

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 587 704**

51 Int. Cl.:

B60L 15/00 (2006.01)
B60L 11/18 (2006.01)
H02M 3/00 (2006.01)
H02J 7/02 (2006.01)
B60M 7/00 (2006.01)
H02M 7/219 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.02.2013 PCT/EP2013/053174**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.08.2013 WO13121040**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.02.2013 E 13704471 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.05.2016 EP 2814688**

54 Título: **Proporcionar energía eléctrica a un vehículo usando inducción y un rectificador**

30 Prioridad:
17.02.2012 GB 201202853

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.10.2016

73 Titular/es:
**BOMBARDIER PRIMOVE GMBH (100.0%)
Schöneberger Ufer 1
10785 Berlin, DE**

72 Inventor/es:
ANDERS, DOMINIK

74 Agente/Representante:
ISERN JARA, Jorge

ES 2 587 704 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

Proporcionar energía eléctrica a un vehículo usando inducción y un rectificador

5 La invención se refiere a una disposición para proporcionar energía eléctrica a un vehículo, en particular un vehículo ferroviario y/o un automóvil de carretera, en la que la disposición comprende un dispositivo receptor adaptado para recibir un campo electromagnético alterno y para producir una corriente eléctrica alterna por inducción electromagnética (es decir, inducción magnética causada por un campo electromagnético, y la inducción produce energía eléctrica). El dispositivo receptor comprende al menos una inductancia que está formada por un material eléctricamente conductor, para producir una fase de la corriente eléctrica alterna por la inducción electromagnética. La al menos una inductancia y, opcionalmente, al menos un elemento eléctrico adicional (en particular una capacitancia), que está conectado (en particular, en serie) a la inductancia con el fin de producir una fase de la corriente eléctrica alterna, comprende/n una frecuencia de resonancia a la que se produce la fase de la corriente eléctrica alterna si el dispositivo receptor recibe un correspondiente campo electromagnético alterno de frecuencia. La inductancia está conectada a un rectificador para rectificar la corriente eléctrica alterna, y para producir de este modo una corriente eléctrica continua. Como los expertos en la materia sabrán, la frecuencia de resonancia a la que se produce la fase de la corriente eléctrica alterna puede variar, en función del acoplamiento inductivo entre el dispositivo receptor y el dispositivo que genera el campo electromagnético.

20 Adicionalmente, la invención se refiere a un sistema para transferir energía a un vehículo, en el que el sistema comprende la disposición, y se refiere a un vehículo que comprende la disposición. La invención también se refiere a un método de fabricación de la disposición y a un método de operación de un vehículo por medio de un dispositivo receptor, que recibe un campo electromagnético alterno y produce una corriente eléctrica alterna por inducción magnética.

25 El documento WO 2010/031595 A2 da a conocer una disposición para proporcionar energía eléctrica a un vehículo, en particular un vehículo ferroviario, en la que la disposición comprende un dispositivo receptor adaptado para recibir un campo electromagnético alterno y para producir una corriente eléctrica alterna por inducción electromagnética. El dispositivo receptor comprende una pluralidad de devanados y/o bobinas de un material eléctricamente conductor, en el que cada devanado o bobina está adaptado para producir una fase separada de la corriente eléctrica alterna.

35 La presente invención puede aplicarse a cualquier vehículo terrestre (incluyendo, pero no preferiblemente, cualquier vehículo que está en tierra sólo 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 sean también vehículos ferroviarios). Preferiblemente, la disposición conductora de lado principal que produce el campo electromagnético alterno está integrada en la pista o vía del vehículo, de modo que las líneas eléctricas de la disposición conductora de lado principal se extiendan en un plano que sea casi paralelo a la superficie de la vía o pista sobre la que puede desplazarse el vehículo. Como también se describe en el documento WO 2010/031595 A2, el dispositivo receptor puede estar situado en la parte inferior de un vehículo y puede estar cubierto por un cuerpo ferromagnético, tal como un cuerpo en la forma de una losa o una placa. Un material adecuado es la ferrita. El cuerpo envuelve y redirige las líneas de campo del campo magnético y, por lo tanto, reduce casi a cero la intensidad de campo por encima del cuerpo. Sin embargo, son posibles otras configuraciones, ubicaciones y/u orientaciones de la disposición conductora de lado principal. Por ejemplo, la disposición conductora de lado principal puede estar situada lateralmente al vehículo.

45 En cualquier caso, el espacio entre la disposición conductora de lado principal y la al menos una inductancia del dispositivo receptor deberá lo más pequeña posible, dado que la eficiencia de la transferencia de energía inalámbrica entre los lados principal y secundario es menor para espacios más grandes. Por la misma razón, la tensión que se induce en la al menos una inductancia depende del tamaño del espacio. Una manera de gestionar la tensión variable en el lado secundario del sistema es suministrar la energía eléctrica sólo a consumidores de energía que sean tolerantes a la tensión, es decir, que puedan operar en una amplia gama de tensiones. Un ejemplo al que puede aplicarse la presente invención es el sistema de tracción de un vehículo ferroviario que comprenda un circuito intermedio de corriente continua conectado al dispositivo receptor, y que comprenda adicionalmente al menos un inversor que invierta la corriente continua a una corriente alterna para operar al menos un motor de tracción del vehículo. El inversor puede controlarse para compensar las fluctuaciones de tensión en el circuito intermedio de corriente continua.

60 Sin embargo, en un vehículo se encuentran otros sistemas o dispositivos eléctricos que no pueden tolerar la tensión variable. Por lo tanto, una posibilidad adicional de proporcionar energía al vehículo y usar la misma es controlar el tamaño del espacio entre las inductancias de lado principal y de lado secundario, con el fin de mantener las fluctuaciones de tensión dentro de un intervalo pequeño de tensiones.

65 El documento WO 2009/074207 A2 describe un sistema para la transmisión de energía sin contacto a una parte del sistema, en particular a una parte del sistema dispuesta de manera móvil, y un método en el que se proporciona un conductor principal instalado de manera estacionaria para acoplar inductivamente una o varias bobinas secundarias

encerradas por dicha parte. Las bobinas secundarias están conectadas en serie con uno o varios condensadores, de tal manera que la frecuencia de resonancia del circuito resonante en serie así formado sea esencialmente igual a la frecuencia de una corriente alterna inyectada en el conductor principal, en el que la tensión que tiene lugar en el circuito resonante en serie se alimenta a un rectificador, en cuyo lado de salida se proporciona un conmutador que puede accionarse a modo de dispositivo de cortocircuito, alimentándose la corriente que no pasa a través del conmutador a un condensador de filtrado a través de un diodo de circulación libre, y poniéndose la tensión que se produce en el condensador de filtrado a disposición de un usuario.

Una desventaja de esta disposición de lado secundario es el diodo de circulación libre, que aumenta las pérdidas durante el funcionamiento. Por otra parte, la realización mostrada en la Fig. 1 del documento WO 2009/074207 A2 tiene la desventaja de que una corriente eléctrica siempre fluye a través de una conexión en serie de dos semiconductores, es decir, el diodo de circulación libre y uno de los diodos del rectificador y, en consecuencia, se incrementan las pérdidas eléctricas.

Un objeto de la presente invención es proporcionar una disposición para proporcionar energía eléctrica a un vehículo, en la que la disposición comprenda un dispositivo receptor que comprende una inductancia para producir una corriente eléctrica alterna por inducción electromagnética, y en la que la disposición proporcione medios para reducir la fluctuación de la tensión. En comparación con las soluciones conocidas, se reducirán las pérdidas durante la operación. En particular, la disposición también proporcionará medios para minimizar las pérdidas que pudieran causar los medios de reducción de las fluctuaciones de tensión. Otros objetos de la invención son proporcionar un correspondiente sistema de transferencia de energía a un vehículo, un vehículo que comprenda la disposición, un método de operación del vehículo y un método de fabricación de la disposición.

