

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 590 553**

51 Int. Cl.:

B60L 11/18 (2006.01)
B60L 9/00 (2006.01)
H02M 1/42 (2007.01)
H02J 7/02 (2006.01)
H02J 5/00 (2006.01)
B60L 5/00 (2006.01)
H01F 38/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.10.2013 PCT/EP2013/072686**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **08.05.2014 WO14067984**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.10.2013 E 13783932 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.07.2016 EP 2914455**

54 Título: **Disposición de circuito que comprende una disposición de captación y de compensación variable, y procedimiento**

30 Prioridad:

02.11.2012 GB 201219724

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.11.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**CZAINSKI, ROBERT y
ARNOLD, RINALDO**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 590 553 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

Disposición de circuito que comprende una disposición de captación y de compensación variable, y procedimiento

- 5 La invención se refiere a una disposición de circuito de un vehículo eléctrico, en particular una disposición de circuito del lado del vehículo de un sistema para la transferencia de energía inductiva al vehículo. Adicionalmente, la invención se refiere a un método de operación de la mencionada disposición de circuito. Adicionalmente, la invención se refiere a un método de fabricación de una disposición de circuito de un vehículo eléctrico, y a un
- 10 vehículo eléctrico.
- Los vehículos eléctricos, en particular un vehículo ferroviario y/o un automóvil de carretera, pueden operarse mediante energía eléctrica que se transfiere por medio de una transferencia de energía inductiva. Tal vehículo puede comprender una disposición de circuito que puede ser un sistema de tracción, o una parte de un sistema de tracción del vehículo que comprenda un dispositivo receptor, adaptado para recibir un campo electromagnético alterno y para
- 15 producir una corriente eléctrica alterna por inducción electromagnética. Adicionalmente, un vehículo de este tipo puede comprender un rectificador adaptado para convertir una corriente alterna a una corriente continua. La corriente continua se puede utilizar para cargar una batería de tracción o para operar una máquina eléctrica. En este último caso, la corriente continua se puede convertir en corriente alterna por medio de un inversor.
- 20 La transferencia de energía inductiva se lleva a cabo utilizando dos conjuntos de devanados trifásicos, por ejemplo. Se instala un primer conjunto en el suelo (devanados primarios), y puede alimentarse mediante un convertidor de potencia de lado de vía (WPC). El segundo conjunto de devanados (devanados secundarios) está instalado en el vehículo. Por ejemplo, el segundo conjunto de devanados se puede fijar debajo del vehículo, en el caso de tranvías debajo de alguno de sus vagones. El segundo conjunto de devanados o, en general, el lado secundario a menudo
- 25 se denomina como disposición de captación o receptor. El primer conjunto de devanados y el segundo conjunto de devanados forman un transformador de alta frecuencia para transferir energía eléctrica al vehículo. Esto se puede hacer en un estado estático (en el que no hay movimiento del vehículo), y en un estado dinámico (en el que el vehículo se mueve).
- 30 Debido a la presencia de un gran espacio libre entre los devanados primarios y los devanados secundarios, el comportamiento operativo de este transformador es diferente al comportamiento de los transformadores convencionales, que tienen un núcleo magnético cerrado con espacios de aire insignificantes o pequeños. Un espacio de aire grande supone un menor acoplamiento inductivo mutuo, y mayores inductancias de fuga.
- 35 La inductancia de fuga por lo general actúa como una inductancia en serie con cada devanado secundario. Para poder transferir niveles de alta potencia, es necesario el uso de una capacitancia adecuada con el fin de compensar la reactancia de los inductores a una frecuencia operativa de, por ejemplo, 20 kHz. Con respecto al lado secundario del transformador de alta frecuencia, la combinación de la/s inductancia/s, que puede/n comprender la inductancia principal o mutua y/o la inductancia de fuga, y la/s capacitancia/s, que puede/n comprender la capacitancia de
- 40 compensación, forma un circuito resonante. Si los valores de impedancia de la/s inductancia/s y la/s capacitancia/s se eligen de manera que la frecuencia de resonancia natural del circuito de resonancia sea igual a la frecuencia de funcionamiento, se produce una cancelación de impedancia perfecta. De tal circuito resonante se dice que está sintonizado.
- 45 La tolerancia de una capacitancia de compensación puede aumentar si se ve sometida a cambios de temperatura y/o al envejecimiento. En particular, los parámetros pertinentes de las configuraciones con materiales magnéticamente permeables tienden a derivar. Esto puede dar lugar a una desintonización del circuito resonante, en la que la frecuencia de resonancia cambiada ya no se corresponda con la frecuencia operativa. Tal desintonización desvía el rendimiento global y la capacidad de transferencia del sistema de transferencia de energía inductiva.
- 50 Además, una impedancia del lado secundario reflejada hacia el lado primario del transformador puede volverse capacitiva. Esto puede resultar en una corriente desfasada con respecto a la tensión en el WPC, lo que resulta altamente indeseable debido a que una corriente desfasada elimina las condiciones conmutación ligera de los conmutadores semiconductores, y aumenta considerablemente sus pérdidas de potencia. Bajo estas condiciones operativas, un WPC puede sobrecalentarse y apagarse, lo que a su vez interrumpe la transferencia de energía
- 55 necesaria.
- El documento 5.207.304 B2 da a conocer un sistema de captación de energía para un vehículo accionado eléctricamente. El sistema comprende un inductor de captación conectado a un primer y segundo nodos, un circuito receptor de energía acoplado a dicho primer y segundo nodos, una multiplicidad de condensadores de sintonía, un
- 60 medio de selección de rama para seleccionar algunos de entre dicha multiplicidad de condensadores de sintonía para su acoplamiento a dichos primer y segundo nodos, y para generar una señal seleccionada para cada condensador de sintonía seleccionado, y una multiplicidad de circuitos de conmutación, y cada circuito de conmutación acopla selectivamente un correspondiente condensador de sintonía a dichos primer y segundo nodos. Cada circuito de conmutación incluye un conmutador de estado sólido y un circuito disparador, acoplado a dicho
- 65 medio de selección de rama y a dicho conmutador de estado sólido. Dicho circuito disparador detecta la tensión a través de dicho conmutador de estado sólido y, después de recibir dicha señal de selección desde dicho medio de

selección de rama que corresponde a dicho circuito de conmutación, activa el cierre de dicho conmutador de estado sólido cuando dicha tensión detectada a través de dicho conmutador de estado sólido es aproximadamente cero. Por lo tanto, puede controlarse una corriente de salida de un sistema de acoplamiento inductivo mediante la conmutación de una capacitancia de sintonización dentro o fuera del circuito de control.

