

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 997 158**

(51) Int. Cl.:

B60T 1/10	(2006.01)	B60T 17/22	(2006.01)
B60L 7/10	(2006.01)		
B61H 9/06	(2006.01)		
B60M 3/06	(2006.01)		
B60T 13/58	(2006.01)		
F16D 61/00	(2006.01)		
H02K 7/18	(2006.01)		
H02P 3/18	(2006.01)		
B61C 3/02	(2006.01)		
B60T 13/66	(2006.01)		

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.10.2018 PCT/EP2018/076914**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **09.04.2020 WO20069737**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.10.2018 E 18783425 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.09.2024 EP 3860889**

(54) Título: **Sistema de frenado para un vehículo ferroviario**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.02.2025

(73) Titular/es:

**SCHWEIZERISCHE BUNDESBAHNEN SBB (100.00%)
Personenverkehr, Operating Wylerstrasse 123/125
3000 Bern 65, CH**

(72) Inventor/es:

**VON ARX, RAPHAEL;
VILFROY, ANDRÉ;
GROSSENBACHER, THOMAS;
NEUENSCHWANDER, CHRISTOPH;
SIGRIST, MARTIN y
MAST, MARKUS**

(74) Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 997 158 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

Sistema de frenado para un vehículo ferroviario

Campo técnico

La presente invención se refiere a un sistema de frenado para un vehículo ferroviario, en particular para un vehículo ferroviario de vía normal.

Antecedentes de la invención

Se conoce un gran número de sistemas de frenado para el funcionamiento de vehículos ferroviarios, en particular de vehículos ferroviarios de la vía normal o de ferrocarril de vía normal. En particular, se utilizan ampliamente los frenos de aire conocidos desde el siglo XIX. En estos sistemas, se construye un sistema de aire comprimido que se extiende por un conjunto de varios vehículos ferroviarios a través de conductos de aire comprimido, partiendo de un generador de aire comprimido (compresor) situado normalmente en una unidad de tracción (por ejemplo, una locomotora), sistemas de secado y recipientes a presión conectados a él. El aire comprimido se utiliza en estos sistemas como portador de energía y también para controlar un procedimiento de frenado. Durante un procedimiento de frenado activable, las pastillas de freno o las zapatas de freno entran en contacto de fricción con los discos de freno dispuestos en los ejes de las ruedas de los vehículos ferroviarios o, por ejemplo, las pastillas de freno entran en contacto de fricción con las superficies de rodadura de las ruedas mediante pinzas de freno accionadas neumáticamente (o pinzas de freno) debido a la distribución modificada del aire comprimido en el sistema de frenado. Como resultado, la energía rotacional de los ejes de las ruedas se convierte en energía térmica, lo que ralentiza el vehículo ferroviario o un conjunto de varios vehículos ferroviarios. Por un lado, estos sistemas requieren un espacio de instalación relativamente grande en los vehículos de tracción y los vagones conectados y, por otro, también requieren un mantenimiento relativamente intensivo. Además, deben tomarse precauciones especiales durante las maniobras de cambio de vía para evitar frenazos involuntarios.

Otra desventaja significativa de estos sistemas de frenado convencionales es que son una fuente importante de partículas potencialmente nocivas. Se calcula que, solo en Suiza, el tráfico ferroviario emite entre 800 y 1200 toneladas de partículas al año, la mayoría de las cuales se deben al desgaste de los frenos.

Otra desventaja de estos sistemas de frenado neumáticos convencionales es que la energía cinética presente en un vehículo ferroviario durante el trayecto se pierde en forma de calor en gran medida inutilizable durante el frenado. El calentamiento de los discos de freno, por ejemplo, también provoca el llamado desvanecimiento de los frenos -también conocido como fading-, que debe compensarse con contramedidas a veces complejas, por ejemplo en la geometría del disco de freno, para contrarrestar un aumento de la distancia de frenado. Todo esto significa que los sistemas de frenado existentes constituyen un factor de coste significativo en la explotación de vehículos ferroviarios en el sector ferroviario de vía normal.

Para poder convertir la energía cinética durante un procedimiento de frenado al menos en una forma utilizable, se conocen vehículos de tracción (locomotoras) con los llamados frenos regenerativos. Estos sistemas están diseñados respectivamente de tal manera que pueden ser frenados eléctricamente, es decir, a través de un motor, en particular en largos descensos y/o a altas velocidades de desplazamiento, por lo que otros vehículos ferroviarios conectados a ellos también pueden ser frenados. En muchas situaciones, sin embargo, este frenado eléctrico por parte de la unidad de tracción no es suficiente, especialmente en el caso de grandes conjuntos de vehículos ferroviarios, por lo que se requiere una potencia de frenado adicional del freno convencional de aire comprimido. Asimismo, estos sistemas de frenado regenerativo conocidos para vehículos de tracción no suelen tener suficiente potencia de frenado a bajas velocidades, por lo que principalmente solo se pueden utilizar sistemas de frenado de aire comprimido, especialmente al entrar en estaciones de ferrocarril, por ejemplo. Esto también conduce precisamente a una escasa eficiencia energética de los vehículos ferroviarios utilizados, especialmente en el transporte local, así como a una concentración potencialmente mayor de partículas finas de polvo en la zona de las paradas debido a los frenos de fricción utilizados.

Otra desventaja de los frenos regenerativos conocidos de los vehículos de tracción, en particular los de los ferrocarriles de vía normal, es que los motores eléctricos utilizados en dichos vehículos de tracción tienen que dimensionarse para ser considerablemente más potentes que si solo se utilizaran para la propulsión pura. Por un lado, esto aumenta los costes de fabricación de dichos vehículos de tracción. Por otro lado, estos vehículos de tracción suelen tener un bajo rendimiento fuera de las fases de desaceleración (fases de frenado) debido a un dimensionamiento poco óptimo para las fases de registro de velocidad y de velocidad constante.

El documento WO2013164166 A1 se publicó el 7 de enero de 2013 en nombre de Siemens Aktiengesellschaft y muestra una unidad de freno para un vehículo ferroviario con un dispositivo tensor con dos brazos de freno, que están provistos de forros de fricción y pueden tensarse bajo la acción de un elemento actuador para establecer una conexión friccional entre los forros de fricción y un disco de freno situado por encima del disco de freno. Cuando se establece una conexión de fricción mientras se desplaza un vehículo ferroviario, la

conexión de fricción convierte la energía rotacional del disco de freno en energía térmica, ralentizando así el vehículo ferroviario.

El documento DE102010032516 A1 se publicó el 02.02.2012 en nombre de Knorr-Bremse für Schienenfahrzeuge GmbH y muestra un dispositivo de frenado de un vehículo que contiene un freno de disco de corrientes parásitas con un estator fijo rotacionalmente y un rotor giratorio. El rotor o el estator llevan una pista de corrientes parásitas y el estator o el rotor llevan una disposición de imanes. Sus líneas de campo magnético inducen corrientes parásitas en la vía de corrientes parásitas para generar un par de frenado cuando el rotor se mueve con respecto al estator. También se divulga un freno de disco de fricción con al menos un disco de freno y zapatas de freno que actúan junto con este disco de freno para generar un par de frenado de fricción entre el disco de freno y las zapatas de freno. La invención prevé que el rotor del freno de disco de corrientes parásitas esté formado por el disco de freno del freno de disco de fricción.

El documento EP1804363 A1, publicado el 04.07.2007 a nombre de Landert Motoren AG, divulga un generador de eje potente y de gran volumen para vagones de ferrocarril. El generador de eje tiene un rotor que está conectado de forma no giratoria al eje del juego de ruedas y una carcasa de estator que está conectada de forma no giratoria al bastidor del bogie. El generador de eje se monta con bridas directamente en el eje del juego de ruedas y es atravesado por éste. Esto permite instalar el generador de eje de forma sencilla y ahorrando espacio. Es esencial que el generador de eje tenga un gran volumen para lograr un alto rendimiento a partir de una velocidad de rotación de 200 rpm. Pueden disponerse varios de estos generadores de eje en un eje de juego de ruedas.

El documento EP2476573 A2, publicado el 18 de julio de 2012 a nombre de John Kinghorn, divulga un sistema flexible de gestión de energía para ferrocarriles con composiciones de tren variables. Para ello, se introducen en la composición del tren al menos un primer vehículo ferroviario sin fuente de alimentación propia y al menos un segundo vehículo ferroviario regenerativo con freno regenerativo y batería de almacenamiento o similar para la energía generada regenerativamente. El vehículo ferroviario regenerativo puede proporcionar una fuente de alimentación local a partir de la energía eléctrica generada regenerativamente y almacenada temporalmente para el primer vehículo ferroviario, como alternativa o además de la fuente de alimentación de nivel superior.

El documento DE102013207952 A1, publicado el 30 de octubre de 2014 en nombre de Siemens AG divulga un dispositivo para operar al menos un consumidor eléctrico de un vehículo ferroviario con energía de recuperación. Un primer modo de funcionamiento está definido por una fase de frenado del vehículo ferroviario y un segundo modo de funcionamiento está definido por una fase de desplazamiento precedente del vehículo ferroviario, y el consumidor se controla de manera que su potencia de funcionamiento en el segundo modo de funcionamiento sea inferior a la del primer modo de funcionamiento.

El documento WO2017/190198A1, publicado el 9 de noviembre de 2017 en nombre de Bulk Ore Shuttle System Pty. Ltd, divulga un sistema de transporte ferroviario con al menos dos cuerpos portadores de carga alargados en forma de artesa a modo de costillas que están montados en vehículos ferroviarios de asiento separados entre sí y en los que está montada una cubierta interior flexible para recibir las mercancías a transportar.

El documento US2013/0184905 A1, publicado el 18 de julio de 2013 a nombre de Mitsubishi Electric Corporation, divulga un tren con un motor diésel y un motor eléctrico. El motor diésel puede alimentar una batería de almacenamiento en un vehículo ferroviario con batería de almacenamiento independiente a través de un generador. Mediante un sistema de control diésel-híbrido, el motor eléctrico puede encenderse, por ejemplo, para arrancar el tren o para apoyar la propulsión diésel cuando el tren acelera. De este modo, el tren puede funcionar con una potencia reducida o nula del motor diésel al arrancar o acelerar.

El documento WO2016/157146 A1, publicado el 6 de octubre de 2016 en nombre de Transnet Soc. Ltd, divulga un tren con un bogie con un sistema de frenado mecánico regenerativo y almacenamiento de energía. El sistema de frenado también puede funcionar como accionamiento. El sistema de frenado regenerativo puede tener un volante de inercia como almacenamiento de energía mecánica, que está acoplado a un eje del bogie a través de un sistema de transmisión mecánica, por ejemplo, a través de una cadena de transmisión, una correa de transmisión con poleas o un engranaje, y dado el caso un acoplamiento. El sistema de transmisión mecánica puede controlarse mediante un sistema de control para que el tren pueda frenarse o acelerarse.

El documento US2006/0025902 A1, publicado el 02.02.2006 a nombre de H. J. Brown y otros, divulga un tren con un bus de alimentación eléctrica en el que se garantiza una alimentación eléctrica ininterrumpida para al menos un consumidor mediante dos fuentes de alimentación y varios rectificadores.

El documento EP2080647 A2, publicado el 22 de julio de 2009 en nombre de SBZ Schörling-Brock Zweiwegetechnik GmbH, divulga un dispositivo de desplazamiento sobre raíles que es preferiblemente adecuado para el funcionamiento sobre raíles y carreteras. A cada rueda de desplazamiento sobre raíles se le puede asignar un motor eléctrico. El suministro de energía eléctrica puede consistir en un motor de combustión interna y un generador. El motor eléctrico puede funcionar como un freno regenerativo, por lo que la energía

de frenado generada por el generador se almacena en un medio de almacenamiento eléctrico, por ejemplo, una batería. El motor eléctrico puede acoplarse a la rueda del carril a través de un engranaje.

Descripción de la invención

5 El objetivo de la invención es proporcionar un sistema de frenado que elimine o reduzca al menos una de las desventajas de los sistemas de frenado conocidos en el estado de la técnica. Este objetivo se logra mediante el objeto de las reivindicaciones independientes.