Una idea básica de la presente invención es integrar al menos un conmutador en el rectificador. En contraste con el documento WO 2009/074207 A2, el conmutador no se proporciona en el lado de salida del rectificador. En consecuencia, se puede omitir el diodo de circulación libre adicional. El al menos un conmutador integrado en el rectificador se opera para producir un cortocircuito a través de la inductancia, o a través de dos o más de las inductancias del dispositivo receptor, que está adaptado para recibir el campo electromagnético alterno y para producir una corriente eléctrica alterna por inducción electromagnética. En particular, se propone lo siguiente:

Una disposición para proporcionar energía eléctrica a un vehículo, en particular a un vehículo ferroviario y/o un automóvil de carretera, en la que

- la disposición comprende un dispositivo receptor, adaptado para recibir un campo electromagnético alterno y para producir una corriente eléctrica alterna por inducción electromagnética,
- el dispositivo receptor comprende al menos una inductancia, que está formada por un material eléctricamente conductor para producir una fase de la corriente eléctrica alterna por la inducción electromagnética,
- la al menos una inductancia y, opcionalmente, al menos un elemento eléctrico adicional, que está conectado a la inductancia con el fin de producir una fase de la corriente eléctrica alterna, comprende/n una frecuencia de resonancia a la que se produce la fase de la corriente eléctrica alterna, si el dispositivo receptor recibe un campo electromagnético alterno de correspondiente frecuencia,
- la inductancia y, opcionalmente, el al menos otro elemento eléctrico está/n conectado/s a un rectificador para rectificar la corriente eléctrica alterna y producir de este modo una corriente eléctrica continua,
- el rectificador comprende al menos un conmutador controlable de manera automática que está dispuesto, o en caso de que haya más de un conmutador controlable de manera automática están dispuestos, de tal manera que el cierre del conmutador (es decir, su activación) o el cierre de una pluralidad de los conmutadores resulte en un cortocircuito a través de la inductancia, o a través de dos o más de las inductancias, incluyendo opcionalmente el al menos un elemento eléctrico adicional,
- la disposición comprende un dispositivo de control que está adaptado para controlar el al menos un conmutador controlable de manera automática, y
- el dispositivo de control está adaptado para activar (es decir, cerrar el conmutador) y apagar (es decir, abrir el conmutador) el al menos un conmutador controlable de manera automática, a una frecuencia que sea menor que la frecuencia de resonancia.

En comparación con la técnica anterior mencionada anteriormente, el al menos un conmutador está conectado en paralelo con una válvula unidireccional (en particular, un diodo) del rectificador o, alternativamente, el conmutador está integrado en la válvula unidireccional (por ejemplo, se pueden utilizar un IGBT o un MOSFET que tengan un diodo integrado, un denominado diodo de cuerpo), en el que la respectiva válvula del rectificador está adaptada para conducir una corriente eléctrica en una sola dirección, de modo que - si el conmutador está encendido - una corriente eléctrica pueda fluir en la dirección opuesta a través de la válvula, o pueda pasar por alto la válvula en la dirección opuesta. Si el conmutador está conectado en paralelo a la (primera) válvula unidireccional, y si el rectificador comprende un puente que tenga dos válvulas unidireccionales conectadas en serie entre sí, el conmutador también estará conectado en serie a la otra (segunda) válvula unidireccional.

Preferiblemente, la disposición produce más de una fase (por ejemplo, tres fases) de la corriente alterna debido a la

inducción electromagnética, en un correspondiente número de líneas de fase. Una pluralidad de fases proporciona una corriente continua más uniforme en el lado de salida del rectificador. Adicionalmente, los receptores de fase plural pueden producir una mayor potencia y pueden reducirse los efectos parásitos.

5 En particular, el dispositivo receptor comprende una pluralidad de líneas de fase de material eléctricamente conductor, en el que cada línea de fase comprende una de las inductancias, estando adaptada cada inductancia para producir una de una pluralidad de fases de la corriente eléctrica alterna, y en el que las líneas de fase están conectadas entre sí para formar una conexión en punto de estrella en un extremo de la línea de fase, y están conectadas al rectificador en el extremo opuesto de la línea de fase.

10 En particular, cada uno de los extremos opuestos de las líneas de fase está conectado a uno de una pluralidad de puentes del rectificador, en el que cada puente comprende dos válvulas unidireccionales que están conectadas en serie entre sí, en el que cada válvula está adaptada para conducir una corriente eléctrica en un solo sentido, y en el que al menos una de las válvulas de cada puente es una combinación con uno de los conmutadores controlables de manera automática, por lo que - si el conmutador está encendido - una corriente eléctrica puede fluir en la dirección opuesta a través de la válvula, o puede pasar por alto la válvula en la dirección opuesta. Lo mismo es aplicable a un rectificador de puente completo en el caso de un dispositivo receptor de una sola fase.

15 El al menos un conmutador controlable de manera automática se puede combinar con una válvula (por ejemplo, puede integrarse en la válvula o puede conectarse en paralelo a la válvula) del rectificador, en el que la válvula está adaptada para accionar una corriente eléctrica en una única dirección y en el que - si el conmutador está encendido - una corriente eléctrica puede fluir en la dirección opuesta a través de la válvula, o puede pasar por alto la válvula en la dirección opuesta, en el que el dispositivo de control está adaptado para permitir encender el conmutador sólo cuando la magnitud de la corriente eléctrica a través la válvula sea cero o sea inferior a un valor umbral predeterminado. Con esta realización pueden reducirse de manera significativa las pérdidas durante la operación. Esto es posible ya que el dispositivo de control está adaptado para cambiar el al menos un conmutador controlable de manera automática a una frecuencia de conmutación que sea menor que la frecuencia de resonancia. Con esta frecuencia de conmutación, se enciende el al menos un conmutador. Con esta frecuencia de conmutación también se desconecta el al menos un conmutador. Puesto que el intervalo de tiempo entre la conexión y la desconexión del conmutador generalmente difiere del intervalo de tiempo entre la desconexión y la conexión del conmutador, y dado que estos intervalos de tiempo se pueden variar, pueden configurarse diferentes relaciones de estos intervalos de tiempo o ciclos de trabajo (véase más adelante).

20 De acuerdo con una realización preferida, con el fin de permitir conectar y desconectar el al menos un conmutador mientras la magnitud de la corriente eléctrica a través de la/s válvula/s sea cero o sea menor que un valor umbral predeterminado, la frecuencia de conmutación es una fracción entera de la frecuencia de resonancia, es decir, la frecuencia de resonancia es un múltiplo entero de la frecuencia de conmutación. En particular, puede predefinirse la fracción entera, es decir, se puede ajustar antes de la operación del dispositivo receptor. Esto no excluye la adaptación de la fracción entera a otro valor durante la operación.

25 En particular, durante la operación se puede determinar la frecuencia de resonancia, o una cantidad equivalente. Por lo tanto, la frecuencia de resonancia puede ser un múltiplo entero exacto de la frecuencia de conmutación durante la operación. Por ejemplo, si la frecuencia de resonancia cambia, se adapta la frecuencia de conmutación de manera correspondiente, y preferiblemente de forma automática. La cantidad equivalente puede ser el tiempo de un periodo o de medio periodo de la corriente alterna o de la tensión alterna en el lado de entrada del rectificador, por ejemplo la corriente alterna o la tensión alterna de una o más de una fase del dispositivo receptor. Por ejemplo, un detector que esté acoplado a un contador mide repetidamente cuando la corriente alterna o la tensión alterna pase a ser cero, y un dispositivo de cálculo calcula la frecuencia de resonancia. Sin embargo, también es posible que la frecuencia de la corriente alterna o la tensión alterna desencadene la generación de la frecuencia de conmutación de una manera diferente.