5 El documento EP 2 345 553 A1 da a conocer un dispositivo de transferencia de energía eléctrica sin contacto, que incluye: una bobina auto resonante; una bobina de inducción capaz de transmitir y recibir energía eléctrica a y desde una bobina de inducción capaz auto resonancia a través de inducción electromagnética; y una devanadera que tiene al menos una de la bobina auto resonante y la bobina de inducción fijada a la misma, y que tiene una cámara de alojamiento definida en la mismo y capaz de alojar un dispositivo en la misma.

10 El documento WO 94/24622 A1 da a conocer un sistema de compensación en serie que se proporciona para compensar una línea de transmisión a través de la cual fluye una línea de corriente. El sistema incluye un condensador a colocar en serie con la línea de transmisión, y un dispositivo conmutador de desvío en paralelo con el condensador. En respuesta a una orden de disparo de un controlador, el dispositivo de conmutación actúa como conductor para desviar la corriente de línea alrededor del condensador, o bien se apaga en cualquier momento durante el ciclo de corriente a través del conmutador, para poner el condensador en serie con la línea de transmisión. El dispositivo de conmutación puede incluir un tiristor GTO, un tiristor controlado por MOS, o combinaciones del mismo con tiristores convencionales.

15 Un objeto de la presente invención es proporcionar una disposición de circuito de un vehículo eléctrico, en particular una disposición de circuito del lado del vehículo de un sistema para transferir energía inductiva al vehículo, y un método de operación de dicha disposición de circuito por el que se puede optimizar la transferencia de energía inductiva al vehículo incluso en caso de que cambien las propiedades eléctricas de los elementos de la disposición de circuito, en el que la disposición de circuito puede operarse con poca pérdida de energía y se reduce la complejidad de control operativo de la disposición de circuito. Otros objetos de la invención son proporcionar un método de fabricación de una disposición de circuito, y proporcionar un vehículo eléctrico que comprenda una disposición de este tipo de circuito.

20 Una idea básica de la invención es variar de forma activa la impedancia de la disposición de circuito del lado del vehículo conmutando una capacitancia de compensación dentro o fuera de la disposición de circuito, de tal manera que se proporcione un desplazamiento de fase deseado entre una frecuencia fundamental de una corriente de fase y un voltaje de fase de la disposición de circuito, en el que los tiempos de conmutación se sincronizan con un **curso** de la corriente de fase. Mediante el control adecuado de la operación de conmutación, es posible compensar una pérdida de potencia debida al cambio de las propiedades eléctricas de la capacitancia de compensación, es decir, la desintonización, y mantener el rendimiento del sistema al mismo nivel que un sistema perfectamente sintonizado, en el que la pérdida de energía debida a la operación de conmutación es mínima y se reduce la complejidad de control operativo de la disposición de circuito.

25 La presente invención puede aplicarse a cualquier vehículo terrestre (incluyendo, pero sin ser lo preferible, cualquier vehículo que esté en tierra solo temporalmente), en particular vehículos ferroviarios, tales como vehículos sobre rieles (por ejemplo, tranvías), pero también a automóviles de carretera, tales como coches de pasajeros individuales (privados) o vehículos de transporte público (por ejemplo, autobuses, incluyendo trolebuses que también sean vehículos ferroviarios).

30 Se propone una disposición de circuito, en particular, una disposición de circuito de un vehículo eléctrico para transferir energía inductiva al vehículo. La disposición de circuito puede formar un sistema de tracción del vehículo eléctrico, o puede ser parte del sistema de tracción del vehículo eléctrico. La disposición de circuito comprende una disposición de captación. La disposición de captación denota una disposición de al menos un elemento eléctrico que recibe un campo magnético, y la generación de una tensión de salida de corriente eléctrica alterna. Este elemento eléctrico puede denominarse elemento fuente. La disposición de captación puede comprender, por ejemplo, una bobina. En particular, la disposición de captación puede comprender devanados secundarios de un transformador, en la que se utiliza el transformador para transferir al vehículo energía desde devanados primarios de lado de vía, que pueden estar instalados en un terreno que proporcione al vehículo una superficie de conducción. La disposición de captación puede estar instalada en un lado inferior del vehículo, por ejemplo, un lado orientado hacia la superficie de conducción.

35 La disposición de captación y/o los elementos de la disposición de captación comprende/n una impedancia o proporciona/n una impedancia. La impedancia puede proporcionarse mediante una inductancia, en particular una inductancia de fuga, que se proporcione al menos en parte por un hueco de aire entre un lado primario (devanados primarios) y el lado secundario (devanados secundarios) del transformador anteriormente mencionado. Adicionalmente, la impedancia puede proporcionarse mediante una resistencia, en particular una resistencia de las líneas eléctricas de la disposición de captación.

40 La disposición de circuito comprende adicionalmente al menos una disposición de compensación variable. La disposición de compensación se utiliza para sintonizar la disposición de circuito. En particular, la disposición de

compensación proporciona una impedancia ajustable. Así, una frecuencia de resonancia proporcionada por la disposición de circuito puede adaptarse a una frecuencia operativa del transformador anteriormente mencionado, por ejemplo 20 kHz. Así, puede compensarse las propiedades eléctricas cambiantes de los elementos eléctricos de la disposición de circuito. La disposición de compensación variable comprende al menos un elemento eléctrico, en particular un elemento capacitivo. La disposición de compensación variable puede comprender, por ejemplo, un condensador con una capacitancia predeterminada. Por lo tanto, la conexión de la disposición de captación y la disposición de compensación variable anteriormente mencionadas proporciona una impedancia total o resultante de la disposición de circuito. Así, puede variarse la impedancia total o resultante de la disposición de circuito dependiendo de la impedancia de la disposición de compensación variable.

De acuerdo con la invención, la disposición de compensación variable comprende adicionalmente un primer elemento de conmutación y un segundo elemento de conmutación, en la que el primer elemento de conmutación y el segundo elemento de conmutación están conectados en serie. La conexión en serie entre el primer y segundo elementos de conmutación está conectada en paralelo con el elemento capacitivo de la disposición de compensación variable. Los elementos de conmutación pueden operarse en un primer modo operativo, en el que los elementos de conmutación se abren en el primer modo operativo y se deshabilita un flujo de corriente a través de los elementos de conmutación (estado abierto). En un segundo modo operativo, los elementos de conmutación se cierran y se habilita un flujo de corriente a través de los elementos de conmutación (estado cerrado).