Para ello, según la invención, al menos una parte de la potencia de frenado de un vehículo ferroviario es proporcionada por módulos de freno regenerativos dispuestos en el vehículo ferroviario en lugar de un concepto de frenado basado puramente en frenos de fricción.

10 Un sistema de frenado según la invención para un vehículo ferroviario, en particular para un vehículo ferroviario de vía normal, se utiliza generalmente para un vehículo ferroviario con una pluralidad N de juegos de ruedas. N es un número natural mayor que 1, siendo preferible N=2, 4, 8 o 12. Es posible un número diferente de juegos de ruedas. Un juego de ruedas comprende una primera rueda y una segunda rueda, que están conectadas a un eje del juego de ruedas. En principio, también es posible utilizar el sistema de frenado según la invención 15 para vehículos ferroviarios con suspensión independiente de las ruedas, es decir, sin eje de juego de ruedas. Sin embargo, se ha demostrado, en particular cuando el sistema de frenado se utiliza en el ámbito de los ferrocarriles de vía normal, que el sistema de frenado según la invención puede implementarse de forma particularmente rentable y es escalable a los requisitos específicos respectivos, en particular también debido a los ejes de ruedas existentes. Según la invención, el sistema de frenado comprende al menos un módulo de 20 frenado generativo asociado a un eje de ruedas, que está configurado para convertir la energía rotacional del eje de ruedas en energía eléctrica y frenar así el vehículo ferroviario. Esto significa que el módulo de freno generativo puede convertir en energía eléctrica (o potencia) al menos parte de la energía cinética del vehículo ferroviario en movimiento y, en caso necesario, también al menos parte de la energía cinética de otros vehículos ferroviarios de un conjunto de vehículos ferroviarios conectados al vehículo ferroviario en cuestión. En otras 25 palabras, el módulo de frenado generativo puede funcionar en un modo de recuperación en el que se puede recuperar una cantidad de energía eléctrica de frenado. Preferiblemente, la energía rotacional del juego de ruedas (o la energía cinética de un vehículo ferroviario) se convierte en energía eléctrica mediante inducción electromagnética. Una ventaja particular de tal sistema de frenado según la invención es que el uso de tal sistema de frenado puede prescindir totalmente de los sistemas neumáticos complejos conocidos del estado 30 de la técnica si se requiere. Una forma de realización particularmente ventajosa de un sistema de frenado puede lograrse si se usa una forma de realización de un módulo de freno generativo tal como se describe más adelante.

Según una forma de realización de la invención, un módulo de freno generativo también se puede utilizar como 35 un módulo de accionamiento para accionar un juego de ruedas asociado con él, y por lo tanto para aumentar o mantener la velocidad de al menos un vehículo ferroviario. Para este fin, un módulo de freno generativo puede, por ejemplo, tener un motor eléctrico que -operado como un generador- convierta la energía rotacional del juego de ruedas en energía eléctrica y pueda así frenar el vehículo ferroviario.

Preferiblemente, un módulo de freno generativo dispone de interfaces mecánicas y/o eléctricas (o electrónicas) 40 normalizadas y separables, que permiten sustituir fácilmente el módulo de freno generativo en caso necesario. Como resultado, el mantenimiento y/o reparación y/o conversión/reequipamiento (por ejemplo, el aumento de la potencia de frenado) de un sistema de frenado según la invención puede acelerarse y simplificarse significativamente, lo que reduce los tiempos de inactividad de los vehículos ferroviarios y permite un funcionamiento más eficiente.

Según una forma de realización de un sistema de frenado según la invención, el sistema de frenado se utiliza 45 en un vagón, es decir, el vehículo ferroviario es, por ejemplo, un vagón de pasajeros o un vagón de mercancías. Se ha demostrado que, en particular cuando se utiliza un conjunto de varios vehículos ferroviarios equipados con un sistema de frenado según la invención, se puede conseguir un funcionamiento particularmente ventajoso o una recuperación particularmente eficaz de la energía cinética durante un procedimiento de frenado. Un freno generativo de una unidad de tracción puede, por lo tanto, dimensionarse de manera diferente, 50 lo que permite un dimensionamiento más rentable y también más eficiente del motor de tracción de una unidad de tracción para la conducción. En ciertas formas de realización es incluso posible prescindir por completo de un freno regenerativo en el vehículo de tracción.

Para ciertos campos de aplicación se puede asignar una pluralidad de módulos de freno generativo K a al 55 menos un eje del juego de ruedas. Esto permite aumentar la potencia de frenado o de aceleración según sea necesario sin requerir obligatoriamente diferentes tipos de módulos de freno generativo. Esto reduce la variedad de componentes y, por tanto, permite reducir los costes de producción, por un lado, y simplifica el mantenimiento y la revisión del sistema de frenos, por otro. También hace posible el reequipamiento o la transformación de vehículos ferroviarios, por ejemplo debido a conversiones o a una nueva zona geográfica (en particular topológica) de utilización. Esto se aplica en particular a las formas de realización de sistemas de

freno que tienen varios módulos de freno generativo esencialmente idénticos. En particular, tales formas de realización que solo tienen sistemas de frenado generativo del mismo tipo. Las formas de realización con una pluralidad de módulos de freno generativo K pueden utilizarse, por ejemplo, en vehículos ferroviarios especialmente pesados. Una forma de realización de este tipo también se puede utilizar, por ejemplo, en

- 5 vehículos ferroviarios para su uso en trenes de alta velocidad. Dicha forma de realización también puede utilizarse, por ejemplo, en vehículos ferroviarios que se utilizan en rutas con pendientes pronunciadas. K es un número natural mayor que 1, siendo K preferiblemente 2, 3 o 4. Es posible un número mayor de módulos de freno generativo. Alternativa o adicionalmente, según ciertas formas de realización del sistema de frenado segú 10 la invención, también puede asignarse una pluralidad K de módulos de freno generativo a un eje del juego de ruedas, en cuyo caso los módulos de freno generativo son al menos dos tipos diferentes de módulos de freno generativo. En particular, tales tipos de módulos de freno generativo pueden diferir en que sus eficiencias máximas son a diferentes velocidades. Mediante el uso de tales tipos diferentes de módulos de freno generativo, tales formas de realización de un sistema de freno -pero también otras formas de realización- 15 pueden garantizar un rendimiento de frenado óptimo desde un punto de vista mecánico y energético, tanto a velocidades altas como bajas. Para poder obtener una potencia de frenado elevada a diferentes velocidades de desplazamiento de un vehículo ferroviario, un vehículo ferroviario conforme al sistema de frenado segú 20 la invención dispone también de varios módulos de freno generativo diferentes, cada uno de los cuales está diseñado para una potencia de frenado máxima a diferentes velocidades de desplazamiento. Por ejemplo, un primer módulo de freno generativo puede estar diseñado para una potencia de frenado elevada en un intervalo de velocidad de desplazamiento alta y un segundo módulo de freno generativo puede estar diseñado para una potencia de frenado elevada en un intervalo de velocidad de desplazamiento baja. Si es necesario, al menos un módulo de freno generativo también puede conectarse a un eje de ruedas mediante un engranaje o una transmisión.

25 Otra ventaja de utilizar una pluralidad de módulos de freno generativo K asociados a un eje del juego de ruedas es que, en caso necesario, otros componentes del sistema de frenado descrito en el presente documento (como módulos de almacenamiento de energía y/o convertidores y/o rectificadores) pueden disponerse relativamente cerca unos de otros, lo que puede simplificar el mantenimiento de dicho sistema en determinadas condiciones. Asimismo, los conductores eléctricos pueden mantenerse relativamente cortos, lo que permite una reducción de costes y reduce las pérdidas de transmisión.

30 Según una forma de realización de un sistema de frenado segú 35 la presente invención, solo un número $M < N$ de ejes de ruedas de un vehículo ferroviario tiene asignado al menos un módulo de freno generativo (M es un número natural y $N-M>0$). En otras palabras, en tales formas de realización de un sistema de frenado segú 40 la invención, no a todos los juegos de ruedas de un vehículo ferroviario se les asigna al menos un módulo de freno generativo. Tales formas de realización pueden ser ventajosas para ciertos tipos de vehículos ferroviarios, por ejemplo para lograr una cierta distribución del peso a lo largo del eje longitudinal (esencialmente paralelo a la dirección de desplazamiento) del vehículo ferroviario. En tales formas de realización de un sistema de frenado segú 45 la invención, en particular los juegos de ruedas sin un módulo de freno generativo asociado pueden tener en su lugar, por ejemplo, frenos de disco (u otros tipos de frenos convencionales), en particular aquellos con accionamiento electromecánico o electrohidráulico.

40 Según una forma de realización de la invención, al menos dos ejes del juego de ruedas tienen cada uno asignado al menos un módulo de freno generativo. Tales formas de realización pueden ser ventajosas para obtener el frenado regenerativo más eficiente posible. Asimismo, para ciertos tipos de vehículos ferroviarios, puede lograrse una distribución del peso particularmente ventajosa a lo largo del eje longitudinal del vehículo ferroviario. Para ciertos tipos de vehículos ferroviarios, se asignan entre 1 y K módulos de freno generativo a 45 cada uno de los N ejes del juego de ruedas, siendo K un número natural mayor que 0, preferiblemente K = 1 o 2 o 3 o 4.

50 Los costes de explotación tanto de un vehículo ferroviario individual como de un conjunto de vehículos ferroviarios pueden reducirse si esencialmente todos los ejes de ruedas del vehículo ferroviario o del conjunto de vehículos ferroviarios están dotados esencialmente de al menos un módulo de freno generativo y preferiblemente de un freno de disco o de estacionamiento (particularmente preferible con un actuador electromecánico o hidráulico). En particular, esto puede reducir significativamente el coste de reparación y mantenimiento, así como el almacenamiento de piezas de repuesto.

55 Según la invención es posible que los diferentes ejes de juegos de ruedas de un vehículo ferroviario puedan tener diferentes números de módulos de freno generativo, aunque varios también pueden tener el mismo número de módulos de freno generativo. Segú 60 una forma de realización de la invención, el sistema de frenado está diseñado de tal manera que al menos un eje de ruedas dispuesto más hacia delante en la dirección de marcha del vehículo ferroviario tiene un mayor número de módulos de freno generativo que al menos un juego de ruedas dispuesto más hacia atrás. De este modo se puede generar una mayor potencia de frenado para las ruedas cargadas con una mayor fuerza normal en caso de frenado, evitando así eficazmente el riesgo de deslizamiento, como se explicará con más detalle a continuación.

Se puede lograr un sistema de frenado particularmente eficiente si al menos un módulo de freno generativo está dispuesto en un eje de juego de ruedas asignado al mismo. Si el módulo de freno generativo tiene una disposición de rotor, como se describirá más adelante, en tal forma de realización el eje de rotación de la disposición de rotor puede ser esencialmente idéntico al eje de rotación del eje del juego de ruedas. En tal forma de realización, el número de componentes móviles del sistema de frenado según la invención puede mantenerse particularmente bajo. Así, por un lado, el gasto de mantenimiento y revisión del sistema de frenado puede reducirse y, por otro lado, la eficiencia del sistema de frenado puede maximizarse en ciertos casos.

Alternativa o adicionalmente, al menos un módulo de freno generativo puede conectarse de modo giratorio, indirectamente a un eje de juego de rueda que le haya sido asignado. Dicha conexión indirecta puede realizarse, por ejemplo, a través de al menos una rueda dentada, como por ejemplo mediante un engranaje o una transmisión que comprenda varias ruedas dentadas. Dicha caja de cambios puede ser, por ejemplo, un engranaje planetario. Para aplicaciones especiales, al menos un módulo de freno generativo puede disponerse de tal manera que el eje del juego de ruedas asignado al mismo esté situado esencialmente entre el módulo de freno generativo y las vías del ferrocarril (ruta). Tal forma de realización puede ser particularmente ventajosa si el módulo de freno generativo debe estar particularmente bien protegido debido a condiciones ambientales particularmente duras.