30 El dispositivo de control puede comprender un controlador que esté adaptado para controlar la relación entre los intervalos de tiempo, mientras que el al menos un conmutador controlable de manera automática esté encendido - y por lo tanto haya cortocircuito -, y los intervalos de tiempo mientras que el al menos un conmutador controlable de manera automática esté apagado. Debido a la temporización del proceso de conmutación, se reducen significativamente las pérdidas eléctricas que de otro modo se producirían en el conmutador y en la válvula. Adicionalmente, el conmutador produce menos calor y se facilita el enfriamiento del conmutador.

35 En particular, el dispositivo de control puede adaptarse para controlar la conmutación del al menos un conmutador controlable de manera automática, en función de la/las magnitud/es de la tensión y/o de la corriente en el lado de corriente continua del rectificador. A continuación se presenta un ejemplo.

40 De acuerdo con una aplicación específica de la invención, la disposición comprende un dispositivo de almacenamiento para almacenar la energía eléctrica que suministra el rectificador, en el que el rectificador está conectado con el dispositivo de almacenamiento y en el que el dispositivo de control está adaptado para controlar la conmutación del al menos un conmutador controlable de manera automática, en función de la/las magnitud/es de la

tensión y/o la corriente que se requieran para cargar el dispositivo de almacenamiento.

Adicionalmente, la invención incluye un vehículo que comprende la disposición de acuerdo con una de las realizaciones descritas en el presente documento, en la que el rectificador está conectado a un dispositivo de almacenamiento para almacenar energía eléctrica.

Adicionalmente, la invención comprende un método de operación de un vehículo, en particular, un vehículo ferroviario y/o un automóvil de carretera, utilizando energía eléctrica, en el que

- se recibe un campo electromagnético alterno y se utiliza para producir una corriente eléctrica alterna por inducción electromagnética,
- el campo electromagnético alterno se recibe en al menos una inductancia, que está formada por un material eléctricamente conductor y que produce una fase de la corriente eléctrica alterna por la inducción electromagnética,
- la inductancia y, opcionalmente, al menos un elemento eléctrico adicional, que está conectado a la inductancia, producen la fase de la corriente eléctrica alterna a una frecuencia de resonancia,
- un rectificador rectifica la corriente eléctrica alterna y, de ese modo, se produce una corriente eléctrica continua,
- el rectificador se opera mediante al menos un conmutador controlable de manera automática que se cierra temporalmente - o en caso de que haya más de un conmutador controlable de manera automática se cierran temporalmente - para efectuar un cortocircuito en la inductancia, o entre dos o más de las inductancias - incluyendo opcionalmente el al menos un elemento eléctrico adicional -,
- un dispositivo de control controla el al menos un conmutador controlable de manera automática, de modo que el al menos un conmutador controlable de manera automática se encienda y apague a una frecuencia que sea menor que la frecuencia de resonancia.

En particular, se puede producir la corriente eléctrica alterna usando una pluralidad de líneas de fase de un material eléctricamente conductor, en las que cada línea de fase comprende una de las inductancias que produce una de una pluralidad de fases de la corriente eléctrica alterna. De la descripción de la disposición se deducen otras realizaciones del método.

Por ejemplo, el rectificador puede comprender una válvula que se utilice para rectificar la corriente eléctrica alterna, en el que el conmutador controlable de manera automática esté combinado con la válvula, en el que la válvula conduzca - en un primer estado de operación, mientras el conmutador esté apagado - una corriente eléctrica sólo en una dirección y la válvula, o una derivación de la válvula, pueda conducir - en un segundo estado de operación, mientras el conmutador esté encendido - una corriente eléctrica en la dirección opuesta, en el que el encendido del conmutador sólo se habilite mientras la magnitud de la corriente eléctrica a través la válvula sea cero, o sea menor que un valor umbral predeterminado.

El dispositivo de control puede controlar la relación entre los intervalos de tiempo mientras el al menos un conmutador controlable de manera automática está encendido - y por lo tanto exista el cortocircuito -, y los intervalos de tiempo mientras el al menos un conmutador controlable de manera automática está apagado.

En particular, el dispositivo de control puede controlar la conmutación del al menos un conmutador controlable de manera automática en función de la/las magnitud/es de la tensión y/o la corriente en el lado de corriente continua del rectificador.

El rectificador puede suministrar la energía eléctrica a un dispositivo de almacenamiento de energía del vehículo, y el dispositivo de control puede controlar la conmutación del al menos un conmutador controlable de manera automática en función de la/las magnitud/es de la tensión y/o la corriente que se requieran para cargar el dispositivo de almacenamiento.

La invención incluye un método de fabricación de un vehículo, en particular, un vehículo ferroviario y/o un automóvil de carretera, que comprende las siguientes etapas:

- proporcionar un dispositivo receptor, adaptado para recibir un campo electromagnético alterno y para producir una corriente eléctrica alterna por inducción electromagnética,
- proporcionar al dispositivo receptor al menos una inductancia, que esté formada por un material eléctricamente conductor y que produzca una fase de la corriente eléctrica alterna por la inducción electromagnética,
- adaptar la al menos una inductancia y, opcionalmente, al menos un elemento eléctrico adicional que esté conectado a la inductancia, para producir una fase de la corriente eléctrica alterna a una frecuencia de resonancia a la que se produzca la corriente eléctrica alterna si el dispositivo receptor recibe un campo electromagnético alternativo de la correspondiente frecuencia,
- conectar la inductancia y, opcionalmente, el al menos un elemento eléctrico adicional, a un rectificador para rectificar la corriente eléctrica alterna y, de ese modo, producir una corriente eléctrica continua,
- disponer al menos un conmutador controlable de manera automática del rectificador de tal manera que el cierre

del conmutador controlable de manera automática, o el cierre de una pluralidad de conmutadores controlables de manera automática, resulte en un cortocircuito en la inductancia, o entre dos o más de las inductancias, incluyendo opcionalmente el al menos un elemento eléctrico adicional,

- proporcionar un dispositivo de control y adaptar el dispositivo de control de manera que pueda controlar el al menos un conmutador controlable de manera automática, y
- adaptar el dispositivo de control de modo que pueda encender y apagar el al menos un conmutador controlable de manera automática a una frecuencia que sea menor que la frecuencia de resonancia.

A continuación se describirán ejemplos de la invención, con referencia a las figuras adjuntas:

La Fig. 1 muestra un diagrama de circuito de un dispositivo receptor que está conectado a un rectificador, en el que el lado de corriente continua del rectificador está conectado a una carga, por ejemplo a un convertidor de tracción a través de un circuito intermedio de corriente continua,

La Fig. 2 muestra un rectificador modificado que sólo tiene dos puentes,

La Fig. 3 muestra un diagrama de circuito de una disposición similar a la disposición de la Fig. 1, en el que se muestran los dispositivos de medición para medir las corrientes de fase del dispositivo receptor, y para medir la tensión del circuito intermedio de corriente continua,

La Fig. 4 muestra un diagrama de circuito de una disposición similar a la disposición de la Fig. 3, en el que cada puente del rectificador comprende solamente un conmutador,

La Fig. 5 muestra un diagrama de circuito de un bucle de control, para controlar los procesos de conmutación de los conmutadores que están integrados en el rectificador, por ejemplo el rectificador de la Figura 1, la Fig. 3 o la Fig. 4, y

La Fig. 6 muestra un diagrama de cantidades como funciones del tiempo, con la corriente alterna producida por un dispositivo receptor conectado a un rectificador, tal como el rectificador mostrado en la Fig. 4, en el tercio superior del diagrama, con la tensión continua en la salida del rectificador en el tercio central del diagrama, y con una señal en triángulo y una función escalonada que indica el estado de conmutación de los conmutadores en el tercio inferior del diagrama.

