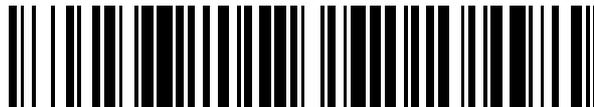


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 548 679**

51 Int. Cl.:

B60L 7/16 (2006.01)

B60L 9/22 (2006.01)

B60L 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.10.2011 E 11184032 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.04.2015 EP 2578435**

54 Título: **Método y dispositivo para frenar vehículos ligados a una vía impulsados por motores de inducción**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.10.2015

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**PLACE, COLIN;
ROSSING, ANDERS;
TONGE, MARTIN;
WILSON, JAMES;
BARBER, JAMES y
PLAMPER, STEFAN**

74 Agente/Representante:

RIZZO, Sergio

ES 2 548 679 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

Método y dispositivo para frenar vehículos ligados a una vía impulsados por motores de inducción

CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

5 **[0001]** La presente invención se refiere a vehículos ligados a una vía impulsados por motores de inducción y alimentados por una catenaria o un tercer riel. En concreto, se refiere, aunque no exclusivamente, a vehículos ferroviarios de unidad de tren que comprenden una pluralidad de vagones e impulsados por motores de inducción distribuidos a lo largo del vehículo. Más específicamente, se refiere a un sistema de frenado, en concreto un sistema de frenado de emergencia, adecuado para dicho vehículo y a un método de frenado correspondiente.

10 ANTECEDENTES DE LA TÉCNICA

15 **[0002]** Convencionalmente, los vehículos ferroviarios están provistos de varios medios de frenado diferentes, tales como frenos mecánicos o electrodinámicos. Los frenos mecánicos funcionan generalmente de manera neumática y transforman la energía cinética del vehículo ferroviario en calor por fricción. Los frenos electrodinámicos transforman la energía cinética del vehículo en energía eléctrica, que puede ser disipada en forma de calor en reóstatos (frenos reostáticos) o devuelta a la línea de alta tensión, por ejemplo, una catenaria o un tercer riel (frenado regenerativo). Por lo general, los frenos electrodinámicos los proporcionan los motores eléctricos del vehículo ferroviario impulsado eléctricamente, que se utilizan en el modo de alternador. Dependiendo del tipo de motor de tracción utilizado, por ejemplo, motores de corriente continua, motores de corriente alterna de imán permanente o motores de inducción, se debe controlar la máquina eléctrica para transferir energía del rotor al estátor durante el frenado.

20 **[0003]** Los frenos mecánicos y electrodinámicos se aplican de manera conjunta o por separado para diferentes funciones de frenado, principalmente para el frenado de servicio y para el frenado de emergencia.

25 **[0004]** Para el frenado de servicio, generalmente se combinan los frenos mecánicos y los frenos electrodinámicos. Más precisamente, los frenos electrodinámicos suministran el par de frenado requerido hasta su plena capacidad y se complementan con los frenos mecánicos si es necesario, con el fin de minimizar el desgaste y optimizar la regeneración de energía.

30 **[0005]** Por otro lado, los frenos electrodinámicos no se consideran lo suficientemente fiables para aplicarse en situación de frenado de emergencia. Por consiguiente, el par de retardo entero en caso de frenado de emergencia lo siguen proporcionando los frenos mecánicos. Para proporcionar un rendimiento adecuado para el frenado de emergencia, la instalación del sistema de frenado mecánico requiere un número de actuadores, que no se utilizan de manera permanente para el frenado de servicio. Esto da lugar a situaciones en las que los medios de frenado mecánico instalados son demasiado grandes y no se utilizan de forma regular. Las consecuencias son el incremento de peso, el espacio para la instalación de equipos neumáticos voluminosos y el coste.

35 **[0006]** En US 2009 0224706 se describe un sistema de frenado de seguridad para un vehículo con tracción eléctrica. El sistema de frenado de seguridad comprende un primer freno eléctrico que no es de seguridad y que está integrado en la cadena de tracción e incluye un motor de imán permanente trifásico capaz de funcionar como un generador de voltaje, un inversor de tracción capaz de ser configurado como un puente rectificador de diodos, un conmutador electromecánico para conectar el motor de imán permanente al inversor y un enlace de corriente continua que incluye una resistencia de chopper de frenado, un filtro de línea y un disyuntor de línea. El sistema incluye además un segundo freno de seguridad. De conformidad con un modo de realización, el freno de seguridad incluye el puente rectificador de diodos del inversor de tracción, una resistencia de carga terminal, un relé electromecánico auxiliar conectado en serie a la resistencia de carga terminal y controlado en una entrada, estando el relé y la resistencia interpuestos en paralelo entre el chopper y el inversor. Un dispositivo de monitorización de corriente está montado en serie en el lado de corriente continua del inversor para monitorizar el rendimiento de frenado del primer freno. Al detectar una condición predeterminada, el dispositivo de monitorización de corriente activa el relé electromecánico para conectar la rama del circuito que incluye la resistencia de carga. Con el fin de evitar el arrastre, también se activa el disyuntor de línea para abrir la línea de alta tensión.

