

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 911 573**

51 Int. Cl.:

B60T 8/17 (2006.01)

B60T 8/172 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.12.2018** **PCT/IB2018/060169**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.06.2019** **WO19123198**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2018** **E 18833720 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.02.2022** **EP 3727964**

54 Título: **Sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario**

30 Prioridad:

18.12.2017 IT 201700145810

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

19.05.2022

73 Titular/es:

FAIVELEY TRANSPORT ITALIA S.P.A. (100.0%)
Via Volvera 51
10045 Piossasco (TO), IT

72 Inventor/es:

TIONE, ROBERTO;
FREA, MATTEO y
IMBERT, LUC

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 911 573 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 control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario

5 Sector técnico

La presente invención se refiere a un sistema para optimizar el frenado de un vehículo ferroviario, en particular en el caso de un estado de adherencia degradada o en el caso de un funcionamiento degradado del sistema de frenado.

10 Técnica anterior

La figura 1 ilustra una arquitectura posible, pero no exclusiva, de un sistema de frenado ferroviario de la técnica anterior. Un sistema de frenado ferroviario produce un par de frenado CF 100 aplicado a un eje 101 que está unido a dos ruedas 102. El par de frenado CF 100 se genera por una presión neumática 105 aplicada a uno o más cilindros de frenado 103 que actúan a través de medios de fricción 133 directamente sobre las ruedas 102 o sobre uno o más discos, no mostrados en las figuras, conectados de manera mecánica al eje 101.

Además, dicho par de frenado CF 100 puede generarse mediante un sistema de frenado regenerativo, también conocido como sistema de frenado electrodinámico, usando un motor eléctrico 104 conectado directamente o a través de sistemas de reducción de engranajes a dicho eje 101. La presión de frenado 105 se genera por un módulo electroneumático EP-Módulo 106 controlado por una unidad electrónica BCU 107. Dicho módulo electroneumático 106 consiste en válvulas de solenoide, válvulas neumáticas y transductores de presión según diagramas electroneumáticos que forman parte de la técnica anterior conocida por los expertos en la técnica.

Dicha unidad electrónica BCU 107 controla el módulo electroneumático 106 para obtener una presión de frenado correspondiente a una fuerza derivada de la solicitud de desaceleración 110 y del valor de peso 111. El valor de peso corresponde al peso en el bogie, como un control por bogie, o al peso del vehículo, como un control por vehículo. Un control de tracción 108 controla el motor 104 de tal manera que produce un par de frenado derivado de la solicitud de desaceleración 110 y el valor de peso 111.

Las contribuciones de frenado por fricción y electrodinámico pueden aplicarse según una composición porcentual variable de las dos fuerzas a lo largo del tiempo, según un método conocido en el mundo ferroviario como frenado "combinado". Las proporciones porcentuales de combinación pueden mapearse de antemano en la memoria de la unidad electrónica BCU 107 y del control de tracción 108 en función de variables externas tales como eficiencia regenerativa del motor, velocidad del vehículo, peso del bogie o peso del vehículo. Los expertos en la técnica son conscientes de la existencia de otras arquitecturas "combinadas" posibles, no exclusivas, de modo que las proporciones porcentuales de las dos contribuciones de frenado por fricción y electrodinámico se calculan en tiempo real por la unidad electrónica BCU 107, que solicitará directamente un valor de par de frenado electrodinámico del módulo de control de tracción 108, usando señales no mostradas en las figuras.

Si, durante el frenado, la fuerza de frenado relativa al par de frenado CF supera el valor de la fuerza de adherencia disponible, por ejemplo, rendimiento degradado por lluvia u hojas u óxido en el raíl, las ruedas 102 entrarán en un estado de deslizamiento y posible bloqueo. En este caso, intervendrá el sistema de WSP (protección frente a deslizamiento de ruedas) 109. Tal sistema de WSP 109 puede detectar cualquier disminución de la velocidad de las ruedas 102 con respecto a la velocidad del vehículo por medio de sensores de velocidad relativos a cada eje (no mostrados en las figuras). En caso de variaciones por encima de un umbral predeterminado, el WSP 109 puede modular la presión 105 hacia los cilindros de freno 103 activando/desactivando las válvulas de solenoide 113 según algoritmos de control que forman parte de la técnica anterior conocida para los expertos en la técnica, con el fin de evitar el bloqueo de las ruedas y mantenerlas en un estado de deslizamiento controlado que minimice la pérdida de agarre. Un transductor de presión 114 convierte el valor de presión aguas abajo de las válvulas 113 en una señal eléctrica 115 suministrada a la BCU 107, dando información continua sobre el valor de presión real aplicado a los cilindros de frenado 103.