La disposición de compensación variable proporciona un denominado circuito de sintonización, o puede ser parte de un circuito de sintonización. Mediante el control del modo operativo de los elementos de conmutación, puede variarse una impedancia de la disposición de compensación variable. Así, se puede variar la anteriormente mencionada impedancia total o resultante de la disposición de circuito. La disposición de conmutación puede tener un comportamiento bidireccional y puede transportar una corriente y bloquear una tensión en dos direcciones opuestas. La disposición de conmutación, es decir, la conexión en serie del primer y el segundo elementos de conmutación, actúa a modo de derivación y habilita o habilita una corriente que fluye a través del elemento capacitivo de la disposición de compensación variable.

La corriente anteriormente mencionada, que se controla mediante el modo operativo de cada elemento de conmutación, genera una tensión de caída a través del elemento capacitivo. La tensión que cae a través del elemento capacitivo se inyecta en la disposición de circuito propuesta. Mediante el control del modo operativo es posible regular la tensión de fase o la corriente de fase, de manera que un componente de frecuencia fundamental de la tensión de fase tenga un desplazamiento de fase de -90° con respecto a la corriente de fase de la disposición de circuito, de tal manera que la disposición de circuito proporcione un comportamiento capacitivo.

Resumiendo, la disposición de compensación variable proporciona una capacidad variable que puede ajustarse mediante el control del modo operativo de los elementos de conmutación. Por lo tanto, la disposición de circuito propuesta permite ajustar ventajosamente una impedancia de la disposición de circuito, mediante el ajuste de la capacitancia variable de la disposición de compensación variable. Así, la impedancia de la disposición de circuito propuesta se puede ajustar de tal manera que una frecuencia de resonancia de la disposición de circuito sea igual a una frecuencia operativa predeterminada. Así, puede compensarse una desintonización de la disposición de circuito que se vea sometida, por ejemplo, a cambios de temperatura y/o al envejecimiento. La disposición de circuito propuesta también permite reducir ventajosamente la complejidad de la variación de la impedancia de la disposición de circuito, y reducir una pérdida de energía durante el funcionamiento los elementos de conmutación. Esto se explicará más tarde.

En otra realización, la disposición de compensación variable se conecta en serie a la disposición de captación. En particular, la disposición de compensación variable puede conectarse a una salida de la disposición de captación, en particular a la salida de una fase de la disposición de captación. Así, la disposición de compensación variable puede disponerse entre la salida de la disposición de captación y un elemento conectado a una salida de la disposición de circuito propuesta, por ejemplo, una carga. Si la disposición de circuito comprende múltiples fases, por ejemplo tres fases, puede conectarse una disposición de compensación variable en serie con la disposición de captación en cada una de las tres fases. La conexión en serie de la/s disposición/es de compensación variable con la disposición de captación permite ventajosamente una modificación sencilla de la impedancia total o resultante de la disposición de circuito propuesta. En particular, la impedancia total o resultante puede ser una suma de una impedancia de la disposición de captación y la impedancia variable de la disposición de compensación variable.

En otra realización, la disposición de circuito comprende adicionalmente al menos un elemento de compensación estático. El elemento de compensación estático puede ser un elemento capacitivo con una capacitancia predeterminada. Por ejemplo, el elemento de compensación estático puede ser un condensador con una capacitancia predeterminada. En este caso, la impedancia resultante o general de la disposición de circuito propuesta dependerá también de la impedancia del elemento de compensación estático. La disposición de captación, el elemento de compensación estático y la disposición de compensación variable están conectados en serie. Así, una impedancia total o resultante de la disposición de circuito propuesta será la suma de la impedancia de la disposición de captación, la impedancia del elemento de compensación estático y la impedancia variable de la disposición de compensación variable. El elemento de compensación estático se puede utilizar para proporcionar

una disposición de circuito sintonizado en condiciones operativas normales o iniciales, por ejemplo si no existe una influencia alteradora por envejecimiento y/o temperatura. En estas condiciones, la impedancia de la disposición de compensación variable se puede establecer en cero. Si la impedancia de la disposición de captación y/o la impedancia del elemento de compensación estático cambia, por ejemplo debido a los cambios de temperatura y/o al envejecimiento, la impedancia de la disposición de compensación variable puede ajustarse de tal manera que se proporcione una disposición de circuito sintonizado.

En otra realización, el primer elemento de conmutación y/o el segundo elemento de conmutación son elementos semiconductores. En particular, los elementos de conmutación pueden ser conmutadores semiconductores. Por ejemplo, el primer y/o el segundo elemento de conmutación puede ser un MOSFET o un IGBT. Además, el primer y/o segundo elementos de conmutación puede/n ser un/os conmutador/es de estado sólido. Esto permite proporcionar ventajosamente la disposición de compensación variable anteriormente mencionada con componentes ampliamente disponibles. Además, los conmutadores semiconductores permiten ventajosamente el control sencillo y eficaz de un flujo de corriente a través de los elementos semiconductores. En particular, los elementos semiconductores pueden controlarse mediante señales de puerta que pueden generarse, por ejemplo, mediante una unidad de control.

En otra realización, el primer elemento de conmutación tiene una dirección de conducción y el segundo elemento de conmutación tiene una dirección de conducción. El primer y el segundo elementos de conmutación están conectados de tal manera que la dirección de conducción del primer elemento de conmutación esté orientada opuesta a la dirección de conducción del segundo elemento de conmutación. En otras palabras, la dirección de conducción del primer elemento de conmutación apunta en la dirección opuesta a la dirección de conducción del segundo elemento de conmutación. Esto proporciona ventajosamente un comportamiento bidireccional de la disposición de conmutación. En particular, la disposición de conmutación puede transportar y bloquear el flujo de corriente a través de la disposición de conmutación.