El dispositivo receptor 1 para la recepción de un campo electromagnético mostrado en la Fig. 1 comprende tres líneas de fase 2a, 2b, 2c, que están conectadas por un lado a un punto neutro 5 común. El otro lado de cada línea de fase 2a, 2b, 2c está conectado a un respectivo puente de un rectificador 10. Cada línea de fase 2a, 2b, 2c comprende una inductancia 3a, 3b, 3c que está conectada en serie a una capacitancia 4a, 4b, 4c, con el fin de compensar las inductancias parásitas causadas por las inductancias 3a, 3b, 3c. Cada una de las inductancias 3 y cada una de las capacitancias de compensación 4 se pueden realizar ya sea mediante un solo elemento (tal como un inductor o un condensador), o bien mediante una combinación de elementos (tales como una conexión en serie y/o una conexión en paralelo de inductores o condensadores). También es posible que una primera parte de la inductancia 3 de la línea de fase 2 esté conectada a una segunda parte de la inductancia 3, a través de una primera parte o de la única parte de la capacitancia 4.

Durante la operación del dispositivo receptor 1, el campo electromagnético incidente induce una tensión eléctrica en las inductancias 3a, 3b, 3c, de modo que haya una tensión a través de cada línea de fase 2a, 2b, 2c entre el punto neutro 5 en un extremo y la conexión a los puentes 11 del rectificador 10 en el otro extremo. Si una carga 17 está conectada al lado de corriente continua del rectificador 10, y si se hace funcionar la carga, una corriente correspondiente alterna fluye a través de las líneas de fase 2a, 2b, 2c, que es rectificadas por el rectificador 10 y se proporciona a la carga 17 a modo de corriente continua a través de las líneas de conexión 18a, 18b. Tal como se indica, las corrientes a través de las líneas de fase 2a, 2b, 2c se pueden medir mediante los dispositivos de medición 36a, 36b, 36c mostrados en la Fig. 3 y la Fig. 4 (por ejemplo, utilizando bobinas Rogowski).

Preferiblemente, las inductancias 3a, 3b, 3c del dispositivo receptor 1 están dispuestas de tal manera que el campo electromagnético incidente produzca corrientes eléctricas alternas en la línea de fase 2a, 2b, 2c con un desplazamiento de fase de 120°, como es normalmente el caso de una corriente alterna trifásica.

El rectificador 10 mostrado en la Fig. 1 comprende tres puentes 11a, 11b, 11c. Cada uno de los puentes 11 comprende una conexión en serie de dos diodos 14a, 15a; 14b, 15b; 14c, 15c. Estos diodos 14, 15 permiten una corriente eléctrica desde el lado inferior mostrado en la Fig. 1 hasta la parte superior mostrada en la Fig. 1, de modo que el potencial eléctrico en la línea de corriente 18b sea mayor que en la línea de corriente 18a. Un condensador de filtrado 16 está conectado entre las líneas de corriente continua 18a, 18b. El condensador de filtrado 16 está conectado al lado de salida del rectificador, es decir al lado de salida de los tres puentes 11, y no es parte del rectificador 10. Cada puente 11 está conectado por un extremo a la primera línea de corriente continua 18a y por el otro extremo a la segunda línea de corriente continua 18b.

En la realización específica mostrada en la Fig. 1, cada diodo 14, 15 está conectado en paralelo con un conmutador 12, 13 de modo que el conmutador 12, 13 permita a una corriente eléctrica pasar por alto el diodo 14, 15, mientras el conmutador está activado.

Durante la operación del dispositivo receptor 1 y del rectificador 10, los conmutadores 12, 13 pueden encenderse y apagarse repetidas veces con el fin de aumentar o disminuir la corriente continua en el lado de salida del rectificador 10, en comparación con la operación normal del rectificador 10. "Operación normal" significa que no se opera ninguno de los conmutadores 12, 13. En particular, los conmutadores 12, 13 se operan de tal manera que estén encendidos al mismo tiempo los primeros conmutadores 12a, 12b, 12c, o bien los segundos conmutadores 13a, 13b, 13c de los puentes. Por ejemplo, partiendo de un primer estado de operación en el que todos los conmutadores 12, 13 están apagados, se conectan los primeros conmutadores 12a, 12b, 12c y se desconectan después de cierto intervalo de tiempo y, a continuación, tras un segundo intervalo de tiempo, se encienden los segundos conmutadores 13a, 13b, 13c y se apagan después de un tercer intervalo. Después de un cuarto intervalo de tiempo se activan de nuevo los primeros conmutadores 12a, 12b, 12c durante el primer intervalo de tiempo, y así sucesivamente. Para esta operación, se puede definir un ciclo de trabajo d que es la relación entre la suma del primer y tercer intervalos de tiempo (mientras cualquiera de los conmutadores 12 o los conmutadores 13 están encendidos) y la suma del segundo y cuarto intervalos de tiempo (mientras todos los conmutadores 12, 13 están apagados). La tensión en el lado de salida del rectificador 10 es:

$$U_A = 1/(1 - d) * U_E$$

en donde U_A es la tensión continua en el lado de salida del rectificador 10 a través del condensador de filtrado 16, y U_E es la raíz cuadrada media (RMS) de la tensión alterna trifásica en la conexión entre el dispositivo receptor 1 y el rectificador 10.

En particular, no sólo en relación con los diagramas de circuito de la Fig. 1 a la Fig. 5, la frecuencia de conmutación de los conmutadores 12, 13 es menor que la frecuencia de la corriente alterna producida por las líneas de fase o línea de fase del dispositivo receptor. Por lo tanto, es posible y preferible encender los conmutadores 12 o 13 sólo mientras la corriente a través de la válvula (por ejemplo, el diodo 14, 15) sea igual a cero o sea menor que un valor umbral predeterminado. Por lo tanto, pueden evitarse o reducirse las pérdidas causadas por la conmutación de los conmutadores 12, 13 bajo carga. Para detectar si la magnitud de la corriente a través de las válvulas es cero o menor que un valor umbral predeterminado, pueden usarse los dispositivos de medición 36 mencionados en relación con la Fig. 3 y la Fig. 4.

La Fig. 2 muestra un rectificador modificado que sólo tiene dos puentes 21a, 21b. Una vez más, cada puente 21 comprende una conexión en serie de dos válvulas (diodos 34a, 35a; 34b, 35b) y existe un conmutador 32a, 33a; 32b, 33b en paralelo con cada válvula 34, 35, pasando por alto de este modo la válvula mientras el conmutador 32, 33 está encendido.

Las líneas de fase 22a, 22b mostradas en la Fig. 2 pueden ser líneas de fase de corriente alterna bifásica, o pueden ser líneas de conexión a un receptor que sólo produzca una fase de una corriente alterna, mientras exista un campo electromagnético incidente.

En las diferentes figuras los mismos números de referencia se refieren a los mismos elementos, o a elementos funcionalmente similares. Por lo tanto, en la Fig. 2 los números 18a, 18b denotan líneas de corriente continua en el lado de salida del rectificador.

