesta. En caso de uso de interruptores direccionales, al utilizar el segundo circuito eléctrico para vaciar ambos interruptores electrónicos, al menos el flujo de corriente a través de una parte del segundo circuito eléctrico debe modificarse dependiendo del interruptor electrónico a vaciar de portadores de carga.

A continuación se describen ejemplos de realización de la invención haciéndose referencia al dibujo adjunto. Las distintas figuras del dibujo muestran:

Figura 1 un dispositivo de conmutación representado de forma simplificada con dos interruptores electrónicos conectados en serie, aplicándose a las conexiones opuestas de la conexión en serie una tensión continua, conectándose eléctricamente una inductancia a una conexión entre los interruptores electrónicos conectados en serie y correspondiendo el dispositivo de conmutación al estado de la técnica,

Figura 2 un diagrama en función del tiempo que muestra el desarrollo temporal de distintas magnitudes eléctricas del dispositivo de conmutación según la figura 1 y que también corresponde al estado de la técnica,

Figura 3 un dispositivo de conmutación según el estado de la técnica similar al de la figura 1, representándose sin embargo, en lugar de la primera inductancia, una red externa con una inductancia y una capacitancia, por ejemplo, un circuito de resonancia en serie,

Figura 4 un diagrama en función del tiempo que muestra el desarrollo temporal de distintas magnitudes eléctricas del dispositivo de conmutación según la figura 3 y que también corresponde al estado de la técnica,

Figura 5 un ejemplo de realización concreto del dispositivo de conmutación representado de forma simplificada en la figura 3 según el estado de la técnica,

Figura 6 una variante del dispositivo de conmutación representado en la figura 5 según el estado de la técnica en la que se conecta una inductancia entre los puntos de conexión del puente completo,

Figura 7 otro dispositivo de conmutación según el estado de la técnica, concretamente un convertidor de resonancia en serie con un convertidor CC/CC con puentes completos a ambos lados del transformador,

Figura 8 un dispositivo de conmutación según la invención similar a los convertidores de resonancia en serie representados en la figura 5 y en la figura 6,

Figura 9 un diagrama similar al de la figura 4, utilizándose no obstante el dispositivo de conmutación según la invención y representándose esquemáticamente el desarrollo temporal,

Figura 10 otro dispositivo de conmutación según la invención, concretamente un convertidor de resonancia en serie, realizándose el dispositivo de conmutación según la invención, a diferencia del dispositivo de conmutación en la figura 8, como un segundo circuito eléctrico separado que se conecta a través de inductancias acopladas magnéticamente,

Figura 11 otro dispositivo de conmutación, concretamente un convertidor CC/CC con puentes completos a ambos lados del transformador, previéndose también el segundo circuito eléctrico separado con la segunda inductancia y el interruptor adicional,

5 Figura 12 otro dispositivo de conmutación, concretamente un convertidor CC/CC con medios puentes a ambos lados del transformador, previéndose también el segundo circuito eléctrico separado con la segunda inductancia y el interruptor adicional,

Figura 13 un primer estado de funcionamiento del dispositivo de conmutación representado en la figura 12, mientras que el primer interruptor electrónico está conectado,

10 Figura 14 un segundo estado de funcionamiento del dispositivo de conmutación representado en la figura 12 y en la figura 13 después de la desconexión del primer interruptor electrónico y después de la conexión del interruptor adicional en el segundo circuito eléctrico,

15 Figura 15 resultados de medición de magnitudes eléctricas en el período de tiempo de un proceso de conmutación en un convertidor de resonancia en serie de acuerdo con las figuras 12-14 cuando el interruptor adicional no se activa y permanece abierto de forma permanente, correspondiendo el funcionamiento, por consiguiente, al estado de la técnica,

Figura 16 resultados de medición de magnitudes eléctricas en el período de tiempo de un proceso de conmutación en un convertidor de resonancia en serie de acuerdo con las figuras 12-14 cuando el interruptor adicional se activa para extraer los portadores de carga del interruptor desconectado,

20 Figuras 17-22 representaciones esquemáticas de configuraciones del segundo circuito eléctrico o al menos de partes del mismo, y

Figura 23 el diagrama de conexión eléctrica de un dispositivo de suministro de energía para un vehículo ferroviario, conectándose el dispositivo a una red de alimentación de energía y a un circuito intermedio de tensión continua con un convertidor de potencia de tracción conectado al mismo.

25 La figura 1 muestra un dispositivo de conmutación 1 según el estado de la técnica. Un primer interruptor electrónico T_1 y un segundo interruptor electrónico T_2 se conectan en serie entre sí a través de una conexión de línea eléctrica 6. Las conexiones 8, 9 a los extremos opuestos de la conexión en serie se conectan a las conexiones eléctricas 10 u 11 del dispositivo de conmutación a las que se aplica una tensión continua durante el funcionamiento del dispositivo de conmutación 1. Un condensador 5 se conecta entre las conexiones 10, 11 para la filtración de eventuales fluctuaciones de tensión.

30 Una primera inductancia 3 se conecta al punto de conexión 7 de la conexión de línea 6 entre el primer interruptor electrónico T_1 y el segundo interruptor electrónico T_2 . Además se conecta en antiparalelo a los interruptores electrónicos T respectivamente un diodo de rueda libre D_1, D_2 .

A diferencia de la representación de la figura 1 (y también a diferencia de la representación de la figura 3) se puede suprimir el segundo interruptor electrónico T_2 . Sólo queda el diodo de rueda libre D_2 .

35 Durante el funcionamiento del dispositivo de conmutación 1, los interruptores electrónicos T se conectan alternativamente, es decir, el interruptor se desconecta antes de la conexión del otro interruptor electrónico T . Entre la desconexión de un interruptor y la conexión del otro interruptor hay un tiempo de espera Δt para que no se produzca ningún cortocircuito entre las conexiones 10, 11.

40 En muchos casos la inductancia 3 es alta, de manera que, en el momento de la desconexión del respectivo interruptor T , se mantenga en principio la corriente que fluye a través del interruptor T . Este es el caso en la gran mayoría de las aplicaciones en las que los IGBT se utilizan como interruptores, denominándose "conmutación dura". Mientras que la tensión del colector emisor aumenta después de la desconexión, una corriente continúa fluyendo a través del IGBT. Sólo cuando se alcanza una tensión mínima, el diodo inverso (diodo de rueda libre) del otro interruptor asume la corriente y la corriente a través del interruptor desconectado disminuye, mientras que la tensión que cae a través del interruptor desconectado ya ha alcanzado un valor alto y estacionario.

45 Si el dispositivo de conmutación 1 funciona de este modo, la corriente eléctrica $i_{C,T1}$, así como la tensión eléctrica $u_{CE, T1}$, que desciende a través del primer interruptor electrónico T_1 , muestran, en el ejemplo de un proceso de conmutación del primer interruptor electrónico T_1 , el desarrollo que se muestra en la figura 2. En la parte superior de la figura 2 se representa el desarrollo temporal de la corriente $i_{C, T1}$ a través del primer interruptor electrónico T_1 . En la parte inferior de la figura 2 se representa el desarrollo de la tensión $u_{CE, T1}$. Al principio del rango de tiempo representado en la figura 2, el primer interruptor electrónico T_1 se encuentra en su estado conectado. En el momento t_1 , el primer interruptor T_1 se desconecta. La tensión eléctrica $u_{CE, T1}$ aumenta y la primera inductancia 3 mantiene al principio la corriente a través del primer interruptor T_1 hasta que baja y la tensión vuelve a disminuir ligeramente. A continuación, la corriente desciende más lentamente hasta alcanzar el valor de cero en el momento t_2 . Durante el intervalo de tiempo t_v entre los momentos t_1 y t_2 , se producen pérdidas de conmutación considerables, dado que durante la aplicación de una tensión eléctrica al primer interruptor, fluye a través del mismo una corriente alta que en principio aún permanece inalterada. La potencia perdida se calcula a partir del producto de la tensión y de la corriente. La energía perdida se calcula mediante la integración a lo largo del tiempo. El ejemplo anterior se refiere a

un solo proceso de conmutación. Más adelante, en la descripción de configuraciones según la invención, se tratan los procesos de conmutación que se repiten periódicamente, en especial en la gama de frecuencia media.

El dispositivo de conmutación representado en la figura 3 se diferencia del dispositivo de conmutación representado en la figura 1 en que la primera inductancia 3 se sustituye por una red externa como circuito de resonancia en serie con una capacitancia 2a y con una inductancia 2b.

Al contrario que en la figura 1, los IGBT T_1 y T_2 ya no funcionan en un modo de conmutación dura. Por medio de la red externa 2 se garantiza que la corriente a través del IGBT a desconectar sea de cero o casi de cero en un momento determinado durante el funcionamiento del dispositivo de conmutación. De forma similar a la figura 2, en la figura 4 se representa la corriente a través del interruptor T_1 y la caída de tensión a través del interruptor. En el momento $t = 7 \mu\text{s}$, la corriente desaparece y el interruptor T_1 recibe en ese momento una señal de desconexión, es decir, su tensión del emisor de entrada desciende por debajo del umbral de conexión, normalmente hasta $-15 \dots 0 \text{ V}$. Dado que en este momento la corriente no fluye a través del IGBT, no se produce ninguna conmutación dura. Sin embargo, en este momento no se genera ninguna tensión de colector emisor, dado que directamente después de recibir la orden de desconexión, el IGBT sigue inundado de portadores de carga que forman un canal conductor entre la conexión del colector y del emisor. Esto representa una diferencia entre los interruptores de semiconductores bipolares y otros interruptores de semiconductores como, por ejemplo, los MOSFET, en los que después de recibir la orden de desconexión, es decir, después de que la tensión de fuente de entrada haya descendido a valores por debajo del umbral de conexión, ya no existen portadores de carga libres que puedan formar un canal conductor. No obstante, si ahora se conecta el segundo interruptor T_2 , los portadores de carga libres pueden salir del primer interruptor T_1 y se genera una tensión $U_{CE,T1}$ por encima del primer interruptor T_1 . Sin embargo, este proceso también resulta deficiente en el intervalo de tiempo de pérdida T_V entre los momentos t_3 y t_4 , dado que una corriente eléctrica fluye desde el primer interruptor, mientras la tensión se genera por encima del interruptor. No obstante, las pérdidas son menores que en el caso de la conmutación dura.

La figura 5 muestra una realización posible del dispositivo de conmutación representado de forma abstracta en la figura 3. Se representa un convertidor de resonancia en serie en el que la energía se transfiere desde la primera capacitancia 5a (a la izquierda en la figura) a una segunda capacitancia 5b (a la derecha en la figura). A la izquierda se representa un circuito de puente completo en el que el punto de conexión 7a entre el interruptor T_7 y el interruptor T_8 está conectado a un rectificador activo 20 a través de la red 2. Además, el punto de conexión 7 entre el primer interruptor T_1 y el segundo interruptor T_2 se conecta directamente a una segunda conexión del rectificador 20. La segunda capacitancia 5b se conecta al lado de tensión continua del rectificador 20. El rectificador 20 también se puede realizar como un rectificador activo, con lo que es posible transferir energía de la segunda (5b) a la primera (5a) capacitancia.

El dispositivo de conmutación representado en la figura 6 se diferencia del representado en la figura 5 por una inductancia adicional 3 que se conecta entre los puntos de conexión 7, 7a del puente completo. El dispositivo de conmutación representa a su vez un convertidor de resonancia en serie. A través de la inductancia adicional fluye una corriente reactiva que, después de la desconexión de un par IGBT del puente completo, cuyos interruptores están conectados en serie, extrae los portadores de carga libres del interruptor del par desconectado en último lugar. De este modo se reduce la corriente $i_{C,T1}$ que fluye durante el tiempo T_V en la figura 4. A pesar de que la corriente reactiva adicional causa pérdidas adicionales, este efecto reduce las pérdidas totales. La adición de esta inductancia 3 corresponde al estado de la técnica y se describe, por ejemplo, en la publicación "High voltage IGBTs and medium frequency transformer in DC-DC converters for railway applications" de Weigel, J., Nagel, A. y Hoffmann, H., publicada en la conferencia de 2010 International Symposium on Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion (SPEEDAM). En este caso, la inductancia 3 corresponde a la inductancia L_{adj} mostrada en la publicación de la figura 5.