50 **[0007]** Este sistema es complejo puesto que implica tanto un freno eléctrico que no es de seguridad como un freno eléctrico de seguridad. Además, el diseño no se puede adaptar fácilmente a un motor de inducción.

[0008] Por consiguiente, se necesita un sistema y un método de frenado electrodinámico que aproveche al máximo el frenado regenerativo, es decir, la capacidad de frenado de la línea de alta tensión, para un vehículo ligado a una vía alimentado por uno o varios motores de inducción.

55

SUMARIO DE LA INVENCION

[0009] Es objeto de la presente invención teniendo en cuenta los problemas mencionados anteriormente proporcionar un sistema de frenado electrodinámico que no desactive indiscriminadamente el frenado regenerativo durante una operación de frenado de emergencia.

5 **[0010]** De conformidad con un primer aspecto de la invención, se proporciona un sistema de frenado electrodinámico para un vehículo ligado a una vía que comprende las características de la reivindicación 1.

10 **[0011]** El frenado electrodinámico, que puede incluir tanto el frenado regenerativo a la línea de alta tensión como el frenado reostático a través de una resistencia de chopper de frenado, se implementa durante el frenado de emergencia salvo en el extraño suceso de una condición de arrastre. Se puede experimentar el arrastre durante el frenado de emergencia debido a un mal funcionamiento de la unidad de control del convertidor estático. Cuando se detecta el arrastre durante una operación de frenado de emergencia, la máquina de inducción se aísla del enlace de corriente continua.

15 **[0012]** Preferiblemente, también se instalan en el vehículo frenos de fricción convencionales. Estos frenos de fricción están dimensionados para proporcionar una fracción del par de frenado máximo en caso de emergencia, preferiblemente alrededor de la mitad de la fuerza de frenado, es decir, el mismo par de frenado máximo que los frenos electrodinámicos. En el caso excepcional de un mal funcionamiento de la unidad de control del convertidor estático, la función de frenado la tomarán los frenos de fricción solos.

20 **[0013]** De conformidad con un modo de realización, más de una máquina de inducción se enlaza mecánicamente a un eje de rueda y se conecta eléctricamente a los bornes de corriente alterna (CA) del convertidor estático.

25 **[0014]** De conformidad con un modo de realización preferido, la condición de arrastre detectada por la unidad de supervisión de frenado electrodinámico es una condición en la que una corriente entre los bornes de corriente continua (CC) del convertidor estático y el enlace de corriente continua fluye en la dirección del inversor durante un tiempo predeterminado o fluye en una dirección opuesta a la dirección del inversor con una intensidad inferior a un umbral predeterminado durante dicho tiempo predeterminado. Por consiguiente, el sistema de freno electrodinámico incluye un sensor de corriente continua en la línea eléctrica entre el enlace de corriente continua y uno de los bornes de corriente continua del convertidor estático.

30 **[0015]** El tiempo predeterminado define una demora antes de que se desactive el convertidor estático. Esta demora se incorpora para tener en cuenta transitorios en el sistema. Otra situación en la que una demora incorporada puede resultar útil es una pérdida de sujeción entre el eje montado y la vía durante un frenado de emergencia. En tal caso, la potencia de frenado electrodinámico disminuirá repentinamente a cero, y otros componentes del sistema, tales como una unidad de reflujo o un circuito de recarga, pueden ocasionar una corriente transitoria en una dirección no deseada que podría activar innecesariamente el apagado del convertidor estático, no debiendo incorporarse ninguna demora en la lógica del sistema.

35 **[0016]** Preferiblemente, no se detecta ninguna condición de arrastre antes de que transcurra un periodo de tiempo inicial después de que la señal de frenado de emergencia se haya activado. Las condiciones de funcionamiento del sistema de accionamiento y frenado justo antes de la orden de frenado de emergencia se desconocen y pueden llevar a transitorios al principio de la operación de frenado de emergencia. Por ejemplo, el convertidor estático puede estar proporcionando fuerza de tracción máxima cuando se activa el freno de emergencia. En tal caso, la corriente puede estar fluyendo todavía en el convertidor estático incluso después de que el convertidor estático se haya cambiado al modo de rectificador. El periodo de tiempo predeterminado, que puede ascender a 500 ms o menos, asegura que el sistema ha entrado en un modo de frenado de emergencia estabilizado antes de considerar la activación del convertidor estático.