Según una configuración del sistema de frenado según la invención, al menos un eje de juego de ruedas de un vehículo ferroviario tiene asignado al menos un freno de estacionamiento. Esto garantiza que el vehículo ferroviario -o al menos un conjunto de vehículos ferroviarios equipados con un sistema de frenado según la invención- esté suficientemente protegido contra una rodadura.

Según otra configuración de la invención, el sistema de frenado tiene al menos un juego de ruedas con al menos un freno de disco, que comprende un disco de freno dispuesto en el eje del juego de ruedas. Esto permite combinar al menos un módulo de freno generativo y al menos un freno de disco si es necesario, lo que permite un frenado eficaz en diferentes situaciones. Pueden obtenerse resultados especialmente buenos si el al menos un freno de disco puede utilizarse también como freno de estacionamiento. Alternativamente, al menos un lado frontal de una primera y/o segunda rueda de un juego de ruedas puede servir también como disco de freno. Dependiendo del campo de aplicación, también puede utilizarse otro tipo de dispositivo de frenado, en particular un freno de fricción, como alternativa o además de un freno de disco, por ejemplo, un freno de tambor o un freno de bloque. También es posible utilizar otros tipos de freno según la invención, tales como frenos de corrientes parásitas, en lugar o además de un freno de fricción.

Según una forma de realización de un sistema de freno según la invención, el al menos un freno de disco (o freno de fricción de otro tipo) tiene un accionador electromecánico y/o electrohidráulico para accionar una pinza de freno que interactúa con el disco de freno. Un vehículo ferroviario equipado con un sistema de freno de este tipo puede funcionar de forma esencialmente independiente de un sistema de freno neumático convencional.

Según una forma de realización de la invención, la energía eléctrica necesaria para accionar dicho actuador puede obtenerse al menos temporalmente de un módulo de freno generativo o -si está presente- de un módulo de almacenamiento de energía.

Según otra forma de realización de un sistema de frenado según la invención, al menos un módulo de freno generativo está dispuesto esencialmente en un plano central entre la primera y la segunda rueda del juego de ruedas asociado y está conectado mecánicamente de forma operativa al eje del juego de ruedas correspondiente. Como resultado, puede conseguirse una aceleración (o frenado y aumento de velocidad) especialmente ventajosa del juego de ruedas con respecto a la carga mecánica sobre el juego de ruedas y su rodamiento.

Alternativamente o además de esto, al menos un módulo de freno generativo puede disponerse a una primera distancia A_i , donde $A_i > 0$, de un plano central entre la primera y la segunda rueda del juego de ruedas asociado y puede conectarse mecánicamente de forma operativa al eje del juego de ruedas correspondiente. Una forma de realización de este tipo puede ser ventajosa para disponer varios módulos de freno generativo en un eje del juego de ruedas -en particular si varios juegos de ruedas de un vehículo ferroviario van a tener cada uno al menos un módulo de freno generativo- como se explicará con más detalle a continuación.

Según una variante de un sistema de frenado según la invención que es ventajosa para ciertos tipos de vehículos ferroviarios, la totalidad de todos los módulos de freno generativo de un vehículo ferroviario está dispuesta de tal manera que, cuando el vehículo ferroviario se desplaza en línea recta, la suma de las primeras distancias A_i de los módulos de freno generativo del vehículo ferroviario a un plano central vertical dispuesto equidistantemente entre las ruedas primera y segunda de los N juegos de ruedas es aproximadamente igual a cero. De este modo puede reducirse la carga que actúa sobre las vías de ferrocarril durante el frenado y/o el aumento de la velocidad. Los puntos mecánicos medios de aplicación de las fuerzas transmitidas por los módulos de freno generativo al eje del juego de ruedas pueden servir como puntos de referencia para las segundas distancias.

En una forma de realización de un sistema de frenado según la invención que es ventajosa para ciertas aplicaciones y que tiene al menos un freno de disco, el número de todos los frenos de disco está dispuesto de tal manera que, cuando el vehículo ferroviario se desplaza en línea recta, la suma de las segundas distancias B_i de todos los discos de freno de los frenos de disco a un plano central vertical dispuesto equidistantemente entre la primera y la segunda ruedas de los N juegos de ruedas es aproximadamente igual a cero. Alternativa o adicionalmente, pueden utilizarse otros tipos de frenos de fricción.

Para ciertas aplicaciones, el vehículo ferroviario puede comprender al menos un bogie que comprenda al menos dos juegos de ruedas, de los cuales al menos un juego de ruedas comprenda un módulo de frenado generativo. En un sistema de frenado de este tipo para un vehículo ferroviario que comprende al menos un bogie, puede conseguirse un frenado particularmente eficaz si la suma de las tercera distancias C_i de los módulos de frenado generativo de un bogie a un plano central vertical dispuesto equidistantemente entre las ruedas primera y segunda de los al menos dos juegos de ruedas de este bogie es aproximadamente igual a cero. De este modo puede evitarse la rotación involuntaria del bogie durante la deceleración o un aumento de velocidad generado por los módulos de freno generativo.

Según otra configuración de dicho sistema de frenado, al menos uno de los juegos de ruedas de un bogie puede tener un disco de freno, en cuyo caso la suma de las distancias de todos los discos de freno de dicho bogie a un plano central vertical dispuesto equidistantemente entre las ruedas primera y segunda de los al menos dos juegos de ruedas de este bogie es aproximadamente igual a cero.

Cuando se utiliza un sistema de frenado según la invención en un vehículo ferroviario con al menos un bogie, según una forma de realización de la invención, la potencia de frenado eléctrica que puede ser generada por al menos un módulo de frenado generativo puede, en caso necesario, ser mayor para un juego de ruedas situado más hacia delante en el sentido de la marcha que para un juego de ruedas situado más hacia atrás en el sentido de la marcha. De este modo puede reducirse el riesgo de deslizamiento involuntario de los juegos de ruedas durante un procedimiento de frenado.

Según una forma de realización preferida de un módulo de freno según la invención, al menos un módulo de freno generativo tiene una disposición de rotor que está mecánicamente conectada de forma operativa al eje del juego de ruedas asociado y una disposición de estator que está conectada sin giro de forma operativa al bogie asociado.

Una forma de realización particularmente ventajosa de un sistema de frenado según la invención puede lograrse si dicho sistema de frenado tiene un dispositivo de recuperación para alimentar al menos parte de la energía eléctrica generada por al menos un módulo de freno generativo a una catenaria (o sistema de electrificación ferroviaria asociado). Una catenaria puede ser, por ejemplo, una línea aérea. Alternativa o adicionalmente, el dispositivo de recuperación de un sistema de frenado según la invención también puede configurarse de tal manera que al menos una parte de la energía eléctrica generada por al menos un módulo de freno generativo pueda introducirse, al menos parcialmente, en una catenaria a través de un dispositivo de recuperación central de un conjunto de vehículos ferroviarios. Para ello pueden conectarse eléctricamente varios módulos de freno generativo de un sistema de frenado de un vehículo ferroviario y/o de un conjunto de vehículos ferroviarios. Tal dispositivo de recuperación puede ser, por ejemplo, el dispositivo de recuperación de una locomotora eléctrica o diésel-eléctrica con un freno regenerativo. Las formas de realización de un sistema de frenado según la invención con un dispositivo de recuperación pueden funcionar así al menos temporalmente a la manera de un denominado freno regenerativo.

Se pueden conseguir buenos resultados si el dispositivo de recuperación del sistema de frenado tiene un convertidor.

Una forma de realización preferida de un sistema de frenado según la invención tiene un control de potencia que puede poner a disposición de un consumidor al menos una parte de la energía eléctrica generada por al menos un módulo de frenado generativo. Para ello, un sistema de frenado según la invención puede tener preferentemente un convertidor y/o rectificador. Según una forma de realización, el sistema de frenado según la invención comprende un control de potencia que pone a disposición de un consumidor la energía eléctrica generada por al menos un módulo de frenado generativo o, si está presente, la energía eléctrica almacenada en un módulo de almacenamiento de energía. En particular, los consumidores pueden ser un sistema de aire acondicionado (calefacción, ventilación, refrigeración, deshumidificación) y/o un sistema de iluminación y/o consumidores personales de los pasajeros (por ejemplo, fuentes de alimentación y cargadores para dispositivos eléctricos personales como teléfonos móviles u ordenadores portátiles) y/o un sistema de aseo. Un consumidor puede estar dispuesto en el mismo vehículo ferroviario que un módulo de frenado generativo que genera la energía eléctrica. Alternativa o adicionalmente, cuando un vehículo ferroviario equipado con un sistema de frenado según la invención se utiliza en un conjunto, al menos un consumidor dispuesto (asignado) en otro vehículo ferroviario del conjunto también puede ser alimentado con energía eléctrica.

Según una forma de realización preferida de un sistema de frenado según la invención, el sistema de frenado comprende al menos un módulo de almacenamiento de energía para almacenar al menos una parte de la

energía eléctrica generada por al menos un módulo de frenado generativo. Según una forma de realización de la invención, a cada módulo de frenado generativo se le asigna exactamente un módulo de almacenamiento de energía. De forma alternativa o adicional, también se pueden asignar al menos dos módulos de almacenamiento de energía a al menos un módulo de freno generativo. Tal realización puede ser ventajosa, 5 por ejemplo para poder reducir las consecuencias en caso de fallo de un módulo de almacenamiento de energía. En tal forma de realización de un sistema de frenado, a un módulo de almacenamiento de energía también se le pueden asignar, en particular, varios módulos de freno generativo. Por lo tanto, las formas de realización de un sistema de frenado según la invención con un módulo de almacenamiento de energía también pueden funcionar al menos temporalmente a la manera de un freno regenerativo sin realimentar energía a un sistema 10 de electrificación ferroviaria, por ejemplo en caso de sobrecarga temporal en un sistema de electrificación ferroviaria. Un módulo de almacenamiento de energía puede instalarse en el mismo vehículo ferroviario que un módulo de freno generativo asociado. Alternativamente, sin embargo, un módulo de almacenamiento de energía también puede estar dispuesto en/sobre otro vehículo ferroviario como un módulo de freno generativo asociado.

15 Preferiblemente, un módulo de almacenamiento de energía tiene interfaces mecánicas y/o eléctricas (o electrónicas) normalizadas y separables, que permiten sustituir fácilmente el módulo de almacenamiento de energía en caso necesario. Como resultado, el mantenimiento y/o reparación y/o conversión/reequipamiento (por ejemplo, el aumento de la capacidad de almacenamiento) de un sistema de frenado según la invención 20 puede acelerarse y simplificarse significativamente, lo que reduce los tiempos de inactividad de los vehículos ferroviarios y permite un funcionamiento más eficiente.

25 Según una forma de realización particular de la invención, los módulos de freno generativo (o el módulo de freno generativo) de un bogie de un vehículo ferroviario se asignan cada uno a un módulo de almacenamiento de energía individual común o a un grupo común de módulos de almacenamiento de energía. Preferiblemente, dicho módulo de almacenamiento de energía o dicho grupo común de módulos de almacenamiento de energía está dispuesto en el mismo bogie que el al menos un módulo de freno generativo asociado.

En otra forma de realización de la invención, todos los módulos de freno generativo de un vehículo ferroviario están asignados cada uno a un módulo de almacenamiento de energía o a un grupo de módulos de almacenamiento de energía.

30 Alternativa o adicionalmente, al menos vehículos ferroviarios individuales de un conjunto de vehículos ferroviarios pueden tener módulos de almacenamiento de energía con una mayor capacidad de almacenamiento de energía y al menos parte de la energía eléctrica generada por los módulos de freno generativo de los vehículos ferroviarios equipados con el sistema de frenado según la invención puede almacenarse en estos módulos de almacenamiento de energía. Tal configuración de un sistema de frenado 35 según la invención puede ser ventajosa para ciertas aplicaciones, ya que los módulos de almacenamiento de energía más grandes pueden fabricarse generalmente de forma más rentable que varios módulos de almacenamiento de energía más pequeños con la misma capacidad de almacenamiento total.

