

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 774 661**

51 Int. Cl.:

**B60L 9/00**

(2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.08.2011 PCT/EP2011/064975**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.03.2012 WO12028640**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.08.2011 E 11755298 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2019 EP 2611643**

54 Título: **Disposición de suministro de energía eléctrica para equipos propulsores de vehículos ferroviarios**

30 Prioridad:

**03.09.2010 DE 102010044322**

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

**22.07.2020**

73 Titular/es:

**BOMBARDIER TRANSPORTATION GMBH  
(100.0%)  
Eichhornstraße 3  
10785 Berlin, DE**

72 Inventor/es:

**REINOLD, HARRY y  
LINDENMÜLLER, LARS**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

**ES 2 774 661 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 suministro de energía eléctrica para equipos propulsores de vehículos ferroviarios

La invención se refiere a una disposición de suministro de energía eléctrica para equipos propulsores de vehículos ferroviarios y a un procedimiento para hacer funcionar un equipo propulsor de un vehículo ferroviario.

5 Para la alimentación de equipos propulsores de vehículos ferroviarios se hacen funcionar de diferente forma, según el país o la región, unas redes de alimentación eléctricas. P.ej. en Alemania se ha llevado a cabo una alimentación eléctrica con tensión alterna a una frecuencia de 16,7 Hz y con una tensión nominal de 15 kV. Otro sistema se hace funcionar con una tensión alterna de 50 Hz y con una tensión nominal de 25 kV. También existen sistemas de tensión continua, en especial con unas tensiones nominales de 3 kV y de 1,5 kV.

10 Para el funcionamiento en redes de alimentación de tensión alterna es habitual rebajar la tensión alterna relativamente alta de la red de alimentación, en primer lugar a través de un transformador de entrada del vehículo ferroviario, rectificar la tensión alterna rebajada y alimentarse a un llamado circuito intermedio de tensión continua, al que está conectado un convertor de tracción para el funcionamiento de un motor de tracción o varios motores de tracción. Sin embargo, el inconveniente de esta solución consiste en el tamaño y el peso del transformador de entrada, en especial a  
15 frecuencias de 16,7 Hz, pero también incluso a frecuencias de 50 Hz.

20 Cuando se quiere hacer funcionar un vehículo motopropulsor ferroviario en una red de alimentación de tensión continua, el circuito intermedio de tensión continua se conecta directamente a la red de alimentación a través de una inductividad. La inductividad se usa como filtro pasivo para evitar o atenuar perturbaciones, que podrían transmitirse al raíl desde la red de alimentación. A causa de las grandes fluctuaciones de la tensión de la red de alimentación de tensión continua, que puede producirse sobre todo durante el funcionamiento de varios vehículos ferroviarios en el mismo tramo de la red, se necesitan grandes valores de inductividad para la inductividad de entrada. Debido a que también circulan grandes corrientes eléctricas a través de la inductividad de entrada, se trata en el caso de la inductividad de entrada habitualmente de un componente muy grande y por ello también pesado.

25 Una función adicional de la inductividad de entrada consiste en reducir efectos retroactivos del funcionamiento del convertor de tracción sobre la red de alimentación de tensión continua.

30 Ya se han propuesto filtros activos para el funcionamiento en redes de alimentación de tensión continua, que generan tensiones alternas y con ello corrientes alternas que compensan las corrientes parásitas generadas durante el funcionamiento del convertor de tracción. Un ejemplo de filtros activos se describe en Cascone, V. el al. "Design of active filters for dynamic damping oh harmonic currents generated by asynchronous drives in modern high power locomotives", Power Electronics Specialists Conference, 1992. Mediante el empleo del filtro activo puede reducirse el tamaño y con ello el peso de la inductividad de entrada.

35 Para facilitar el tráfico en diferentes redes de tráfico ferroviario, en parte los mismos vehículos motopropulsores ferroviarios (p.ej. locomotoras o unidades motrices) están equipados para su funcionamiento en las diferentes redes de alimentación eléctricas. Para ahorrar peso se usa a este respecto, p.ej. un devanado del transformador de entrada como inductividad de entrada, si el vehículo se hace funcionar en una red de tensión continua. De esta manera es cierto que puede evitarse que aumente el peso a causa de una inductividad de entrada adicional. Sin embargo sigue siendo necesario el pesado y grande transformador de entrada. El empleo de filtros activos no reduce el peso.

40 El documento DE 196 30 284 A1 describe un sistema de propulsión para un vehículo ferroviario, que se compone de dos sistemas parciales acoplados a través de al menos un transformador, en donde en cada uno de los dos sistemas parciales están dispuestos al menos un regulador de cuatro cuadrantes, al menos un condensador de circuito intermedio y al menos un convertor. Se representa un concepto de propulsión para un vehículo ferroviario con varios sistemas rectificadores de corriente parciales, conmutados en serie en el lado de la red. Cada uno de estos sistemas rectificadores de corriente parciales puede puentearse a través de un conmutador aparte. Entre el sistema de cable conductor/verificador de corriente y el primer sistema rectificador de corriente parcial está prevista una bobina inductora de entrada principal, la cual entre otras cosas se usa para limitar sobretensiones. Las salidas de los sistemas rectificadores de corriente parciales están situadas en paralelo. Mediante el concepto de propulsión se divide la tensión alterna relativamente alta entre el sistema de cable conductor/verificador de corriente y el sistema de rueda/raíl de forma correspondiente al número de sistemas rectificadores de corriente parciales, de tal manera que cada regulador de cuatro cuadrantes o convertor de los primeros sistemas parciales de los sistemas rectificadores de corriente parciales pueden hacerse funcionar con conmutadores semiconductores. Un sistema rectificador de corriente parcial contiene por ejemplo un sistema de bobina inductora de entrada, un regulador de cuatro cuadrantes, un condensador de circuito intermedio, un convertor y un transformador. En el lado secundario del transformador pueden estar previstos adicionalmente un regulador de cuatro cuadrantes y un condensador de circuito intermedio. A las salidas conmutadas en paralelo de los sistemas rectificadores de corriente parciales pueden estar conectados mutuamente  
55 en paralelo unos convertidores para alimentar respectivamente un motor propulsor.

De la publicación de Markus Meyer: "Filtros de corriente parásita activos para el lado de la red de locomotoras de convertidor" en ferrocarriles eléctricos EB, tomo 91, nº 3, marzo de 1993, páginas 80-84 y 86, se conoce el empleo de

5 filtros de red activos en locomotoras de convertidor, que mantienen en gran medida alejados de la red de líneas los armónicos de corriente generados por el rectificador de corriente de tracción. Al contrario que los filtros pasivos, aquí no circula ninguna corriente indeseada ni siquiera en una red distorsionada. Una locomotora con filtro activo puede optimizarse de tal manera, que genere menos pérdidas que una locomotora sin o con filtro pasivo. La publicación ofrece una breve visión general sobre la estructura y el modo de funcionamiento de los filtros de corriente parásita activos.