45 **[0017]** El umbral predeterminado puede ser cero, en cuyo caso el detector de corriente simplemente detecta un cambio de dirección de la corriente que fluye del enlace de corriente continua a uno de los bornes del convertidor estático.

50 **[0018]** Para aprovechar al máximo el frenado regenerativo y el frenado reostático, el enlace de corriente continua se conecta al colector de corriente durante el frenado de emergencia de manera que el convertidor estático que funciona en el modo de rectificador en respuesta a las señales de frenado de emergencia realimenta tanto al enlace de corriente continua (y su unidad de chopper de frenado) como a la línea de alta tensión a través del enlace de corriente continua y del colector de corriente de forma continua hasta que se detiene.

[0019] La línea de alta tensión puede ser una línea de corriente continua o una línea de corriente alterna conectada al enlace de corriente continua mediante un convertidor de línea de cuatro cuadrantes.

55 **[0020]** El sistema también puede incluir un disyuntor de línea para aislar el enlace de corriente continua de la línea de alta tensión. Con el fin de evitar una caída del voltaje de corriente continua en el enlace de corriente continua tras la desconexión de la línea de alta tensión y una pérdida consecutiva del flujo magnético en las

bobinas del rotor de la máquina de inducción, el enlace de corriente continua puede incluir un condensador conectado en paralelo a los bornes de corriente continua del convertidor estático y una unidad de recarga alimentada por una batería para cargar el condensador cuando el enlace de corriente continua se desconecta de la línea de alta tensión.

5 **[0021]** De conformidad con un modo de realización preferido, la unidad de chopper de frenado incluye una resistencia en serie con un chopper.

10 **[0022]** De conformidad con un modo de realización preferido, la unidad de control del convertidor estático controla el convertidor estático de manera que el esfuerzo de frenado electrodinámico tenga un valor constante predeterminado durante el frenado de emergencia. El sistema de frenado electrodinámico puede comprender además un sensor de peso para medir una carga de peso sobre el eje de rueda accionado, estando la unidad de control del convertidor estático conectada al detector de peso de manera que el valor constante predeterminado del esfuerzo de frenado electrodinámico sea una función de la carga de peso sobre el eje de rueda accionado.

15 **[0023]** De conformidad con un modo de realización, la unidad de supervisión de frenado electrodinámico controla una unidad de reinicio para reiniciar el convertidor estático en el modo de rectificador después de que el convertidor estático se haya apagado. La unidad de reinicio monitoriza el flujo de corriente y pone en marcha un contador cuando detecta que el voltaje del enlace de corriente continua es demasiado bajo o que la corriente entre el enlace de corriente continua y el convertidor estático se ha vuelto nula. Después de un tiempo predeterminado, la unidad de reinicio recarga el enlace de corriente continua y el convertidor estático reanuda el frenado electrodinámico. Cuando se detecta arrastre durante una operación de frenado, la máquina de inducción se aísla del enlace de corriente continua durante un breve periodo de tiempo, que en la práctica no excederá de unos pocos segundos, tras los cuales la estrategia de reinicio permite reanudar el frenado electrodinámico.

20

[0024] De conformidad con otro aspecto de la invención, se proporciona un método para frenar electrodinámicamente un vehículo ligado a una vía que comprende las características de la reivindicación 14.

25 **[0025]** La condición de arrastre es preferiblemente una condición en la que una corriente continua fluye desde el enlace de corriente continua hasta los bornes de corriente continua del convertidor estático en una dirección del inversor durante un tiempo predeterminado o fluye en una dirección opuesta a la dirección del inversor con una intensidad inferior a un umbral predeterminado durante dicho tiempo predeterminado, en el que la dirección del inversor es la dirección en la que fluye la corriente eléctrica entre el enlace de corriente continua y el convertidor estático cuando el convertidor estático funciona en un modo de inversor.

30 **DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

[0026] A continuación se describirán modos de realización de la invención a modo de ilustración, únicamente a modo de ejemplos y sin limitación del alcance de las reivindicaciones y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

35 - La Fig. 1 es un diagrama esquemático de un sistema de frenado electrodinámico alimentado por una línea de alta tensión de corriente continua de conformidad con un primer modo de realización de la invención;

- La Fig. 2 es un diagrama de flujo de un método de frenado de emergencia implementado con el sistema de frenado electrodinámico de la Fig. 1; y

- La Fig. 3 es un diagrama esquemático de un sistema de frenado electrodinámico alimentado por una línea de alta tensión de corriente alterna de conformidad con un segundo modo de realización de la invención.