40 Según una forma de realización preferida de un sistema de frenado según la invención, el sistema de frenado está configurado de tal manera que un conjunto de varios vehículos ferroviarios, que comprenden tales sistemas de frenado, forma un sistema de frenado autosuficiente, es decir, que el funcionamiento del sistema de frenado es posible al menos temporalmente sin un suministro externo de energía eléctrica y/o aire comprimido (por ejemplo, de un vehículo de tracción).

45 Pueden obtenerse buenos resultados si el módulo de almacenamiento de energía tiene al menos un elemento de almacenamiento de energía, en el que el elemento de almacenamiento de energía se selecciona del grupo que comprende la batería, el supercondensador y el volante de inercia. Otros tipos de elementos de almacenamiento de energía son posibles según la invención.

50 Si es necesario, el módulo de almacenamiento de energía puede tener un rectificador y/o un inversor. Como resultado, se puede suministrar energía eléctrica a un módulo de freno generativo si es necesario (como se describe más adelante) y/o se puede suministrar energía eléctrica a un sistema de electrificación ferroviaria a través de un dispositivo de recuperación y/o se puede poner energía eléctrica a disposición de un consumidor en el vehículo ferroviario.

55 Según una forma de realización preferida de un sistema de frenado según la invención, el sistema de frenado comprende un control de accionamiento que suministra energía eléctrica desde una catenaria y/o desde al menos un módulo de almacenamiento de energía a al menos un módulo de freno generativo, en cuyo caso el módulo de freno generativo actúa como un motor eléctrico y convierte la energía eléctrica en energía rotacional y la transmite al eje del juego de ruedas asociado con el, al menos uno, módulo de freno generativo. De este modo, el sistema de frenado puede utilizarse como sistema de accionamiento y, por ejemplo, la energía cinética de un vehículo ferroviario previamente convertida en energía eléctrica durante un procedimiento de frenado puede utilizarse para aumentar posteriormente la velocidad del vehículo ferroviario.

Alternativa o adicionalmente, un sistema de frenado según la invención puede comprender un dispositivo de disipación que convierte al menos una parte de la energía eléctrica generada por al menos un módulo de frenado generativo en energía térmica. De este modo, los picos de potencia eléctrica durante un procedimiento de frenado pueden aplanarse según sea necesario y puede garantizarse una potencia de frenado suficiente incluso si la energía eléctrica generada por al menos un módulo de frenado generativo no puede liberarse o no puede liberarse completamente en una catenaria y/o un módulo de almacenamiento de energía.

Este puede ser el caso, por ejemplo, si la potencia de frenado supera la capacidad de absorción de una catenaria o un módulo de almacenamiento de energía (o un grupo de módulos de almacenamiento de energía). Tal situación puede presentarse, por ejemplo, en largas pendientes cuesta abajo o durante un frenado de emergencia o en caso de sobrecapacidad del sistema de electrificación ferroviaria. Las formas de realización correspondientes de un dispositivo de disipación del sistema de frenado según la invención pueden funcionar así, al menos temporalmente, a la manera de un freno de resistencia.

En particular, el dispositivo de disipación puede tener una resistencia de carga óhmica que convierte la potencia eléctrica absorbida en energía térmica (calor). El dispositivo de disipación también puede tener medios para liberar al entorno la energía térmica generada, en particular mediante conducción de calor y radiación de ondas electromagnéticas, como se explicará con más detalle a continuación. El dispositivo de disipación también puede tener medios para almacenar al menos por poco tiempo una parte de la energía térmica generada, como se explicará con más detalle a continuación.

Según una forma de realización, el dispositivo de disipación comprende una masa térmica que consiste, al menos parcialmente, en un material con una alta capacidad calorífica específica. En particular, la masa térmica puede ser un sólido y/o un líquido y/o una sal con un estado agregado que cambia en el intervalo de las temperaturas de funcionamiento previstas. La masa térmica puede actuar directamente como una resistencia óhmica y/o la masa térmica puede estar conectada térmicamente a una resistencia óhmica en la que la energía eléctrica generada por al menos un módulo de freno generativo se convierte en energía térmica.

Se pueden obtener buenos resultados si el dispositivo de disipación tiene al menos un radiador. Como resultado, la energía térmica se puede disipar de manera particularmente eficiente y la potencia de frenado se puede aumentar. En particular, la energía térmica también puede disiparse a un medio refrigerante, por ejemplo, al aire ambiente (atmósfera) o a un líquido (refrigerante, por ejemplo, aceite). Según la invención, un sistema de frenado también puede disponer de medios para aumentar la transferencia de calor mediante convección forzada en la zona de un dispositivo de disipación o nervaduras, como medidas fluidodinámicas para desviar el aire que fluye alrededor de un vehículo ferroviario durante la marcha. También es concebible utilizar un soplador/ventilador, como un ventilador accionado eléctricamente. Un dispositivo de disipación refrigerado por aire, al menos parcialmente, o al menos partes de este pueden, por tanto, estar provistos de ventiladores o también ser autoventilados.

Según una forma de realización de un sistema de frenado según la invención, al menos una parte del dispositivo de disipación está dispuesto en la zona del chasis de un vehículo ferroviario. Si el vehículo ferroviario tiene al menos un bogie, un dispositivo de disipación también puede estar dispuesto preferiblemente en la zona del bogie o directamente en el bogie. Según una forma de realización de la invención, al menos una parte del dispositivo de disipación puede disponerse en la zona de un techo de un vehículo ferroviario (o en la zona de la parte superior del vehículo ferroviario), por lo que es posible una disipación eficaz del aire calentado para ciertos tipos de vehículos ferroviarios.

Según una configuración de un sistema de frenado según la invención, que es ventajoso para ciertos tipos de vehículos ferroviarios, al menos una parte del dispositivo de disipación está dispuesto sobre o en un eje del juego de ruedas y está conectado rotacionalmente al mismo. De este modo, se puede generar una mejor transferencia de calor al entorno durante un procedimiento de frenado debido a la convección forzada generada por la rotación. Tal forma de realización puede ser particularmente ventajosa cuando se reequipan posteriormente vehículos ferroviarios con un sistema de frenado de acuerdo con la invención, ya que en la mayoría de los casos los ejes de los juegos de ruedas y los componentes circundantes ya están configurados de tal manera que la energía térmica generada en el área de los ejes de los juegos de ruedas no causa ningún daño al vehículo ferroviario debido a los frenos de disco montados de otro modo. Según una forma de realización de un sistema de frenado según la invención que es adecuado para determinados vehículos ferroviarios, al menos un módulo de freno generativo y al menos parte de un dispositivo de disipación están dispuestos en al menos un eje del juego de ruedas. Según otra forma de realización de un sistema de frenado según la invención, al menos un módulo de freno generativo está dispuesto en un primer eje del juego de ruedas y al menos un dispositivo de disipación conectado operativamente al módulo de freno generativo está dispuesto en un segundo eje del juego de ruedas que es diferente del primer eje del juego de ruedas. Una forma de realización de este tipo puede ser ventajosa para proteger los módulos de freno generativo del estrés térmico y también para maximizar la disipación de energía térmica del dispositivo de disipación.

Según una forma de realización de un sistema de frenado según la invención, que es ventajosa para determinados vehículos ferroviarios, al menos una parte del dispositivo de disipación forma parte de un disco

de freno de un freno de disco. Como resultado, se puede lograr un mayor grado de integración funcional y, si es necesario, se pueden reducir el peso y los costes.

Según una forma de realización de un sistema de frenado según la invención, al menos un módulo de freno generativo tiene un sistema de refrigeración activo. Dicho sistema de refrigeración activo puede comprender, por ejemplo, un circuito de refrigeración con un fluido refrigerante (por ejemplo, agua). Alternativa o adicionalmente, un módulo de freno generativo también puede tener un sistema de refrigeración pasivo, como aletas de refrigeración.

Según una forma de realización, un módulo de freno generativo comprende un freno de estacionamiento integrado y/o un freno de disco integrado.

En las formas de realización de un sistema de frenado según la invención, que comprenden al menos dos componentes - seleccionados del grupo de módulo de almacenamiento de energía, dispositivo de recuperación y dispositivo de disipación - si se requiere, una primera parte de la energía eléctrica generada por al menos un módulo de freno generativo también puede alimentarse a un módulo de almacenamiento de energía y/o, si es necesario, una segunda parte puede alimentarse a un sistema de electrificación ferroviaria a través del dispositivo de recuperación y/o, si es necesario, una tercera parte puede convertirse en calor a través de un dispositivo de disipación. Las fracciones respectivas de una primera parte, una segunda parte y una tercera parte de la energía eléctrica total generada se determinan ventajosamente mediante un sistema de control de freno local o global. Las fracciones respectivas se determinan preferentemente en función de la potencia eléctrica actual del módulo de frenado generativo y/o de la capacidad de absorción de corriente del sistema de electrificación ferroviaria (en particular, del nivel de tensión actual en el sistema de electrificación ferroviaria) y/o del nivel de carga y de la capacidad de carga del módulo de almacenamiento de energía y/o de la potencia eléctrica que puede consumir actualmente un dispositivo de disipación. También puede utilizarse para este fin información sobre la potencia actual de otros módulos de freno generativo y/o datos sobre la potencia actual de un posible freno regenerativo de una locomotora existente y/o información sobre un perfil de ruta actual (en particular, el perfil de altura y la distancia hasta las próximas paradas).

Según una forma de realización preferida de un sistema de frenado según la invención, el sistema de frenado comprende un controlador de freno local dispuesto en un vehículo ferroviario, que supervisa la potencia de frenado de los módulos de freno generativo de al menos este vehículo ferroviario y aumenta o disminuye la potencia de frenado de los módulos de freno generativo en caso de desviación de un valor nominal. Este ajuste puede realizarse, en particular, modificando al menos una resistencia de carga conectada a un módulo de freno generativo, por ejemplo, modificando la potencia eléctrica suministrada a un módulo de almacenamiento de energía y/o modificando una resistencia óhmica conectada de un dispositivo de disipación. Alternativa o adicionalmente, el control de freno local también puede ajustar la potencia de frenado de al menos un freno de disco, si está presente, y/o al menos un freno de estacionamiento, si está presente. Alternativa o adicionalmente, un sistema de control de freno local también puede regular la potencia de accionamiento de al menos un módulo de freno generativo o grupo de módulos de freno generativo que actúan como un motor eléctrico.

Otra ventaja de un sistema de frenado según la invención es que un vehículo ferroviario equipado con un sistema de frenado de este tipo también puede diseñarse de forma que también pueda coger velocidad y frenar de forma independiente, al menos durante un breve periodo de tiempo. Este es particularmente el caso si tiene un módulo de almacenamiento de energía como se describe en el presente documento y al menos un módulo de freno generativo está diseñado como un motor eléctrico para conducir un vehículo ferroviario por medio de la energía eléctrica proporcionada por el módulo de almacenamiento de energía. Tales formas de realización son particularmente ventajosas en la operación de maniobra, ya que permiten un gran número de grados adicionales de libertad o estrategias de maniobra y, por lo tanto, permiten tanto una reducción significativa del tiempo de maniobra como del número de locomotoras de maniobra necesarias. También puede ser posible prescindir de una montaña de clasificación.

Según una configuración preferida de un sistema de frenado según la invención, el sistema de frenado se extiende sobre un conjunto de varios vehículos ferroviarios, en cuyo caso al menos dos vehículos ferroviarios tienen un módulo de frenado generativo como se describe en el presente documento. En particular, un sistema de frenado según la invención puede extenderse a un conjunto de vehículos exclusivamente ferroviarios, cada uno de los cuales comprende al menos un módulo de frenado generativo, en cuyo caso un conjunto puede comprender adicionalmente también un vehículo de tracción convencional tal como una locomotora o un automotor.