Como se muestra en la Fig. 4, puede omitirse un conjunto de los conmutadores (a saber, los conmutadores 13 de la Fig. 1 y la Fig. 3). Esto se basa en el hallazgo de que sólo se requiere un conjunto de conmutadores (por ejemplo, ya sea los conmutadores 12 o bien los conmutadores 13 de la Fig. 1 y la Fig. 3) para producir un cortocircuito a través de las líneas de fase 2, con el fin de variar la inductancia 3 y, por lo tanto, variar la tensión directa en el lado de salida del rectificador. Lo mismo es aplicable a la construcción modificada del rectificador mostrado en la Fig. 2, o a cualquier otro rectificador. En el caso de la Fig. 2, se pueden omitir los conmutadores 32a, 32b, y los conmutadores 33a, 33b se pueden encender y apagar repetidamente y, preferiblemente, al mismo tiempo, con el fin de producir un cortocircuito en la línea de conexión 22a, 22b o en las líneas de fase 22a, 22b, respectivamente.

Como se muestra en la Fig. 3 y la Fig. 4, una conexión en serie de dos capacitancias 42, 43 adicionales puede estar conectada por sus extremos opuestos a las líneas de corriente continua 18a, 18b. Adicionalmente, un punto de conexión entre las capacitancias 42, 43 puede conectarse a tierra, tal como se indica en la Fig. 3 y la Fig. 4. Adicional o alternativamente, puede conectarse un dispositivo de medición 41 entre las líneas de corriente continua 18a, 18b. En particular, el dispositivo de medición 41 puede estar adaptado para medir la tensión entre las líneas 18a, 18b y, preferiblemente, también la corriente a través de al menos una de las líneas 18a, 18b. Los valores de medición suministrados por el dispositivo de medición 41 se pueden utilizar para controlar la operación de la carga (por ejemplo, la carga 17 de la Fig. 1 u otra carga, tal como un dispositivo de almacenamiento de energía para almacenar energía eléctrica) y/o se puede utilizar para controlar la operación de los conmutadores del rectificador. En particular, en función de los valores de medición del dispositivo de medición 41, el ciclo de trabajo de los conmutadores se puede configurar de modo que se realice un control de bucle cerrado. Por lo tanto, por ejemplo, la tensión directa entre las líneas de corriente continua 18a, 18b puede controlarse para que sea constante.

Alternativamente, la tensión y/o la corriente en el lado de salida del rectificador puede controlarse para que cumpla con otros requisitos de la carga o cargas.

5 Con referencia a la Fig. 5 se explicará un ejemplo de un bucle de control para controlar la operación de los conmutadores de un rectificador, tal como el rectificador 10 mostrado en la Fig. 1. Como se ha mencionado anteriormente, se miden las corrientes alternas a través de las líneas de fase del dispositivo receptor, en particular de forma continua o casi continua. En caso de un dispositivo receptor trifásico, la, lb, lc denotan a modo de ejemplo (puede realizarse un correspondiente bucle de control para cualquier otro número de líneas de fase del dispositivo receptor) las tres corrientes de fase de la corriente alterna trifásica. Estas corrientes de fase se introducen en un primer dispositivo calculador 51a, 51b, 51c para calcular por separado, para cada fase, la raíz cuadrada media (RMS) de las corrientes de fase. La RMS se envía a un dispositivo de adición 52 para sumar los valores, y para enviar la suma resultante a un dispositivo de sustracción 53, que resta la suma a un valor establecido Iset. Este valor establecido Iset se produce de acuerdo a los requisitos de control. Por ejemplo, el valor establecido se puede producir en función de la medición de la tensión continua en el lado de salida del rectificador, como se ha mencionado anteriormente.

La diferencia que emite el dispositivo de sustracción 53 se introduce en un controlador 54, que puede ser un controlador PI (un controlador proporcional-integral). El valor de salida del controlador 54 se introduce en un comparador 56, que compara la salida con una señal en triángulo producida por un dispositivo productor 55 de señal en triángulo. La frecuencia de la señal en triángulo es igual a la frecuencia de conmutación, que es una fracción entera de la frecuencia de resonancia, es decir, la frecuencia de resonancia es un múltiplo entero de la frecuencia de conmutación.

En particular, la entrada recibida por el comparador 56 desde el controlador 54 puede ser el ciclo de trabajo d mencionado anteriormente. La salida resultante del comparador 56 es una función escalonada que tiene dos valores funcionales diferentes, a saber, 1 y 0, que corresponde al ciclo de trabajo. Esta función escalonada se alimenta a unos dispositivos accionamiento 59a, 59b, 59c individuales para accionar, por ejemplo, los conmutadores 12 y 13 de la Fig. 1 o los conmutadores 12 de la Fig. 4. En caso de tener dos conjuntos de conmutadores 12, 13, los dispositivos de accionamiento 59 se combinan con un alternador para accionar alternativamente los conmutadores 12 y 13, es decir, se encienden y se apagan los conmutadores 12 antes de encender y apagar los conmutadores 13, y vice versa.

La salida del comparador 56 se introduce en una primera entrada D de los dispositivos de accionamiento 59 y, preferiblemente, existe un segundo valor de entrada que se introduce en una segunda entrada Q de los dispositivos de accionamiento 59, con el fin de encender los conmutadores solamente si la magnitud de la corriente a través de la respectiva válvula es cero o es menor que un valor umbral predeterminado Ilim. Este valor umbral Ilim se introduce en un conjunto de segundos comparadores 58a, 58b, 58c, y también se introducen las corrientes alternas medidas de las líneas de fase (es decir, las corrientes de fase la, lb, lc) en los segundos comparadores 58, para cada fase por separado. Los segundos comparadores 58 comparan el valor actual de la corriente alterna con el valor umbral Ilim, y sólo emiten una señal de habilitación al respectivo dispositivo de accionamiento 59 asignado si la corriente de fase es menor que el valor umbral Ilim, o es menor o igual que el valor umbral Ilim.

La Fig. 6 muestra un ejemplo de diferentes cantidades como funciones del tiempo, durante la operación de una disposición que comprende un dispositivo receptor (tal como el dispositivo receptor mostrado en la Fig. 1) conectado al rectificador mostrado en la Fig. 4. El rectificador de la Fig. 4 sólo se elige por simplicidad. Puede lograrse un comportamiento similar de la tensión continua en el lado de salida del rectificador con los rectificadores mostrados en la Fig. 1 a la Fig. 3, y con un control modificado de los conmutadores correspondiente al hecho de que hay dos conmutadores en cada rama del rectificador.

50 El eje horizontal del diagrama corresponde al tiempo normalizado, es decir, el cociente del tiempo t y el periodo τ_{AR} del ciclo de conexión o de desconexión de los conmutadores 12. En el tercio superior del diagrama, el eje vertical corresponde a la corriente alterna del dispositivo receptor. Una doble flecha horizontal ilustra periodo el τ_{RES} de la corriente alterna que fluctúa con la frecuencia de resonancia f_{RES} . En el ejemplo, los valores pico de la corriente están en el intervalo de -20 A y 20 A. En el tercio central del diagrama, el eje vertical corresponde a la tensión continua del rectificador. En el ejemplo, los valores de la tensión varían entre 60 V y 70 V. En el tercio inferior del diagrama, el eje vertical corresponde a la tensión de la respectiva señal y del valor umbral. En el ejemplo, el valor umbral es de 0,4 V y se indica mediante una línea horizontal en este nivel. Una doble flecha horizontal ilustra el periodo τ_{AR} del ciclo de desconexión de los conmutadores 12.