40 **[0027]** Los números de referencia correspondientes se refieren a las mismas partes o a partes correspondientes en cada una de las figuras.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE MODOS DE REALIZACIÓN PREFERIDOS

45 **[0028]** Haciendo referencia a la Figura 1, un sistema de frenado y accionamiento eléctrico combinado para un vehículo ligado a una vía, más específicamente un vehículo ferroviario alimentado por una catenaria 10 de corriente continua o un tercer riel, incluye un colector de corriente 11, un disyuntor de línea 12 y un contactor de separación 14 conectado en paralelo con un contactor de carga y una unidad de resistencia 16. El sistema de frenado y accionamiento eléctrico comprende además un enlace de corriente continua 18 conectado a bornes de corriente continua 19 de un convertidor estático 20 para convertir la corriente continua del enlace de corriente continua en una corriente alterna trifásica. El convertidor estático 20 tiene sus bornes de corriente alterna 21 conectados a una máquina de inducción 22 unida mecánicamente a un eje de rueda 23 del vehículo ligado a una vía. El eje de rueda 23 también está equipado con un freno de fricción convencional (no se muestra). Las ruedas de acero 24 del eje de rueda 23 cierran el circuito eléctrico y permiten que la corriente fluya de nuevo a la estación de alimentación a través de la vía 25 conectada a la tierra.

50

[0029] El enlace de corriente continua **18** incluye una unida de refluj o **26** conectada en paralelo con el convertidor estático **20**, una unidad de chopper de frenado **28** que incluye un chopper de frenado **30** y una resistencia del chopper de frenado **32** conectada en paralelo con el convertidor estático, y un condensador de enlace de corriente continua **34** conectado en paralelo a la unidad de chopper de frenado **28** y a los bornes de corriente continua **19** del convertidor estático **20**.

[0030] El convertidor estático **20** está controlado por una unidad de control del convertidor estático **36** y puede hacerse funcionar de manera alternativa en un modo de inversor para alimentar la máquina de inducción **22** y en un modo de rectificador para realimentar energía desde la máquina de inducción **22** hasta el enlace de corriente continua **18**. La unidad de control del convertidor estático **36** recibe entradas de comandos de frenado de emergencia **38**, por ejemplo, una entrada binaria conectada a un circuito de frenado de emergencia, una manguera de frenos o un botón de emergencia. La unidad de control del convertidor estático **36** también recibe una señal de apagado de una unidad de supervisión de frenado electrodinámico **42**, que incluye un sensor de corriente continua **44** para monitorizar la corriente que fluye del enlace de corriente continua a uno de los bornes del convertidor estático **20**.

[0031] Cuando el convertidor estático **20** funciona en el modo de inversor y la máquina de inducción **22** funciona como motor de inducción para impulsar el vehículo, la corriente eléctrica fluye entre el enlace de corriente continua **18** y los bornes de corriente continua **19** del convertidor estático **20** en una dirección dada **46**, que será indicada la dirección del inversor y será considerada arbitrariamente como una corriente positiva. Cuando el convertidor estático **20** funciona en el modo de rectificador y la máquina de inducción **22** funciona como alternador para provocar frenado electrodinámico, la corriente eléctrica debería fluir normalmente entre el enlace de corriente continua **18** y los bornes de corriente continua **19** del convertidor estático **20** en la dirección opuesta a la dirección del inversor **46** y tener un valor negativo.

[0032] A continuación se describirá el funcionamiento del sistema en un modo de frenado de emergencia con referencia al diagrama de flujo de la Figura 2. Cuando se recibe una señal de frenado de emergencia del comando de frenado de emergencia **38** (etapa **50** de la Figura 2), la unidad de control del convertidor estático **36** detecta la señal de frenado de emergencia (etapa **52**) y activa el convertidor estático **20** en el modo de rectificador de manera que la máquina de inducción **22** funciona como alternador para suministrar potencia al enlace de corriente continua **18** a través del convertidor estático **20** (etapa **54**). El voltaje de corriente continua del convertidor estático **20** se controla mediante la unidad de control del convertidor estático **36** para alcanzar y mantener el punto de consigna del esfuerzo de frenado electrodinámico interno. En la práctica, este punto de consigna es una función del peso, es decir, carga vertical sobre el eje de rueda **23** medido por un sensor de peso **48**. El punto de consigna es preferiblemente constante a lo largo de la operación de frenado de emergencia desde la velocidad inicial hasta un umbral de baja velocidad, por ejemplo 5 km/h o hasta que se detenga. El punto de consigna se determina preferiblemente a partir del esfuerzo de frenado electrodinámico disponible a velocidad de funcionamiento máxima que se mantiene después para todas las velocidades durante el frenado de emergencia.