Sin embargo, el inconveniente de esta solución consiste en que la corriente regulada a través de la inductancia 3 no se puede ajustar durante el funcionamiento y, por lo tanto, sólo se puede diseñar de forma óptima para un punto de funcionamiento. Si la inductancia 3 se selecciona demasiado alta y la corriente a través de la inductancia 3 se selecciona demasiado baja, se sigue produciendo (aunque en una menor medida) un comportamiento como el que se muestra en la figura 4. Si la inductancia 3 se selecciona demasiado baja y la corriente a través de la inductancia 3 se selecciona demasiado alta, se produce una conmutación dura de acuerdo con el comportamiento representado en la figura 2, incluso si la corriente en el momento de la desconexión del interruptor es significativamente menor que en la figura 2.

La figura 7 muestra un dispositivo de conmutación en el que se trata de un convertidor de resonancia en serie, concretamente un convertidor CC/CC. En el lado primario y en el lado secundario del transformador 29 está disponible respectivamente un puente completo con dos ramales de puente paralelos, presentando cada ramal de puente una conexión en serie que consiste en dos interruptores electrónicos T. A su vez, los elementos idénticos se identifican con las mismas referencias que en las figuras anteriores.

Por el lado primario del transformador 29, un condensador 31 se conecta en serie a la primera inductancia 3 del transformador y por el lado secundario del transformador 29 se conecta en serie un condensador 32 a la inductancia 33. En el estado de funcionamiento, antes del período de tiempo de la desconexión del primer interruptor T_1 , no sólo se conecta el primer interruptor electrónico T_1 , sino también el otro interruptor electrónico T_8 correspondiente del segundo ramal de puente en el lado primario del transformador 29. En este caso, la corriente fluye de la conexión 11

a la conexión 10 a través del otro interruptor electrónico T_8 , del punto de conexión 37, del condensador 31 de arriba a abajo por la primera inductancia 3, del punto de conexión 7 y del primer interruptor electrónico T_1 . Después de la desconexión de estos dos interruptores T_1 y T_8 y antes de la conexión de los interruptores T_2 y T_7 , los portadores de carga libres permanecen tanto en el primer interruptor electrónico T_1 , como también en el otro interruptor electrónico T_8 , lo que da lugar a pérdidas de conmutación como se ha descrito antes.

En el dispositivo de conmutación de la figura 7, la inductancia de fuga del transformador (formada por los elementos 3, 29 y 33) corresponde a la inductancia 2b de los circuitos de resonancia de las figuras 6, 5 y 3 anteriores. En este caso, la inductancia del campo principal del transformador corresponde a la inductancia 3 representada en las figuras anteriores. Además de la integración de los elementos constructivos, esta realización tiene la ventaja adicional de la separación de potencial. Se representa una variante bidireccional en la que la energía puede fluir tanto del condensador 5 al condensador 35, como también del condensador 32 al condensador 31.

La figura 8 muestra un dispositivo de conmutación 71 similar al del la figura 5, previéndose no obstante un segundo circuito eléctrico adicional 14 que presenta un interruptor adicional 15. El funcionamiento de este dispositivo se explica a continuación por medio de la figura 9 que representa de forma simplificada el desarrollo temporal de las magnitudes eléctricas. En este caso, para un ejemplo de realización del funcionamiento del dispositivo de conmutación se representan, aunque de forma esquemática, los desarrollos temporales de las corrientes eléctricas $i_{C,T1}$ e $i_{C,T2}$ a través de los interruptores T_1 , T_2 , y la tensión eléctrica de colector emisor $U_{CE,T1}$ que desciende a través del primer interruptor T_1 . Especialmente, el desarrollo de la corriente $i_{C,T1}$ entre los momentos t_1 y t_2 puede mostrar diferentes desarrollos temporales no representados. Dado que en el dispositivo T_8 mostrado, la conmutación se realiza correspondientemente de forma sincrónica con T_1 y T_7 de forma sincrónica con T_2 , las realizaciones también se aplican análogamente a estos interruptores. Por este motivo, los portadores de carga también se extraen en especial simultáneamente de los interruptores desconectados de forma sincrónica. No obstante, para simplificar aquí sólo se mencionan T_1 y T_2 .

En particular, la figura se puede referir a procesos de conmutación periódicos en la gama de frecuencia media, por lo que el tiempo de espera para la conexión de los interruptores conectados en serie es corto. Por otra parte, en este caso el proceso se repite de varias centenas a varias decenas de miles de veces por segundo, de manera que la potencia perdida sería correspondientemente alta si los portadores de carga no se extrajeran del interruptor desconectado del modo según la invención.

Después de la desconexión del primer interruptor electrónico T_1 en el momento t_1 , cuando la media onda senoidal de la corriente $i_{C,T1}$ a través del primer interruptor electrónico T_1 también es cero, el interruptor adicional 15 se conecta en el momento t_2 , es decir, el segundo circuito eléctrico 14 se cierra. Como consecuencia, una corriente empieza a fluir a través del interruptor 14. La corriente fluye a través del primer interruptor electrónico T_1 y extrae los portadores de carga libres restantes o los puede recombinar. La recombinación no sólo se entiende en este ejemplo de realización como una variante del vaciado de portadores de carga. Preferiblemente, las realizaciones del interruptor adicional 15 (especialmente una pequeña inductancia adicional en serie con el interruptor) y la duración de conexión del interruptor adicional 15 entre los tiempos t_2 y t_3 se eligen de manera que en todos los estados de funcionamiento posibles durante el funcionamiento del dispositivo de conmutación, es decir, especialmente en caso de una intensidad diferente de corriente a través del primer interruptor T_1 , los portadores de carga libres que permanecen en el primer interruptor electrónico T_1 se extraigan por completo. Aquí también debe tenerse en cuenta que en el caso del dispositivo de conmutación representado se trata de un dispositivo de conmutación especialmente simple que es representativo para los dispositivos de conmutación modificados. A continuación se describen además ejemplos de realización de estos dispositivos de conmutación modificados.

Los elementos comunes de estos dispositivos de conmutación son los interruptores T_1 y T_2 , siendo posible, como ya se ha explicado, sustituir uno de los interruptores por un diodo. Además, el interruptor adicional se conecta/acopla eléctrica y/o magnéticamente a los interruptores T_1 y T_2 . Por otra parte, los elementos comunes de algunos de estos dispositivos de conmutación son la primera inductancia a través de la cual fluye la corriente, estando el primer interruptor electrónico conectado, si se aplica una tensión correspondiente. Además, la primera inductancia, en caso de que esté disponible, se conecta a la conexión eléctrica (punto de conexión 7) de los dos interruptores electrónicos conectados en serie. Sin embargo, la otra conexión de la primera inductancia puede realizarse de forma diferente. Por ejemplo, la primera inductancia puede formar parte de una red como en la figura 5 o estar conectada entre las conexiones de los dos circuitos en serie de los interruptores electrónicos como en la figura 7 o como en la figura 8. Además, pueden estar disponibles elementos de conmutación adicionales no representados en la figura 8 ni en las figuras siguientes, por ejemplo, condensadores o resistencias adicionales.

Durante el funcionamiento del dispositivo de conmutación representado en la figura 8, el interruptor adicional 15 se conecta después de la desconexión del primer interruptor T_1 (momento t_1) al momento t_2 de acuerdo con los desarrollos temporales representados en la figura 9. A través del interruptor adicional 15 comienza a fluir una corriente que también fluye a través del primer interruptor T_1 y que se representa aquí esquemáticamente como senoidal. Con esta corriente se extraen los portadores de carga aún presentes en la zona base del primer interruptor T_1 . Como consecuencia, el primer interruptor T_1 comienza a bloquearse y la tensión $U_{CE,T1}$, que cae a través del primer interruptor T_1 , comienza a subir. Tan pronto como los portadores de carga se han extraído por completo del primer interruptor T_1 y la tensión máxima posible $U_{CE,T1}$ desciende a través del primer interruptor T_1 , el flujo de corriente finaliza tanto a través del primer interruptor T_1 , como también a través del interruptor adicional 15. En

comparación con los modos de funcionamiento representados en las figuras 2 y 4, la potencia perdida después de la desconexión del primer interruptor T_1 se reduce considerablemente.

Alternativamente, el interruptor adicional 15 puede formar el segundo circuito eléctrico 14 inmediatamente antes, simultáneamente o después del primer par de interruptores principales (por ejemplo, T_1 y T_8 o T_2 y T_7), a través del cual puede fluir ahora una corriente eléctrica que extrae los portadores de carga restantes en los interruptores principales (por ejemplo, IGBT u otros interruptores bipolares).

Los ejemplos de realización del interruptor 15 se tratarán más adelante con mayor detalle. Resulta especialmente ventajoso conectar en serie a este interruptor adicional 15 un elemento eléctrico, por ejemplo, una resistencia o una inductancia. En dependencia de la realización, el interruptor adicional se puede conectar especialmente durante un período de tiempo reducido (por ejemplo, hasta unos pocos microsegundos) antes de la desconexión del interruptor principal (por ejemplo, T_1 y T_8). De nuevo en función de la realización del interruptor adicional, éste debe desconectarse en ocasiones antes de conectar el otro par de interruptores principales (por ejemplo T_2 y T_7). En una variante del interruptor adicional de acuerdo con las figuras 19 ó 21 la desconexión es necesaria, en una variante según las figuras 20 ó 22 no es necesaria y en una variante conforme a la figura 23 incluso no es posible (aquí los tiristores insertados se apagan automáticamente al conectar el interruptor principal del otro par). Resulta ventajoso que la corriente sólo fluya mientras haya portadores de carga libres, es decir, a diferencia de una solución con una inductancia 3 según la figura 6, la corriente se ajusta en función de la carga, de manera que se eliminan los inconvenientes mencionados de la solución de la figura 6. Con el número de referencia 12 se identifica un control conectado a los interruptores electrónicos T y al interruptor adicional 15 a través de las líneas de control representadas con líneas discontinuas para conectar y desconectar los interruptores. El control 12 contiene especialmente la unidad de control de orden superior que coordina en el tiempo los procesos de conmutación de los distintos interruptores entre sí. Sin embargo, también puede incluir opcionalmente las unidades que controlan la carga y descarga de los electrodos de control de los interruptores.

La figura 10 muestra otra realización según la invención de un convertidor de resonancia en serie. El interruptor adicional 15 presenta un transformador con una pieza de guiado de flujo magnética 16, una primera inductancia 3 y una segunda inductancia 13 acoplada magnéticamente a la primera inductancia 3. En comparación con la solución de la figura 8 tiene la ventaja de que con la relación de transmisión debidamente seleccionada del transformador (la segunda inductancia 13 presenta menos devanados que la primera inductancia tres), la tensión de estado de no conducción necesaria del interruptor adicional 15 se puede elegir más pequeña. Esto también se aplica a otras formas de realización distintas a las mostradas en la figura 10. Adicionalmente, la inductancia de fuga del transformador se puede utilizar como un elemento que limita la corriente.

La figura 11 muestra un dispositivo de conmutación 61 en cuyo caso se trata a su vez de un convertidor CC/CC. No obstante, a diferencia del dispositivo de conmutación en las siguientes figuras 12-14, en el lado primario y en el lado secundario del transformador 29 está disponible respectivamente un puente completo con dos ramales de puente paralelos, presentando cada ramal de puente un circuito en serie compuesto por dos interruptores electrónicos T. Una vez más, los elementos idénticos se identifican con las mismas referencias que en las figuras anteriores.

En el caso del convertidor 61 se trata de un convertidor de resonancia en serie en el que por el lado primario del transformador 29 se conecta en serie un condensador 31 a la primera inductancia 3 y en el que por el lado secundario del transformador 29 se conecta en serie un condensador 32 a la inductancia 33. En un estado de funcionamiento, por ejemplo, antes de la desconexión del primer interruptor electrónico T_1 , también se conecta el otro interruptor electrónico T_8 correspondiente del segundo ramal de puente por el lado primario del transformador 29. En este caso, la corriente fluye de la conexión 11 a la conexión 10 a través del otro interruptor electrónico T_8 , del punto de conexión 37, del condensador 31 de arriba abajo (en la representación de la figura 11) a través de la primera inductancia 3, del punto de conexión 7 y del primer interruptor electrónico T_1 . Después de la desconexión de estos dos interruptores T_1 y T_8 y antes de la conexión de los interruptores T_2 y T_7 , una corriente fluye, una vez conectado el interruptor adicional 15, a través del segundo circuito eléctrico 14 y, por consiguiente, también fluye una corriente de vaciado a través de la primera inductancia 3 que extrae los portadores de carga libres restantes tanto en el primer interruptor electrónico T_1 , como también en el correspondiente otro interruptor electrónico T_8 .