10 V. Cascone et al.: "Design of active filters for dynamic damping oh harmonic currents generated by asynchronous drives in modern high power locomotives", Proceedings of the annual power Electronics Specialists Conference (PESC), Toledo, 29 de junio – 3 de julio de 1992; Nueva York, IEEE, EE.UU., Bd. Conf. 23, 29 de junio de 1992 (1992-06-29), páginas 404-410, ISBN: 978-0-7803-0695-0, describen la reducción del contenido armónico de corrientes que se inyectan en catenarias. Para la minimización de las interferencias electromagnéticas con el sistema de señalización, el uso de un filtro activo produce unas ventajas notables. Se analiza un diseño de filtro activo fiable y también una locomotora de alta potencia y alta velocidad para los ferrocarriles estatales italianos.

15 Una tarea de la presente invención consiste en exponer una disposición de suministro de energía eléctrica para equipos propulsores de vehículos ferroviarios, que permita su funcionamiento en redes de tensión continua y de tensión alterna y pueda materializarse con un peso reducido. Otra tarea de la presente invención consiste en exponer un procedimiento correspondiente para hacer funcionar un equipo propulsor de un vehículo ferroviario.

20 Una idea básica de la presente invención consiste en poner en marcha una disposición de rectificadores para su funcionamiento en redes de tensión alterna durante su funcionamiento como redes de tensión continua como filtros activos. Esta disposición de rectificadores presenta en especial al menos un primer rectificador, que está conectado a la red de tensión alterna sin separación galvánica. La tensión continua generada por el primer rectificador se convierte en una tensión alterna con una frecuencia mayor (en especial en el rango de frecuencias medias de 8 a 20 kHz), la tensión alterna se alimenta al lado primario de un transformador y la tensión alterna secundaria aplicada al lado secundario del transformador se rectifica de nuevo mediante un segundo rectificador y se aplica al circuito intermedio de tensión continua, desde el que habitualmente se alimentan(n) al menos un convertor de tracción para el o los motores de marcha del vehículo ferroviario.

25 El principio y las variantes de una disposición de rectificadores de este tipo para su funcionamiento en redes de tensión alterna se describen p.ej. en el documento DE 196 30 284 A1. Una variante consiste en especial en que existan varios módulos, que presenten respectivamente un primer rectificador en el lado de la red, al menos un convertor, al menos un transformador y al menos un segundo rectificador. A este respecto están conmutados en serie unos primeros rectificadores en el lado de la red, mientras que los segundos rectificadores conectados al al menos un convertor de tracción a través del circuito intermedio de tensión continua están conectados en paralelo. De este modo los primeros rectificadores en el lado de la red pueden conectarse a una alta tensión alterna de la red de alimentación y, aún así, entregan la tensión continua deseada más baja para el circuito intermedio de tensión continua.

35 Una ventaja esencial de una disposición de suministro de energía de este tipo, conocida por sí misma, es el peso considerablemente menor. No se necesita ningún transformador para frecuencias bajas, a las que se hacen funcionar las redes de tensión alterna. Más bien el transformador o los transformadores de la disposición se hace(n) funcionar a una frecuencia bastante superior, que de forma preferida está situada en el rango de frecuencias medias en un orden de magnitud de 10 kHz. Estos transformadores pueden construirse con unos volúmenes constructivos considerablemente menores y con ello unos pesos considerablemente menores. El peso adicional para los diferentes rectificadores y convertidores es pequeño en relación al ahorro de peso conseguido.

40 Si a continuación se hace funcionar el rectificador en el lado de la red o los rectificadores en el lado de la red de la disposición como filtros activos, durante el funcionamiento del vehículo ferroviario en una red de tensión continua, puede materializarse además el filtro de entrada (designado anteriormente en especial como la inductividad de entrada) de la línea de conexión de tensión continua, que conecta el circuito intermedio de tensión continua a la red de tensión continua, como un componente o una disposición de componentes bastante más pequeño(a) y con ello más ligero(a). Además de esto no se requiere ninguna instalación adicional para la materialización del filtro activo.

45 Si están presentes varios de los módulos citados, de tal manera que está conmutados en serie varios primeros rectificadores en el lado de la red, el filtro activo ofrece unas posibilidades especialmente ventajosas para generar tensiones alternas. En principio pueden generarse más niveles de tensión diferentes que con un único rectificador en el lado de la red. Cabe destacar que los rectificadores en el lado de la red se hacen funcionar durante el funcionamiento como filtros activos, al contrario que los convertidores.

55 También el filtro activo puede generar tensiones a frecuencias más altas y/o con menores pérdidas de conmutación que si fuera el caso con el uso de un único rectificador. La disposición con varios de los módulos es por ello muy apropiada para compensar señales parásitas.

De forma preferida se emplean conmutadores semiconductores, en especial IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistors), para el primer o los primeros rectificador(es) en el lado de la red. En el caso del rectificador o de los rectificadores puede tratarse en especial de unos llamados reguladores de cuatro cuadrantes. También los segundos

rectificadores, en el lado del circuito intermedio, pueden ser reguladores de cuatro cuadrantes. En cualquier caso se prefiere que el o los convertidor(es) y el o los rectificador(es), que están separados unos de otros galvánicamente mediante el transformador y están conectados al transformador o a los transformadores, sean también convertidores, que se hacen funcionar mediante la conmutación de conmutadores semiconductores (en especial IGBTs).

5 En especial se propone lo siguiente: una disposición de suministro de energía eléctrica para equipos propulsores de vehículos ferroviarios, en donde la disposición de suministro de energía presenta:

- una primera conexión eléctrica para conectar la disposición a una red de suministro de energía eléctrica,
- una segunda conexión eléctrica para conectar la disposición a un circuito intermedio de tensión continua, al que puede conectarse a su vez al menos un convertidor de tracción para hacer funcionar al menos un motor de marcha,
- una disposición de rectificadores para hacer funcionar el vehículo ferroviario en una red de tensión alterna, en donde la disposición de rectificadores está conectada a través de un primer filtro a la primera conexión eléctrica y presenta al menos un módulo, en el que un primer rectificador está conectado a través de un convertidor y un transformador a un segundo rectificador, en donde el primer rectificador está conectado en su lado de tensión alterna a través del primer filtro a la primera conexión eléctrica, en donde el segundo rectificador está conectado en su lado de tensión continua a la segunda conexión eléctrica y en donde, en el caso de varios módulos, las conexiones de tensión alterna de los primeros rectificadores están conectadas en serie, pero las conexiones de tensión continua de los segundos rectificadores están conectadas en paralelo,
- una conexión eléctrica para hacer funcionar el vehículo ferroviario en una red de tensión continua, en donde la conexión eléctrica presenta un segundo filtro y en donde la conexión eléctrica conecta la primera conexión eléctrica a la segunda conexión eléctrica,
- un dispositivo de control para controlar el funcionamiento del primer rectificador o de los primeros rectificadores, mientras el vehículo ferroviario se hace funcionar en una red de tensión continua, en donde el dispositivo de control está conformado para, mediante el control de momentos de conmutación de conmutadores semiconductores del primer rectificador o de los primeros rectificadores en la primera conexión eléctrica, generar una tensión alterna que compensa o reduce a una medida admisible una corriente alterna eléctrica, que es una corriente parásita que, a causa del funcionamiento del equipo propulsor del vehículo ferroviario, circula desde el circuito intermedio de tensión continua a través de la conexión eléctrica.