[0033] La fuerza electromotriz en los bornes de corriente continua **19** del convertidor estático **20** es tal que una corriente fluye a través de los bornes del convertidor estático **19** en la dirección opuesta a la dirección del inversor **46** de vuelta a la línea de alta tensión de corriente continua **10** para provocar frenado regenerativo. El chopper de frenado **30** se puede apagar, de manera que no se disipa ninguna energía en la resistencia del chopper de frenado **32**, o activar para asegurar que parte de la energía eléctrica se disipa en la resistencia del chopper de frenado **32**.

[0034] La unidad de supervisión de frenado electrodinámico **42** detecta la señal de frenado de emergencia desde el comando de frenado de energía **38** (etapa **56**). Después de un periodo de tiempo predeterminado T_1 (etapa **58**), la unidad de supervisión de frenado electrodinámico **42** empieza a monitorizar el flujo de corriente desde el enlace de corriente continua **18** hacia el convertidor estático **20** (etapa **60**). Se permite el frenado electrodinámico, siempre y cuando la corriente fluya en la dirección opuesta a la dirección del inversor y sea inferior a un umbral negativo predeterminado I_0 . Si la corriente en la dirección opuesta a la dirección del inversor se vuelve superior al umbral predeterminado I_0 o si el flujo de corriente cambia de dirección (etapa **62**) para volverse positivo, la unidad de supervisión cuenta hacia atrás hasta que haya transcurrido un segundo periodo de tiempo predeterminado T_2 (etapa **64**). Si al final del segundo periodo de tiempo T_2 el flujo de corriente sigue todavía en la dirección del inversor o sigue inferior al umbral predeterminado I_0 en la dirección opuesta a la dirección del inversor (etapa **66**), la unidad de supervisión **42** envía una señal a la unidad de control del convertidor estático para detener los impulsos de encendido del convertidor estático (etapa **68**). La unidad de control del convertidor estático **36**, que monitoriza continuamente la entrada desde la unidad de supervisión **42** (etapa **70**) detecta la señal desde la unidad de supervisión de frenado electrodinámico **42** (etapa **72**) y desconecta los impulsos de encendido que activan los transistores bipolares de puerta aislada (IGBT, por sus siglas en inglés) del convertidor estático **20** (etapa **74**) para aislar la máquina de inducción y evitar el arrastre.

[0035] El primer periodo de tiempo T_1 está para asegurar que la operación de frenado de emergencia se ha estabilizado y que se han disipado las posibles corrientes transitorias que aparecen en una etapa temprana de la

operación de frenado de emergencia cuando el convertidor estático cambia del modo de inversor al modo de rectificador. El segundo periodo de tiempo T_2 se incorpora al sistema para evitar desconectar el frenado electrodinámico si se experimenta una pérdida temporal de sujeción de las ruedas sobre la vía durante el procedimiento del frenado de emergencia. El T_2 **debería** ser inferior al T_1 .

5 **[0036]** Ha de entenderse que la invención no pretende estar limitada a los detalles de los modos de realización anteriores, que se describen únicamente a modo de ejemplo. En concreto, el convertidor estático **20** se puede apagar sin demora tan pronto como se detecte una corriente por debajo del umbral predeterminado o en la dirección del inversor. En tal caso, se pueden omitir las etapas **64, 66** del método relativas a la cuenta atrás del segundo periodo de tiempo T_2 . El umbral de intensidad de corriente I_0 en la dirección opuesta a la dirección del
10 inversor puede ser igual a cero, en cuyo caso la condición relativa a la corriente es simplemente que la corriente fluye en la dirección del inversor.

[0037] Se ilustra un segundo modo de realización de la invención en la Figura **3**. Este modo de realización difiere del primer modo de realización por el hecho de que el sistema de frenado y accionamiento combinado se alimenta por una catenaria de corriente alterna **100** o un tercer riel, a través de un transformador principal **102** y un convertidor de línea CA-CC **104**. El disyuntor de línea **12** se encuentra en el lado primario del transformador principal **102**. El contactor de separación **14**, el contactor de carga y la resistencia **16** se encuentran preferiblemente entre la bobina secundaria del transformador principal **102** y el convertidor de línea CA-CC **104**. El enlace de corriente continua **18**, el convertidor estático **20** y la máquina de inducción **22** unida mecánicamente a un eje de rueda **23** del vehículo ligado a una vía no cambian.