La figura 12 muestra un convertidor CC/CC 51. Siempre que estén disponibles elementos idénticos como en las figuras anteriores se utilizan las mismas referencias. Así, por ejemplo, entre las conexiones de tensión continua 10, 11 del dispositivo de conmutación también se conecta un condensador filtrador 5, conectándose la conexión en serie del primer interruptor electrónico T_1 y del segundo interruptor electrónico T_2 en los extremos opuestos a través de la conexión 8 por uno de los extremos a la conexión 10 y a través de la conexión 9 por el otro extremo a la conexión 11. Paralelamente a la conexión en serie de los interruptores electrónicos T_1 , T_2 , una conexión en serie se conecta a los condensadores 17, 18. La primera inductancia 3 se conecta por una de sus conexiones a la conexión eléctrica 6 entre los interruptores electrónicos T y con su otra conexión a través de un punto de conexión 27 a una conexión eléctrica 28 entre los dos condensadores 17, 18.

Además, en el dispositivo de conmutación 51, la primera inductancia 3 se configura como una inductancia en el lado primario de un transformador 29. La inductancia 33 en el lado secundario del transformador 29 se acopla magnéticamente a través del mismo núcleo magnético 16 que también acopla entre sí la primera inductancia 3 y la segunda inductancia 13. No obstante, para los acoplamientos entre la primera inductancia 3 y el lado secundario del transformador 29, por una parte, y entre la primera inductancia 3 y la segunda inductancia 13, por otra parte, podría

utilizarse alternativamente un acoplamiento al menos parcialmente diferente, por ejemplo, un núcleo separado o una prolongación del núcleo del otro acoplamiento magnético.

La inductancia 33 se conecta de forma simétrica respecto a la conexión en el lado primario del transformador 29 a un dispositivo de conmutación construido simétricamente. Dicho de otra forma, para cada elemento del dispositivo de conmutación parcial en el lado primario del transformador 29 se encuentran un elemento correspondiente y un elemento conectado de forma correspondiente en el lado secundario del transformador 29. Por lo tanto, en el lado secundario también está disponible una conexión en serie de dos interruptores electrónicos T_3 , T_4 con diodos de rueda libre D_3 , D_4 conectados en antiparalelo, conectándose en paralelo a esta conexión en serie una conexión en serie de dos condensadores 47, 48 conectados entre sí a través de una conexión eléctrica 58. Una de las conexiones de la inductancia 33 se conecta a esta conexión eléctrica 58 y la otra a la conexión eléctrica 56 entre los dos interruptores electrónicos T_3 , T_4 . En las conexiones de tensión continua 40, 41 del lado secundario se puede tomar una tensión continua o se puede conectar un circuito eléctrico para una corriente continua.

Dado que el segundo circuito eléctrico 14 con el interruptor adicional 15 y la segunda inductancia 13 se acopla bien directamente o bien indirectamente tanto a la primera inductancia 3, como también a la inductancia 33 en el lado secundario del transformador 29, sólo es necesario, al menos en principio, un circuito eléctrico adicional 14 de este tipo, incluso si el circuito eléctrico 14 también se debe utilizar para la extracción de los portadores de carga restantes de al menos uno de los interruptores electrónicos T_3 , T_4 . Éste es el caso, por ejemplo, cuando la energía eléctrica se debe transmitir del lado secundario del transformador 29 a su lado primario.

A diferencia de las representaciones en las figuras 12 a 14, el condensador filtrador 5 se puede suprimir, dado que la conexión en serie de los condensadores 17, 18 también se puede utilizar con el mismo fin. Esto se aplica análogamente al lado secundario del transformador 29.

A continuación se describen por medio de la figura 13 y la figura 14 dos estados de funcionamiento del dispositivo de conmutación de la figura 12. En el estado de funcionamiento representado en la figura 13 se conecta el primer interruptor electrónico T_1 .

El flujo de corriente conduce de la conexión 11 a la conexión 10 a través del condensador 17, del punto de conexión 27, de la conexión inferior de la primera inductancia 3, de la conexión superior de la inductancia 3, del punto de conexión 7 a través del primer interruptor electrónico T_1 y del punto de conexión 8. En este caso, el interruptor adicional 15 se desconecta, es decir, no puede tener lugar ningún flujo de corriente a través de la segunda inductancia 13.

Después de desconectar el primer interruptor electrónico T_1 y después de conectar el interruptor adicional 15 resulta el estado de funcionamiento representado en la figura 14. Se produce un flujo de corriente a través del segundo circuito eléctrico 14 y, por lo tanto, a través de la segunda inductancia 13. En virtud del aumento de esta corriente, se induce por medio del acoplamiento magnético 16 una corriente a través de la primera inductancia 3, de manera que la corriente de vaciado para la extracción de los portadores de carga fluya a través de la inductancia 3 y del primer interruptor electrónico T_1 .

La conexión adicional al segundo circuito eléctrico 14, a la segunda inductancia 13 y al interruptor adicional 15 también se puede utilizar, con la configuración correspondiente (esto se tratará más adelante por medio de las figuras 17 a 22), para la extracción de los portadores de carga restantes después de la desconexión del segundo interruptor electrónico T_2 . Mientras que el segundo interruptor electrónico T_2 está conectado, una corriente fluye desde la conexión 11 por el punto de conexión 9 a través del segundo interruptor electrónico T_2 al punto de conexión 7 y desde allí a través de la conexión superior de la primera inductancia 3 y a través de la misma al punto de conexión 27, al condensador 18 y a la conexión 10. Por consiguiente, la dirección de la corriente a través de la primera inductancia 3 es opuesta a la representada en la figura 13. Mientras tanto, el interruptor adicional 15 está abierto. Después de la desconexión del segundo interruptor electrónico T_2 con el interruptor auxiliar 15 cerrado, una corriente de vaciado para la extracción de los portadores de carga restantes en el segundo interruptor electrónico T_2 también fluye del punto de conexión 9 al punto de conexión 7 y desde allí a la conexión superior de la primera inductancia 3 y a través de la misma. Por consiguiente, esta dirección de corriente es opuesta a la dirección de corriente representada mediante las flechas en la figura 14. Dado que el acoplamiento magnético 16 enlaza claramente entre sí las inductancias 3, 13 con respecto a la interacción del flujo magnético y de la tensión eléctrica en las inductancias, el flujo de corriente a través de la segunda inductancia 13 también debe desarrollarse en la dirección opuesta al extraer los portadores de carga restantes en el segundo interruptor electrónico T_2 .

Preferiblemente, los convertidores CC/CC según las figuras 11 a 14, así como cualquier otro dispositivo de conmutación en el que se dispone un segundo interruptor electrónico en serie con el primer interruptor electrónico, se accionan alternativamente, es decir, ambos interruptores se conectan y desconectan alternativamente y, por ejemplo, con la misma frecuencia de conmutación. Con preferencia, después de cada desconexión de uno de los interruptores electrónicos, el interruptor adicional en el segundo circuito eléctrico o un interruptor adicional en uno de los circuitos eléctricos adicionales se conectan, a fin de extraer los portadores de carga restantes en el interruptor electrónico previamente desconectado.

Si en el dispositivo de conmutación de la figura 12, el interruptor adicional 15 permanece abierto de forma permanente, resultan los desarrollos temporales representados en la figura 16 de la corriente $i_{C,T1}$ que fluye a través del interruptor T_1 a desconectar y de la tensión del colector emisor $u_{CE,T1}$ que desciende a través del interruptor. En

virtud del dispositivo de conmutación, especialmente en virtud del circuito de resonancia con los condensadores 17, 18, 47 y 48, así como de la inductancia de fuga del transformador (elementos 3, 16 y 33), la corriente ya disminuye antes de la desconexión del interruptor de un máximo de aproximadamente 500 (en cualquier unidad) y el interruptor se desconecta en el momento t_0 cuando la corriente es cero. Después de la desconexión del interruptor, aún se encuentran portadores de carga libres en el interruptor. Por este motivo, la corriente a través del interruptor aumenta en el momento t_1 de la conexión del segundo interruptor T_2 conectado en serie al primer interruptor T_1 , mientras que la tensión también aumenta. En este caso, la corriente fluye hasta que se han extraído los portadores de carga libres del interruptor T_1 . Los desarrollos temporales son similares a los de la figura 4.

Si en el caso del dispositivo de conmutación de la figura 12 se utiliza el interruptor adicional 15, resultan los desarrollos temporales de las magnitudes eléctricas representados en la figura 16. En la parte inferior de la figura 16 se representa adicionalmente la corriente i_z a través del interruptor adicional 15. En el ejemplo de realización, el interruptor adicional 15 se conecta en el momento t_2 retardado después de la desconexión del interruptor principal T_1 en el momento t_0 . Se puede ver que la corriente para la extracción de los portadores de carga libres del T_1 es mucho menor que en la figura 15 y que la tensión aumenta mucho más lentamente a través del interruptor T_1 que en la figura 15. Por lo tanto, siguen produciéndose pérdidas que, sin embargo, son en general considerablemente menores que las representadas en caso de un funcionamiento como el de la figura 15. Especialmente, la potencia perdida es claramente menor, pero también la energía perdida.

La figura 17 muestra esquemáticamente partes del segundo circuito eléctrico 14. Las conexiones eléctricas 91, 92 se conectan a la segunda inductancia, por ejemplo, a la segunda inductancia según la figura 10 o la figura 11. Como consecuencia, se conecta la segunda inductancia entre las conexiones 19, 92. Entre las conexiones 94, 95 de la figura 17 se puede conectar cualquier dispositivo con al menos un interruptor adicional controlable, por ejemplo, con el interruptor adicional 15 según la figura 8 o la figura 10. Por consiguiente, al conectar el al menos un interruptor adicional se conectan eléctricamente entre sí las conexiones 94, 95, de manera que sea posible un flujo de corriente a través de la segunda inductancia. La característica especial del dispositivo mostrado en la figura 9 consiste en el elemento eléctrico o electrónico adicional 93 a través del cual se conectan la conexión 91 y la conexión 94. En el caso de este elemento 93 se puede tratar, por ejemplo, de una resistencia o una inductancia. El elemento 93 sirve para la limitación de la corriente que fluye a través del segundo circuito eléctrico. También es posible que en lugar de un solo elemento adicional 93 se prevean una conexión en paralelo y/o una conexión en serie con varios elementos adicionales para la limitación de la corriente. Además también se puede disponer adicionalmente al menos un elemento de este tipo en la conexión entre las conexiones 91, 95.

La figura 18 muestra un dispositivo de conmutación con conexiones 94, 95 entre las que se puede conectar bien directamente la segunda inductancia o bien, por ejemplo, el dispositivo según la figura 17. También se pueden conectar las conexiones 94, 95 a las conexiones 38, 39 de la figura 8. Por lo tanto, el dispositivo en la figura 18 representa generalmente una realización posible del interruptor adicional. Esto también se aplica análogamente a los dispositivos de conmutación de las siguientes figuras 19-22. La conexión 94 se conecta a un punto de conexión 97 de una conexión en serie formada por dos diodos 99a, 99b. La conexión 95 se conecta a un punto de conexión 98 de una segunda conexión en serie de diodos 99c, 99d. Los diodos 99 forman un circuito rectificador. Las conexiones 102, 103 del circuito rectificador se conectan a una conexión en paralelo de un interruptor electrónico controlable 100 y de un diodo de rueda libre 101. El circuito rectificador de los diodos 99 garantiza que, independientemente de si el potencial eléctrico en la conexión 95 es mayor que en la conexión 94 o viceversa, en el interruptor 100 pueda pasar una corriente a través del segundo circuito eléctrico al conectar el interruptor 100.