30 Además de esto se propone un procedimiento para hacer funcionar un equipo propulsor de un vehículo ferroviario, en donde

- durante el funcionamiento del vehículo ferroviario en una red de tensión alterna se alimenta energía desde la red de tensión alterna, a través de una disposición de rectificadores, a un circuito intermedio de tensión continua al que está conectado al menos un convertidor de tracción para hacer funcionar al menos un motor de marcha, en donde la energía procedente de la red de tensión alterna se introduce a través de un primer filtro en la disposición de rectificadores y, a través de al menos un módulo de la disposición de rectificadores, se transmite al circuito intermedio de tensión continua, en donde la energía en cada módulo se transmite desde un primer rectificador, a través de un convertidor y de un transformador, a un segundo rectificador que alimenta la energía al circuito intermedio de tensión continua, en donde en el caso de varios de los módulos las conexiones de tensión alterna de los primeros rectificadores están conectadas en serie, pero las conexiones de tensión continua de los segundos rectificadores están conectadas en paralelo,
- durante el funcionamiento del vehículo ferroviario en una red de tensión continua se alimenta energía procedente de la red de tensión continua, a través de una conexión eléctrica, al circuito intermedio de tensión continua, en donde la conexión eléctrica presenta un segundo filtro y en donde, mediante el control de momentos de conexión de conmutadores semiconductores del primer rectificador o de los primeros rectificadores se genera una tensión alterna que compensa o reduce a una medida admisible una corriente alterna eléctrica, que es una corriente parásita que, a causa del funcionamiento del equipo propulsor del vehículo ferroviario, circula desde el circuito intermedio de tensión continua a través de la conexión eléctrica. En especial pueden existir también varios circuitos intermedios de tensión continua, a los que puede conectarse o está conectado respectivamente al menos un convertidor de tracción.

De forma correspondiente a como está descrito en el documento DE 196 30 284 A1 debe entenderse también bajo la formulación de que "la energía en cada módulo se transmite desde un primer rectificador, a través de un convertidor y de un transformador, a un segundo rectificador", que en el módulo existen más de un convertidor y/o más de un transformador y/o más de un segundo rectificador, y/o que diferentes módulos aprovechan conjuntamente un convertidor y/o un transformador y/o un segundo rectificador. Cada módulo posee sin embargo un único primer convertidor.

En el caso del primer y/o segundo filtro se trata de un filtro pasivo (no controlado), de forma preferida con una inductividad de filtro. Por una inductividad de filtro se entiende una inductividad que está prevista con la finalidad de reducir o eliminar señales parásitas. Normalmente se emplea como inductividad de filtro una bobina o disposición de bobinas correspondiente. El filtro puede ser, formulado de forma general, una disposición de elementos constructivos

eléctricos pasivos (no controlados), en especial con al menos una inductividad de filtro y/o otros elementos constructivos eléctricos, como al menos un condensador y al menos una resistencia.

De forma preferida los módulos están materializados de la misma forma, es decir, presentan los mismos componentes en la misma disposición. Sin embargo, esto no es imprescindible. En especial para hacer posible el funcionamiento en redes de tensión alterna con diferente tensión de red, en caso necesario pueden desconectarse o conectarse módulos. En el caso de módulos desconectados el primer rectificador, en el lado de la red, ya no se encuentra en el circuito en serie de los rectificadores de los diferentes módulos. También para el funcionamiento como filtros activos pueden conectarse o desconectarse módulos aislados.

Durante el funcionamiento en una red de tensión continua pueden compensarse o al menos reducirse a una medida admisible en especial señales parásitas de una frecuencia relativamente baja de hasta p.ej. 5 kHz mediante el filtro activo, es decir, si se hace funcionar el primer rectificador como convertidor. El segundo filtro, que forma parte de la conexión eléctrica entre la red de tensión continua y el circuito intermedio de tensión continua, puede estar diseñado en ese caso para el filtrado de frecuencias mayores. Por ello el segundo filtro puede estar construido más pequeño y ligero que en el caso de que sea necesario compensar o reducir también corrientes parásitas de frecuencias más bajas. En el caso de un número de  $n$  módulos ( $n$  es un número entero positivo mayor que 1), el filtro activo puede generar en especial una corriente alterna como corriente de compensación, que tenga una frecuencia de hasta  $f_S / 2$ . A este respecto  $f_S$  es la frecuencia de conmutación de un rectificador en el lado de la red, p.ej. de un regulador de cuatro cuadrantes. El segundo filtro, es decir el filtro pasivo, está diseñado entonces para frecuencias superiores a  $n f_S / 2$ . También es posible, en el caso de uno o varios componentes del segundo filtro, aprovechar para el filtrado los llamados efectos de desplazamiento de corriente (efectos skin). Con estos efectos de desplazamiento de corriente pueden filtrarse en especial fragmentos de alta frecuencia de la corriente parásita.

Conforme a la reivindicación 1 la disposición de rectificadores presenta una pluralidad de módulos, en donde el dispositivo de control está conformado de tal manera que, para la modificación de una tensión eléctrica que sea necesaria para la compensación o reducción de la corriente parásita, se selecciona un primer rectificador (es decir, uno de los primeros rectificadores en el lado de la red) o se selecciona más de uno de los primeros rectificadores. El dispositivo de control controla uno o varios conmutadores semiconductores del o de los primeros rectificadores seleccionados, de tal manera que el o los conmutadores semiconductores controlados se conmuta(n) y, de esta manera, se produce la tensión modificada correspondiente en el lado de la tensión alterna del primer rectificador. A este respecto se realiza la selección en función de una carga térmica del primer rectificador, en donde la carga se produce a causa de pérdidas de conmutación. Por lo tanto no se conectan siempre – siempre que sea en realidad posible para la generación de la tensión deseada – el mismo primer o los mismos primeros rectificador(es), sino que se conmutan los rectificadores menos cargados térmicamente.