De manera similar, los módulos de software de WSP integrados en el control de tracción 108 permiten modular el par de frenado producido por el motor 104 para evitar el bloqueo de las ruedas y mantener las ruedas en un estado de deslizamiento controlado que minimice la pérdida de adherencia. Las acciones de control de deslizamiento del WSP 109 y del módulo de software de WSP integradas en el módulo de control de tracción 108 se sincronizan entre sí según estrategias conocidas para los expertos en la técnica, a través de un intercambio de señales entre los dos WSP, no estando dichas señales ilustradas en las figuras.

Los módulos BCU 107 y de control de tracción 108 se comunican con otros módulos BCU y de control de tracción en el tren a través de una red de comunicación 116.

Es un hecho físico conocido que, durante el deslizamiento, las ruedas 102 inyectan energía mecánica y térmica en el punto de contacto 112, en una cantidad directamente, no linealmente, relacionada con la cantidad de

deslizamiento. Tal energía limpia parcialmente el punto de contacto 112, mejorando el valor de adherencia dejado a las ruedas posteriores al paso de las ruedas 102.

La figura 10 muestra un tren ferroviario compuesto por una pluralidad de vehículos, frenando en estados de adherencia degradada. La adherencia requerida para desacelerar el tren según una solicitud de desaceleración dada es μ_n . La adherencia degradada inicial afrontada por el vehículo es $\mu_i < \mu_n$. Por motivos de simplicidad, por ejemplo, se supone que el peso sobre todas las ruedas es uniforme y, por tanto, todas las ruedas están sometidas al mismo par de frenado, como consecuencia de la solicitud de desaceleración común.

La rueda 1 inicia una fase de deslizamiento que controlan los sistemas de WSP reduciendo localmente el par de frenado. Dicho deslizamiento controlado lleva a cabo una limpieza parcial con el fin de aumentar la adherencia hasta el nivel μ_2 . El fenómeno de deslizamiento y la limpieza resultante se producen de forma similar para todas las ruedas posteriores que afrontan un valor $\mu < \mu_n$ y, por tanto, para las ruedas 2, ..., 6, que mejorarán la adherencia "liberada" hasta el valor final $\mu_f > \mu_n$. En este punto, el par de frenado aplicado a la rueda 7 y a las ruedas posteriores no es tal como para iniciar fenómenos de deslizamiento adicionales.

En la técnica anterior, los sistemas de frenado no realizan ninguna acción adicional distinta a la descrita, es decir, protegen las ruedas limitando localmente los pares de frenado a través de las acciones coordinadas de los subsistemas de WSP. Es evidente que, debido a las limitaciones locales de los pares de frenado implementados por los subsistemas de WSP, las distancias de frenado aumentan en función de la degradación de la adherencia inicial μ_i . Como conocen los expertos en la técnica, durante el frenado, incluso en el caso en el que se dispone de adherencia suficiente para evitar el deslizamiento, siempre está activo un fenómeno de microdeslizamiento en el punto de contacto entre la rueda y el rail, que continúa mejorando el valor de adherencia disponible dentro de determinados límites, como se ilustra meramente a modo de ejemplo en la figura 9. Por lo tanto, al aumentar el par de frenado más allá del valor calculado inicialmente en las ruedas del final del tren, resulta posible compensar parcial o totalmente la pérdida de adherencia que se ha producido en las ruedas delanteras, recuperando parcial o totalmente la desaceleración solicitada inicialmente y, por lo tanto, la distancia de frenado relativa.