La figura 19 muestra una variante en la que no está disponible ningún circuito rectificador. A las conexiones 94, 95 se puede conectar a su vez bien directa o indirectamente la segunda inductancia o las conexiones 94, 95 se pueden conectar a las conexiones 38, 39 de la figura 8. Por otra parte se prevén dos conexiones en paralelo formadas respectivamente por un interruptor electrónico controlable 100a, 100b y un diodo conectado en antiparalelo 101a, 101b. En este caso, las dos conexiones en paralelo se conectan en serie entre sí, no obstante con una dirección de flujo opuesta de los interruptores 100 o de los diodos 101. De este modo, mediante la conexión del interruptor 100a puede tener lugar un flujo de corriente desde la conexión 94 a través del interruptor 100a y del diodo 101b hasta la conexión 95 y, como consecuencia, un flujo de corriente en la dirección de flujo correspondiente a través de la segunda inductancia. Por medio de la conexión del interruptor 100b se puede producir un flujo de corriente en la dirección de corriente opuesta. Por este motivo, mediante el control correspondiente de los interruptores 100a, 100b se puede generar, después de la desconexión del primer interruptor electrónico, una corriente de vaciado para extraer los portadores de carga restantes en el primer interruptor electrónico y pudiéndose generar, después de la desconexión de un segundo interruptor electrónico conectado en serie al primer interruptor electrónico, una corriente de vaciado para extraer los portadores de carga restantes del segundo interruptor electrónico.

También son posibles otras variantes en la configuración del segundo circuito eléctrico. Por ejemplo, a las conexiones 94, 95 según la figura 17 se pueden conectar un circuito Snubber y/o elementos de conexión adicionales, a fin de poner a disposición una tensión auxiliar. En este caso también se puede suprimir por completo el elemento de conexión adicional 93 según la figura 17.

La figura 20 muestra otra configuración con un rectificador como el de la figura 18. Aquí sólo se sustituye el interruptor electrónico 100 según la figura 18, que es especialmente un IGBT, por un MOSFET 105.

La figura 21 muestra de forma correspondiente una modificación del dispositivo según la figura 19. Los interruptores 100a, 100b, que son especialmente IGBTs, se sustituyen por MOSFETs 105a, 105b.

La figura 22 muestra una modificación de las configuraciones según la figura 19 y la figura 21 en la que ambos interruptores y diodos conectados en antiparalelo se sustituyen por dos tiristores 106a, 106b.

5 El dispositivo de suministro de energía representado en la figura 23 se conecta a una red de alimentación eléctrica 110 a través de un colector de corriente 111. El potencial 118 del circuito intermedio de tensión continua ZK se conecta eléctricamente a través de al menos una rueda 119 del vehículo ferroviario al carril de rodadura no representado en la figura 23. Entre los potenciales 117, 118 del circuito intermedio de tensión continua ZK se conecta una capacitancia 141. La misma sirve para la filtración de las fluctuaciones de voltaje y como acumulador temporal de energía. Otro componente posible del dispositivo de conmutación es, por ejemplo, un circuito de absorción 115 con una capacitancia conectada en serie y una inductancia entre los potenciales 117, 118.

Al circuito intermedio de tensión continua ZK se conecta un ondulator de tracción 131 que convierte la tensión continua y alimenta un motor de tracción 121 con energía eléctrica. Alternativamente se pueden conectar varios ondulator de tracción al mismo circuito intermedio de tensión continua y/o un ondulator de tracción puede suministrar energía a más de un motor de tracción.

Para el funcionamiento en una red de tensión alterna, el colector de corriente 111 se conecta a una primera conexión eléctrica 191 de un módulo M_1 a través de una inductancia de filtro 200. A través de una segunda conexión eléctrica 201, el módulo M_1 se conecta a una primera conexión eléctrica 192 de dos módulos M_2 . Una segunda conexión eléctrica 202 del segundo módulo M_2 se conecta a una primera conexión eléctrica 193 de un tercer módulo M_3 . Una segunda conexión eléctrica 203 del tercer módulo M_3 se conecta a una primera conexión eléctrica 194 de un cuarto módulo M_4 . Una segunda conexión eléctrica 204 del cuarto módulo M_4 se conecta al carril de rodadura a través de otros módulos no representados en la figura 23 y al menos a través de la rueda 119. El número de módulos M puede variar en las distintas formas de realización de un dispositivo de conmutación de este tipo. Además, los módulos se pueden conectar adicionalmente o desconectar en el mismo dispositivo de conmutación si es necesario. Un módulo desconectado ya no forma parte de la conexión en serie del colector de corriente 111 al carril de rodadura a través de la inductancia 200, respectivamente de la primera conexión eléctrica 191, 192, 193, 194, así como a través de la segunda conexión eléctrica 201, 202, 203, 204 de los módulos M y a través de la rueda 119. Sin embargo, un módulo conectado adicionalmente forma parte de esta conexión en serie.

Cada módulo M presenta un primer rectificador 151, 152, 153, 154 que se conecta a la primera conexión eléctrica 191, 192, 193, 194 y a la segunda conexión eléctrica 201, 202, 203, 204.

Por el lado de tensión continua del primer rectificador 151, 152, 153, 154 se encuentran dos líneas de tensión continua de diferente potencial, entre las que se conecta una capacitancia C_P y a las que se conecta el lado de tensión continua de un ondulator 161, 162, 163, 164. El lado de tensión alterna del ondulator 161, 162, 163, 164 se conecta al lado de tensión alterna de un segundo rectificador 181, 182, 183, 184 a través de un condensador $Crp1$, $Crp2$, $Crp3$, $Crp4$, de un transformador 171, 172, 173, 174 y de un segundo condensador $Crs1$, $Crs2$, $Crs3$, $Crs4$. El lado de tensión continua del segundo rectificador 181, 182, 183, 184 se conecta a una tercera conexión eléctrica 211, 212, 213, 214 o a una cuarta conexión eléctrica 221, 222, 223, 224 del módulo M a través de dos líneas de tensión continua. Entre estas líneas de tensión continua se conecta una capacitancia C_s . Las terceras conexiones eléctricas 211, 212, 213, 214 de los módulos M se conectan directamente al primer potencial 117 del circuito intermedio de tensión continua ZK. Las cuartas conexiones eléctricas 221, 222, 223, 224 de los módulos M se conectan directamente al segundo potencial eléctrico 118 del circuito intermedio de tensión continua. La tensión eléctrica U_{zk} está disponible entre los potenciales 117, 118 del circuito intermedio de tensión continua.

En especial, el dispositivo de conmutación según la invención (por ejemplo, el dispositivo según la figura 8 y las figuras 10-12 puede formar parte del primer ondulator 161, 162, 163, 164 o del segundo rectificador 181, 182, 183, 184. La combinación del primer ondulator 161, 162, 163, 164, del transformador 171, 172, 173, 174 y del segundo rectificador 181, 182, 183, 184 forma un convertidor CC/CC y se pueden configurar, por ejemplo, como se describe por medio de la figura 8 y las figuras 10-12.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de conmutación (51; 61; 71) que presenta:
- un primer interruptor electrónico (T_1), concretamente un IGBT con un colector, un emisor y una entrada aislada,
 - 5 - al menos partes de un primer circuito eléctrico en el que, durante el funcionamiento del dispositivo con el primer interruptor electrónico (T_1) conectado, una corriente eléctrica fluye por el colector y el emisor a través del primer interruptor electrónico (T_1),
 - un primer control para la conexión y la desconexión del primer interruptor electrónico (T_1), configurándose el primer control para conectar y desconectar repetidamente el primer interruptor electrónico (T_1) y, de este modo
 - 10 (opcionalmente de forma conjunta mediante el funcionamiento de al menos otro interruptor electrónico (T_2, T_7, T_8) del dispositivo de conmutación (51; 61; 71)), provocar un proceso que se repite cíclicamente en el que la corriente eléctrica a través del primer interruptor electrónico (T_1) aumenta en cada ciclo a un valor máximo de corriente y, a continuación, desciende de forma continua y en el que la corriente eléctrica disminuye a cero en cada ciclo,
 - un interruptor adicional controlable (15) que se puede controlar por medio del primer control o por medio de un
 - 15 segundo control adicional, configurándose el primer control y el control del interruptor adicional (15) de manera que el primer interruptor electrónico (T_1) sólo se desconecte y el interruptor adicional (15) sólo se conecte cuando una corriente que fluye a través del primer interruptor electrónico (T_1) sea inferior a un 10% de un valor máximo de corriente que la corriente ha alcanzado con anterioridad, habiendo disminuido la corriente de forma continua después de dejar el valor máximo
 - 20 de corriente, y provocándose mediante la conexión del interruptor adicional (15) una corriente de vaciado que fluye en la misma dirección por el colector y el emisor a través del primer interruptor electrónico (T_1) como anteriormente la corriente que disminuye de forma continua y que extrae los portadores de carga que permanecen en el primer interruptor electrónico (T_1) después de su desconexión.
2. Dispositivo de conmutación (51; 61; 71) según la reivindicación 1, presentando el dispositivo de conmutación (51; 61; 71):
- una primera inductancia (3) a través de la cual una corriente eléctrica fluye durante el funcionamiento del dispositivo con el primer interruptor electrónico (T_1) conectado,
 - una segunda inductancia (13) acoplada magnéticamente a la primera inductancia (3),
 - 30 - un segundo circuito eléctrico (14) en el que se dispone la segunda inductancia (13) y disponiéndose el interruptor adicional (15) en el segundo circuito eléctrico (14) de manera que, mediante la conexión del interruptor adicional (15) y mediante el acoplamiento magnético de la segunda inductancia (13) a la primera inductancia (3), fluya una corriente que extrae del primer interruptor electrónico los portadores de carga que permanecen en el mismo.
3. Dispositivo de conmutación (51; 61; 71) según la reivindicación 2, presentando el segundo circuito eléctrico (14) un rectificador (99), de manera que la corriente fluya siempre en la misma dirección a través del interruptor adicional (100; 105) independientemente de la dirección en la que la corriente pase por el segundo circuito eléctrico (14).
4. Dispositivo de conmutación (51; 61; 71) según la reivindicación 2, presentando el segundo circuito eléctrico (14) un primer (100a; 105a) y un segundo interruptor adicional (100b; 105b), permitiendo el primer interruptor adicional (100a; 105a), en su estado conectado, un flujo de corriente a través del segundo circuito eléctrico (14) en una primera dirección y permitiendo el segundo interruptor adicional (100b; 105b), en su estado conectado, un flujo de corriente a través del segundo circuito eléctrico (14) en la dirección opuesta.
- 45 5. Dispositivo de conmutación (51; 61; 71) según una de las reivindicaciones 2-4, presentando el dispositivo de conmutación un transformador (29) y formando la primera inductancia (3) parte del transformador (29) en un lado primario del transformador (29).
6. Dispositivo de conmutación (51; 61; 71) según una de las reivindicaciones anteriores, presentando el dispositivo de conmutación (51; 61; 71) un segundo interruptor electrónico (T_2) conectado a través de una conexión eléctrica conductora (6) al primer interruptor electrónico (T_1) formando una primera conexión en serie y configurándose el primer control o el segundo control adicional para la conexión del interruptor adicional (15), de manera que el interruptor adicional (15) se conecte durante intervalos de tiempo en los que se desconecta tanto el
- 55 primer interruptor electrónico (T_1), como también el segundo interruptor electrónico (T_2).
7. Dispositivo de accionamiento para un vehículo, especialmente un vehículo ferroviario, presentando el dispositivo de accionamiento el dispositivo de conmutación según una de las reivindicaciones anteriores y pudiéndose conectar eléctrica o magnéticamente a través de una conexión por el lado de red (111) a una red de alimentación eléctrica (110), conectándose el dispositivo de conmutación (51; 61; 71) con el primer circuito eléctrico a la conexión por el
- 60 lado de red (110) y conectándose magnéticamente una conexión por el lado del motor (211, 221) del dispositivo de conmutación (51; 61; 71) a una primera inductancia (3) a través de la cual fluye una corriente eléctrica durante el funcionamiento del dispositivo de conmutación (51; 61; 71) con el primer interruptor electrónico (T_1) conectado, de manera que durante el funcionamiento del vehículo se pueda transmitir energía de la conexión por el lado de red

(111) a un motor de accionamiento (121) del vehículo a través de la primera inductancia (3) y de la conexión por el lado del motor (211, 221).