En otra realización, se conecta un primer diodo antiparalelo al primer elemento de conmutación y se conecta un segundo diodo antiparalelo al segundo elemento de conmutación. Antiparalelo significa que una dirección de conducción del primer diodo es opuesta a la dirección de conducción anteriormente mencionada del primer elemento de conmutación. Además, la dirección de conducción del segundo diodo es opuesta a la dirección de conducción anteriormente mencionada del segundo elemento de conmutación. Esto mejora ventajosamente el comportamiento bidireccional de la disposición de conmutación. En particular, en el caso en el que la dirección de conducción del primer elemento de conmutación es opuesta a la dirección de conducción del segundo elemento de conmutación, una corriente que fluya en una primera dirección fluirá por ejemplo a través del primer elemento de conmutación que se está operando en el segundo modo operativo (estado cerrado) y del segundo diodo, en el que el segundo elemento de conmutación se opera en el primer modo operativo (estado abierto). Una corriente que fluye en una segunda dirección, opuesta a la primera dirección, puede fluir a través del segundo elemento de conmutación que se opera en un segundo modo operativo (estado cerrado) y del primer diodo, en el que el primer elemento de conmutación se opera en el primer modo operativo (estado abierto). Así, para cada dirección del flujo de corriente, solo tiene que activarse o controlarse un elemento de conmutación de tal manera que el elemento de conmutación quede en el segundo modo operativo (estado cerrado). Otra ventaja de disponer los diodos es que el cierre de los elementos de conmutación, por ejemplo un cambio desde el primer al segundo modos operativos, se produce de manera autónoma, debido a la colocación de los diodos dentro de la disposición de conmutación bidireccional.

En otra realización, la disposición de circuito comprende al menos un medio de detección de corriente para detectar una corriente de fase de la disposición de circuito, en la que los tiempos de conmutación o los casos de conmutación del primer y el segundo elementos de conmutación pueden controlarse en función de la corriente de fase. En particular, los tiempos de conmutación pueden controlarse en función de una amplitud de la corriente de fase. Preferiblemente, los elementos de conmutación pueden operarse de manera periódica y sincronizada con la corriente de fase. La corriente de fase denota una corriente generada por la disposición de captación durante la transferencia de energía inductiva. Por ejemplo, el primer elemento de conmutación y/o el segundo elemento de conmutación pueden abrirse periódicamente con un cierto retardo de fase del frente anterior con respecto a un instante de cruce por cero de la corriente de fase, siendo el tiempo de retardo de fase la variable de control. Esto se explicará más adelante en mayor detalle.

Proporcionar al menos un medio sensor de corriente permite controlar ventajosamente los tiempos de conmutación del primer y/o el segundo elementos de conmutación, de tal manera que se reduzca al mínimo una pérdida de energía durante la operación de conmutación, al tiempo que se proporcione un desplazamiento de fase deseado entre la corriente de fase y la tensión de fase (y por lo tanto una impedancia deseada).

En otra realización, la disposición de circuito comprende al menos un medio sensor de tensión para detectar una tensión de caída a través del elemento capacitivo de la disposición de compensación variable. Los tiempos de conmutación o los casos de conmutación del primer y segundo elementos de conmutación pueden controlarse en función de la tensión anteriormente mencionada. Esto permite activar ventajosamente el primer y/o el segundo elementos de conmutación, en un punto en el tiempo en el que una tensión de caída a través de la conexión en serie

del primer y el segundo elementos de conmutación sea mínima, preferiblemente cero. Esto permite reducir ventajosamente una pérdida de energía causada por la operación de conmutación.

5 En otra realización, la disposición de circuito comprende una unidad de control que está adaptada para controlar un modo operativo del primer y/o el segundo elementos de conmutación. En particular, la unidad de control puede generar señales de puerta para los elementos de conmutación. Si la señal de puerta es una señal de nivel alto, por ejemplo, se opera el elemento de conmutación en el segundo modo operativo (estado cerrado). Si la señal de puerta es una señal de nivel bajo, se opera el elemento de conmutación en el primer modo operativo (estado abierto). La unidad de control también puede controlar una duración de un tiempo encendido y un tiempo apagado del respectivo elemento de conmutación, en el que el tiempo encendido es un período de tiempo durante el cual se opera el elemento de conmutación en el segundo modo de operación y el tiempo apagado es un período de tiempo durante el cual se opera el elemento de conmutación en el primer modo operativo. La unidad de control puede conectarse a los medios sensores de corriente y/o a los medios sensores de voltaje anteriormente mencionados. Así, la unidad de control se puede operar de tal manera que se proporcione impedancia general o resultante deseada de la disposición de circuito propuesta, al tiempo que se reduce al mínimo una pérdida de energía causada por la operación de conmutación.

20 En otra realización, la disposición de circuito comprende tres fases, en la que cada una de las fases comprende al menos una disposición de compensación variable. Esto permite ajustar o modificar ventajosamente una disposición de circuito de tres fases que pueda ser parte, por ejemplo, de un sistema de tracción de un vehículo eléctrico.

25 Se propone adicionalmente un método de operación de una de las disposiciones de circuito anteriormente mencionadas. Un modo operativo del primer y segundo elementos de conmutación se controla de tal manera que la disposición de compensación variable proporcione una impedancia deseada. En particular, un modo operativo del primer y segundo elementos de conmutación se controla de tal manera que la disposición de compensación variable proporcione una capacitancia deseada. Como se ha descrito anteriormente, del primer y segundo elementos de conmutación pueden operarse en un primer modo operativo (estado abierto) y un segundo modo operativo (estado cerrado). En particular, los tiempos de conmutación o los casos de conmutación del primer elemento de conmutación, y los tiempos de conmutación o las instancias de conmutación del segundo elemento de conmutación se pueden configurar de tal manera que la disposición de compensación variable proporcione la impedancia deseada, en particular, la capacitancia deseada. En un caso de conmutación, se cambia un modo operativo de un elemento de conmutación desde el primer al segundo modos operativos, o desde el segundo al primero modos operativos. En otras palabras, se abre o se cierra el conmutador proporcionado por el elemento de conmutación.

35 El método propuesto permite ajustar ventajosamente una impedancia de la disposición de circuito propuesta, mediante el control del modo operativo de los elementos de conmutación en la disposición de circuito propuesta. Esto permite un ajuste o modificación sencillos de la impedancia, para proporcionar una disposición de circuito sintonizado.

40 En otra realización, en un modo operativo inactivo de la disposición de compensación variable se cierran el primer y segundo elementos de conmutación. Así, el primer y el segundo elementos de conmutación se operan en el segundo modo operativo, respectivamente. Si se cierran los dos elementos de conmutación, una corriente que fluye a través de la fase dentro de la cual está dispuesta la disposición de compensación variable, pasará por alto el elemento capacitivo de la disposición de compensación variable. En este caso, la impedancia del elemento de compensación variable será cero y la disposición de compensación variable no cambia la impedancia total o resultante de la disposición de circuito propuesta.