Una posibilidad de materialización consiste en medir la temperatura de los rectificadores y seleccionar el o los rectificador(es) con la temperatura más baja para el proceso de conmutación. Como es natural puede seleccionarse en realidad solo uno de estos rectificadores, que sea apropiado para el proceso de conmutación previsto, es decir que se encuentra en el estado de conmutación, que mediante conmutación consigue el resultado deseado. Para evitar una complejidad adicional de los sensores de temperatura y su valoración, se propone sin embargo que de forma preferida para la modificación de la tensión se seleccione un primer rectificador (o varios primeros rectificadores), cuyos conmutadores semiconductores no se hayan conmutado en procesos de conmutación directamente anteriores. P.ej. el dispositivo de control puede archivar, para cada primer rectificador o para cada conmutador semiconductor de los primeros rectificadores, el momento del último proceso de conmutación llevado a cabo. También existen otras posibilidades de cómo puede archivar el historial de los procesos de conmutación. P.ej. en cada proceso de conmutación llevado a cabo puede archivar una designación clara del primer rectificador correspondiente en una memoria anular o memoria stack. Cuando se archiva un proceso de conmutación adicional se modifica la posición de los valores archivados en la memoria anular o en la memoria stack, de tal manera que los valores archivados permanecen en la secuencia de su archivo, pero el valor alimentado en último lugar asume siempre la última posición. De esta manera existe siempre un primer valor y, si es necesario, el dispositivo de control comprueba si el conmutador semiconductor o el rectificador, que entra en cuestión para el proceso de conmutación, se corresponde con el primer espacio de memoria. Alternativamente puede establecerse primero el rectificador o conmutador semiconductor, que se corresponde con el valor archivado en el primer espacio de memoria. Si este conmutador semiconductor o rectificador es apropiado para generar la tensión modificada deseada, se conmuta. En caso contrario puede acudir al siguiente espacio de memoria en la secuencia de los espacios de memoria, etc.

El transformador, que existe en cualquier módulo, tiene la función de una separación galvánica, como se requiere para el funcionamiento en redes de tensión alterna. Además de los componentes citados, que se emplean en un módulo, el módulo puede contener otros componentes, en especial capacidades y/o inductancias. En especial pueden estar conmutados uno o varios condensadores entre los dos potenciales de tensión continua en el lado de tensión continua del primer rectificador. Esto nivela la tensión continua y puede aprovecharse durante el funcionamiento como filtro activo para acumular energía, que se necesite durante un corto espacio de tiempo para la generación de la corriente alterna de compensación en el lado de la tensión alterna del primer rectificador. Además de esto puede estar previsto, al menos en una parte de las líneas de conexión, entre el convertidor de un módulo y el transformador así como entre el segundo rectificador y el transformador, respectivamente una capacidad (p.ej. uno o varios condensadores). Estas capacidades pueden adaptarse de esta forma a las características eléctricas de la parte de tensión alterna del módulo,

y los rectificadores y convertidores pueden hacerse funcionar de tal manera que la frecuencia de la tensión alterna en el transformador sea una frecuencia de resonancia de la parte de tensión alterna. De este modo se reducen las pérdidas por transmisión de la transmisión de energía a través del transformador. También en el caso de resonancia los convertidores y rectificadores pueden hacerse funcionar de forma especialmente efectiva, es decir, con pocas pérdidas de conmutación.

La medida admisible citada, a la que se reduce la corriente parásita, viene dada por las prescripciones en vigor respectivamente para una red de alimentación y el funcionamiento de vehículos ferroviarios en la red de alimentación. En especial pueden estar prefijados unos valores límite para amplitudes de corriente, en donde los valores límite son dependientes de la frecuencia o pueden referirse a una frecuencia determinada. A este respecto es también posible que solo mediante el efecto combinado del segundo filtro y del filtro activo se mantenga la medida admisible, es decir, no se supere el valor límite.

Para el funcionamiento en redes de tensión alterna es habitual prever un llamado circuito de aspiración, conmutado entre líneas de tensión continua de la disposición de suministro de energía, con una inductividad y una capacidad conmutada en serie. El circuito de aspiración puede encontrarse en la zona del circuito intermedio de tensión continua o en la parte de tensión continua de uno o varios módulos de la disposición de rectificadores. Durante el funcionamiento en una red de tensión continua la inductividad puede aprovecharse como segundo filtro (o parte del segundo filtro) en la conexión eléctrica entre el circuito intermedio de tensión continua. También la capacidad puede aprovecharse p.ej. como condensador de compensación o acumulador de energía para el filtro activo. Para poder aprovechar los componentes para los diferentes fines, pueden estar previstos unos conmutadores correspondientes, que se conmutan al cambiar entre el funcionamiento en una red de tensión alterna a un funcionamiento en una red de tensión continua, o a la inversa.

A continuación se describen unos ejemplos de realización de la invención, haciendo referencia al dibujo adjunto. Las figuras aisladas del dibujo muestran:

la fig. 1 el diagrama de conexión eléctrico de una disposición de suministro de energía para un vehículo ferroviario, en donde la disposición está conectada a una red de suministro de energía y a un circuito intermedio de tensión continua con un rectificador de corriente de tracción conectado al mismo,

la fig. 2 unos detalles del diagrama de conexiones eléctrico de un módulo, que forma parte de la disposición de alimentación de energía representada en la fig. 1, y

la fig. 3 una estructura reguladora para regular el rectificador en el lado de la red de los módulos de la disposición de suministro de energía conforme a la fig. 1, durante su funcionamiento en la red de tensión continua.

La disposición de suministro de energía representada en la fig. 1 está conectada a una red de suministro de energía 10 a través de un tomacorriente 1. A este respecto la red de suministro de energía puede ser una red de tensión continua o una red de tensión alterna. Para su funcionamiento en una red de tensión continua el tomacorriente 1 está conectado, a través de una inductividad 3 y una conexión eléctrica 5, a un primer potencial 7 de un circuito intermedio de tensión continua ZK. El otro potencial 8 del circuito intermedio de tensión continua ZK está conectado eléctricamente, a través de al menos una rueda 9 del vehículo ferroviario, al carril de rodadura no representado en la fig. 1. Entre los potenciales 7, 8 del circuito intermedio de tensión continua ZK está conmutada una capacidad. La misma se usa para compensar fluctuaciones de tensión y como acumulador de energía temporal. En la fig. 1 no se han representado otros posibles componentes de la disposición de circuitos, como p.ej. un circuito de aspiración con una capacidad conectada en serie y una inductividad entre los potenciales 7, 8.

Al circuito intermedio de tensión continua ZK está conectado un convertidor de tracción 13, que convierte la tensión continua y alimenta con energía eléctrica un motor de marcha 21. Alternativamente pueden estar conectados varios convertidores de tracción al mismo circuito intermedio de tensión continua y/o un convertidor de tracción alimentar con energía más de un motor de marcha.

Para su funcionamiento en una red de tensión alterna el tomacorriente 1 está conectado, a través de una inductividad de filtro 2, a una primera conexión eléctrica 191 de un módulo M<sub>1</sub>. A través de una segunda conexión eléctrica 201 el módulo M<sub>1</sub> está conectado a una primera conexión eléctrica 192 de un segundo módulo M<sub>2</sub>. Una segunda conexión eléctrica 202 del segundo módulo M<sub>2</sub> está conectada a una primera conexión eléctrica 193 de un tercer módulo M<sub>3</sub>. Una segunda conexión eléctrica 203 del tercer módulo M<sub>3</sub> está conectada a una primera conexión eléctrica 194 de un cuarto módulo M<sub>4</sub>. Una segunda conexión eléctrica 204 del cuarto módulo M<sub>4</sub> está conectada a través de otros módulos, no representados en la fig. 1, y a través de al menos la rueda 9 al carril de rodadura. En diferentes formas de realización de una disposición de circuitos de este tipo puede variar el número de módulos M. Además de esto en caso necesario pueden conectarse o desconectarse módulos en la misma disposición de circuitos. Un módulo desconectado ya no forma parte del circuito serie desde el tomacorriente a través de la inductividad 2, respectivamente de la primera conexión eléctrica 19 y de la segunda conexión eléctrica 20 de los módulos M y de la rueda 9 hasta el carril de rodadura. Un módulo conectado forma parte sin embargo de ese circuito serie.