5 8. Dispositivo de generador para la transmisión de una energía eléctrica generada por un generador eléctrico, especialmente un generador accionado por viento, presentando el dispositivo de generador el dispositivo de conmutación (51; 61; 71) según una de las reivindicaciones 1 a 6 y pudiéndose conectar a través de una conexión por el lado del generador al generador, conectándose el dispositivo de conmutación (51; 61; 71) con el primer circuito eléctrico a la conexión por el lado del generador (211, 221) y conectándose magnéticamente una conexión por el lado de red (111) del dispositivo de conmutación (51; 61; 71) para la conexión a una red de alimentación eléctrica (110), a una primera inductancia (3) a través de la cual fluye una corriente eléctrica durante el funcionamiento del dispositivo de conmutación (51; 61; 71) con el primer interruptor electrónico (T₁) conectado, de manera que durante el funcionamiento del generador se pueda transmitir energía por el lado del generador (211, 221) a la red de alimentación eléctrica (110) por la primera inductancia (3) a través de la conexión por el lado de red (111).

15 9. Procedimiento para el funcionamiento de un dispositivo de conmutación (51; 61; 71) que presenta los siguientes elementos:

- un primer interruptor electrónico (T₁), concretamente un IGBT, con un colector, un emisor y una entrada aislada,
 - al menos partes de un primer circuito eléctrico en el que se dispone el primer interruptor electrónico (T₁),
 20 conectándose y desconectándose repetidamente el primer interruptor electrónico (T₁) y, de este modo (opcionalmente de forma conjunta mediante el funcionamiento de al menos otro interruptor electrónico (T₂, T₇, T₈) del dispositivo de conmutación (51; 61; 71)), provocar un proceso que se repite cíclicamente en el que, en cada ciclo con el primer interruptor electrónico (T₁) conectado, una corriente eléctrica fluye por el colector y el emisor a través del primer interruptor electrónico (T₁) que aumenta a un valor máximo de corriente y, a continuación, desciende de
 25 forma continua y en el que disminuye a cero en cada ciclo, caracterizado por que el primer interruptor electrónico (T₁) sólo se desconecta y un interruptor adicional (15) sólo se conecta cuando la corriente a través del primer interruptor electrónico (T₁) es inferior a un 10% de un valor máximo de corriente que la corriente ha alcanzado previamente, habiendo disminuido la corriente de forma continua después de dejar el valor máximo de corriente, y provocándose mediante la conexión del interruptor adicional (15) una
 30 corriente de vaciado que fluye en la misma dirección por el colector y el emisor a través del primer interruptor electrónico (T₁) como anteriormente la corriente que disminuye de forma continua y que extrae los portadores de carga que permanecen en el primer interruptor electrónico (T₁) después de la desconexión del mismo.

35 10. Procedimiento según la reivindicación anterior,
 - activándose el dispositivo de conmutación (51; 61; 71) con una primera inductancia (3) a través de la cual fluye una corriente eléctrica estando el primer interruptor electrónico (T₁) conectado,
 - activándose la primera inductancia (3) acoplada magnéticamente a una segunda inductancia (13) dispuesta en un segundo circuito eléctrico (14) y
 40 - fluyendo, como consecuencia de la conexión del interruptor adicional (15) y del acoplamiento magnético de la segunda inductancia (13) a la primera inductancia (3), una corriente que extrae los portadores de carga restantes del primer interruptor electrónico.

45 11. Procedimiento según la reivindicación 9 ó 10, conectándose y desconectándose alternativamente el primer interruptor electrónico (T₁) y un segundo interruptor electrónico (T₂) del dispositivo de conmutación (51; 61; 71) conectado al primer interruptor electrónico (T₁) a través de una conexión eléctricamente conductora (6) formando una primera conexión en serie, de manera que, respectivamente con un interruptor (T₁, T₂) conectado, fluya una corriente eléctrica a través de un circuito eléctrico conectado eléctricamente a la conexión eléctricamente conductora (6) de la primera conexión en serie, y generándose mediante la conexión del interruptor adicional (105a, 105b) un flujo de corriente durante intervalos de tiempo en los que se desconectan tanto el primer interruptor electrónico (T₁),
 50 como también el segundo interruptor electrónico (T₂).

12. Procedimiento según la reivindicación anterior, controlándose una dirección de flujo de corriente en el segundo circuito eléctrico (14) independientemente de si una corriente ha pasado previamente a través del primer (T₁) o del segundo (T₂) interruptor electrónico (T₁).

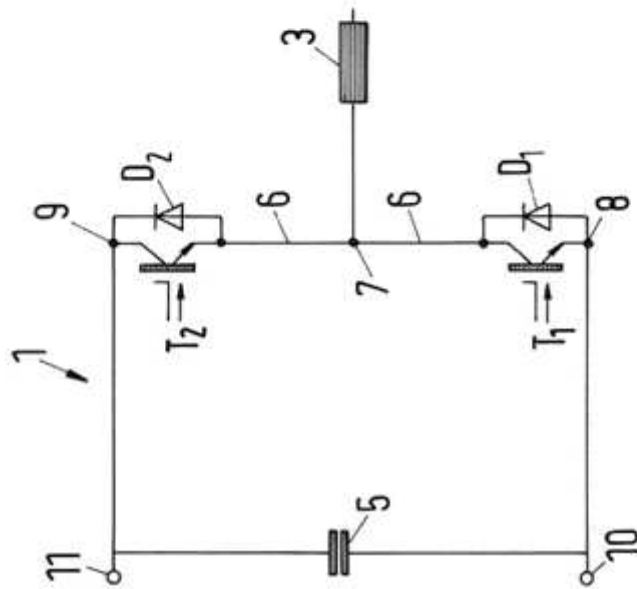


Fig.1 (Estado de la técnica)

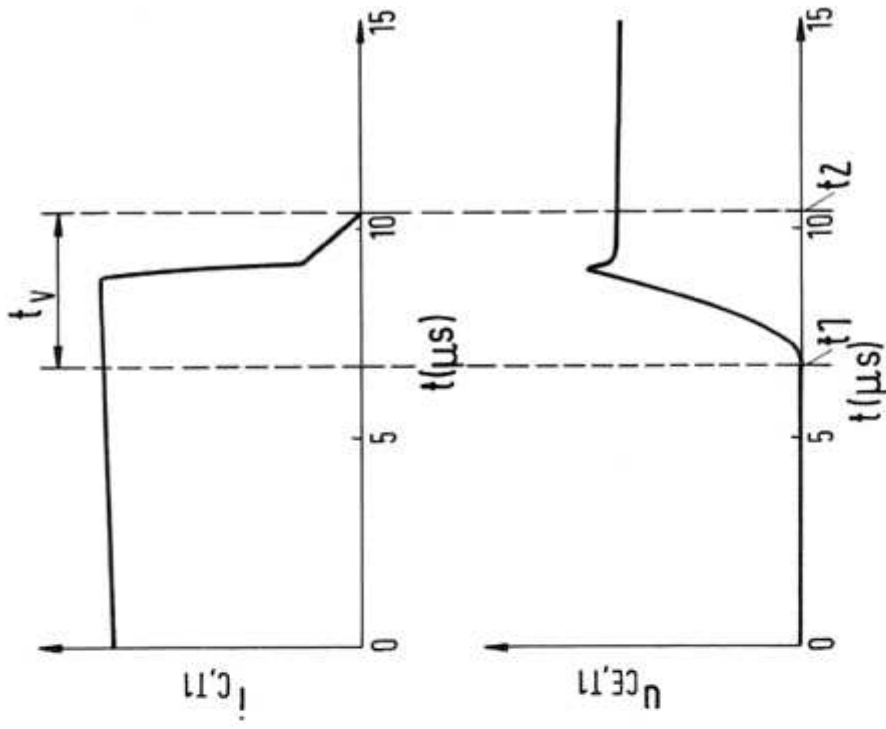


Fig.2 (Estado de la técnica)

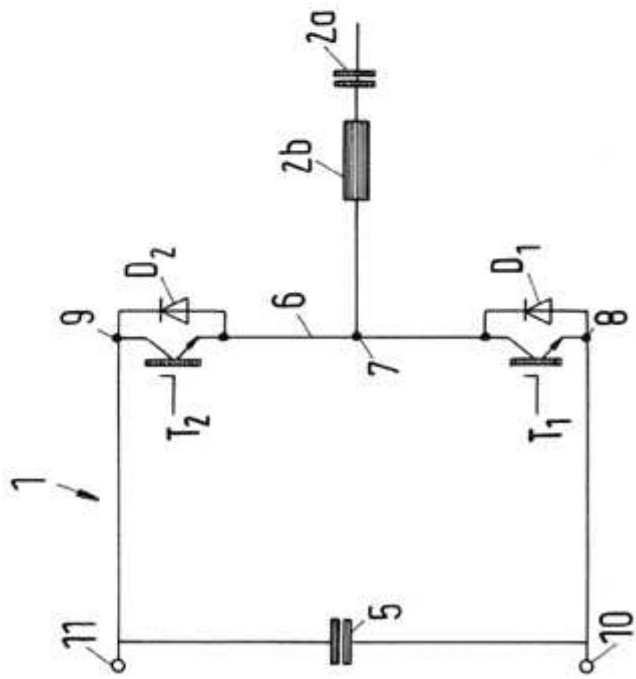


Fig.3 (Estado de la técnica)

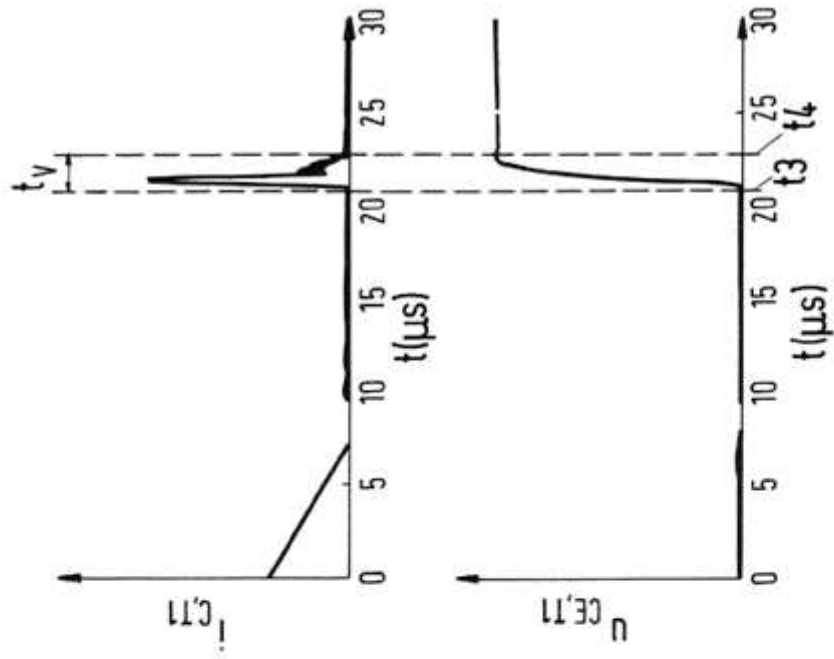


Fig.4 (Estado de la técnica)