Por ejemplo, las patentes EP2648949 y WO2012052381 reivindican un método para recuperar adherencia, en el caso de adherencia degradada que tiende a elevar presiones por encima del valor solicitado donde la adherencia disponible lo permite. Dicho método se implementa mediante un sistema centralizado que requiere una unidad de coordinación centralizada para redistribuir la fuerza de frenado a lo largo del tren de vehículos. Sin embargo, las soluciones reivindicadas en los documentos EP2648949 y WO2012052381 tienen las siguientes desventajas:

- acciones secuenciales para identificar qué ejes pueden usarse para la recuperación de adherencia, según los métodos respectivos descritos

- es necesario un dispositivo principal que coordine las operaciones de los diversos módulos;

- es necesario reconfigurar el dispositivo principal para cada aplicación según el número y el tipo de módulos de frenado que pertenecen al sistema.

El documento de solicitud de patente GB 2 402 983 A da a conocer un sistema de control de frenado descentralizado para vehículos de rail de un tipo conocido, que permite la gestión de fallos inteligente.

Sumario de la invención

El objetivo de la presente invención es, por lo tanto, proporcionar un sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario que permita recuperar la desaceleración perdida inicialmente en caso de un estado de adherencia degradada, y también en caso de funcionamiento del sistema de frenado en un modo degradado debido a posibles fallos de funcionamiento. La presente invención reivindica el uso de una serie de módulos funcionales para el control del sistema de frenado, estando diseñados dichos módulos para funcionar de forma independiente entre sí, usándose cada uno para controlar un par de frenado individual, usando dichos módulos un algoritmo que se basa en las observaciones del sistema para poder funcionar correctamente sin la necesidad de control centralizado, y sin la necesidad de procedimientos para la inicialización del método utilizado, posiblemente durante la fase operativa, tales como, pero sin limitarse a, la inicialización de tablas con valores detectados por acciones forzadas durante la operación. Los objetivos y ventajas mencionados anteriormente y otros se logran, según un aspecto de la invención, mediante un sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario que tiene las características definidas en la reivindicación 1. Las implementaciones preferidas de la invención se definen en las reivindicaciones dependientes, que deben considerarse como una parte integral de la presente descripción.

Breve descripción de las figuras

A continuación, se describirán las características funcionales y estructurales de algunas realizaciones preferidas de un sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario según la

invención. Se hace referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 muestra un diagrama funcional básico de un posible sistema de frenos de la técnica anterior;
- 5 - la figura 2 muestra el diagrama funcional de un sistema para controlar el frenado de un eje según la presente invención;
- la figura 3 ilustra los criterios funcionales de un único módulo de control de frenado según la presente invención;
- 10 - la figura 4 muestra la curva de comportamiento del límite de par de frenado en función de la velocidad del vehículo ferroviario;
- la figura 5 ilustra, a modo de ejemplo, el comportamiento del sistema de control de frenado para al menos un vehículo ferroviario fabricado según la presente invención en el caso de adherencia degradada;
- 15 - la figura 6 ilustra una realización a modo de ejemplo de un sistema de control de frenado de emergencia y de servicio;
- la figura 7 ilustra una segunda realización de un sistema de control de frenado de emergencia y de servicio;
- 20 - la figura 8 ilustra una tercera realización de un sistema de control de frenado de emergencia y de servicio;
- la figura 9 muestra el comportamiento de un tren ferroviario en caso de adherencia degradada según la técnica anterior; y
- 25 - la figura 10 ilustra el diagrama funcional de un sistema para el control de frenado de un bogie de dos ejes según la presente invención.

Descripción detallada

- 30 Antes de que se explique en detalle una pluralidad de realizaciones de la invención, debe aclararse que la invención no está limitada en su aplicación a los detalles de construcción y a la configuración de los componentes expuestos en la siguiente descripción o ilustrados en los dibujos. La invención puede asumir otras realizaciones y puede implementarse o lograrse de formas esencialmente diferentes. También debe entenderse que la fraseología y la
- 35 terminología tienen propósitos descriptivos y no deben interpretarse como limitativas.

Además, en la presente descripción, debe entenderse que una pluralidad de vehículos ferroviarios conectados componen un tren ferroviario.