50 En otra realización, el primer elemento de conmutación y/o el segundo elemento de conmutación se opera/n de manera periódica y sincronizada con una corriente de fase de la disposición de circuito. En particular, el primer elemento de conmutación y/o el segundo elemento de conmutación se opera/n de manera periódica y sincronizada con la corriente de fase de la fase dentro de la cual está dispuesta la disposición de compensación variable que comprende los elementos de conmutación.

55 Operar los elementos de conmutación de manera periódica y sincronizada con la corriente de fase permite llevar a cabo ventajosamente una operación de conmutación, por ejemplo un cambio desde el primer al segundo modos operativos, o viceversa, en un punto del tiempo en el que un flujo de corriente a través de los elementos de conmutación sea mínimo, preferiblemente cero, o que una tensión de caída a través del/los elemento/s de conmutación sea mínima, preferiblemente cero. Como se ha descrito anteriormente, la corriente de fase es una corriente alterna generada por la disposición de captación durante la transferencia de energía inductiva. La corriente alterna tiene una frecuencia fundamental o componente fundamental. En ciertos puntos del tiempo, la corriente de fase es cero, en particular, una amplitud de la corriente de fase. Estos puntos del tiempo se denominan instantes de cruce por cero. Preferiblemente, se lleva a cabo una operación de conmutación en un instante de cruce por cero, lo que resulta en lo que se denomina conmutación de corriente cero de los elementos de conmutación. Si la operación de conmutación se lleva a cabo de manera periódica y sincronizada con la frecuencia, preferiblemente fundamental, de la corriente de fase, las operaciones de conmutación siempre pueden llevarse a cabo en instantes de cruce por cero. Esto minimiza ventajosamente la pérdida de energía durante las operaciones de conmutación.

En otra realización, los tiempos de conexión o los casos de conmutación del primer elemento de conmutación y el segundo elemento de conmutación corresponden a un instante del tiempo en el que una corriente de fase se hace menor que un valor predeterminado, o que una tensión a través del elemento capacitivo de la disposición de compensación variable de vuelve menor que un valor predeterminado. Si se lleva a cabo una operación de conmutación con una corriente mínima, es decir, si una corriente pequeña o mínima, preferiblemente una corriente nula, fluye a través del elemento de conmutación antes o después del caso de conmutación, se reduce al mínimo la pérdida de energía durante la operación de conmutación, como se ha explicado anteriormente. Debido a la disposición propuesta de los elementos de conmutación y el elemento capacitivo de la disposición de compensación variable, también se puede efectuar una operación de conmutación si una tensión de caída a través de la conexión en serie de los elementos de conmutación (que es igual a una tensión de caída a través del elemento capacitivo) es menor que un valor predeterminado, preferiblemente cero. En consecuencia, esto también minimiza la pérdida de energía durante la operación de conmutación. Esto se denomina conmutación de tensión cero.

En una realización preferida, los tiempos de conexión o los casos de conmutación del primer elemento de conmutación y el segundo elemento de conmutación corresponden a instantes del tiempo en los que la corriente de fase se hace cero, o la tensión a través del elemento capacitivo de la disposición de compensación variable se hace cero. Esto reduce al mínimo ventajosamente la pérdida de energía durante una operación de conmutación.

Se describe adicionalmente un método de fabricación de una disposición de circuito, en particular una disposición de circuito de un vehículo eléctrico para transferir energía inductiva al vehículo. El método comprende las etapas de proporcionar una disposición de captación, proporcionar al menos una disposición de compensación variable, en el que la disposición de compensación variable comprende al menos un elemento capacitivo. Adicionalmente, el método comprende la etapa de conectar la disposición de captación y la disposición de compensación variable, por ejemplo mediante una conexión en serie. Adicionalmente, el método comprende las etapas de proporcionar un primer elemento de conmutación y un segundo elemento de conmutación, y conectar en serie el primer elemento de conmutación y el segundo elemento de conmutación y conectar la conexión en serie del primer y el segundo elementos de conmutación en paralelo al elemento capacitivo de la disposición de compensación variable.

Al proporcionar la disposición de compensación variable propuesta, puede modificarse una disposición de captación existente, por ejemplo de un vehículo eléctrico, de tal manera que pueda proporcionarse una impedancia variable de la disposición de circuito resultante. Por lo tanto, la solución propuesta permite modificar ventajosamente disposiciones de circuito existentes, por ejemplo los sistemas de tracción, de los vehículos eléctricos.

Se describe adicionalmente un vehículo eléctrico, en el que el vehículo eléctrico comprende una de las disposiciones de circuito anteriormente mencionada. El vehículo eléctrico puede ser un automóvil de carretera o un vehículo ferroviario. Puede proporcionarse energía eléctrica al vehículo eléctrico mediante la transferencia de energía inductiva. Esto se puede hacer mientras el vehículo se está moviendo (transferencia de potencia dinámica, por ejemplo, carga dinámica) o mientras el vehículo se encuentra parado (transferencia de potencia estática, por ejemplo, carga estática).

Se describirán ejemplos de la invención con referencia a las figuras adjuntas, que muestran:

Fig. 1 un diagrama de circuito esquemático de una disposición de circuito del lado del vehículo, de un sistema para transferir energía inductiva al vehículo,

Fig. 2 un diagrama de circuito esquemático de una disposición de compensación variable, y

Fig. 3 un curso temporal ejemplar de una corriente de fase, una tensión fase y unos tiempos de conmutación de los elementos de conmutación.

La Fig. 1 muestra un diagrama de circuito esquemático de una disposición 1 de circuito de lado de vehículo de un sistema para transferir energía inductiva al vehículo. La disposición 1 de circuito comprende una disposición de captación 2, unos elementos de compensación estáticos C1, C2, C3 y unas disposiciones CV1, CV2, CV3 de compensación variable. La disposición 1 de circuito comprende tres fases. Se muestra que la disposición de captación 2 comprende unos elementos fuente S1, S2, S3, unas inductancias de fuga L1, L2, L3 y unas resistencias R1, R2, R3 de fase. En cada fase, el respectivo elemento fuente S1, S2, S3, las respectivas inductancias L1, L2, L3 de fuga y las respectivas resistencias R1, R2, R3 de fase están conectados en serie. La disposición de captación 2 genera unas corrientes alternas 11, 12, 13 de fase durante la transferencia de energía inductiva. Los elementos fuente S1, S2, S3 pueden ser bobinas que proporcionen unos devanados secundarios para la recepción de un campo magnético generado por unos devanados primarios de lado de vía (no mostrados).