Según una forma de realización de un sistema de frenado según la invención, el sistema de frenado comprende un controlador de freno global que supervisa y regula la potencia de frenado y/o la potencia de accionamiento de los módulos de freno generativo de una pluralidad de vehículos ferroviarios equipados con un sistema de frenado según la invención. Según una forma de realización de dicho sistema de frenado según la invención, un controlador de freno global puede en particular regular también la distribución de la energía eléctrica generada por los módulos de freno generativo a uno o más módulos de almacenamiento de energía o a uno o

más dispositivos de disipación o a uno o más dispositivos de recuperación. Del mismo modo, un sistema de control de freno global de este tipo puede controlar la distribución de la energía suministrada a los consumidores por los módulos de freno generativo o regular la potencia suministrada a los consumidores, como se explicará con más detalle a continuación. En particular, un sistema de control de freno global también puede controlar la combinación entre al menos un módulo de freno generativo y al menos un freno de disco. Las funciones de un controlador de freno global descritas anteriormente también pueden ser llevadas a cabo, al menos en parte, por un controlador de freno local (en particular, como se describe en el presente documento).

Además, la presente invención está dirigida a proporcionar un módulo de frenado generativo para un sistema de frenado según la invención como se describe en el presente documento.

10 Según una forma de realización preferida, el módulo de frenado generativo comprende una disposición de estator y una disposición de rotor que es relativamente giratoria con respecto a la disposición de estator y que puede generar energía eléctrica mediante inducción electromagnética. De esta manera, un vehículo ferroviario (o un conjunto de vehículos ferroviarios) puede ser fácilmente provisto tanto de potencia de frenado generativo como de potencia de accionamiento eléctrico.

15 Según una forma de realización particularmente eficiente energéticamente de un módulo de freno generativo, la disposición del rotor está diseñada de tal manera que puede montarse en un eje de juego de ruedas de un vehículo ferroviario. En particular, una forma de realización de este tipo puede tener una abertura pasante para alojar un eje de juego de ruedas. Pueden conseguirse formas de realización particularmente eficientes desde el punto de vista energético si el eje de rotación de la disposición del rotor cuando está montado en un eje de juego de ruedas es idéntico al eje de rotación del eje juego de ruedas. En una forma de realización de este tipo, la disposición del rotor y el eje del juego de ruedas pueden estar conectados entre sí por rotación directa. Alternativamente, un módulo de freno generativo también puede tener medios para la conexión indirecta en rotación con un eje del juego de ruedas, como un engranaje, por ejemplo, un engranaje planetario.

20 En una forma de realización preferida de un módulo de freno generativo en el que la disposición del rotor está diseñada de tal manera que puede conectarse rotacionalmente de forma indirecta a un eje de juego de ruedas de un vehículo ferroviario, también es posible según la invención no disponer la disposición del rotor directamente en el eje de juego de ruedas, sino conectarla al eje de juego de ruedas mediante engranajes, por ejemplo.

25 30 Según una forma de realización, un módulo de freno generativo según la invención comprende una disposición de estator que tiene al menos un medio de fijación para fijar a un bogie y/o un chasis de un vehículo ferroviario.

35 40 Según una forma de realización preferida de un módulo de freno generativo según la invención, éste comprende una carcasa al menos parcialmente a prueba de polvo e impermeable. En particular, las partes eléctricas y/o electrónicas y/o mecánicas de un módulo de freno generativo pueden encapsularse en dicha carcasa de manera hermética al polvo y/o al agua. Según una forma de realización de un sistema de frenado regenerativo según la invención, éste tiene una carcasa al menos parcialmente a prueba de polvo e impermeable que tiene una abertura pasante para alojar un eje de juego de ruedas, en cuyo caso la carcasa está conectada al eje de juego de ruedas por medio de al menos una junta rotativa. Estas formas de realización tienen una vida útil especialmente larga y también pueden utilizarse de forma fiable en condiciones ambientales especialmente duras. Alternativa o adicionalmente, la carcasa también puede estar conectada a una disposición de rotor dispuesta al menos parcialmente en la carcasa por medio de al menos una junta rotativa.

45 La presente invención también se dirige a un juego de ruedas que comprende al menos un módulo de frenado generativo como se describe en el presente documento. Preferiblemente, el juego de ruedas comprende al menos un freno de estacionamiento y/o un freno de disco del tipo descrito en el presente documento.

La presente invención también se dirige a un vehículo ferroviario de vía normal que comprende al menos un sistema de frenado y/o al menos un módulo de frenado generativo como se describe en el presente documento.

La presente invención también se dirige a un juego de ruedas para un vehículo ferroviario de vía normal que comprende al menos un módulo de frenado generativo como se describe en el presente documento.

50 55 La presente invención también se dirige a proporcionar un procedimiento de funcionamiento de un vehículo ferroviario con un sistema de frenado según la invención. Según dicho procedimiento, un vehículo ferroviario comprende una pluralidad N de juegos de ruedas, en el que un juego de ruedas comprende una primera rueda y una segunda rueda conectadas cada una a un eje del juego de ruedas. Según el procedimiento, el sistema de frenado comprende al menos un módulo de frenado generativo asociado a un eje del juego de ruedas, que está configurado para convertir la energía rotacional del eje del juego de ruedas en energía eléctrica y frenar así el vehículo ferroviario. Según el procedimiento, se asigna al menos un módulo de almacenamiento de energía para almacenar energía eléctrica al módulo de freno generativo, por lo que durante un procedimiento de frenado un controlador de freno determina la potencia de frenado eléctrica actual del módulo de freno generativo y la capacidad de almacenamiento actual del al menos un módulo de almacenamiento de energía. En función de la potencia de frenado eléctrica actual del módulo de freno generativo y de la capacidad de

almacenamiento actual del al menos un módulo de almacenamiento de energía, el controlador de freno suministra al módulo de almacenamiento de energía una primera parte de la energía eléctrica generada por el módulo de freno generativo.

5 Según una variante de dicho procedimiento, el sistema de control del freno también determina la potencia eléctrica actual que puede suministrarse a un sistema de electrificación ferroviaria a través de un dispositivo de recuperación asignado al menos a un módulo de freno generativo. En función de esto y de la potencia eléctrica de frenado actual del módulo de freno generativo y de la capacidad de almacenamiento actual del al menos un módulo de almacenamiento de energía, el sistema de control de freno alimenta una segunda parte de la energía eléctrica generada por el módulo de freno generativo al dispositivo de recuperación.

10 15 Según una variante de un procedimiento según la invención, el controlador de freno determina la potencia eléctrica actual que puede ser absorbida por al menos un dispositivo de disipación asociado al módulo de freno generativo. En función de ello y en función de la potencia eléctrica de frenado actual del módulo de freno generativo y de la capacidad de almacenamiento actual del al menos un módulo de almacenamiento de energía -y, si existe, de la potencia eléctrica que puede ser suministrada actualmente al sistema de electrificación ferroviaria, del al menos un dispositivo de disipación-, el sistema de control de freno suministra una tercera parte de la potencia eléctrica generada por el módulo de freno generativo.

20 25 Según una forma de realización de un procedimiento según la invención, el controlador de freno determina la potencia eléctrica de frenado de al menos uno, pero preferiblemente varios, módulos de freno generativo y cambia la resistencia de consumidor asignada a un módulo de freno generativo cuando la potencia eléctrica de frenado de este último disminuye. Se trata de una forma relativamente sencilla de evitar el bloqueo involuntario de las ruedas y el consiguiente deslizamiento sobre la vía durante un procedimiento de frenado. Esta variante del procedimiento es especialmente ventajosa si en un eje de juego de ruedas se disponen módulos de freno generativos, así como frenos de fricción (como frenos de disco, por ejemplo) y/o frenos de corrientes parásitas. Alternativa o adicionalmente, el sistema de control de freno también puede determinar o vigilar la frecuencia eléctrica y/o la tensión o amplitud generada por el al menos un módulo de freno generativo.

30 Según una variante de un procedimiento según la invención, el controlador de freno regula la potencia de frenado de varios módulos de freno generativo de tal manera que la potencia de frenado de al menos un módulo de freno generativo dispuesto más hacia delante en la dirección de desplazamiento del vehículo ferroviario o de una composición de vehículos ferroviarios es mayor que la de al menos un módulo de freno generativo dispuesto más hacia atrás. De este modo, en determinadas situaciones puede evitarse el deslizamiento de las ruedas sobre la vía durante el procedimiento de frenado.²²

Aspectos de la invención se explican con más detalle con referencia a los ejemplos de realización mostrados en las siguientes figuras y la descripción asociada. Se muestra esquemáticamente

- 35 Fig. 1 un vehículo ferroviario con una variante de un sistema de frenado según la invención en una vista en perspectiva desde arriba;
- Fig. 2 una primera forma de realización de un juego de ruedas para un sistema de frenado según la invención en una vista en perspectiva desde arriba;
- Fig. 3 otra forma de realización de un juego de ruedas para un sistema de frenado según la invención en una vista en perspectiva desde arriba;
- 40 Fig. 4 otra forma de realización de un juego de ruedas para un sistema de frenado según la invención en una vista en perspectiva desde arriba;
- Fig. 5 vista lateral de un vehículo ferroviario con un sistema de frenado según la invención;
- Fig. 6 vista inferior de un vehículo ferroviario con un sistema de frenado según la invención;
- 45 Fig. 7 vista lateral de un conjunto de dos vehículos ferroviarios con sistemas de frenado según la invención;
- Fig. 8 otra forma de realización de un juego de ruedas para un sistema de frenado según la invención en una vista en perspectiva desde arriba.

La figura 1 muestra esquemáticamente un vehículo ferroviario 40, por ejemplo un vagón de pasajeros de vía normal, que está equipado con una posible forma de realización de un sistema de frenado 1 según la invención. 50 El vehículo ferroviario 40 comprende dos bogies 30, en cada uno de los cuales están montados dos conjuntos de ruedas 10. Los conjuntos de ruedas comprenden cada uno de ellos un primer juego de ruedas 10. Los conjuntos de ruedas comprenden cada uno una primera rueda 11 y una segunda rueda 12, que están conectadas a un eje de conjunto de ruedas 13. Los módulos de freno generativo 100 están dispuestos en cada uno de los cuatro ejes de juegos de ruedas 13, que convierten la energía rotacional de los ejes de jueg

ruedas 13 en energía eléctrica según sea necesario, lo que hace que el vehículo ferroviario 40 frene. Los módulos de freno generativo 100 ilustrados esquemáticamente tienen cada uno una disposición de estator 110 y una disposición de rotor 120 que está conectada operativamente sin giro (rotacionalmente) al eje del juego de ruedas 13 asociado. Las disposiciones de estator 110 están cada una conectada operativamente de forma mecánica a sus bogies 30 asociados (no mostrados en detalle).

La forma de realización de un sistema de frenado 1 según la invención mostrada en la figura 1 también comprende un módulo de almacenamiento de energía 400 dispuesto en la zona del chasis del vehículo ferroviario 40. Este está conectado eléctricamente a los módulos de freno generativo 100 y comprende una pluralidad de celdas de batería (no mostradas). El módulo de almacenamiento de energía 400 está configurado de tal manera que al menos una parte de la energía eléctrica generada por los módulos de freno generativo 100 durante un procedimiento de frenado puede almacenarse en el mismo. La forma de realización ilustrada de un sistema de frenado 1 según la invención también tiene un control de accionamiento (no mostrado explícitamente), que puede alimentar la energía eléctrica almacenada en el módulo de almacenamiento de energía 400 de nuevo a los módulos de freno generativo 100. En tal estado de funcionamiento, los módulos de freno generativo 100 pueden actuar como motores eléctricos y convertir la energía eléctrica en energía de rotación, que se transfiere a los respectivos ejes de juegos de ruedas 13 asignados a ellos. De este modo, la energía cinética del vehículo ferroviario 40 convertida previamente en energía eléctrica durante un procedimiento de frenado puede utilizarse, al menos en parte, para aumentar de nuevo la velocidad del vehículo ferroviario 40.

Las figuras 2 a 4 muestran esquemáticamente diferentes formas de realización de juegos de ruedas 10 para un vehículo ferroviario con módulos de freno generativo 100 según la invención dispuestos en el eje del juego de ruedas 13.