- 40 A menos que se indique lo contrario, a continuación, se hará referencia al par de frenado, indicando con esta definición un par producido únicamente por la fuerza de frenado por fricción, o únicamente por el par electrodinámico generado por motores de tracción, o por una composición en porcentaje variable a lo largo del tiempo de los dos pares.

- 45 Haciendo referencia inicialmente a la figura 2, se ilustra el diagrama funcional de un módulo de control de frenado para un eje según la presente invención.

- En una primera realización, el sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario incluye una pluralidad de módulos de control de frenado 201. Cada vehículo ferroviario comprende una
- 50 pluralidad de ejes dispuestos para frenarse mediante un par de frenado respectivo generado por medios de frenado 207.

- Cada uno de estos módulos de control de frenado 201 controla al menos un eje respectivo de un vehículo ferroviario.

- 55 Cada módulo de control de frenado 201 está dispuesto para recibir una señal de solicitud de desaceleración 202 y una señal de logro de la máxima adherencia disponible 204.

- La señal de solicitud de desaceleración 202 es común a todos los módulos de frenado 201 y está dispuesta para
- 60 indicar un valor de desaceleración objetivo que va a alcanzarse por el al menos un vehículo ferroviario.

La señal de logro de máxima adherencia disponible 204 está destinada, en cambio, a indicar el logro de la máxima adherencia disponible mediante al menos un eje controlado por dicho módulo de control de frenado 201.

- 65 Cada módulo de control de frenado 202 está dispuesto adicionalmente para generar, independientemente de cualquier otro módulo de control de frenado 201, una señal de solicitud de par de frenado 205.

Tal señal de solicitud de par de frenado 205 es indicativa de un valor de solicitud de par de frenado, CFr.

El valor de la señal de solicitud de par de frenado 205 es variable por el módulo de control de frenado 201 para aumentar, según un primer gradiente de par, el valor de solicitud de par de frenado CFr.

El primer gradiente de par, en una realización actualmente preferida de la invención, es el mismo para todos los módulos de control de frenado 201 comprendidos en el sistema de frenado. Cada módulo de control de frenado 201 puede prever convertirlo localmente en su propio primer gradiente de par de frenado según su propia señal de peso 203, de tal manera que, localmente, todos los módulos de control de frenado 201 comprendidos en el sistema de frenado contribuyen de manera uniforme al logro simultáneo de la solicitud de desaceleración.

El valor de la señal de solicitud de par de frenado 205 es variable hasta que alcanza un valor objetivo V_t , que determina el módulo de control de frenado 201 en función de la señal de solicitud de desaceleración 202 y una señal de peso 203 indicativa del peso que actúa sobre un eje o sobre un bogie o sobre una carrocería del vehículo ferroviario que incluye el eje controlado por dicho módulo de control de frenado 201.

Cada módulo de control de frenado 201 está dispuesto adicionalmente para proporcionar dicha señal de solicitud de par de frenado 205 a un medio de frenado 207 asociado con un eje de vehículo ferroviario controlado por dicho módulo de control de frenado 201.

Los medios de frenado 207 están dispuestos para convertir el valor de la señal de solicitud de par de frenado 205 en un par de frenado que tiene un valor de par de frenado efectivo CFe aplicado a un eje controlado por dicho módulo de control de frenado 201, para desacelerar al menos un vehículo ferroviario.

Por ejemplo, cuanto mayor sea el valor de la señal de solicitud de par de frenado 205, mayor será el valor del par de frenado generado por el medio de frenado 207, o viceversa.

El valor de par de frenado generado puede calcularse según la señal de solicitud de desaceleración 202 y la señal de peso 203 según la fórmula conocida $F = m \cdot a$ y la conversión Fuerza $\rightarrow$ Par apropiada.

Dicho medio de frenado 207 puede, por ejemplo, ser un medio de frenado dispuesto para proporcionar una fuerza de frenado de tipo fricción o de tipo electrodinámico o una combinación de un medio de frenado dispuesto para proporcionar fuerza de frenado de tipo fricción y un medio de frenado para proporcionar fuerza de frenado de tipo electrodinámico, que se gestionan según estrategias combinadas.