60 Como se muestra en el tercio superior de la Fig. 6, la corriente alterna en el lado de entrada del rectificador oscila con la frecuencia de resonancia. Por ejemplo, como se describe en conexión con la Fig. 5 anterior, se compara una señal en triángulo (tercio inferior del diagrama de la Fig. 6, fluctuando entre los valores pico 0 V y 1 V) con un valor umbral, y provoca la conmutación de los conmutadores 12 del rectificador. Cuando la señal en triángulo cae por debajo del valor umbral (en el ejemplo: 0,4 V), se conectan los conmutadores 12 tal como indica la función escalonada en el tercio inferior del diagrama de la Fig. 6, incrementándose desde -1 V a 1 V. Cuando la señal en

triángulo alcanza de nuevo el valor umbral, se desconectan de nuevo estos conmutadores 12 tal como indica la función escalonada, reduciéndose de 1 V a 0 V.

- 5 En aquellos puntos en el tiempo en que los conmutadores 12 están conectados, las líneas de fase del dispositivo receptor están en cortocircuito. Por lo tanto, el valor pico de la corriente alterna mostrado en el tercio superior del diagrama se incrementa durante los periodos sucesivos. Adicionalmente, disminuye la tensión continua mostrada en el tercio central del diagrama. Esta disminución se detiene desconectando de nuevo los conmutadores 12. Posteriormente, mientras los conmutadores 12 están apagados, se incrementa la tensión continua.

REIVINDICACIONES

1. Una disposición para proporcionar energía eléctrica un vehículo, en particular a un vehículo ferroviario y/o un automóvil de carretera, en la que
- la disposición comprende un dispositivo receptor (1), adaptado para recibir un campo electromagnético alterno y para producir una corriente eléctrica alterna por inducción electromagnética,
 - el dispositivo receptor (1) comprende al menos una inductancia (3), que está formada por un material eléctricamente conductor para producir una fase de la corriente eléctrica alterna por la inducción electromagnética,
 - la al menos una inductancia (3) y, opcionalmente, al menos un elemento eléctrico (4) adicional, que está conectado a la inductancia (3) con el fin de producir una fase de la corriente eléctrica alterna, comprende/n una frecuencia de resonancia a la que se produce la fase de la corriente eléctrica alterna, si el dispositivo receptor (1) recibe un campo electromagnético alterno de una correspondiente frecuencia,
 - la inductancia (3) y, opcionalmente, el al menos un elemento eléctrico (4) adicional está/n conectado/s a un rectificador (10) para rectificar la corriente eléctrica alterna y producir de este modo una corriente eléctrica continua, estando caracterizada la disposición por que
 - el rectificador (10) comprende al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática que está dispuesto, o en caso de que haya más de un conmutador (12, 13) controlable de manera automática están dispuestos, de tal manera que el cierre del conmutador o el cierre de una pluralidad de los conmutadores resulte en un cortocircuito a través de la inductancia (3), o a través de dos o más de las inductancias (3), incluyendo opcionalmente el al menos un elemento eléctrico (4) adicional,
 - la disposición comprende un dispositivo de control que está adaptado para controlar el al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática, y
 - el dispositivo de control está adaptado para activar y desactivar el al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática, a una frecuencia que sea menor que la frecuencia de resonancia.
2. La disposición de la reivindicación anterior, en la que el dispositivo receptor (1) comprende una pluralidad de líneas de fase (2a, 2b, 2c) de un material eléctricamente conductor, en la que cada línea de fase (2a, 2b, 2c) comprende una de las inductancias (3), estando adaptada cada inductancia (3) para producir una de una pluralidad de fases de la corriente eléctrica alterna y en la que las líneas de fase (2a, 2b, 2c) están conectadas entre sí para formar una conexión de punto neutro en un extremo de la línea de fase (2a, 2b, 2c), y están conectadas al rectificador (10) en el extremo opuesto de la línea de fase (2a, 2b, 2c).
3. La disposición de la reivindicación precedente, en la que cada uno de los extremos opuestos de las líneas de fase (2a, 2b, 2c) está conectado a uno de una pluralidad de puentes del rectificador (10), en la que cada puente comprende dos válvulas unidireccionales (14, 15) que están conectadas en serie entre sí, en la que cada válvula (14, 15) está adaptada para conducir una corriente eléctrica en una única dirección y en la que al menos una de las válvulas de cada puente es una combinación de uno de los conmutadores (12, 13) controlables de manera automática, de modo que - si el conmutador (12, 13) está encendido - una corriente eléctrica pueda fluir en la dirección opuesta a través de la válvula (14, 15), o pueda pasar por alto la válvula (14, 15) en la dirección opuesta.
4. La disposición de una de las reivindicaciones precedentes, en la que el al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática está combinado con una válvula (14, 15) del rectificador (10), en la que la válvula (14, 15) está adaptada para accionar una corriente eléctrica en una única dirección, y en la que - si el conmutador (12, 13) está encendido - una corriente eléctrica puede fluir en la dirección opuesta a través de la válvula o puede pasar por alto la válvula (14, 15) en la dirección opuesta, en la que el dispositivo de control está adaptado para permitir la conmutación en el conmutador (12, 13) solamente mientras la magnitud de la corriente eléctrica a través de la válvula (14, 15) sea igual a cero o sea menor que un valor umbral predeterminado.
5. La disposición de una de las reivindicaciones precedentes, en la que el dispositivo de control comprende un controlador que está adaptado para controlar la relación entre los intervalos de tiempo mientras que el al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática está encendido - y por lo tanto está presente el cortocircuito - y los intervalos de tiempo mientras que el al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática está apagado.
6. La disposición de una de las reivindicaciones precedentes, en la que el dispositivo de control está adaptado para controlar la conmutación del al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática en función de la/s magnitud/es de la tensión y/o de la corriente en el lado de corriente directa del rectificador (10).
7. La disposición de la reivindicación anterior, en la que la disposición comprende un dispositivo de almacenamiento para almacenar la energía eléctrica suministrada por el rectificador (10), en la que el rectificador (10) está conectado con el dispositivo de almacenamiento y en la que el dispositivo de control está adaptado para controlar la conmutación de el al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática, en función de la/s magnitud/es de la tensión y/o de la corriente que se requiera/h para cargar el dispositivo de almacenamiento.