20

REIVINDICACIONES

1. Sistema de frenado electrodinámico para un vehículo ligado a una vía alimentado por una línea de alta tensión (10, 100) que comprende:

- 5 - un colector de corriente (11) para conectar el sistema de frenado electrodinámico a la línea de alta tensión (10, 100);
- un enlace de corriente continua (18) provisto de una unidad de chopper de frenado (28), estando el enlace de corriente continua (18) alimentado por la línea de alta tensión (10, 100) a través del colector de corriente (11);
- 10 - un convertidor estático (20) que tiene bornes de corriente continua (19) conectados al enlace de corriente continua (18) y bornes de corriente alterna (21), pudiendo funcionar el convertidor estático en un modo de rectificador para transferir potencia de los bornes de corriente alterna (21) a los bornes de corriente continua (19) y un modo de inversor para transferir potencia de los bornes de corriente continua (19) a los bornes de corriente alterna (21), en el que la corriente eléctrica fluye desde el enlace de corriente continua (18) hasta los bornes de corriente continua (19) del convertidor estático (18) en una dirección de inversor cuando el convertidor estático (18) funciona en el modo de inversor;
- 15 - al menos una máquina de inducción (22) que puede funcionar en un modo de motor y un modo de generación, estando la máquina de inducción unida mecánicamente a un eje de rueda (23) y conectada eléctricamente a los bornes de corriente alterna del convertidor estático (20);
- 20 - una unidad de control del convertidor estático (36) para controlar el convertidor estático (20) de manera que el convertidor estático (20) funciona en el modo de rectificador y la máquina de inducción (22) funciona en el modo de generación para realimentar el enlace de corriente continua (18) en respuesta a una señal de frenado de emergencia,

25 **caracterizado porque** el sistema de frenado electrodinámico comprende además una unidad de supervisión de frenado electrodinámico (42) para apagar el convertidor estático (20) para reducir la corriente que fluye entre los bornes de corriente alterna (21) del convertidor estático y la máquina de inducción (22) y desimantar la máquina de inducción (22) al detectar una condición de arrastre durante el frenado de emergencia, en el que la condición de arrastre es detectada por la unidad de supervisión de frenado electrodinámico (42) que incluye un sensor de corriente continua (44) en la línea eléctrica entre el enlace de corriente continua (18) y uno de los bornes de corriente continua (19) del convertidor estático (20).

30 2. Sistema de frenado electrodinámico de conformidad con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la condición de arrastre es una condición en la que una corriente continua fluye desde el enlace de corriente continua (18) hasta los bornes de corriente continua (19) del convertidor estático (20) en la dirección del inversor (46) durante un tiempo predeterminado (T_1) o fluye en una dirección opuesta a la dirección del inversor (46) con una intensidad inferior a un umbral predeterminado durante dicho tiempo predeterminado.

35 3. Sistema de frenado electrodinámico de conformidad con la reivindicación 2, **caracterizado porque** no se detecta ninguna condición de arrastre antes de que transcurra un periodo de tiempo inicial (T_1) después de que la señal de frenado de emergencia se haya activado.

4. Sistema de frenado electrodinámico de conformidad con la reivindicación 2 o la reivindicación 3, **caracterizado porque** el umbral predeterminado (I_0) es cero.

40 5. Sistema de frenado electrodinámico de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 4, **caracterizado porque** el enlace de corriente continua (18) se conecta al colector de corriente (11) durante un frenado de emergencia de manera que el convertidor estático (20) que funciona en el modo de rectificador en respuesta a la señal de frenado de emergencia (38) realimenta la línea de alta tensión (10, 100) a través del enlace de corriente continua (18) y del colector de corriente (11) de forma continua hasta que se detiene.

45 6. Sistema de frenado electrodinámico de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 5, **caracterizado porque** la línea de alta tensión es una línea de corriente continua (10).

7. Sistema de frenado electrodinámico de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 5, **caracterizado porque** la línea de alta tensión es una línea de corriente alterna (100) conectada al enlace de corriente continua (18) mediante un convertidor de línea de cuatro cuadrantes (104).

50 8. Sistema de frenado electrodinámico de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el enlace de corriente continua (18) incluye un condensador (34) conectado en paralelo a los bornes de corriente continua (19) del convertidor estático (20) y una unidad de recarga (26) alimentada por una batería para cargar el condensador (10).

55 9. Sistema de frenado electrodinámico de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la unidad de chopper de frenado (28) incluye una resistencia (32) en serie con un chopper (30).