Cada fase comprende adicionalmente un elemento de compensación estático C1, C2, C3 proporcionado por el condensador con una capacitancia predeterminada, respectivamente. Estos elementos de compensación estáticos C1, C2, C3 se utilizan para sintonizar la disposición 1 de circuito de tal manera que cada una de las frecuencias de resonancia, proporcionadas por las conexiones en serie de las inductancias de fuga L1, L2, L3, las resistencias R1, R2, R3 de fase y los elementos de compensación estáticos C1, C2, C3 corresponda a una frecuencia operativa de la transferencia de energía inductiva que pueda ser de 20 kHz, por ejemplo. Cada fase comprende adicionalmente una disposición CV1, CV2, CV3 de compensación variable, que se muestra con más detalle en la Fig. 2. En cada fase, la

disposición de captación 2, es decir, la conexión en serie del respectivo elemento fuente S1, S2, S3, la respectiva inductancia L1, L2, L3 de fuga y la respectiva resistencia R1, R2, R3 de fase, está conectada en serie al respectivo elemento de compensación estático C1, C2, C3 y la respectiva de disposición CV1, CV2, CV3 de compensación variable. También se muestra una carga 3 que está conectada a unos terminales de salida T1, T2, T3 de la disposición 1 de circuito. En lugar de una carga 3 es posible conectar un rectificador a los terminales de salida T1, T2, T3, para generar un voltaje de corriente continua que pueda utilizarse para cargar una batería de tracción o para proporcionar energía eléctrica a los subsistemas del vehículo eléctrico. Para cada fase, una impedancia total o resultante de la disposición 1 de circuito viene dada por la conexión en serie de la respectiva inductancia L1, L2, L3 de fuga, la respectiva resistencia R1, R2, R3 de fase, el respectivo elemento de compensación estático C1, C2, C3 y la respectiva disposición de compensación variable CV1, CV2, CV3. Dado que puede variarse una impedancia, en particular una capacitancia, de las disposiciones de compensación variable CV1, CV2, CV3, también se puede variar la impedancia resultante o total de cada fase de la disposición 1 de circuito. Esto, a su vez, permite compensar un cambio de las impedancias de la inductancia L1, L2, L3 de fuga, la resistencia R1, R2, R3 de fase y/o el elemento de compensación estático C1, C2, C3. Al ajustar la impedancia de cada fase de la disposición 1 de circuito, puede optimizarse una transferencia de energía durante la transferencia de potencia inductiva anteriormente mencionada, utilizando la disposición 1 de circuito propuesta.

La Fig. 2 muestra un diagrama esquemático de una disposición de compensación variable CV propuesta. La disposición de compensación variable CV comprende un elemento capacitivo Cx, un primer elemento de conmutación S1 y un segundo elemento de conmutación S2. Adicionalmente, la disposición de compensación variable CV comprende un primer diodo D1 y un segundo diodo D2. El primer diodo D1 está conectado antiparalelo al primer elemento de conmutación S1. Correspondientemente, el segundo diodo D2 está conectado antiparalelo al segundo elemento de conmutación S2. Los elementos de conmutación S1, S2 pueden ser conmutadores semiconductores. La conexión en serie del primer y el segundo elementos de conmutación S1, S2 está conectada en paralelo con el elemento capacitivo Cx de la disposición de compensación variable CV. Puede observarse que una dirección de conducción del primer elemento de conmutación S1, que está simbolizada por una flecha 4, es opuesta a la dirección de conducción del segundo elemento de conmutación S2, que está simbolizada por la flecha 5.

También puede observarse una fase Ip de corriente que corresponde a una de las corrientes I1, I2, I3 de fase mostradas en la Fig. 1. Adicionalmente, se muestra una corriente Icx que fluye a través de la capacitancia Cx. La disposición de compensación variable CV mostrada corresponde a una de las disposiciones de compensación variable CV1, CV2, CV3 mostradas en la Fig. 1.

En la Fig. 3 se muestra un curso temporal ejemplar de unas señales de conmutación SS1, SS2 del primer y segundo elementos de conmutación S1, S2 (véase la Fig. 2), una corriente Ip de fase, una tensión Ucx que cae a través de un elemento capacitivo Cx de la disposición de compensación variable CV (véase la Fig. 2), una corriente Icx que fluye a través del elemento capacitivo Cx y una tensión Up de fase. Las señales de conmutación SS1, SS2 pueden ser señales de alto nivel H o señales de bajo nivel L. Si se aplica una señal de alto nivel H, se opera el elemento de conmutación S1, S2 en un segundo modo operativo (estado cerrado) y si se aplica una señal de bajo nivel L, se opera el elemento de conmutación S1, S2 en un primer modo operativo (estado abierto). Las señales de conmutación SS1, SS2 pueden ser señales de puerta de los conmutadores semiconductores que proporcionen el primer y el segundo elementos de conmutación S1, S2. En un punto inicial del tiempo t0, se aplica una señal de alto nivel H al segundo elemento de conmutación S2. Al mismo tiempo, se aplica una señal de bajo nivel L al primer elemento de conmutación S1. En este punto inicial del tiempo t0, la corriente Ip de fase es negativa. Con referencia a la Fig. 2, la corriente Ip de fase fluye a través del segundo elemento de conmutación S2 y del primer diodo D1. La tensión Ucx de caída a través del elemento capacitivo Cx es cero. En un primer instante t1 de conmutación, la señal de conmutación SS2 del segundo elemento de conmutación S2 se convierte en una señal de bajo nivel L. Así, se cambia un modo operativo del segundo elemento de conmutación desde un segundo modo operativo (estado cerrado) hasta un primer modo operativo (estado abierto). Ahora, la disposición de conmutación, es decir, la conexión en serie del primer y segundo elementos de conmutación S1, S2, bloquea la corriente Ip de fase que, consiguientemente, carga el elemento capacitivo Cx. Así, aumenta un valor absoluto de la tensión Ucx.

En un segundo instante t2 de conmutación, la primera señal de conmutación SS1 del primer elemento de conmutación S1 se convierte en una señal de alto nivel H. El segundo instante t2 de conmutación corresponde a un instante de cruce por cero de la corriente Ip de fase. El eje de tiempo de la Fig. 3 muestra un ángulo ωt de fase, y el segundo instante t2 de conmutación corresponde a un ángulo -π/2 de fase con referencia al ángulo de fase de la tensión Up de fase. Una diferencia de tiempo entre el primer instante t1 de conmutación y el segundo instante t2 de conmutación se expresa en términos de un ángulo α de fase. El ángulo α se elige de modo que se obtenga un valor absoluto máximo predeterminado de la tensión Ucx durante la carga del elemento capacitivo Cx. Tras el segundo instante t2 de conmutación, se descarga el elemento capacitivo Cx y disminuye el valor absoluto de la tensión Ucx, en el que la corriente Icx resultante de la descarga proporciona la corriente Ip de fase.