8. Un vehículo que comprende la disposición de una de las reivindicaciones precedentes, en el que el rectificador (10) está conectado a un dispositivo de almacenamiento para almacenar energía eléctrica.
9. Un método de operación de un vehículo, en particular, un vehículo ferroviario y/o un automóvil de carretera, utilizando energía eléctrica, en el que
- se recibe un campo electromagnético alterno y se utiliza para producir una corriente eléctrica alterna por inducción electromagnética,
 - el campo electromagnético alterno se recibe en al menos una inductancia (3), que está formada por un material eléctricamente conductor y que produce una fase de la corriente eléctrica alterna por la inducción electromagnética,
 - la inductancia (3) y, opcionalmente, al menos un elemento eléctrico (4) adicional, que está conectado a la inductancia (3), producen la fase de la corriente eléctrica alterna a una frecuencia de resonancia,
 - un rectificador (10) rectifica la corriente eléctrica alterna y, de ese modo, se produce una corriente eléctrica continua, caracterizándose el método por que
 - el rectificador (10) se opera mediante al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática que se cierra temporalmente - o en caso de que haya más de un conmutador (12, 13) controlable de manera automática se cierran temporalmente - para efectuar un cortocircuito en la inductancia (3), o entre dos o más de las inductancias (3) - incluyendo opcionalmente el al menos un elemento eléctrico (4) adicional -,
 - un dispositivo de control controla el al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática, de modo que se encienda y se apague el al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática a una frecuencia que sea menor que la frecuencia de resonancia.
10. El método de la reivindicación anterior, en el que la corriente eléctrica alterna se produce utilizando una pluralidad de líneas de fase (2a, 2b, 2c) de un material eléctricamente conductor, en el que cada línea de fase (2a, 2b, 2c) comprende una de las inductancias (3) que produce una de una pluralidad de fases de la corriente eléctrica alterna.
11. El método de una de las reivindicaciones precedentes, en el que el rectificador (10) comprende una válvula (14, 15) que se utiliza para rectificar la corriente eléctrica alterna, en el que el conmutador (12, 13) controlable de manera automática está combinado con la válvula (14, 15), en el que la válvula (14, 15) conduce - en un primer estado de operación en el que el conmutador (12, 13) está apagado - una corriente eléctrica en un solo sentido, y la válvula o una derivación de la válvula (14, 15) puede conducir - en un segundo estado de operación en el que el conmutador (12, 13) está encendido - una corriente eléctrica en la dirección opuesta, en el que el encendido del conmutador (12, 13) solamente se habilita cuando la magnitud de la corriente eléctrica a través de la válvula (14, 15) es cero, o es menor que un valor umbral predeterminado.
12. El método de una de las reivindicaciones precedentes, en el que el dispositivo de control controla la relación entre los intervalos de tiempo mientras que el al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática está encendido - y por lo tanto está presente el cortocircuito - y los intervalos de tiempo mientras que el al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática está apagado.
13. El método de una de las reivindicaciones precedentes, en el que el dispositivo de control controla la conmutación del al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática en función de la/las magnitud/es de la tensión y/o de la corriente en el lado de corriente continua del rectificador (10).
14. El método de la reivindicación precedente, en el que el rectificador (10) suministra energía eléctrica a un dispositivo de almacenamiento de energía del vehículo, y en el que el dispositivo de control controla la conmutación del al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática en función de la/las magnitud/es de la tensión y/o de la corriente que se requieran para cargar el dispositivo de almacenamiento.
15. Un método de fabricación de un vehículo, en particular un vehículo ferroviario y/o un automóvil de carretera, que comprende las siguientes etapas:
- proporcionar un dispositivo receptor (1), adaptado para recibir un campo electromagnético alterno y para producir una corriente eléctrica alterna por inducción electromagnética,
 - proporcionar al dispositivo receptor (1) al menos una inductancia (3), que esté formada por un material eléctricamente conductor para producir una fase de la corriente eléctrica alterna por la inducción electromagnética,
 - adaptar la al menos una inductancia (3) y, opcionalmente, al menos un elemento eléctrico (4) adicional que esté conectado a la inductancia (3), para producir una fase de la corriente eléctrica alterna para que opere a una frecuencia de resonancia a la que se produzca la corriente eléctrica alterna si el dispositivo receptor (1) recibe un campo electromagnético alternativo de la correspondiente frecuencia,
 - conectar la inductancia (3) y, opcionalmente, el al menos un elemento eléctrico adicional, a un rectificador (10) para rectificar la corriente eléctrica alterna y, de ese modo, producir una corriente eléctrica continua,

caracterizado por las etapas de:

- disponer al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática del rectificador (10) de tal manera que el cierre del conmutador (12, 13) controlable de manera automática, o el cierre de una pluralidad de conmutador (12, 13) controlable de manera automática, resulte en un cortocircuito en la inductancia (3), o entre dos o más de las inductancias (3), incluyendo opcionalmente el al menos un elemento eléctrico (4) adicional,
- proporcionar un dispositivo de control y adaptar el dispositivo de control de manera que pueda controlar el al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática, y
- adaptar el dispositivo de control de modo que pueda encender y apagar el al menos un conmutador (12, 13) controlable de manera automática a una frecuencia que sea menor que la frecuencia de resonancia.