10. Sistema de frenado electrodinámico de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la unidad de control del convertidor estático (36) controla el convertidor estático (20) de manera que el esfuerzo de frenado electrodinámico tenga un valor constante predeterminado durante el frenado de emergencia.
- 5 11. Sistema de frenado electrodinámico de conformidad con la reivindicación 10, **caracterizado porque** comprende además un sensor de peso (48) para medir una carga de peso sobre el eje de rueda accionado (23), estando la unidad de control del convertidor estático (36) conectada al sensor de peso (48) de manera que el valor constante predeterminado del esfuerzo de frenado electrodinámico sea una función de la carga de peso sobre el eje de rueda accionado.
- 10 12. Sistema de frenado electrodinámico de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la unidad de supervisión de frenado electrodinámico (42) controla una unidad de reinicio para reiniciar el convertidor estático en el modo de rectificador después de que el convertidor estático se haya apagado.
- 15 13. Eje montado para un vehículo ligado a una vía provisto de un sistema de frenado electrodinámico de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el eje montado incluye un eje de rueda (23) unido a la máquina de inducción (22) y a un freno de fricción.
14. Método para frenar electrodinámicamente un vehículo ligado a una vía, que incluye:
- el funcionamiento de una máquina de inducción (22) unida mecánicamente a un eje de rueda (23) del
 - 20 - el funcionamiento de un convertidor estático (20) conectado entre un enlace de corriente continua (18) y la máquina de inducción (22) en un modo de rectificador;
 - la monitorización de una condición de arrastre de la máquina de inducción (22) con una unidad de supervisión de frenado electrodinámico (42) que incluye un sensor de corriente continua (44) en una línea eléctrica entre el enlace de corriente continua (18) y un borne de corriente continua (19) del convertidor
 - 25 - al detectar la condición de arrastre, el apagado del convertidor estático (20).
15. Método de conformidad con la reivindicación 14, **caracterizado porque** la condición de arrastre es una condición en la que una corriente continua fluye desde el enlace de corriente continua hasta los bornes de corriente continua (19) del convertidor estático (20) en una dirección de inversor durante un tiempo predeterminado o fluye en una dirección opuesta a la dirección del inversor con una intensidad inferior a un umbral predeterminado durante dicho tiempo predeterminado, en el que la dirección del inversor es la dirección en la que la fluye corriente eléctrica entre el enlace de corriente continua (18) y el convertidor estático (20) cuando el convertidor estático (20) funciona en un modo de inversor.
- 30

35

Fig. 1

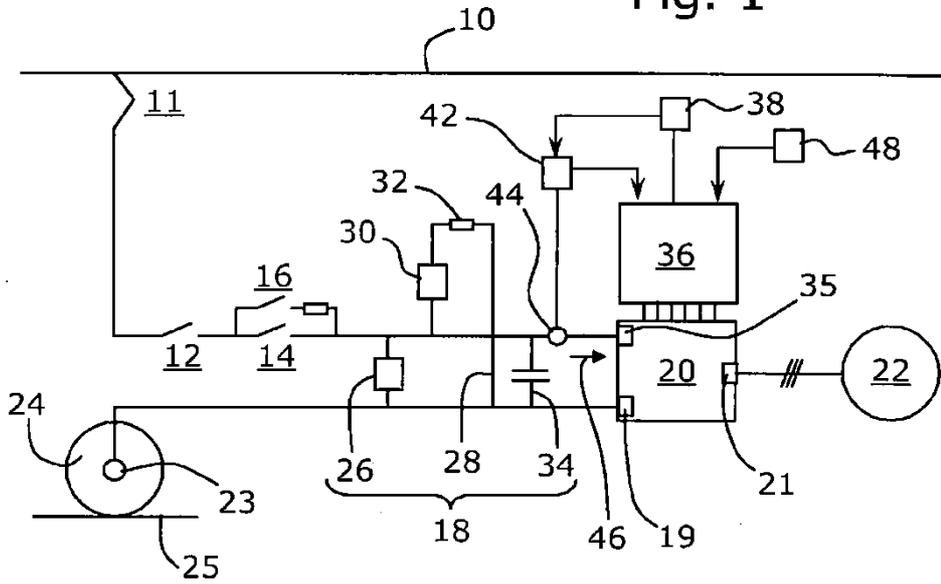
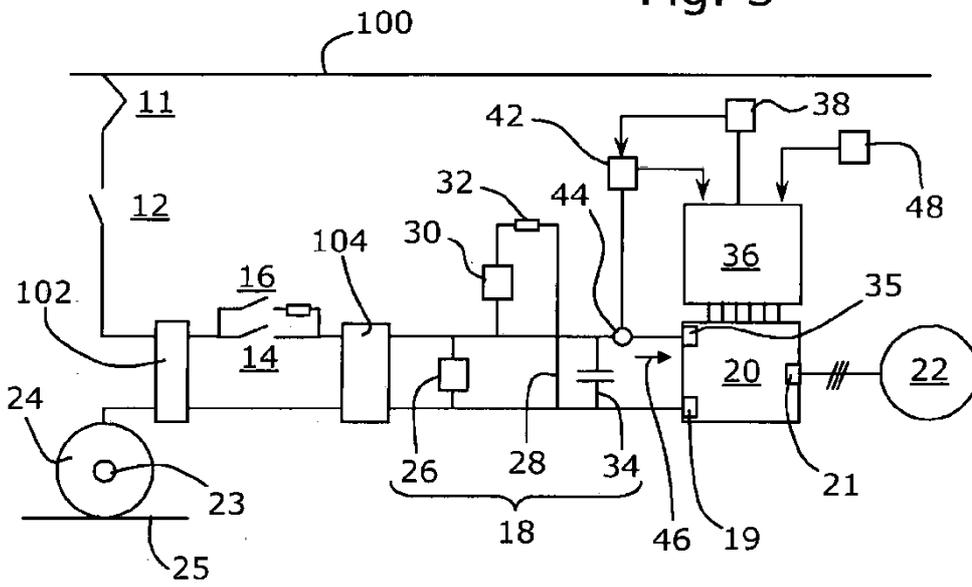