En un tercer punto del tiempo t3, el elemento capacitivo Cx se descarga completamente y la corriente Ip de fase cambia su trayectoria de corriente y fluye a través del primer elemento de conmutación S1 y del segundo diodo D2. En un tercer caso de conmutación t4, la primera señal de conmutación SS1 se convierte desde una señal de alto

nivel H en una señal de bajo nivel L. Así, se bloquea el flujo de corriente a través de la conexión en serie de los elementos de conmutación S1, S2 y en consecuencia la corriente de fase se corresponde con la corriente I_{Cx} que carga el elemento capacitivo Cx. En un cuarto caso de conmutación t5, la segunda señal de conmutación SS2 del segundo elemento de conmutación S2 se convierte desde una señal de bajo nivel L en una señal de alto nivel H. De nuevo, el elemento capacitivo Cx se descarga, en el que la corriente I_{Cx} resultante de la descarga proporciona la corriente I_p de fase. Una diferencia temporal entre el tercer y el cuarto casos de conmutación t4, t5 puede expresarse con el ángulo α . En un sexto punto del tiempo t6, el elemento capacitivo Cx se descarga completamente y la corriente I_p de fase cambia su trayectoria de corriente y ahora fluye a través del segundo elemento de conmutación S2 y del primer diodo D1.

Puede utilizarse una unidad de control (no mostrada) para sincronizar los casos de conmutación t1, t2, t4, t5 con la corriente I_p de fase que fluye a través de la disposición 1 de circuito (véase la Fig. 1). La unidad de control puede generar, por ejemplo, impulsos de puerta o señales de puerta que pueden ser iguales a las señales de conmutación SS1, SS2 mostradas en la Fig. 3. En una operación inactiva de la disposición de compensación variable CV1, CV2, CV3, CV (véanse la Fig. 1 o la Fig. 2), los elementos de conmutación se cerrarán y la conexión en serie de los elementos de conmutación S1, S2 actuará como una derivación de la corriente I_p de fase con respecto al elemento capacitivo Cx. En una operación normal, los elementos de conmutación S1, S2, se abrirán y cerrarán periódicamente con un cierto retardo de fase del frente anterior (que corresponde al ángulo α fase) con respecto a los instantes de cruce por cero t2, t5 de la corriente I_p de fase. El tiempo de retardo de fase (indicado por α) puede ser una variable de control para controlar la capacitancia resultante proporcionada por la disposición de compensación variable CV (véase la Fig. 2). Tras abrir el elemento de conmutación S1, S2, por ejemplo, en los instantes de conmutación t1, t4, la corriente I_p de fase conmuta desde la conexión en serie de los elementos de conmutación S1, S2 al elemento capacitivo Cx. La tensión U_{Cx} de caída a través del elemento capacitivo Cx comienza a aumentar hasta el instante de cruce por cero t2, t5 de la corriente, respectivamente. Tras el instante de cruce por cero t2, t5, la tensión U_{Cx} de caída a través de la capacitancia Cx disminuye hasta llegar de nuevo a cero. En este instante, la corriente I_p de fase conmuta desde el elemento capacitivo Cx de nuevo a la conexión en serie de los elementos de conmutación S1, S2. Las aberturas de conmutación, por ejemplo, en el primer y el tercer instante de conmutación t1, t4, están provocadas por una lógica de control. Los cierres de conmutación, por ejemplo en el segundo y el cuarto instantes de conmutación t2, t5, se producen de manera autónoma debido a los diodos D1, D2 colocados dentro de la disposición de conmutación bidireccional proporcionada por la conexión en serie del primer y el segundo elementos de conmutación S1, S2.

REIVINDICACIONES

1. Disposición de circuito, en particular, una disposición de circuito de un vehículo eléctrico para transferir energía inductiva al vehículo,
- 5 en la que la disposición de circuito (1) comprende una disposición de captación (2) y al menos una disposición de compensación variable (CV, CV1, CV2, CV3), en la que la disposición de compensación variable (CV, CV1, CV2, CV3) comprende un elemento capacitivo (Cx), caracterizado por que
- 10 la disposición de compensación variable (CV, CV1, CV2, CV3) comprende adicionalmente un primer elemento de conmutación (S1) y un segundo elemento de conmutación (S2), en la que el primer elemento de conmutación (S1) y el segundo elemento de conmutación (S2) están conectados en serie, en la que la conexión en serie del primer y el segundo elementos de conmutación (S1, S2) está conectada en paralelo al elemento capacitivo (Cx) de la disposición de compensación variable (CV, CV1, CV2, CV3).
- 15 2. Disposición de circuito de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la disposición de compensación variable (CV, CV1, CV2, CV3) está conectada en serie con la disposición de captación (2).
3. Disposición de circuito de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2, en la que la disposición de circuito (1) comprende al menos un elemento de compensación estático (C1, C2, C3), en la que la disposición de captación (2), el elemento de compensación estático (C1, C2, C3) y la disposición de compensación variable (CV, CV1, CV2, CV3) están conectados en serie.
- 20 4. Disposición de circuito de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en la que el primer elemento de conmutación (S1) y/o el segundo elemento de conmutación (S2) es/son un/os elemento/s semiconductores.
- 25 5. Disposición de circuito de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, en la que el primer elemento de conmutación (S1) tiene una dirección de conducción y el segundo elemento de conmutación (S2) tiene una dirección de conducción, en la que el primer y el segundo elementos de conmutación (S1, S2) están conectados de tal manera que la dirección de conducción del primer elemento de conmutación (S1) sea opuesta a la dirección de conducción del segundo elemento de conmutación (S2).
- 30 6. Disposición de circuito de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, en la que un primer diodo (D1) está conectado antiparalelo al primer elemento de conmutación (S1) y un segundo diodo (D2) está conectado antiparalelo al segundo elemento de conmutación (S2).
- 35 7. Disposición de circuito de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, en la que la disposición de circuito (1) comprende al menos un medio sensor de corriente para detectar una corriente de fase (I₁, I₂, I₃, I_p) de la disposición de circuito (1), en la que los tiempos de conmutación (t₁, t₂, t₄, t₅) del primer y el segundo elementos de conmutación (S1, S2) pueden controlarse en función de la corriente de fase (I₁, I₂, I₃, I_p).
- 40 8. Disposición de circuito de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, en la que la disposición de circuito (1) comprende al menos un medio sensor de tensión para detectar una tensión (U_{Cx}) a través del elemento capacitivo (Cx) de la disposición de compensación variable (CV, CV1, CV2, CV3), en la que los tiempos de conmutación (t₁, t₂, t₄, t₅) del primer y el segundo elementos de conmutación (S1, S2) pueden controlarse en función de la tensión (U_{Cx}).
- 45 9. Disposición de circuito de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, en la que la disposición de circuito (1) comprende una unidad de control que está adaptada para controlar un modo operativo del primer y el segundo elementos de conmutación (S1, S2).
- 50 10. La disposición de circuito de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, en la que la disposición de circuito (1) comprende tres fases, en la que cada una de las fases comprende al menos una disposición de compensación variable (CV1, CV2, CV3).
- 55 11. Un método de operación de una disposición de circuito de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, en la que un modo operativo del primer y el segundo elementos de conmutación (S1, S2) se controla de tal manera que la disposición de compensación variable (CV, CV1, CV2, CV3) proporcione una impedancia deseada.
- 60 12. El método de la reivindicación 11, en el que el primer y el segundo elementos de conmutación (S1, S2) se cierran en un modo operativo inactivo de la disposición de compensación variable (CV, CV1, CV2, CV3).
- 65 13. El método de una de las reivindicaciones 11 o 12, en el que el primer elemento de conmutación (S1) y/o el segundo elemento de conmutación (S2) se opera/n de manera periódica y sincronizada con una corriente de fase (I₁, I₂, I₃, I_p) de la disposición de circuito (1).
14. El método de una de las reivindicaciones 11 a 13, en el que los tiempos de conmutación (t₁, t₂, t₄, t₅) del primer elemento de conmutación (S1) y el segundo elemento de conmutación (S2) corresponden a un instante del tiempo