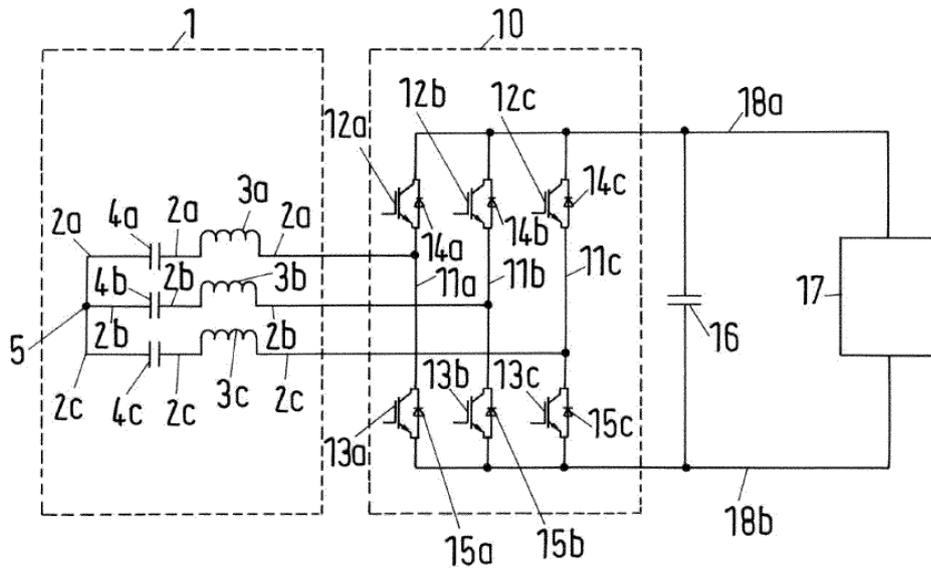


Fig.1

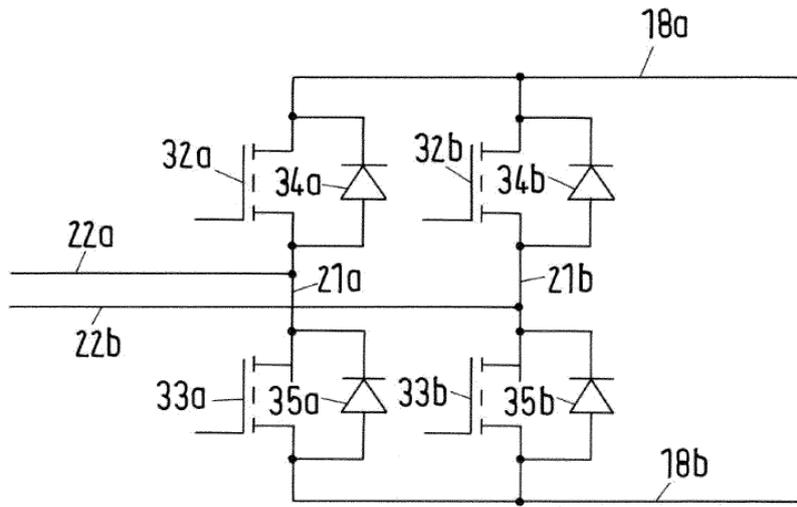


Fig.2

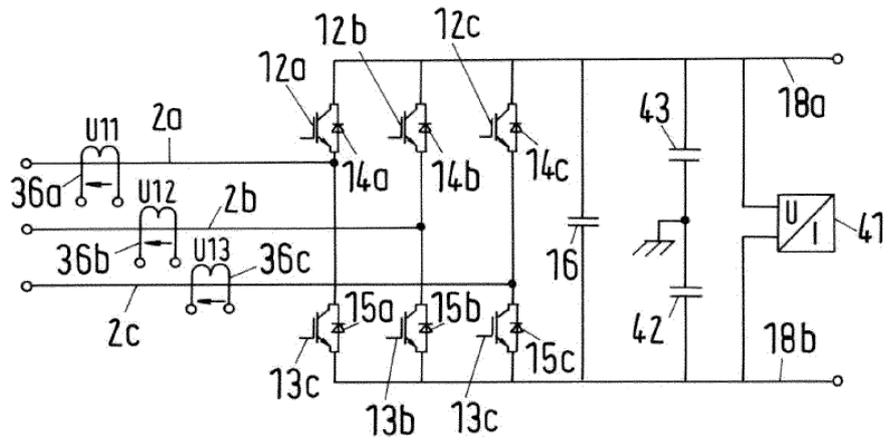


Fig.3

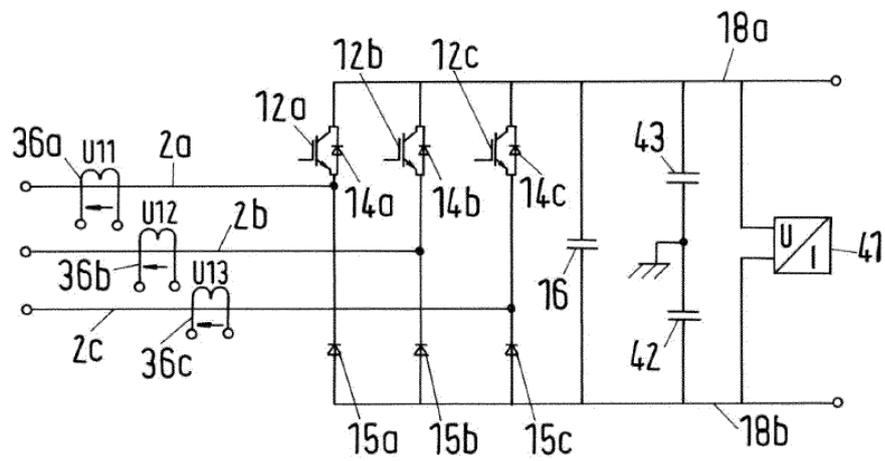


Fig.4

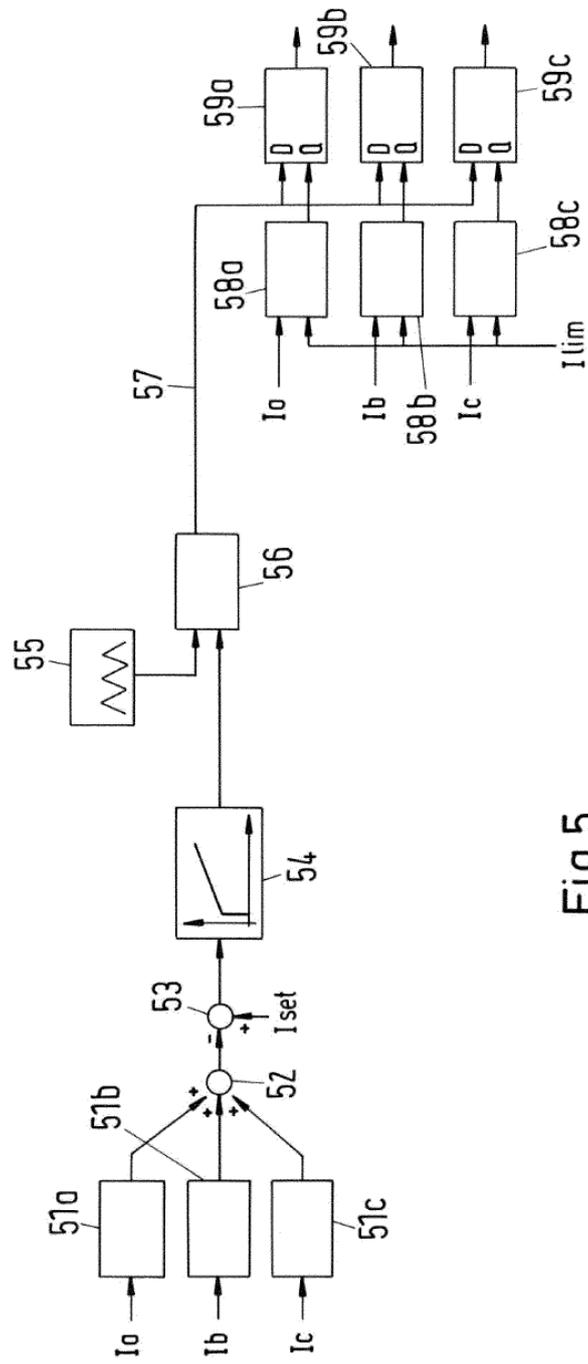


Fig.5

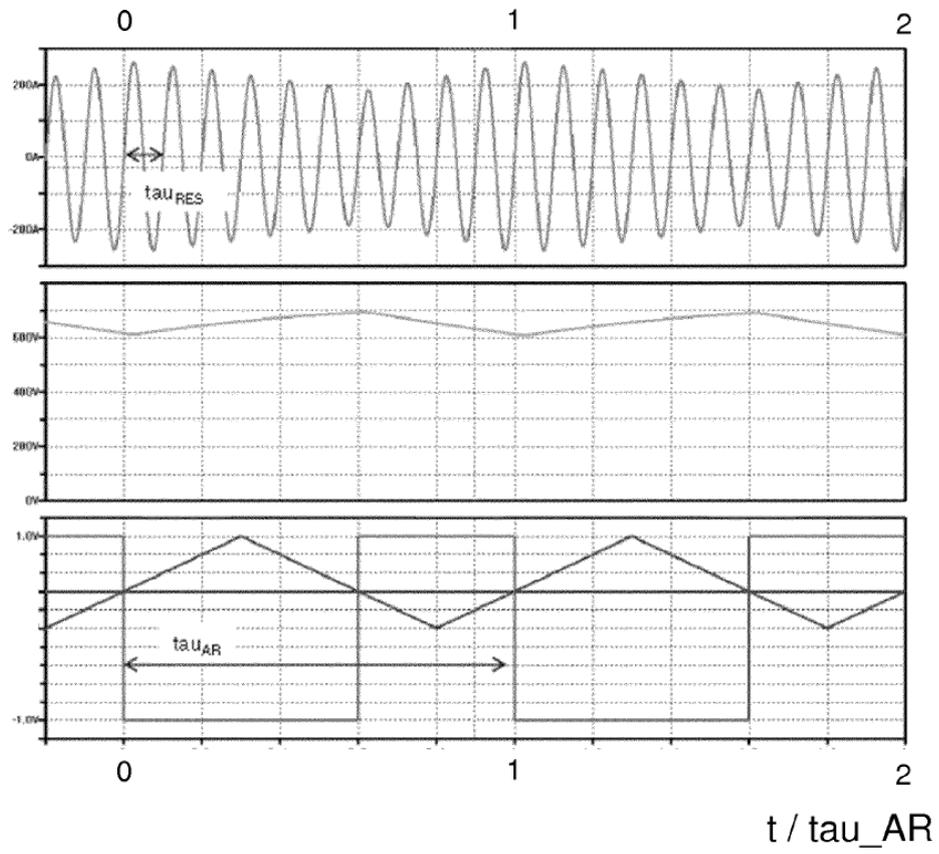


Fig. 6