Fig. 3



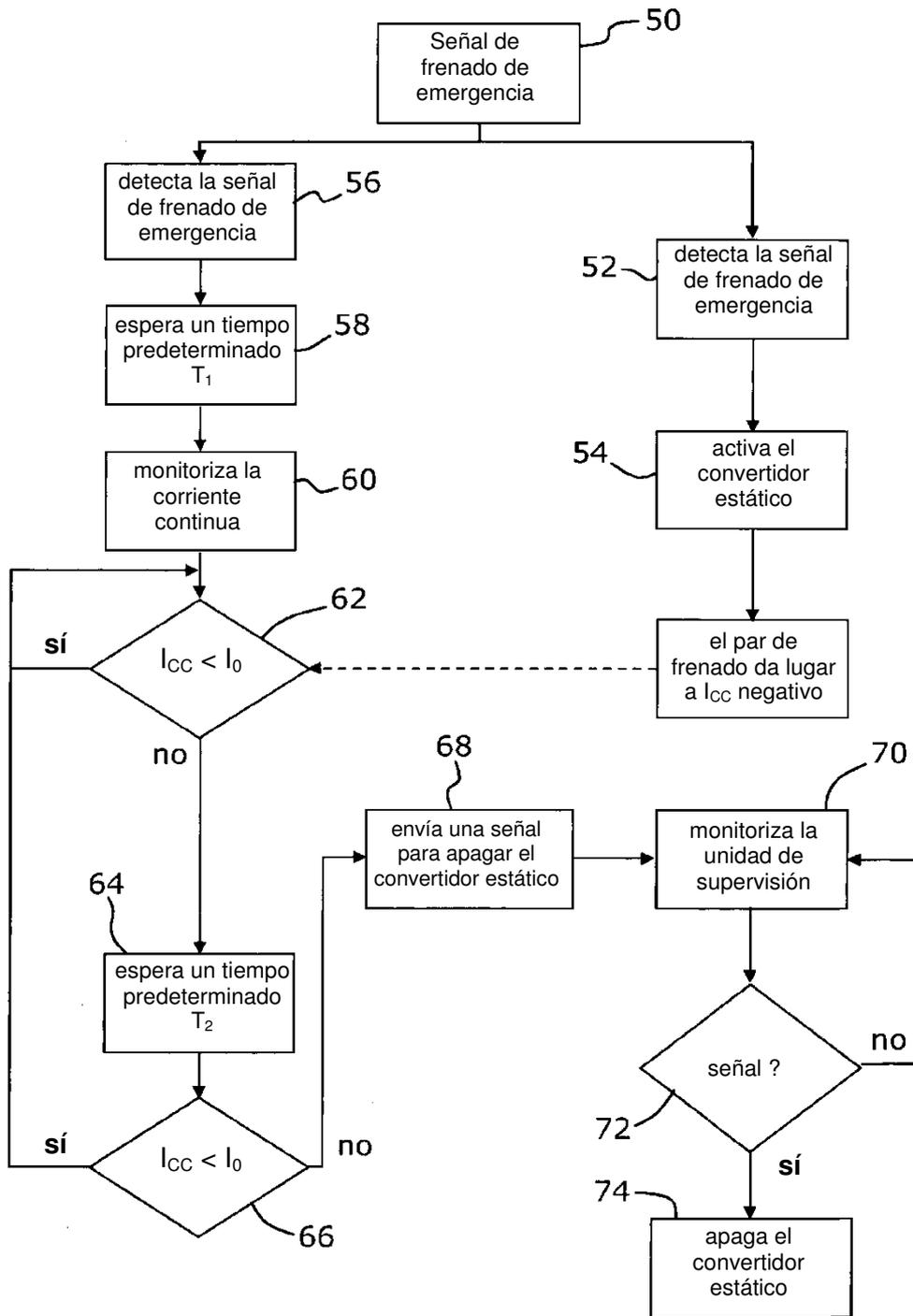


Fig. 2