en el que una fase (11, 12, 13, Ip) de corriente se hace menor que un valor predeterminado, o en el que una tensión (U_{Cx}) a través del elemento capacitivo (Cx) de la disposición de compensación variable (CV, CV1, CV2, CV3) se hace menor que un valor predeterminado.

- 5 15. El método de la reivindicación 14, en el que los tiempos de conmutación (t1, t2, t4, t5) del primer elemento de conmutación (S1) y el segundo elemento de conmutación (S2) corresponden a un instante del tiempo en el que la corriente de fase (11, 12, 13, Ip) se hace nula, o en el que la tensión (U_{Cx}) a través del elemento capacitivo (Cx) de la disposición de compensación variable (CV, CV1, CV2, CV3) se hace nula.

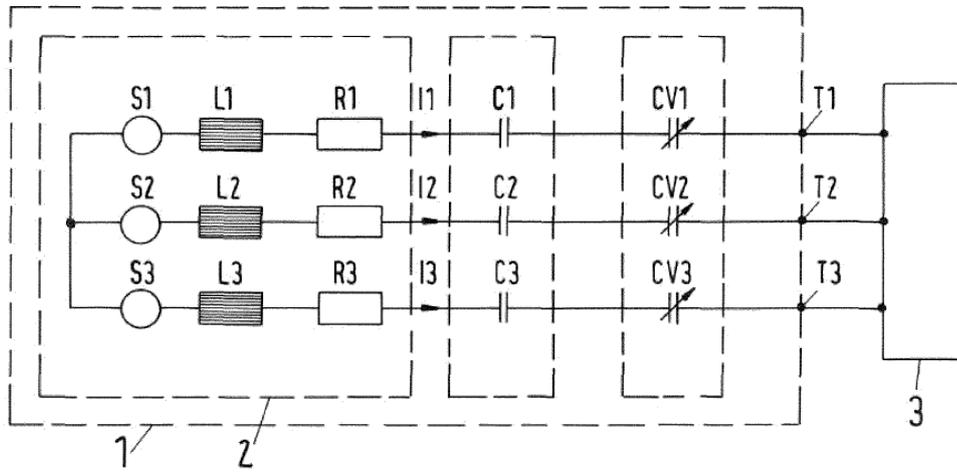


Fig.1

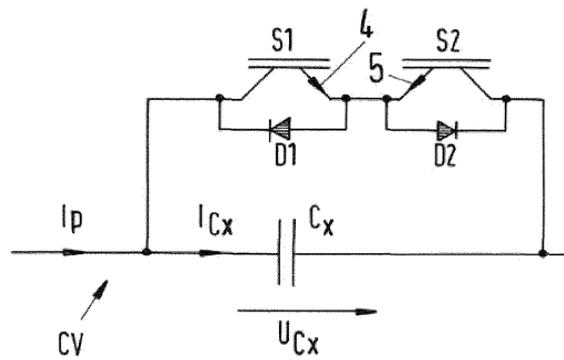


Fig.2

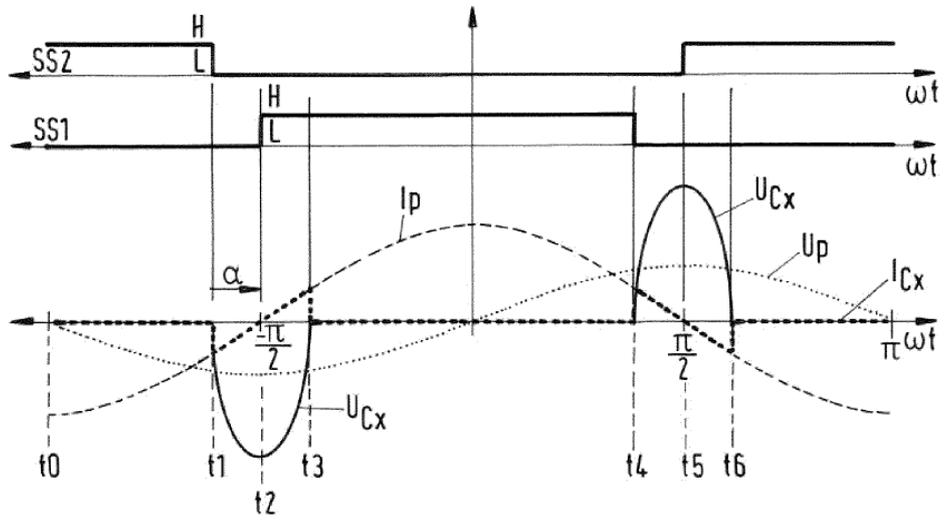


Fig.3