Como se muestra en la figura 2, según una primera forma de realización, se puede asignar un módulo de freno generativo 100 individual a un eje de ruedas. En la forma de realización mostrada, el módulo de freno generativo tiene una abertura pasante para alojar el eje 13 del juego de ruedas. Este está dispuesto de tal manera que el eje de rotación de la disposición de rotor 120 existente es idéntico al eje de rotación del eje del juego de ruedas 13 cuando está montado en el eje del juego de ruedas 13. De esta manera, es posible una transmisión de fuerza particularmente eficiente entre la disposición de rotor 120 y el eje del juego de ruedas 13.

Como se muestra en la figura 3, varios -aquí tres- módulos de freno generativo 100 también pueden disponerse en un eje del juego de ruedas 13 según la invención. Esto puede ser especialmente ventajoso si se requiere una elevada potencia de frenado o de accionamiento.

La figura 4 muestra otra variante de un juego de ruedas 10 en el que, según la invención, un módulo de freno generativo 100 y, en paralelo, un freno de disco 200 están dispuestos en el mismo eje 13 del juego de ruedas. El freno de disco 200 comprende un disco de freno 210 dispuesto en el eje del juego de ruedas y una pinza de freno 220 que puede fijarse, por ejemplo, a un bogie (no representado) de un vehículo ferroviario. El freno de disco 200 sirve para proporcionar una determinada potencia de frenado mediante fricción en estados de funcionamiento especiales de un vehículo ferroviario, como alternativa o además del módulo de freno generativo 100. Tales estados de funcionamiento especiales pueden ser, por ejemplo, frenadas de emergencia o velocidades de desplazamiento muy lentas. En la forma de realización mostrada esquemáticamente en la figura 4, el freno de disco 200 también sirve como freno de estacionamiento 300.

La figura 5 muestra esquemáticamente un vehículo ferroviario 40 con otra forma de realización de un sistema de frenado 1 según la invención. El sistema de frenado 1 comprende cuatro módulos de freno generativo 100, que están dispuestos cada uno en los conjuntos de ruedas 10 del vehículo ferroviario 40. Los módulos de freno generativo 100 están conectados a su vez a un total de dos módulos de almacenamiento de energía 400. El primer módulo de almacenamiento de energía 400 mostrado en la figura en el lado izquierdo está dispuesto en el bogie 30 izquierdo. El segundo módulo de almacenamiento de energía 400 está dispuesto en la zona del chasis del vehículo ferroviario 40. Además, la variante ilustrada de un sistema de frenado 1 según la invención dispone de dos dispositivos de dissipación 500 para poder convertir al menos una parte de la energía eléctrica generada por los módulos de freno generativos 100 en energía térmica si la energía eléctrica generada no puede tomarse suficientemente de los módulos de almacenamiento de energía 400. Con este fin se acopla un primer dispositivo de dissipación 500 al cojinete de pivote 30 mostrado en el lado derecho, mediante el cual la energía eléctrica puede convertirse en calor relativamente cerca de donde se genera y, de este modo, puede reducirse en gran medida la transmisión de corrientes eléctricas elevadas en las proximidades de los pasajeros. En la parte superior del vehículo ferroviario se ha previsto un segundo dispositivo de dissipación 500, por el cual se puede garantizar una transferencia eficaz de calor al aire circulante cuando sea necesario mientras el vehículo ferroviario 40 se desplaza y también cuando está parado. Además, el sistema de frenado 1 mostrado tiene un dispositivo de recuperación 600 para alimentar al menos parte de la energía eléctrica generada por los módulos de freno generativos 100 a una catenaria 610. El sistema de frenado según la invención también está diseñado de tal manera que, por medio de un control de potencia (no mostrado por separado), parte de la energía eléctrica generada por los módulos de freno generativos 100 puede ponerse a disposición directa o

indirectamente desde uno o ambos módulos de almacenamiento de energía 400 a un consumidor 700 (aquí un sistema de aire acondicionado).

La figura 6 muestra una variante de una disposición de módulos de freno generativo 100 en cuatro ejes de ruedas 10 según la invención. Los módulos de freno generativo 100 están dispuestos cada uno a una primera distancia A1, A2, A3 y A4 de un plano central vertical E (paralelo al plano z/x) entre las ruedas primera y segunda 11, 12 de los ejes de ruedas 10 que tienen asignados y están conectados mecánicamente de forma operativa al eje de juego de ruedas 13 correspondiente. Las distancias se seleccionan de tal manera que, cuando el vehículo ferroviario 40 se desplaza en línea recta como se muestra, la suma de las primeras distancias A1, A2, A3 y A4 al plano vertical central E es aproximadamente igual a cero. De este modo, puede garantizarse un frenado mecánicamente ventajoso.

La figura 7 muestra un conjunto 50 que comprende dos vehículos ferroviarios 40, en el que el sistema de frenado 1 se extiende sobre ambos vehículos ferroviarios 40 del conjunto 50. Un módulo de almacenamiento de energía 400 está dispuesto en cada uno de los dos vehículos ferroviarios 40 del conjunto 50, que forman comúnmente un grupo de módulos de almacenamiento de energía 400 a los que se puede suministrar energía eléctrica según sea necesario por parte de cada uno de los ocho módulos de freno generativo 100.

La figura 8 muestra una forma de realización de un módulo de freno generativo 100 según la invención, que tiene una carcasa 130 a prueba de polvo y agua.

Lista de signos de referencia

1	Sistema de freno
20	10 Conjunto de ruedas
	11 Primera rueda
	12 Segunda rueda
	13 Eje de conjunto de ruedas
	30 Bogie
25	40 Vehículo ferroviario
	50 Conjunto (composición)
	100 Módulo de freno generativo
	110 Disposición del estator
	120 Disposición del rotor
30	130 Carcasa
	200 Freno de disco
	210 Disco de freno
	220 Pinza de freno
	30 Freno de estacionamiento
35	400 Módulo de acumulación de energía
	500 Dispositivo de disipación
	600 Dispositivo de recuperación
	610 Catenaria
	700 Consumidor
40	Ai Primera distancia (módulo de freno generativo al plano central del juego de ruedas asociado)
	E Plano central

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de frenado (1) para un vehículo ferroviario, en particular para un vehículo ferroviario de vía normal (40),
 - a. el vehículo ferroviario (40) comprende una pluralidad N de juegos de ruedas (10),
 - i. un juego de ruedas (10) comprende cada uno una primera rueda (11) y una segunda rueda (12), que están conectadas a un eje del juego de ruedas (13),
 - b. el sistema de frenado (1) comprende al menos un módulo de frenado generativo (100) asociado a un eje de juego de ruedas (13), que está configurado para convertir la energía rotacional del eje de juego de ruedas (13) en energía eléctrica y, de este modo, frenar el vehículo ferroviario (40), caracterizado porque
 - ii. el sistema de frenado tiene una pluralidad de diferentes módulos de frenado regenerativo, cada uno de los cuales está diseñado para obtener la máxima potencia de frenado a diferentes velocidades de desplazamiento.
2. El sistema de frenado (1) según la reivindicación 1, caracterizado porque un primer módulo de frenado generativo está diseñado para una potencia de frenado elevada en un intervalo de velocidades de marcha elevadas y un segundo módulo de frenado generativo está diseñado para una potencia de frenado elevada en un intervalo de velocidades de marcha reducidas.
3. El sistema de frenado (1) según la reivindicación 2, caracterizado porque al menos un módulo de frenado generativo también está conectado al eje del juego de ruedas mediante un engranaje o una transmisión.
4. El sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el vehículo ferroviario (40) es un vagón, preferentemente un vagón de pasajeros o un vagón de mercancías.
5. El sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque una pluralidad K de módulos de freno generativo (100) está asignada a al menos un eje de juego de ruedas (13), y porque los módulos de freno generativo (100) son al menos dos tipos diferentes de módulos de freno generativo (100).
6. El sistema de frenado (1) según la reivindicación 5, caracterizado porque los tipos de módulos de freno generativo difieren en que sus eficiencias máximas se encuentran a velocidades diferentes.
7. El sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque al menos un juego de ruedas dispuesto más hacia delante tiene un mayor número de módulos de freno generativo que al menos un juego de ruedas dispuesto más hacia atrás.
8. El sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque al menos un juego de ruedas (10) comprende al menos un freno de disco (200) con un disco de freno (210) dispuesto en el eje del juego de ruedas (13), en particular porque al menos un freno de disco (200) tiene un actuador electromecánico y/o hidráulico (225) para accionar una pinza de freno (220).
9. El sistema de freno (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque al menos un módulo de freno generativo (100) está dispuesto esencialmente en un plano central (E) entre la primera y la segunda rueda (11, 12) del juego de ruedas asociado (10) y está conectado mecánicamente de forma operativa al correspondiente eje del juego de ruedas (13).
10. El sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque al menos un módulo de freno generativo (100) está dispuesto a una primera distancia A_i , donde $A_i > 0$, de un plano central (E) entre la primera y la segunda rueda (11, 12) del juego de ruedas asociado (10) y está conectado mecánicamente de forma operativa al eje del juego de ruedas correspondiente (13), en particular porque, cuando el vehículo ferroviario (40) se desplaza en línea recta, la suma de las primeras distancias (A_i) de todos los módulos de freno generativo (100) del vehículo ferroviario (40) con respecto a un plano central vertical (E) dispuesto equidistantemente entre las ruedas primera y segunda (11, 12) de los N juegos de ruedas (10) sea aproximadamente igual a cero.
11. El sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el vehículo ferroviario (40) tiene al menos un bogie (30) que comprende al menos dos juegos de ruedas (10), de los cuales al menos un juego de ruedas (10) tiene un módulo de freno generativo (100), en particular porque al menos un módulo de freno generativo (100) tiene una disposición de rotor (120) que está conectada mecánicamente de manera operativa al eje de juego de ruedas (13) asociado al módulo y una disposición de estator (120) que está conectada operativamente de manera rotacionalmente fija al bogie (300) asociado al módulo.
12. El sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque tiene un dispositivo de recuperación (600) para alimentar al menos parte de la energía eléctrica generada por al menos un módulo de frenado generativo (100) a una catenaria (610).