Cada módulo M presenta un primer rectificador 151, 152, 153, 154, que está conectado a la primera conexión eléctrica

191, 192, 193, 194 y a la segunda conexión eléctrica 201, 202, 203, 204.

Los componentes y las conexiones que se corresponden entre sí de los módulos, que están designados con números de referencia, están designados con los mismos números con excepción de la última cifra del respectivo símbolo de referencia. En la última cifra del símbolo de referencia está el número del módulo. A partir de ahora se prescinde de la indicación de la última cifra, ya que los módulos tienen la misma estructura.

En el lado de tensión continua del primer rectificador 15 se encuentran dos líneas de tensión continua a diferente potencial, entre las que está conmutada una capacidad  $C_p$  y a las que está conectada el lado de tensión continua de un convertidor 16. El lado de tensión alterna del convertidor 16 está conectado, a través de un transformador 17, al lado de tensión alterna de un segundo rectificador 18. El lado de tensión continua del segundo rectificador 18 está conectado, a través de dos líneas de tensión continua, a una tercera conexión eléctrica 21 del módulo M. Entre estas líneas de tensión continua está conmutada una capacidad  $C_s$ . Las terceras conexiones eléctricas 21 de los módulos M están conectadas directamente al primer potencial 7 del circuito intermedio de tensión continua ZK. Las cuartas conexiones eléctricas de los módulos M están conectadas directamente al segundo potencial eléctrico 8 del circuito intermedio de tensión continua. Entre los potenciales 7, 8 del circuito intermedio de tensión continua existe la tensión eléctrica  $U_{ZK}$ .

En la fig.2 se ha representado un ejemplo de realización para la estructura eléctrica detallada de uno de los módulos M. El primer rectificador 15, que en su lado de tensión alterna está conectado a la primera conexión 19 y a la segunda conexión 20, presenta dos ramales en los que están conmutados en serie respectivamente dos conmutadores semiconductores  $G_{15} G_2; G_3, G_4$ . La primera conexión eléctrica 19 está conectada a un punto de conexión entre los dos conmutadores semiconductores del primer ramal. La segunda conexión eléctrica 20 está conectada a un punto de conexión entre los dos conmutadores semiconductores del segundo ramal. En paralelo a cada conmutador semiconductor está conmutado un diodo flyback F, en donde no todos los diodos representados en la fig. 2 están designados explícitamente con el símbolo de referencia F. Los extremos de los dos ramales conmutados en paralelo con los conmutadores semiconductores G están conectados a las conexiones eléctricas del lado de tensión continua del rectificador 15, entre las que está conmutada la capacidad  $C_p$ . El rectificador 15 se hace funcionar como regulador de cuatro cuadrantes, si la disposición de suministro de energía y con ello el vehículo ferroviario se hace funcionar en una red de tensión alterna. Si por el contrario la disposición se hace funcionar en una red de tensión continua, el rectificador 15 se hace funcionar como convertidor. En ese caso el rectificador 15 es un filtro activo o forma parte de un filtro activo, es decir, desde el rectificador o los rectificadores 15 se generan tensiones alternas, que tienen como consecuencia una corriente alterna que circula a través de la inductividad 2, que compensa total o parcialmente las corrientes parásitas que circulan a través de la inductividad de filtro 3.

El convertidor 16 está estructurado como el rectificador 15, en donde los lados de tensión continua del rectificador 15 y del convertidor 16 están conectados entre sí. Los conmutadores semiconductores del convertidor 16 están designados con los símbolos de referencia  $P_1, P_2, P_3, P_4$ . El lado de tensión alterna del convertidor 16 está conectado a través de una capacidad  $C_{rp}$  al lado primario de un transformador 17. El lado secundario del transformador 17 está conectado a través de una capacidad  $C_{RS}$  al segundo rectificador 18, que tiene la misma estructura que el primer rectificador 15. Sus conmutadores semiconductores están designados con los símbolos de referencia  $S_1, S_2, S_3, S_4$ . En el lado de tensión continua del segundo rectificador 18 se encuentra la capacidad  $C_s$ .

Durante su funcionamiento en una red de tensión alterna el rectificador 15 rectifica la tensión alterna que cae entre la primera 19 y la segunda conexión eléctrica 20, que se alimenta al convertidor 16 que convierte la tensión continua en una tensión alterna en el rango de frecuencia media y se alimenta al lado primario del transformador 17. El transformador 17 se hace funcionar de forma preferida con una relación de multiplicación de 1 : 1, es decir, la tensión no se modifica. Alternativamente el transformador 17 puede presentar sin embargo también otra relación de transformación. En el lado secundario del transformador 17 se alimenta la tensión alterna al segundo rectificador 18, que rectifica a la tensión continua, que se alimenta al circuito intermedio de tensión continua ZK. Por medio de que los módulos M están conmutados en serie en su lado de la red, pero están conmutados en paralelo en su lado del circuito intermedio de tensión continua, puede transformarse una tensión alterna muy elevada de p.ej 15 kV en una tensión continua en el circuito intermedio de tensión continua en un rango de 1 kV a 3 kV, sin superar la máxima tensión de funcionamiento admisible de los conmutadores semiconductores.

Si la disposición de suministro de energía conforme a la fig. 1 se hace funcionar en una red de tensión continua, la energía necesaria para el circuito intermedio ZK se transmite a través de la conexión eléctrica 5. Sin embargo, durante el funcionamiento del convertidor de tracción 13 se producen unas señales parásitas indeseadas, que conducen a unas corrientes parásitas correspondientes (corrientes alternas), las cuales circulan a través de la inductividad 3 en la red 10. Para compensar al menos una parte de esas corrientes parásitas, se hacen funcionar los primeros rectificadores 15 de los módulos M al menos parcialmente como convertidores. A través del segundo rectificador 18, del transformador 17 y del convertidor 16 puede cargarse el condensador CP en el lado de tensión continua del primer rectificador 15. De esta manera está disponible energía para que el rectificador 15 genere unas corrientes alternas apropiadas para compensar las corrientes parásitas. En el caso de un funcionamiento continuo se necesita en cualquier caso una carga adicional muy reducida del condensador CP desde el circuito intermedio de tensión continua ZK, ya que en el caso de las corrientes de compensación se trata de corrientes alternas, de tal manera que también circula de nuevo energía de vuelta hasta el condensador CP.