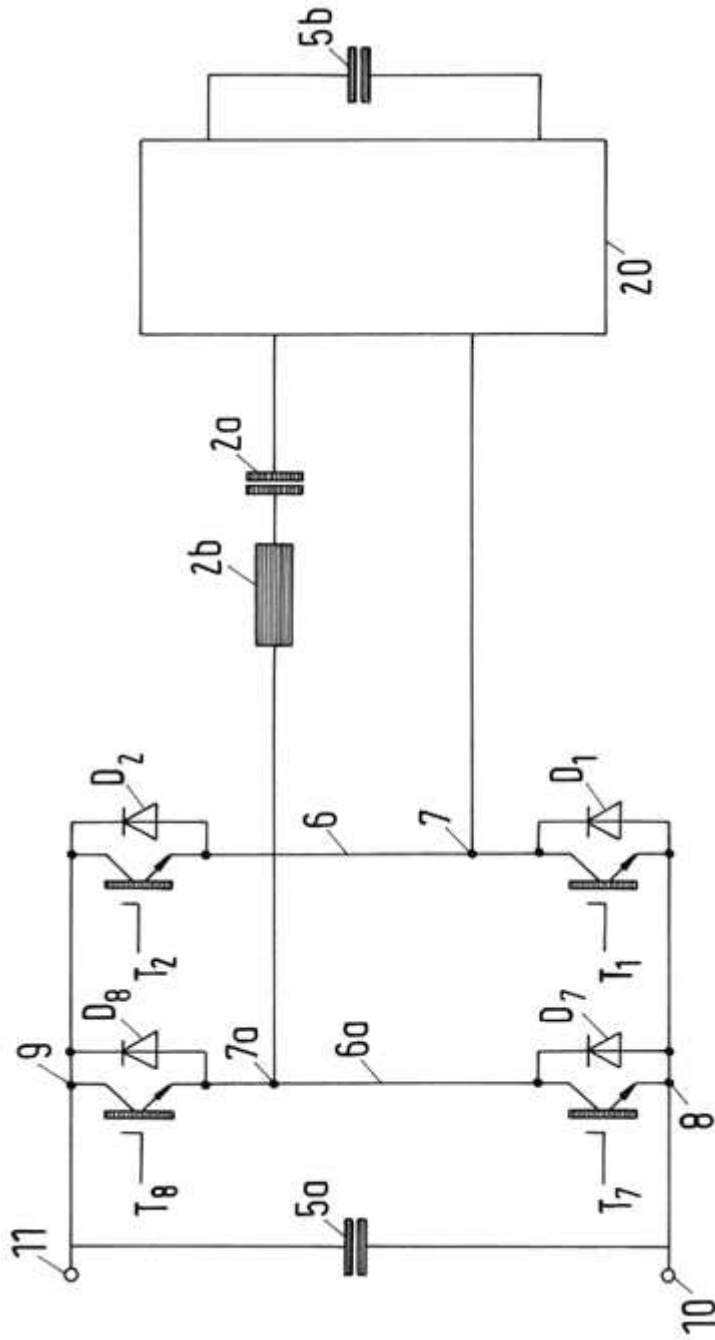


Fig.5 (Estado de la técnica)

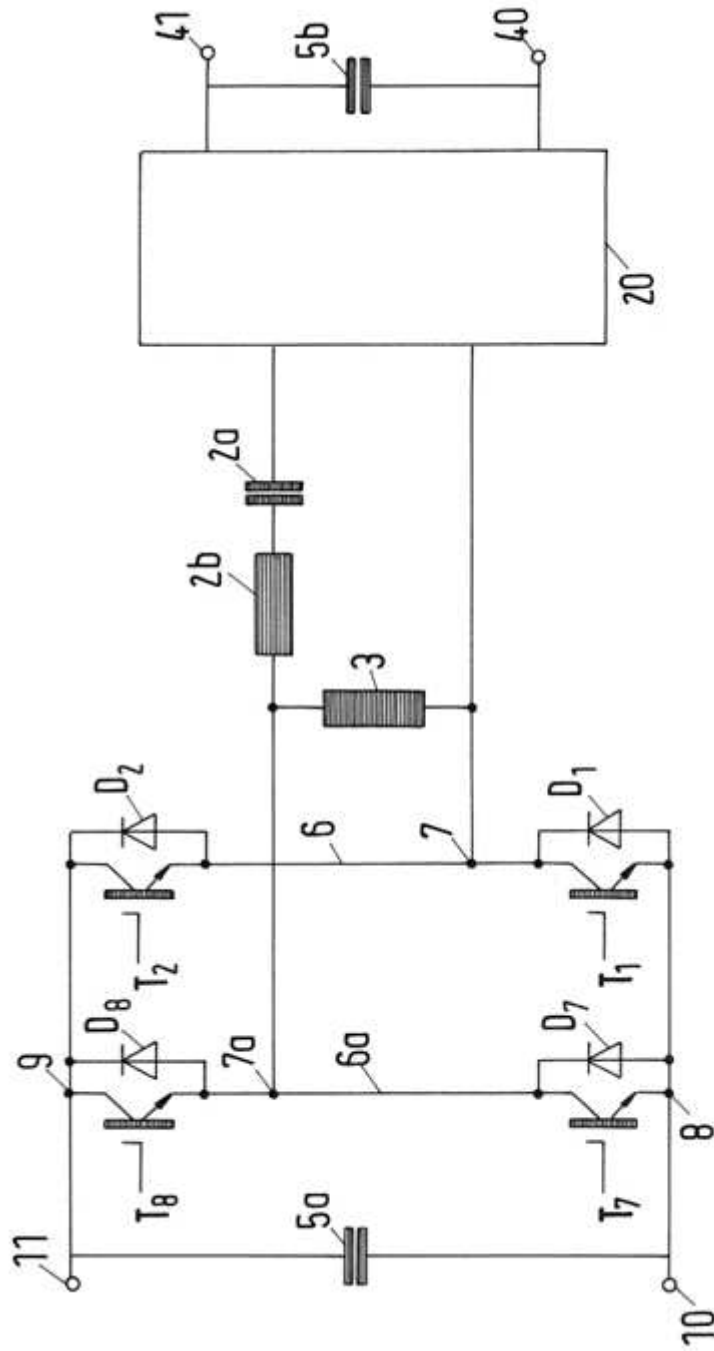


Fig.6 (Estado de la técnica)

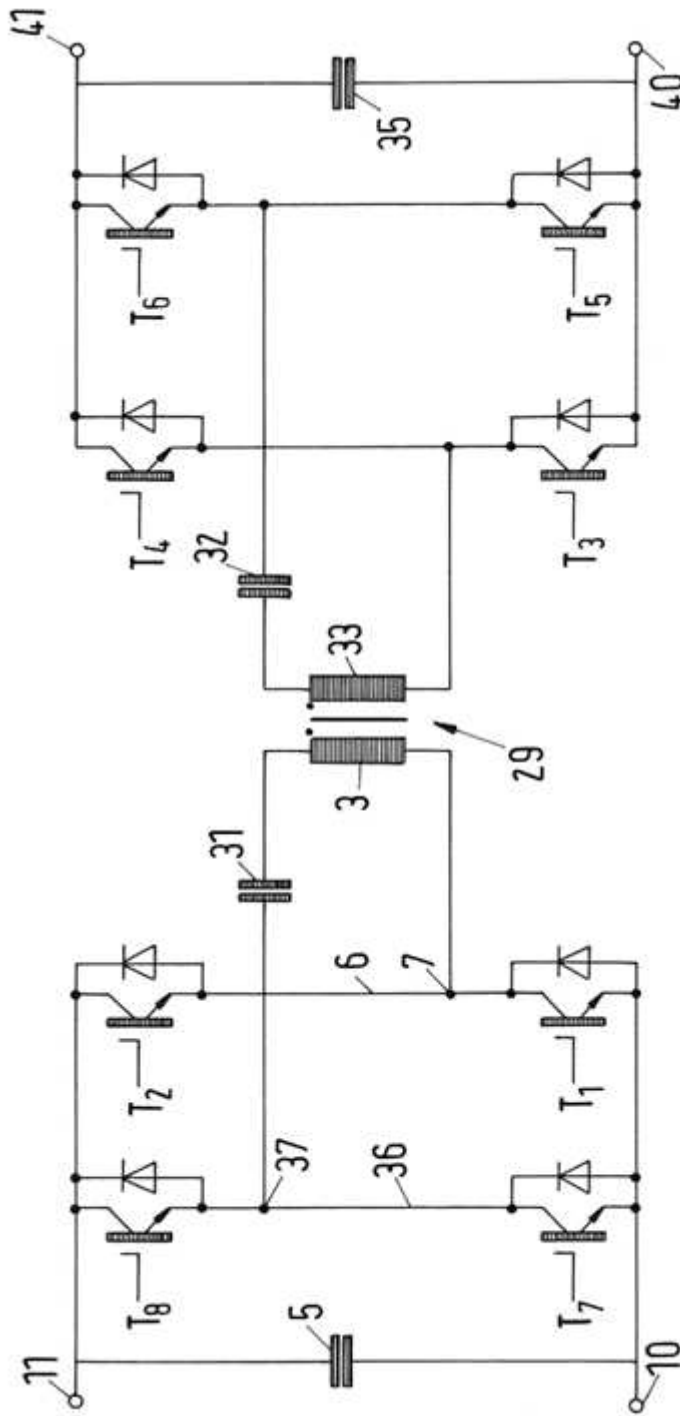


Fig.7 (Estado de la técnica)