13. El sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende un control de potencia que pone a disposición de un consumidor eléctrico (700) al menos una parte de la energía eléctrica generada por al menos un módulo de freno generativo (100).
- 5 14. El sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque tiene al menos un módulo de almacenamiento de energía (400) para almacenar al menos una parte de la energía eléctrica generada por al menos un módulo de freno generativo (100), en particular porque comprende un control de potencia que pone a disposición de un consumidor eléctrico (700) al menos una parte de la energía eléctrica almacenada en el al menos un módulo de almacenamiento de energía (400).
- 10 15. El sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende un control de accionamiento que suministra energía eléctrica desde una catenaria (610) y/o desde al menos un módulo de almacenamiento de energía (500) a al menos un módulo de freno generativo (100), en cuyo caso el módulo de freno generativo (100) actúa como un motor eléctrico y convierte la energía eléctrica en energía rotacional y la transmite al eje del juego de ruedas (13) asignado al, al menos uno, módulo de freno generativo (100).
- 15 16. El sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende un dispositivo de dissipación (500) que convierte al menos una parte de la energía eléctrica generada por el al menos un módulo de freno generativo (100) en energía térmica, en particular porque el dispositivo de dissipación (500) comprende una masa térmica que consiste al menos parcialmente en un material con una elevada capacidad calorífica específica.
- 20 17. El sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el sistema de frenado (1) tiene un controlador de freno local dispuesto en un vehículo ferroviario (10), que vigila la potencia de frenado de los módulos de freno generativo (100) de al menos este vehículo ferroviario (10) y ajusta la potencia de frenado de al menos un módulo de freno generativo (100) en caso de desviación de un valor nominal.
- 25 18. El sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el sistema de frenado (1) se extiende sobre un conjunto (50) de varios vehículos ferroviarios (10), en cuyo caso al menos dos vehículos ferroviarios (10) tienen un módulo de freno generativo (100), en particular porque el sistema de frenado (1) comprende un controlador de freno global que vigila y regula la potencia de frenado y/o la potencia de accionamiento de los módulos de freno generativo (100) de una pluralidad de vehículos ferroviarios (10) equipados con el sistema de frenado (1).
- 30 19. El sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el al menos un módulo de freno generativo (100) tiene una disposición de estator (110) y una disposición de rotor (120) que puede girar con respecto a la disposición de estator.
20. El sistema de frenado (1) según la reivindicación 19, caracterizado porque la disposición del rotor (120) está diseñada de tal manera que puede montarse en un eje de juego de ruedas (13) de un vehículo ferroviario (40); y/o porque la disposición del estator (110) tiene un medio de fijación (111) para fijarse a un bogie (30) y/o a un chasis de un vehículo ferroviario (40); y/o porque el al menos un módulo de freno (100) comprende una carcasa (130) al menos parcialmente hermética al polvo y al agua.
- 35 21. El sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones 19 a 20, caracterizado porque la disposición del rotor (120) está diseñada de tal manera que puede conectarse rotacionalmente de forma indirecta a un eje del juego de ruedas (13) de un vehículo ferroviario (40), en particular a través de un engranaje, por ejemplo un engranaje planetario.
22. Un eje de juego de ruedas (10) que comprende una primera rueda (11) y una segunda rueda (12), que están conectadas a un eje de juego de ruedas (13), en el que una pluralidad de módulos de freno generativo K (100) están asociados al eje de juego de ruedas (13), en cuyo caso los módulos de freno generativo (100) son al menos dos tipos diferentes de módulos de freno generativo (100), que difieren en que sus eficiencias máximas son a velocidades diferentes.
- 40 23. Un vehículo ferroviario principal (40) que comprende un sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones 1 a 21.
- 45 24. Un procedimiento para operar un vehículo ferroviario de vía normal (40) con un sistema de frenado (1) según una de las reivindicaciones anteriores,
- a. el vehículo ferroviario (40) comprende una pluralidad N de juegos de ruedas (10), en cuyo caso cada juego de ruedas (10) comprende una primera rueda (11) y una segunda rueda (12) conectadas a un eje de juego de ruedas (13),

b. el sistema de frenado (1) comprende al menos un módulo de freno generativo (100) asignado a un eje de juego de ruedas (13), que está configurado para convertir la energía de rotación del eje de juego de ruedas (13) en energía eléctrica y frenar así el vehículo ferroviario (40), en cuyo caso

5 c. el sistema de frenado tiene una pluralidad de módulos de freno generativo diferentes, cada uno de los cuales está diseñado para una potencia de frenado máxima a diferentes velocidades de desplazamiento, y

d. al menos un módulo de almacenamiento de energía (400) para almacenar energía eléctrica está asociado con el al menos un módulo de freno generativo (100), en cuyo caso

e. durante un procedimiento de frenado, un controlador de freno determina la potencia de frenado eléctrica actual del al menos un módulo de freno generativo (100) y la capacidad de almacenamiento actual del al menos 10 un módulo de almacenamiento de energía (400), y

f. el controlador de freno suministra una primera parte de la energía eléctrica generada por el módulo de freno generativo (100) al módulo de almacenamiento de energía (400) en función de la potencia eléctrica de frenado actual del al menos un módulo de freno generativo (100) y de la capacidad de almacenamiento actual del al menos un módulo de almacenamiento de energía (400).

15 25. El procedimiento según la reivindicación 24, en el que

a. el controlador de freno determina la potencia eléctrica actual que puede suministrarse a un sistema de electrificación ferroviaria a través de un dispositivo de recuperación asignado al, al menos un, módulo de freno generativo (100), y

b. en función de esto y de la potencia eléctrica de frenado actual del al menos un módulo de freno generativo (100) y de la capacidad de almacenamiento actual del al menos un módulo de almacenamiento de energía (400), al dispositivo de recuperación se suministra una segunda parte de la energía eléctrica generada por el 20 al menos un módulo de freno generativo (100).

26. El procedimiento según una de las reivindicaciones 24 o 25, en el que

a. el controlador de freno determina la potencia eléctrica actual que puede ser absorbida por al menos un dispositivo de disipación (500) asociado al al menos un módulo de freno generativo (100), y

b. en función de esto y en función de la potencia eléctrica de frenado actual del al menos un módulo de freno generativo (100) y de la capacidad de almacenamiento actual del al menos un módulo de almacenamiento de energía (400) y, si está presente, de la potencia eléctrica que puede suministrarse actualmente al sistema de electrificación ferroviaria, suministra una tercera parte de la energía eléctrica generada por el módulo de freno 30 generativo (100) al al menos un dispositivo de disipación (500).

27. El procedimiento según una de las reivindicaciones 24 a 26, en el que el controlador de freno determina la potencia eléctrica de frenado de una pluralidad de módulos de freno generativo (100) y, cuando la potencia eléctrica de frenado de un módulo de freno generativo (100) disminuye, modifica la resistencia de consumidor asociada al mismo.

35 28. El procedimiento según una de las reivindicaciones 24 a 27, caracterizado porque el controlador de freno regula la potencia de frenado de una pluralidad de módulos de freno generativo de tal manera que la potencia de frenado de al menos un módulo de freno generativo dispuesto más adelante en la dirección de desplazamiento del vehículo ferroviario o de una composición de vehículos ferroviarios es mayor que la de al menos un módulo de freno generativo dispuesto más atrás.