El control no representado en las figs. 1 y 2 de los conmutadores semiconductores G de los primeros rectificadores 15 controla estos conmutadores semiconductores G de tal manera, que la tensión apropiada respectivamente momentánea cae a través de la inductividad 2. Esta tensión se convierte mediante la conmutación de los conmutadores semiconductores G en una tensión alterna, que produce la corriente de condensación apropiada para compensar las corrientes parásitas. Como resultado las corrientes parásitas y las corrientes de compensación se compensan al menos en parte, de tal manera que a través del tomacorriente 1, en el caso de una compensación exitosa, en la red no circula o solo circula una corriente alterna admisible reducida.

Para poder activar de forma adecuada los conmutadores semiconductores de los rectificadores 15, se mide de forma preferida la corriente parásita a través de la línea eléctrica 5. Alternativa o adicionalmente pueden medirse diferentes tensiones, en especial la tensión del circuito intermedio  $U_{ZK}$  y la tensión entre el tomacorriente 1 y la rueda 9. Si solo se miden tensiones de este tipo, puede calcularse la corriente parásita p.ej. usando un modelo físico de la disposición de suministro de energía eléctrica o partes del mismo. También es posible no medir la corriente parásita, sino directamente la tensión entre el tomacorriente y el carril de rodadura o la rueda 9 y mantener esa tensión, mediante el funcionamiento de los rectificadores 15, lo más libre posible de fragmentos de tensión alterna. Como resultado en la red 10 tampoco circulan entonces o en todo caso circulan unas corrientes parásitas reducidas.

La fig. 3 muestra una posible estructura reguladora para el filtro activo, es decir, para hacer funcionar el primer rectificador en el lado de la red de la disposición de suministro de energía como convertidor. Una magnitud de entrada de la estructura reguladora es la corriente  $i_3$ , que circula a través de la inductividad 3 en la línea eléctrica 5 (véase la fig. 1). Otra magnitud de entrada de la estructura reguladora es la corriente  $i_{13}$  a través del rectificador de corriente de tracción 13, es decir, entre los potenciales 7, 8 del circuito intermedio de tensión continua ZK. La corriente  $i_3$  y la corriente  $i_{13}$  se sustraen una de la otra en el dispositivo de sustracción 31 y producen la corriente que debe ser generada mediante el filtro activo. Esta corriente es igual a la corriente a través de la inductividad 2. La corriente  $i_2$  que circula momentáneamente a través de la inductividad 2 se alimenta a un sumador 32, que obtiene también la diferencia entre las corrientes  $i_3$  e  $i_{13}$ . En la salida del sumador 32 está por ello a disposición la corriente a aplicar adicionalmente por parte del filtro activo, como información de entrada para el dispositivo regulador 33. El dispositivo regulador 33 calcula de aquí el número de rectificadores 15 de los módulos M a conectar o desconectar. Para hacer posible el cálculo de los rectificadores a conmutar, está a disposición del dispositivo regulador 33 una información adicional, p.ej. a través de las tensiones reinantes en el lado de tensión continua de los rectificadores 15.

En la salida del dispositivo regulador 33 está a disposición a continuación la información sobre el número de rectificadores a conectar o desconectar. La misma se alimenta en una conformación opcional a un sumador 36, que también obtiene una señal de salida de un segundo dispositivo regulador 35 como segunda magnitud de entrada y suma estas dos señales de entrada. El segundo dispositivo regulador 35 obtiene como señal de entrada la relación entre la tensión de red, es decir la tensión entre la red de suministro de energía 10 y la rueda 9 o el carril de rodadura, y la tensión del circuito intermedio  $U_{ZK}$ . A partir de esa relación el segundo dispositivo regulador 35 calcula previamente, es decir sin conocer los primeros rectificadores 15 conectados momentáneamente necesarios de los módulos M. Esto se basa en la idea de que la tensión de red  $U_N$  puede fluctuar mucho a causa del funcionamiento de vehículos ferroviarios.

A la salida del sumador 36 está aplicado a continuación el número de rectificadores 15 a conectar o desconectar momentáneamente. Conectar significa que se conmuta en el lado de tensión alterna la tensión aplicada al condensador CP en el lado de tensión continua del rectificador 15. Como es natural es también posible conmutar esta tensión en el lado de tensión alterna a la inversa, es decir con signo inverso. También es posible conmutar el rectificador a la tensión cero, es decir, que no contribuya a la tensión suma de los primeros rectificadores 15 conmutados en serie. El segundo dispositivo regulador 35 emite la relación entre la tensión  $U_N$  y la tensión del circuito intermedio  $U_{ZK}$  de forma discreta, es decir, redondeada a valores numéricos positivos enteros. P.ej. el valor numérico 1 se corresponde con una relación entre las tensiones de hasta 1,5. Normalmente la relación entre las tensiones es de 1, ya que el circuito intermedio ZK y la red 10 están conectados entre ellos a través de una inductividad 3 relativamente pequeña. La tensión de red puede irrumpir sin embargo brevemente o pueden producirse picos de tensión altos. En ese caso el segundo dispositivo regulador 35 emite otro valor entero. El segundo dispositivo regulador 35 reacciona con ello a influencias externas y conduce a que el primer dispositivo regulador 33 fundamentalmente solo reaccione ante corrientes parásitas, que se produzcan durante el funcionamiento del convertidor de tracción 13.

El dispositivo de control 37 obtiene ese número de rectificadores a conectar o desconectar. Alternativamente puede obtener, en el caso de otra conformación de la estructura reguladora, la modificación deseada de la tensión como magnitud de entrada, que cae a través de la conexión en serie de los rectificadores 15 en su lado de tensión alterna. Son posibles otras magnitudes equivalentes como magnitud de entrada para el dispositivo de control 37. El dispositivo de control 37 establece a continuación los conmutadores semiconductores de los rectificadores 15, que deben conmutarse. En general existen para ello varias posibilidades. De forma preferida el dispositivo de control conmuta aquellos conmutadores semiconductores, que producen la menor carga térmica posible de todos los rectificadores 15. En el caso de la menor carga térmica posible todos los rectificadores tienen aproximadamente la misma carga térmica. Alternativamente el dispositivo de control 37 puede seleccionar de tal manera los conmutadores semiconductores, que para cada rectificar no se supere una carga térmica prefijada.

Ya se han descrito anteriormente posibilidades de cómo el dispositivo de control selecciona los conmutadores

5 semiconductores o los rectificadores correspondientes. Formulando en general el dispositivo de control 37 selecciona los conmutadores semiconductores a conmutar o los rectificadores a activar, cuyos conmutadores semiconductores deben conmutarse, en función de lo elevada que es la temperatura del rectificador o al menos de uno de los conmutadores semiconductores, o en base a en que secuencia de conmutación se han conmutado anteriormente los rectificadores o conmutadores semiconductores. En el caso citado en último lugar se conmutan de forma preferida los conmutadores semiconductores o rectificadores, que hace más tiempo que no se han conmutado que otros conmutadores semiconductores o rectificadores.

10 Para impedir que el regulador genere en su salida una oscilación de alta frecuencia (jitter) pueden preverse histéresis de conmutación, es decir el valor umbral, para aumentar el número de módulos M o rectificadores 15 conectados, se diferencia del valor umbral que debe alcanzarse o superarse para reducir el número de rectificadores conectados. P.ej., el valor umbral es 1,6 para aumentar el número de 1 a 2, mientras que el valor umbral para reducir de 2 a 1 es 1,5.