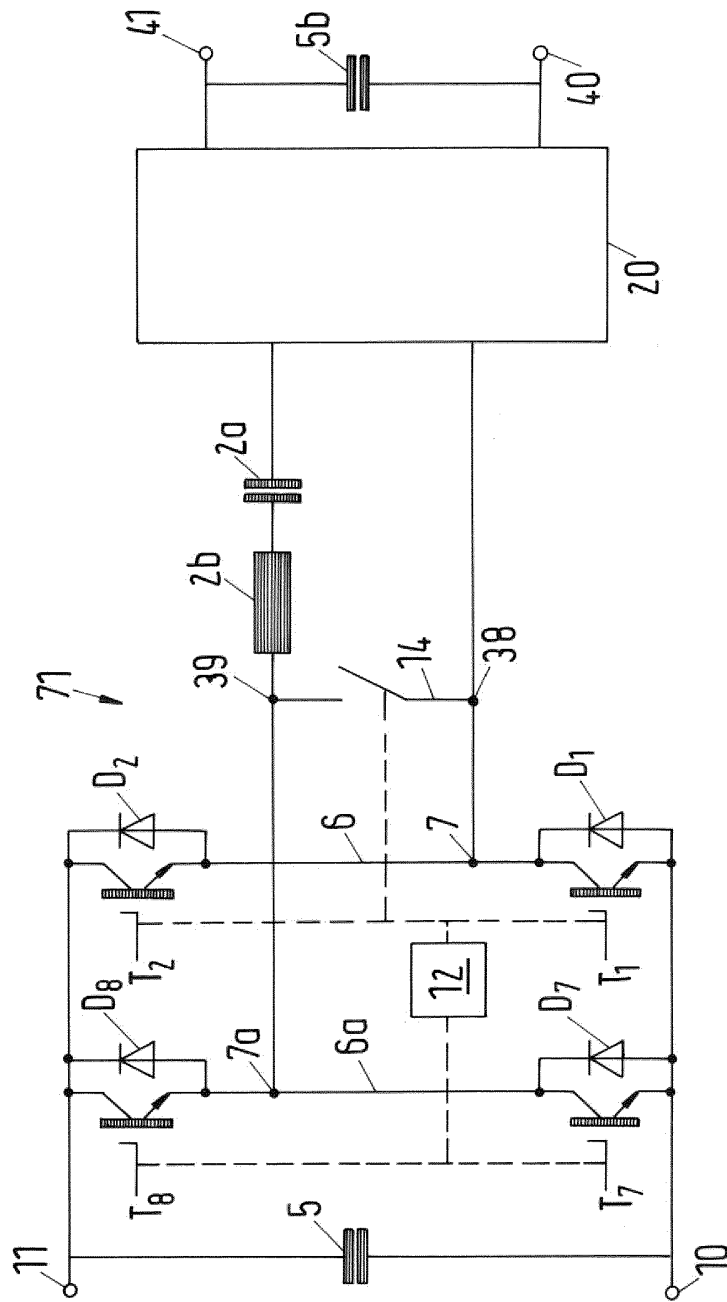


Fig.8

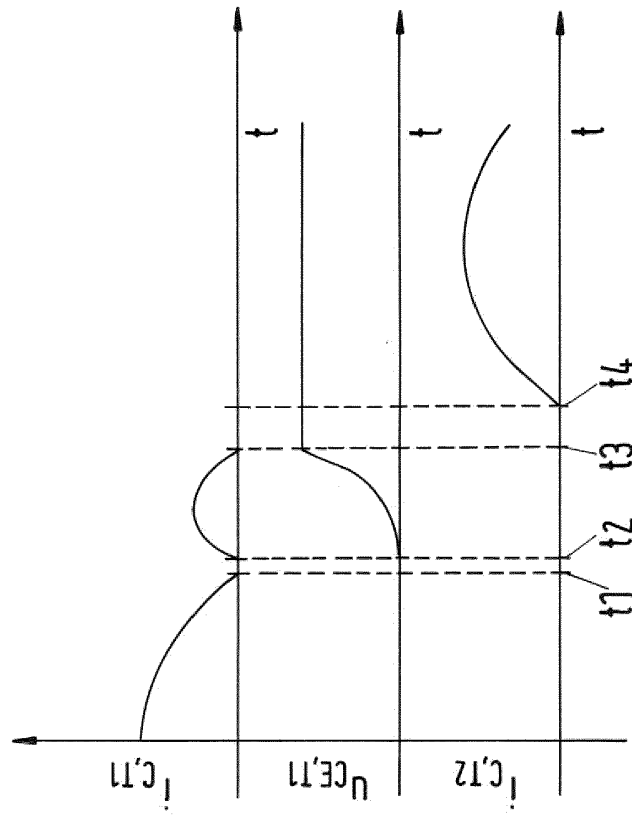


Fig.9

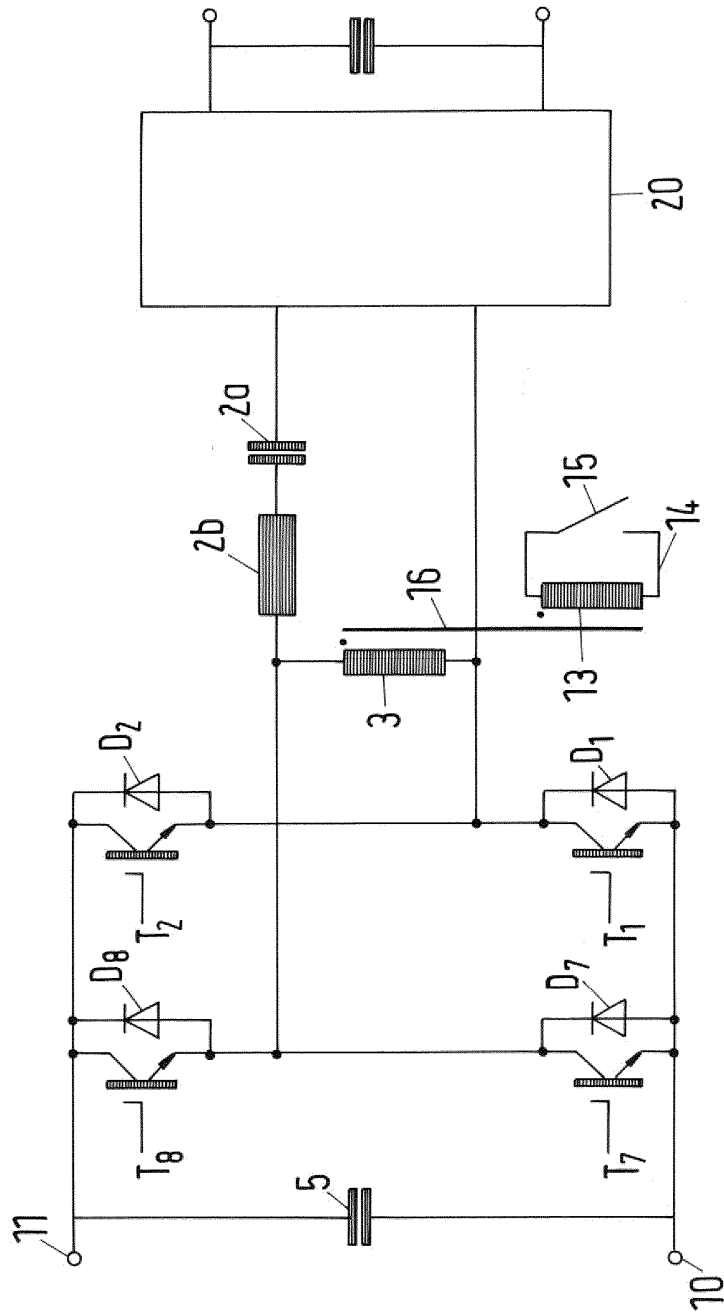


Fig.10

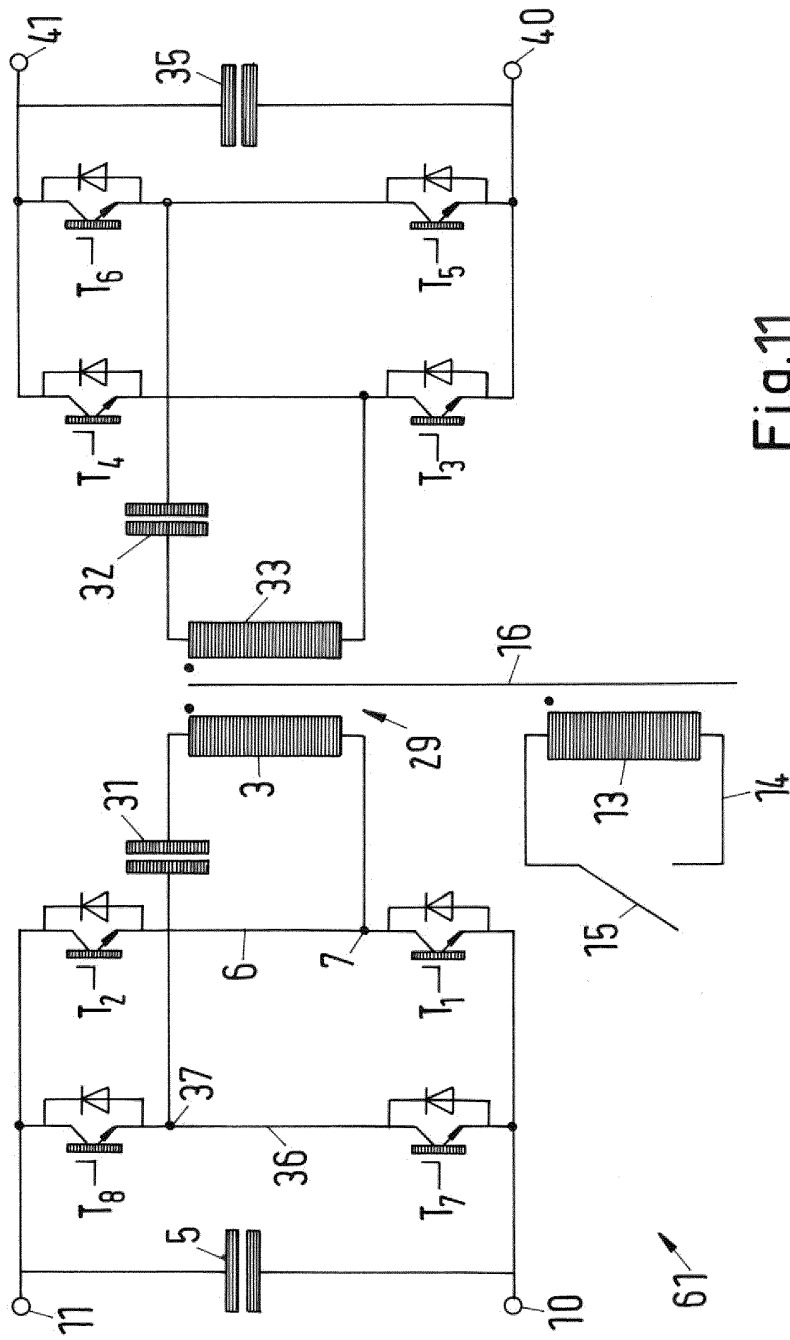


Fig.11

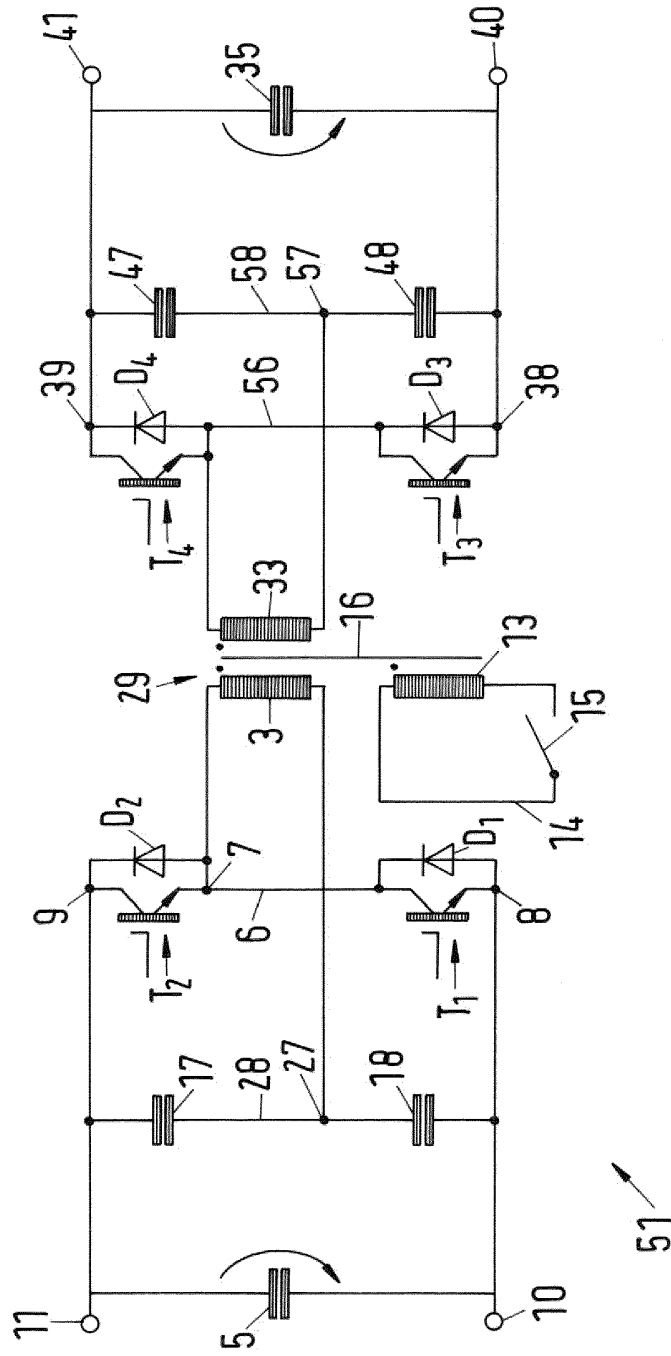


Fig.12

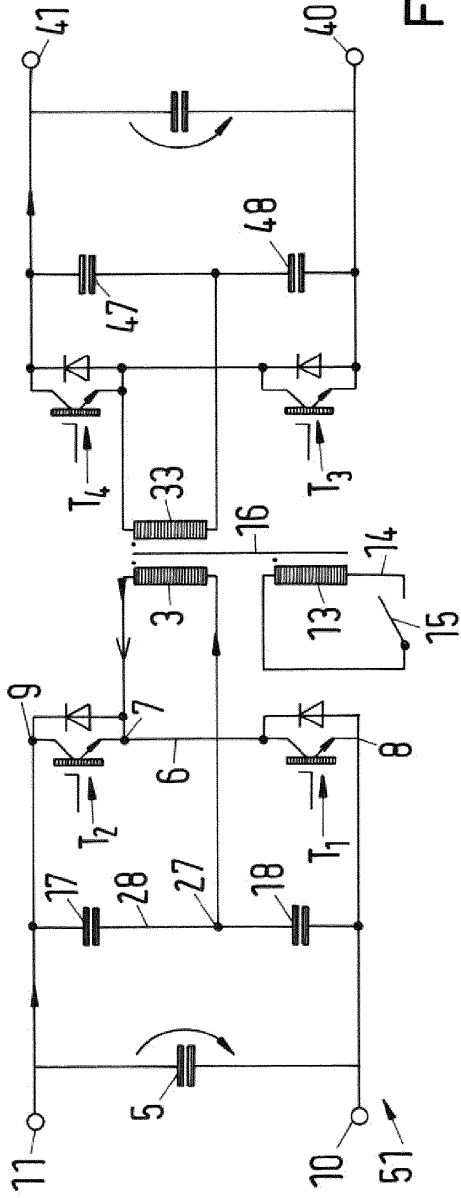


Fig.13

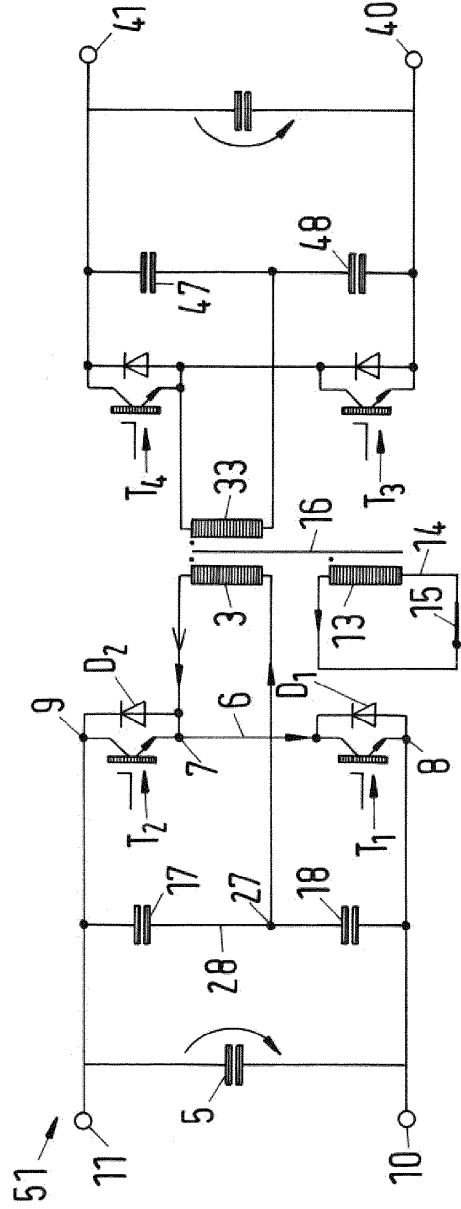


Fig.14

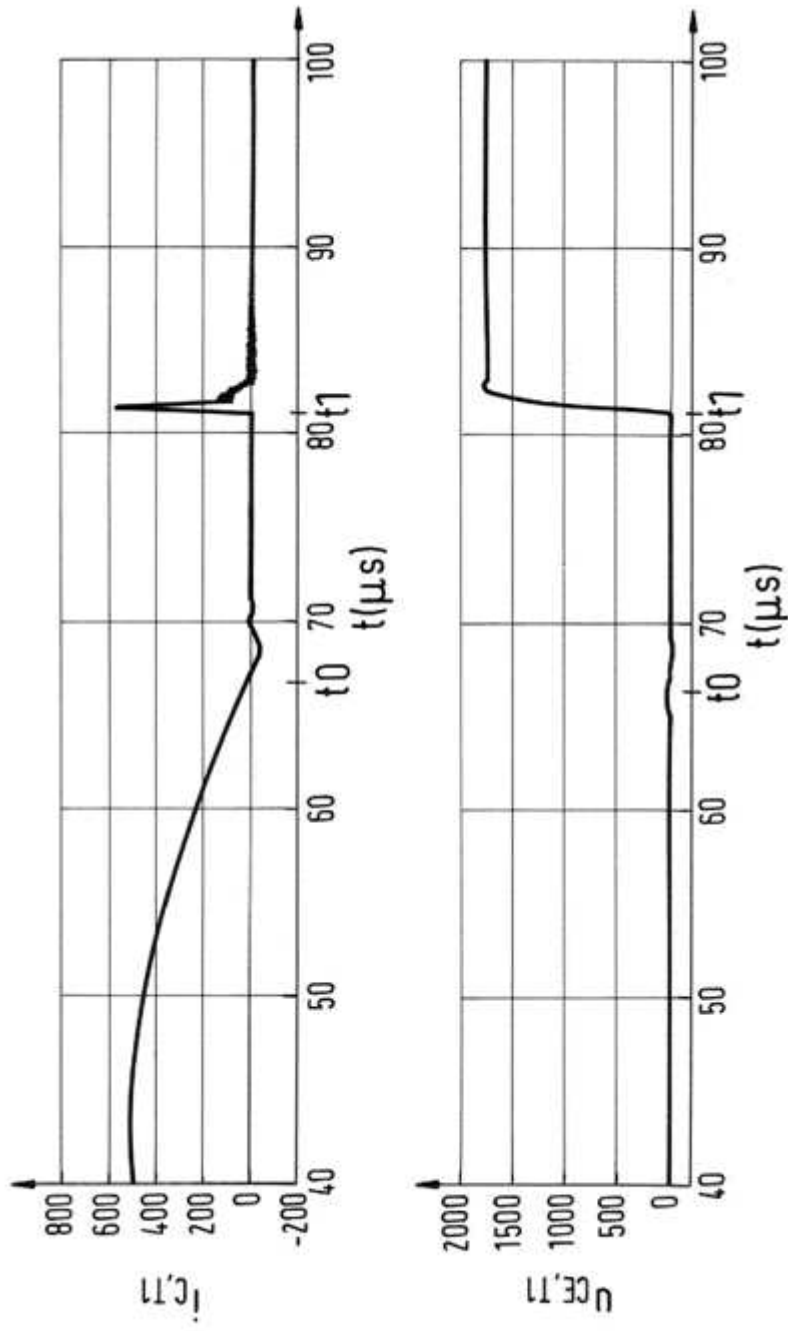