DIBUJOS

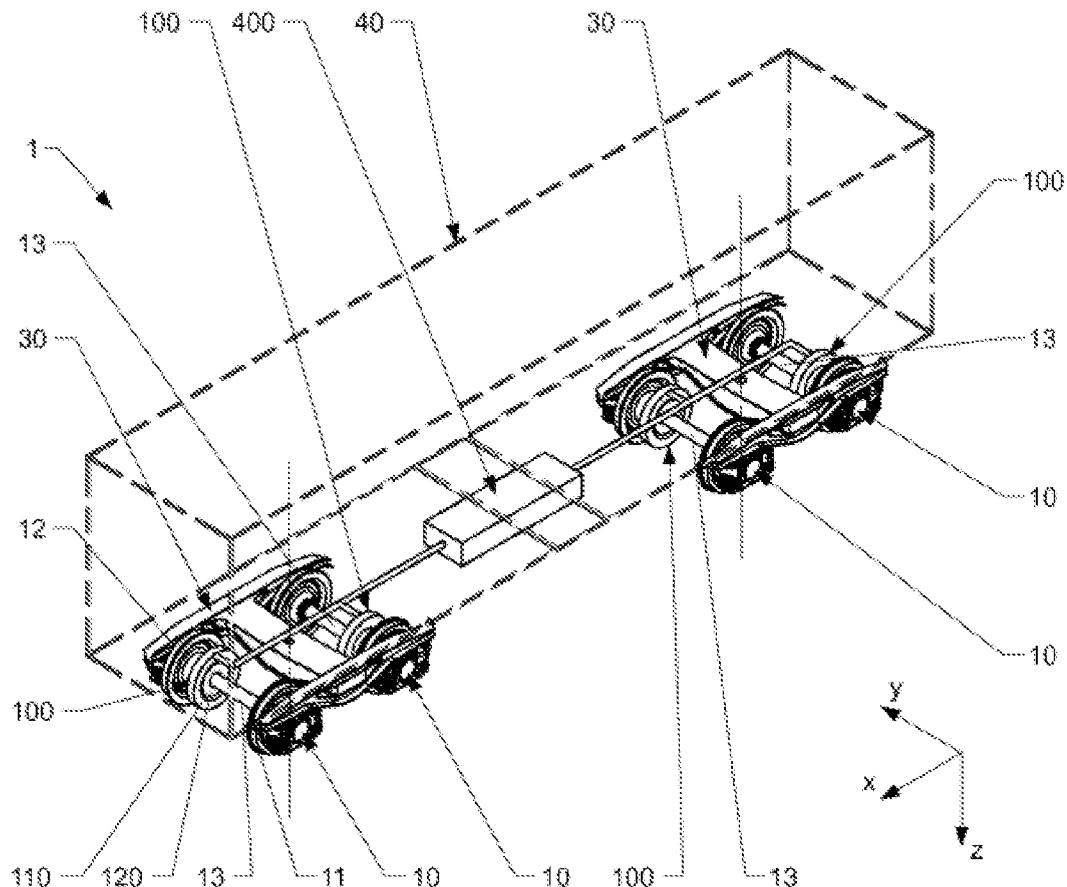


Fig. 1

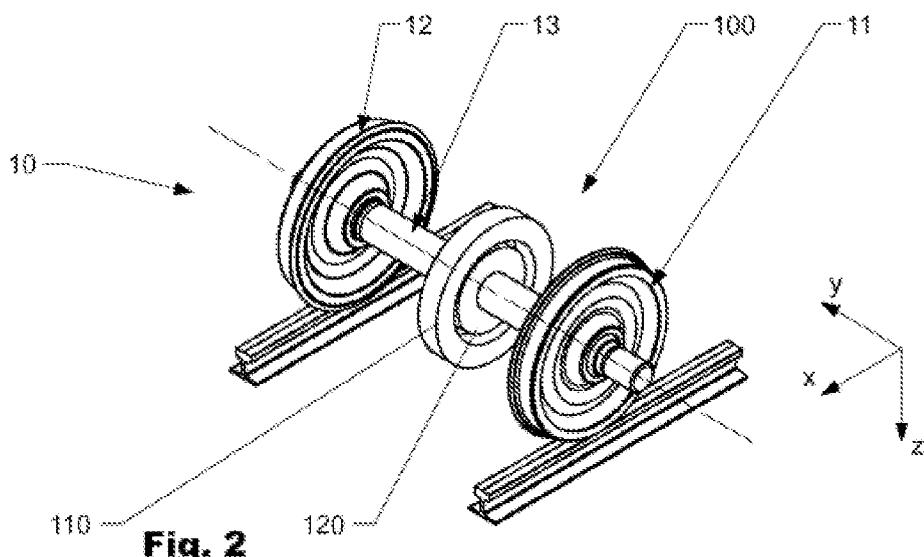


Fig. 2

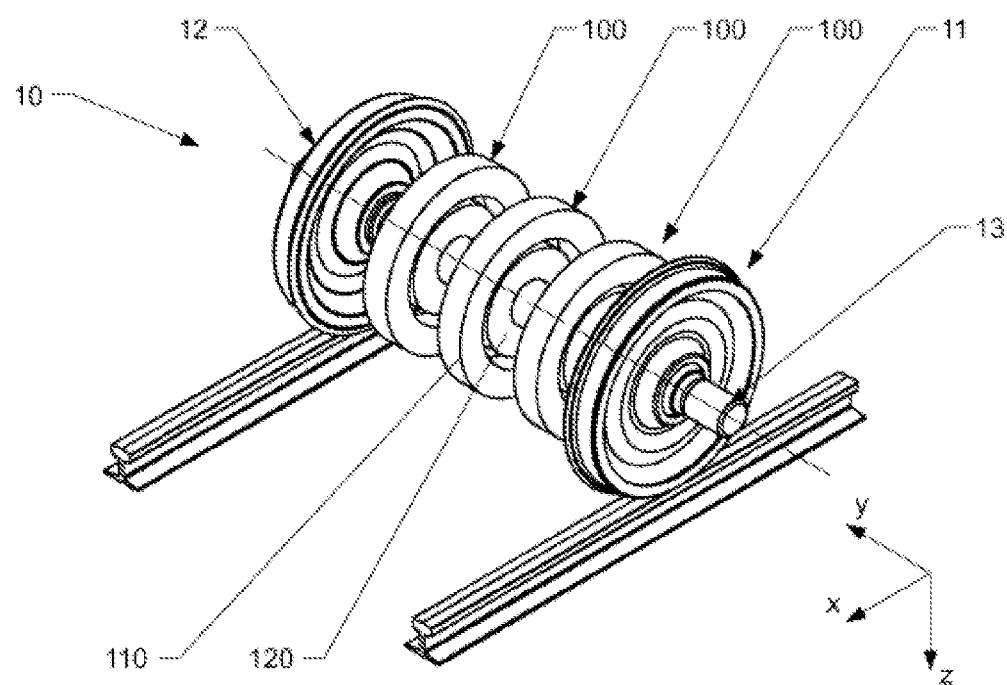


Fig. 3

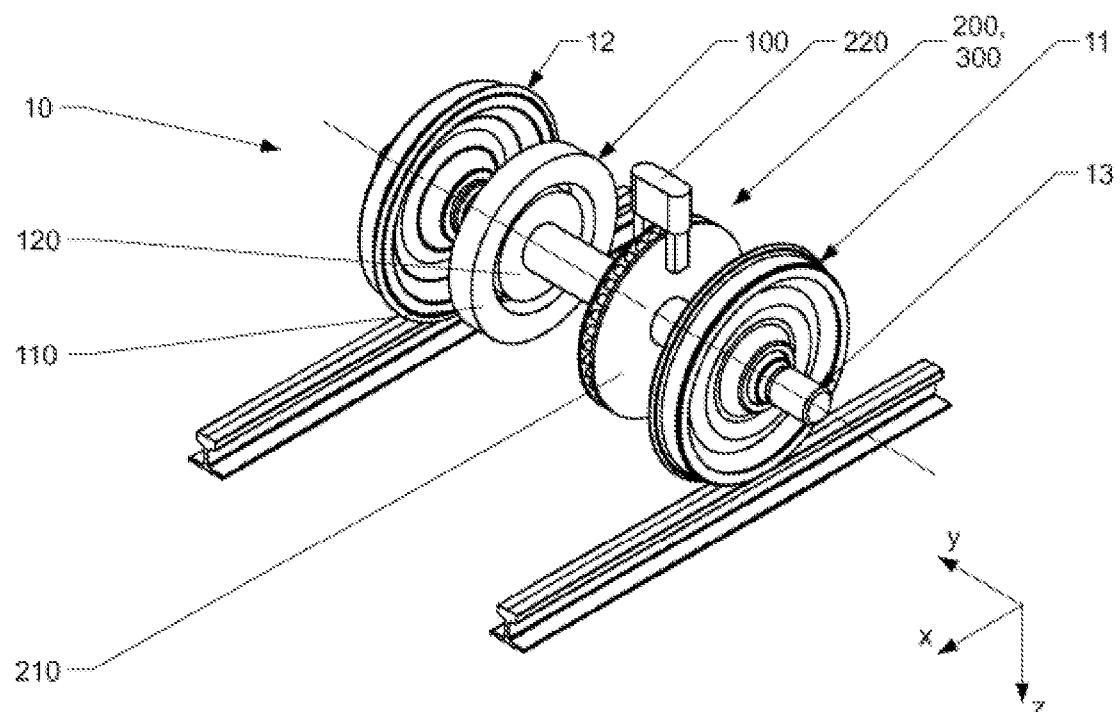


Fig. 4

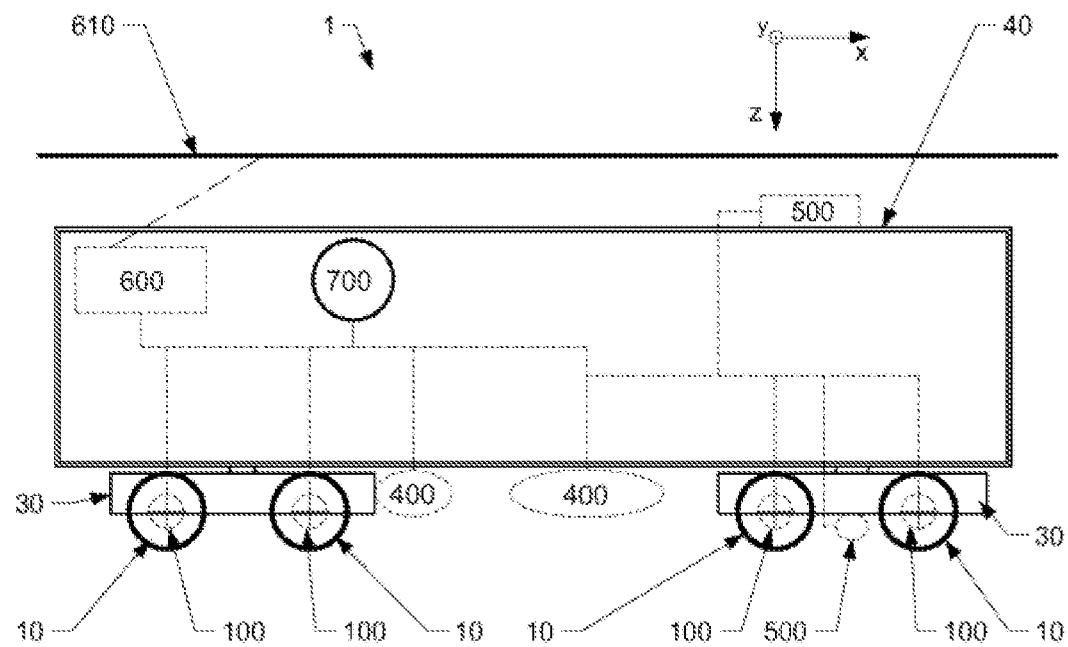


Fig. 5

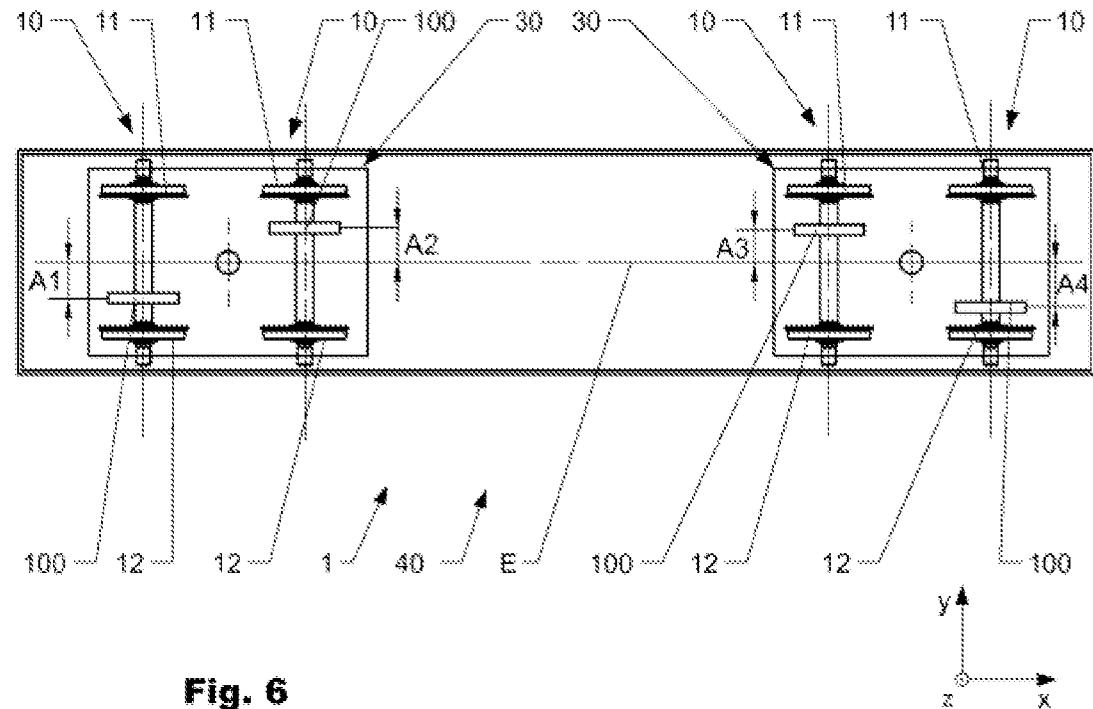


Fig. 6

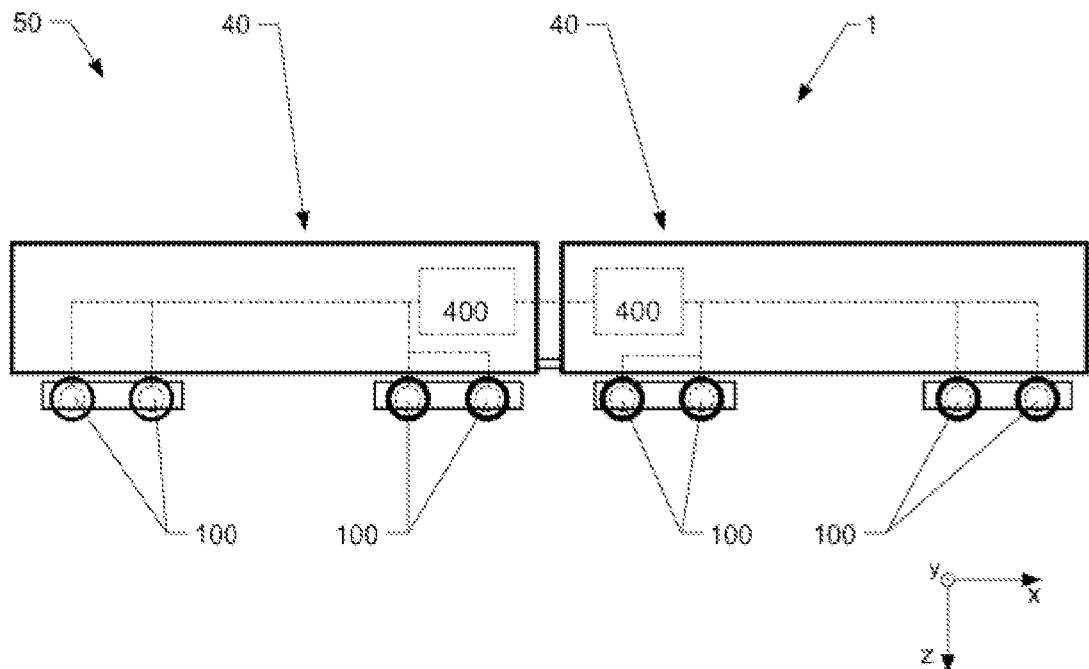


Fig. 7

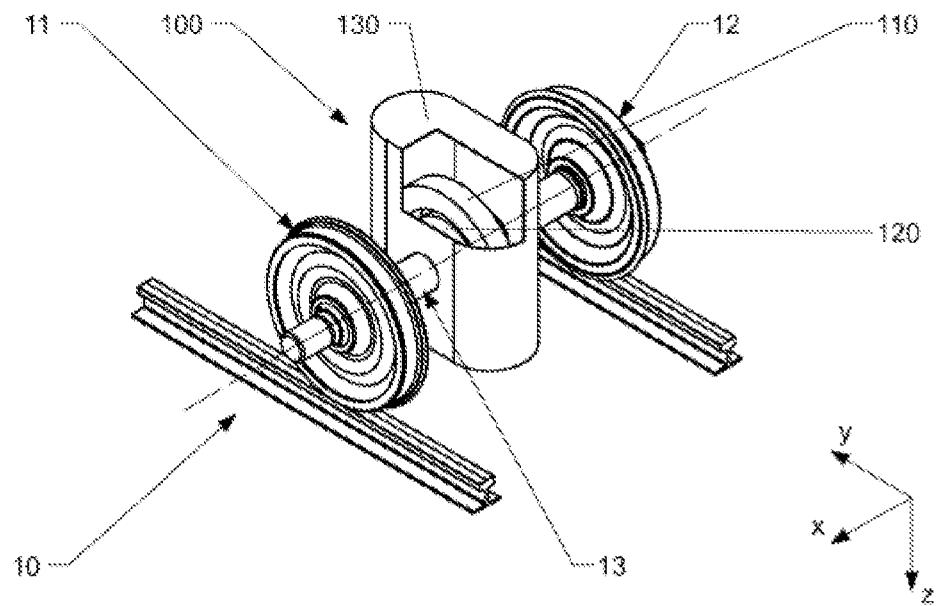


Fig. 8