**REIVINDICACIONES**

1.- Disposición de suministro de energía eléctrica para equipos propulsores de vehículos ferroviarios, en donde la disposición de suministro de energía presenta:

- 5 • una primera conexión eléctrica (10) para conectar la disposición a una red de suministro de energía eléctrica,
- una segunda conexión eléctrica (21, 22) para conectar la disposición a un circuito intermedio de tensión continua (ZK), al que puede conectarse a su vez al menos un convertor de tracción (13) para hacer funcionar al menos un motor de marcha (12),
- 10 • una disposición de rectificadores ( $M_1, M_2, M_3, M_4$ ) para hacer funcionar el vehículo ferroviario en una red de tensión alterna, en donde la disposición de rectificadores ( $M_1, M_2, M_3, M_4$ ) está conectada a través de un primer filtro (2) a la primera conexión eléctrica (1) y presenta al menos un módulo (M), en el que un primer rectificador (15) está conectado a través de un convertor (16) y un transformador (17) a un segundo rectificador (18), en donde el primer rectificador (15) está conectado en su lado de tensión alterna a través del primer filtro (2) a la primera conexión eléctrica (1), en donde el segundo rectificador (18) está conectado en su lado de tensión continua a la segunda conexión eléctrica (21, 22) y en donde, en el caso de varios módulos (M), las conexiones de tensión alterna (19, 20) de los primeros rectificadores (15) están conectadas en serie, pero las conexiones de tensión continua (21, 22) de los segundos rectificadores están conectadas en paralelo,

**caracterizada por**

- 20 • una conexión eléctrica (5) para hacer funcionar el vehículo ferroviario en una red de tensión continua, en donde la conexión eléctrica (5) presenta un segundo filtro (3) y en donde la conexión eléctrica (5) conecta la primera conexión eléctrica (1) a la segunda conexión eléctrica (21),
- un dispositivo de control (37) para controlar el funcionamiento del primer rectificador (15) o de los primeros rectificadores (15), mientras se hace funcionar el vehículo ferroviario en una red de tensión continua, en donde el dispositivo de control (37) está conformado para, mediante el control de momentos de conmutación de conmutadores semiconductores (G) del primer rectificador (15) o de los primeros rectificadores (15) en la primera conexión eléctrica, (1) generar una tensión alterna que compensa o reduce a una medida admisible una corriente alterna eléctrica, que es una corriente parásita que, a causa del funcionamiento del equipo propulsor del vehículo ferroviario, circula desde el circuito intermedio de tensión continua (ZK) a través de la conexión eléctrica (5),

30 en donde la disposición de rectificadores presenta una pluralidad de módulos (M), en donde el dispositivo de control (37) está conformado de tal manera que, para la modificación de una tensión que sea necesaria para la compensación o la reducción de la corriente parásita, es necesario seleccionar uno de los primeros rectificadores (15) y conmutar al menos un conmutador semiconductor (G) del rectificador (15) seleccionado, en donde la selección se decide en función de una carga térmica del primer rectificador (15) a causa de pérdidas de conmutación.

35 2.- Disposición de suministro de energía según la reivindicación 1, en donde para la modificación de la tensión se selecciona un primer rectificador (15), cuyos conmutadores semiconductores (G) no se hayan conmutado en procesos de conmutación directamente anteriores.

3.- Procedimiento para hacer funcionar un equipo propulsor de un vehículo ferroviario, en donde:

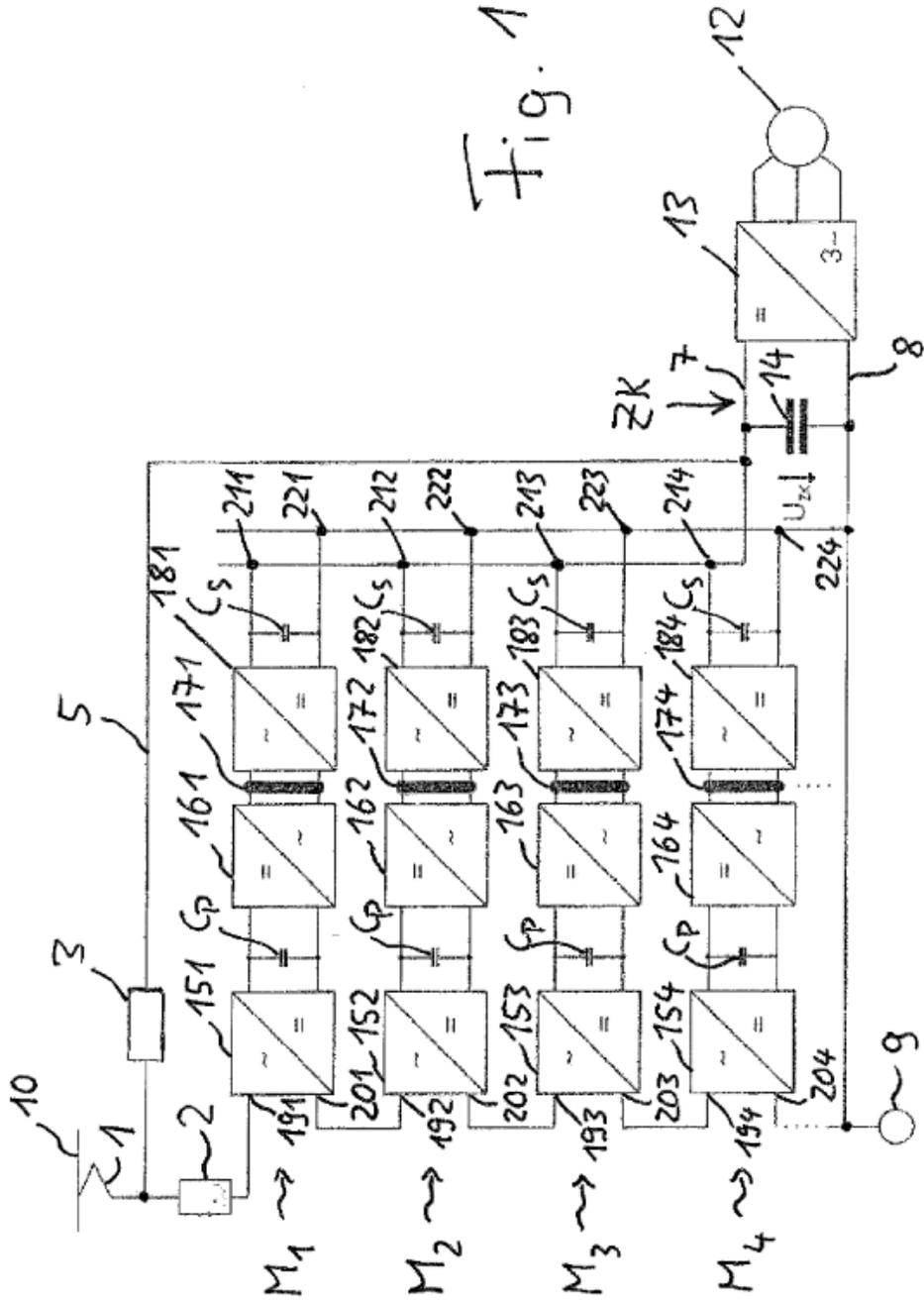
- 40 • durante el funcionamiento del vehículo ferroviario en una red de tensión alterna se alimenta energía desde la red de tensión alterna, a través de una disposición de rectificadores ( $M_1, M_2, M_3, M_4$ ), a un circuito intermedio de tensión continua (ZK) al que está conectado al menos un convertor de tracción (13) para hacer funcionar al menos un motor de marcha (12), en donde la energía procedente de la red de tensión alterna se introduce a través de un primer filtro (2) en la disposición de rectificadores ( $M_1, M_2, M_3, M_4$ ) y, a través de al menos un módulo (M) de la disposición de rectificadores ( $M_1, M_2, M_3, M_4$ ), se transmite al circuito intermedio de tensión continua (ZK), en donde la energía en cada módulo (M) se transmite desde un primer rectificador (15), a través de un convertor (16) y de un transformador (17), a un segundo rectificador (18) que alimenta la energía al circuito intermedio de tensión continua (ZK), en donde en el caso de varios de los módulos (M) las conexiones de tensión alterna (19, 20) de los primeros rectificadores (15) están conectadas en serie, pero las conexiones de tensión continua (21, 22) de los segundos rectificadores (18) están conectadas en paralelo,
- 50 **caracterizada porque**