Fig.15 (Estado de la técnica)

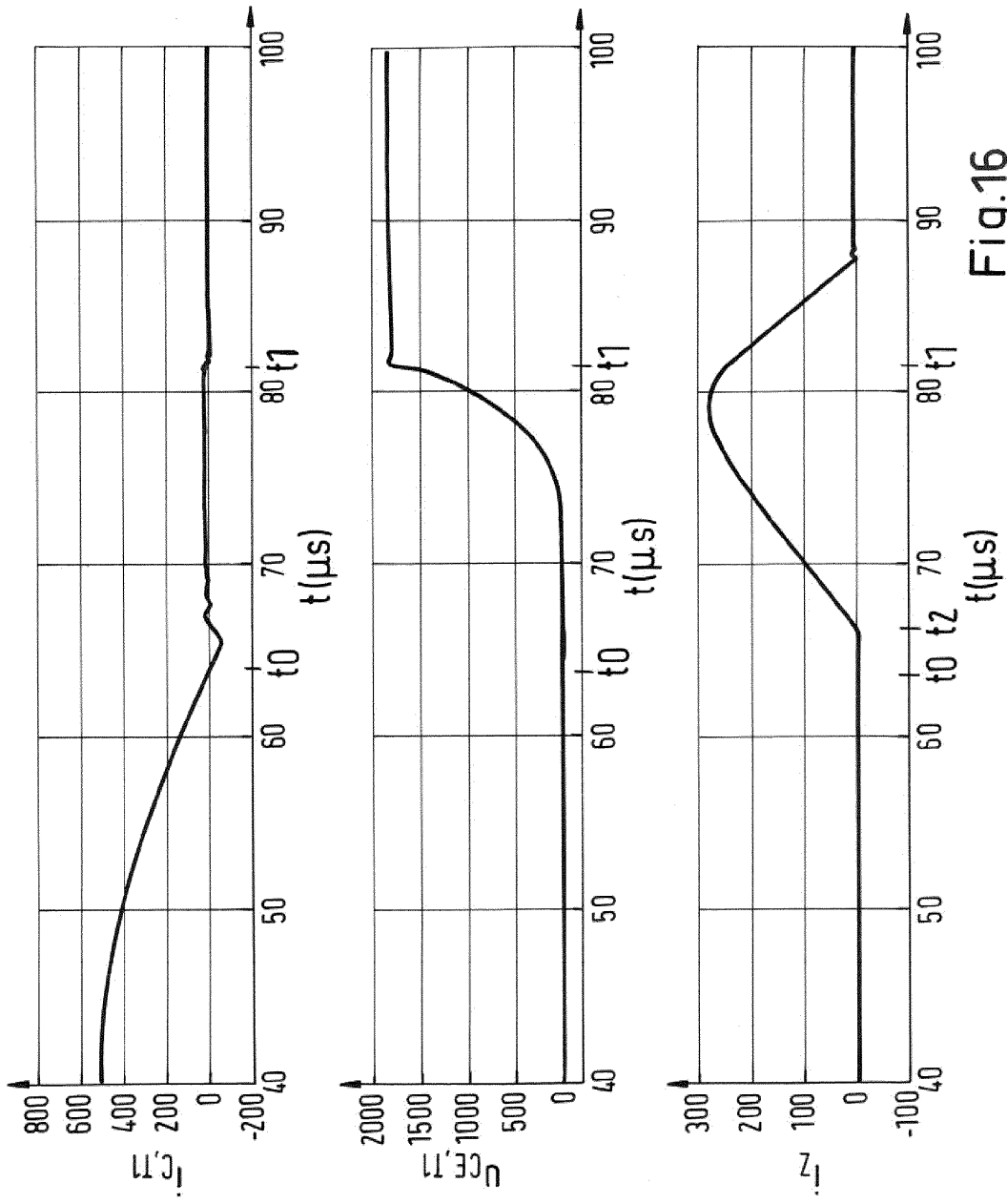


Fig.16

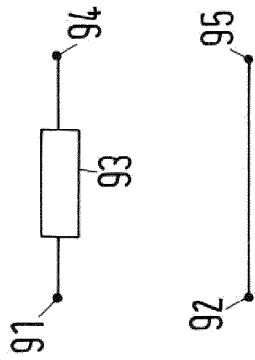


Fig.17

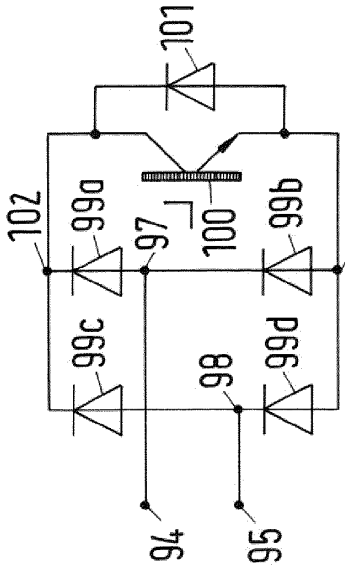


Fig.18

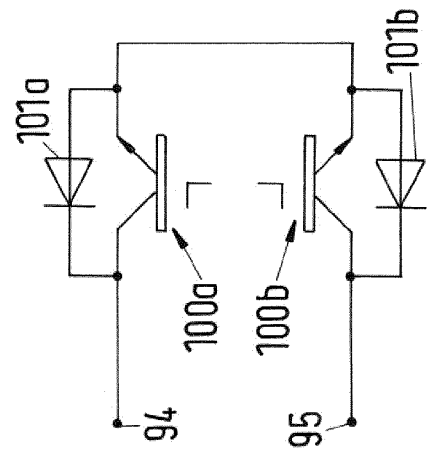


Fig.19

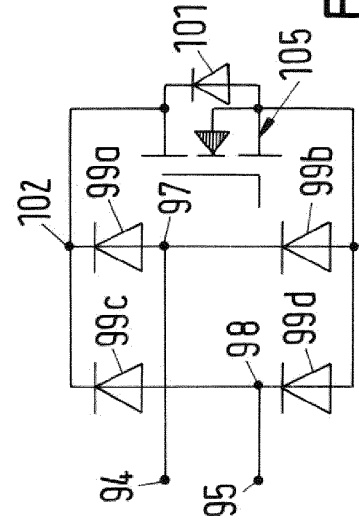


Fig.20

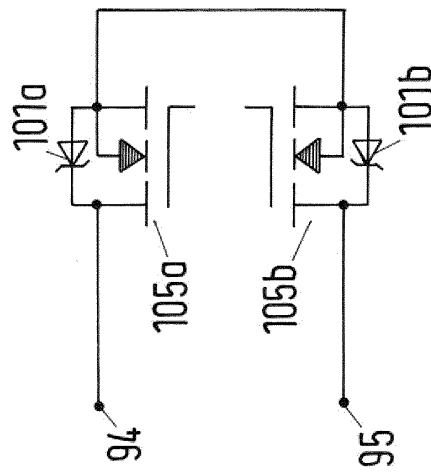


Fig.21

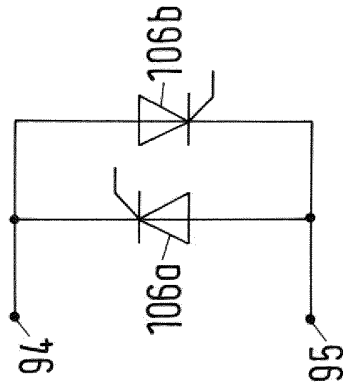


Fig.22