- durante el funcionamiento del vehículo ferroviario en una red de tensión continua se alimenta energía procedente de la red de tensión continua, a través de una conexión eléctrica (5), al circuito intermedio de tensión continua (ZK), en donde la conexión eléctrica (5) presenta un segundo filtro (3) y en donde, mediante el control de momentos de conexión de conmutadores semiconductores (G) del primer rectificador (15) o de los primeros rectificadores (15) se genera una tensión alterna que compensa o reduce a una medida admisible una corriente alterna eléctrica, que es una corriente parásita que, a causa del funcionamiento del equipo propulsor del vehículo ferroviario, circula desde el circuito intermedio de tensión continua (ZK) a través de la conexión eléctrica (5),

- la disposición de rectificadores ( $M_1, M_2, M_3, M_4$ ) presenta una pluralidad de módulos ( $M$ ), y en donde para la modificación de una tensión, que sea necesaria para la compensación o la reducción de la corriente parásita, se selecciona un primer rectificador (15) y se conmuta al menos un conmutador semiconductor ( $G$ ) del rectificador (15) seleccionado, en donde la selección se decide en función de una carga térmica del primer rectificador (15) a causa de pérdidas de conmutación.

5

4.- Procedimiento según la reivindicación 3, en donde para la modificación de la tensión se selecciona un primer rectificador (15), cuyos conmutadores semiconductores ( $G$ ) no se hayan conmutado en procesos de conmutación directamente anteriores.



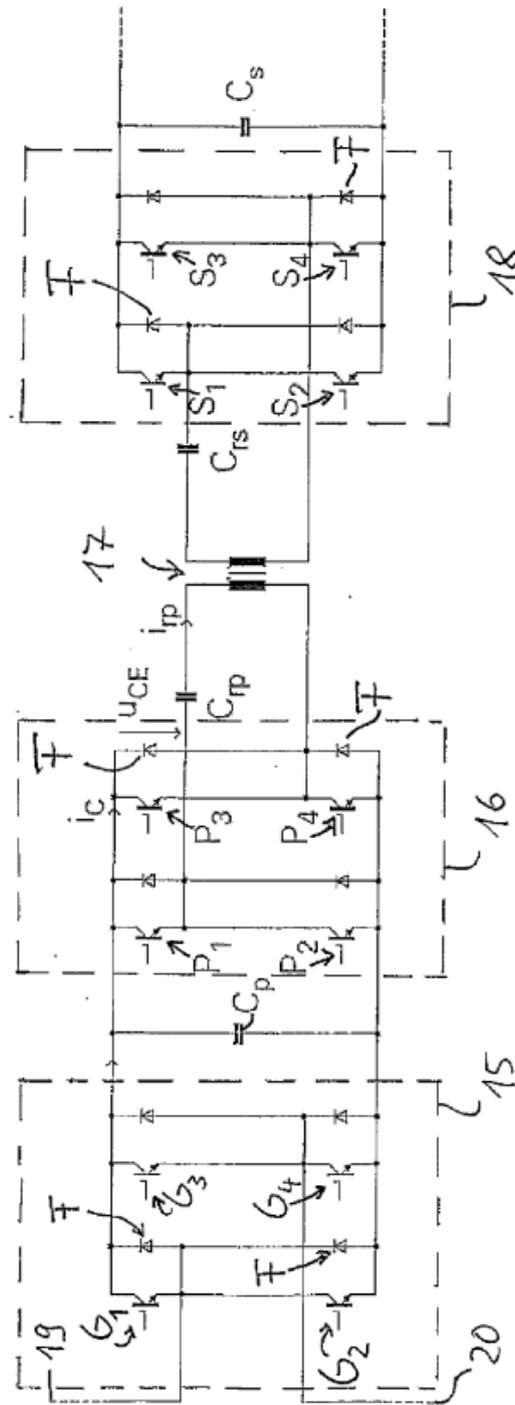


Fig. 2

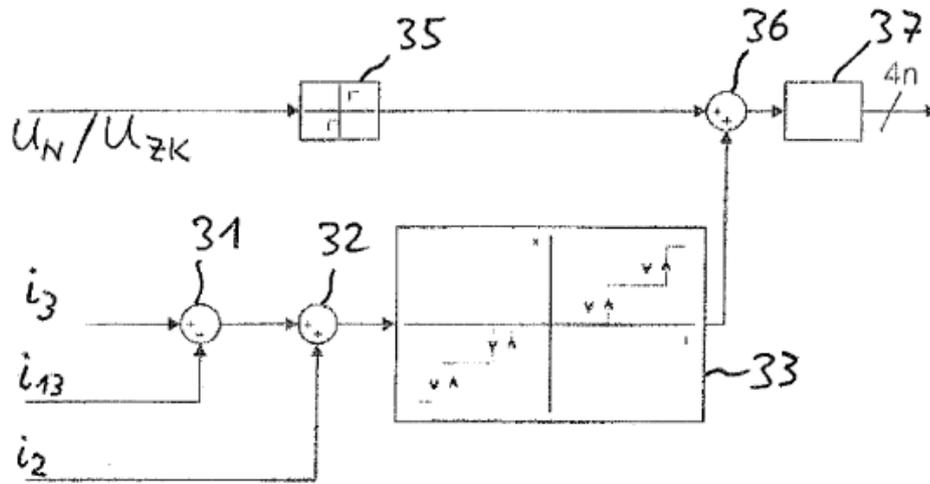


Fig. 3