Además, cada módulo de control de frenado 201 está dispuesto para transmitir a los demás módulos de control de frenado 201, cíclicamente en momentos predeterminados en el tiempo separados entre sí por un intervalo de tiempo predeterminado y a través de una red de comunicación 215, el valor de par de frenado efectivo instantáneo CFe de su par de frenado aplicado y su valor de par de frenado solicitado instantáneo CFr indicado por la señal de solicitud de par de frenado (205). O bien, para transmitir a los demás módulos de control de frenado 201, cíclicamente en momentos predeterminados en el tiempo separados entre sí por un intervalo de tiempo predefinido y a través de la red de comunicación 215, una diferencia local de par de frenado instantáneo ΔCFI obtenida a través de la diferencia entre su propio valor de par de frenado solicitado instantáneo CFr y el valor de par de frenado efectivo instantáneo CFe de su par de frenado aplicado.

Todos los demás módulos de frenado 201 comprendidos en el sistema de frenado también estarán, por lo tanto, conectados a tal red de comunicación 215.

Además, cada módulo de control de frenado 201 recibe, cíclicamente en cada uno de dichos momentos predeterminados en el tiempo y a través de dicha red de comunicación 215, los valores de par de frenado efectivo instantáneo CFe transmitidos por los demás módulos de control de frenado 201 y los valores de par de frenado solicitado instantáneo CFr transmitidos por los demás módulos de control de frenado 201. O bien, recibe cíclicamente en cada uno de estos momentos predeterminados en el tiempo y a través de dicha red de comunicación 215 la diferencia local de par de frenado instantáneo ΔCFI transmitida por cada uno de los demás módulos de control de frenado (201).

Además, cada módulo de control de frenado 201 está dispuesto para calcular, cíclicamente para cada uno de dichos momentos predeterminados en el tiempo, una diferencia total de par de frenado instantáneo ΔCFt como la suma de las diferencias entre los valores de par de frenado solicitado instantáneo CFr y los valores de par de frenado efectivo instantáneo CFe de todos los módulos de control de frenado 201. O bien, para calcular cíclicamente para cada uno de dichos momentos de tiempo predeterminados, la suma de las diferencias locales de par de frenado instantáneo ΔCFI de todos los módulos de control de frenado 201.

Si, cuando la señal de solicitud de par de frenado 205 alcanza dicho valor objetivo V_t , la diferencia total calculada de par de frenado instantáneo ΔCFt es mayor que cero, el módulo de control de frenado 201 varía la señal de solicitud de par de frenado 205 para aumentar el par de frenado aplicado convertido por los medios de frenado

207.

La diferencia total calculada de par de frenado instantáneo ΔCF_t , que se verifica que es mayor que cero cuando la señal de solicitud de par de frenado 205 alcanza el valor objetivo V_t , puede ser la diferencia calculada en el momento exacto en el que la señal de solicitud de par de frenado 205 alcanza dicho valor objetivo V_t , o bien, puede ser la diferencia calculada en el primero de dichos momentos de tiempo que sigue al logro de dicho valor objetivo V_t por la señal de solicitud de par de frenado 205, o bien, puede ser la diferencia calculada en el último de dichos momentos de tiempo que precede al logro de dicho valor objetivo V_t por la señal de solicitud de par de frenado 205.

El valor de la señal de solicitud de par de frenado 205 se varía hasta que el valor de una diferencia total calculada de par de frenado instantáneo ΔCF_t en uno de dichos momentos predeterminados en el tiempo, tras el logro de dicho valor objetivo V_t por la señal de solicitud de par de frenado 205, alcanza un valor cero o negativo, o hasta que la señal de máxima adherencia disponible 204 indica el logro de la máxima adherencia disponible mediante un eje controlado por dicho módulo de control de frenado 201.

El par de frenado aplicado se aumenta según un segundo gradiente de par predeterminado.

El segundo gradiente no es necesariamente el mismo que el primer gradiente. De manera similar al primer gradiente de desaceleración, en una realización actualmente preferida, el segundo gradiente de desaceleración es el mismo para todos los módulos de control de frenado 201 comprendidos en el sistema de frenado. Cada módulo de control de frenado 201 lo transforma localmente en su propio segundo gradiente de par de frenado dependiendo de la señal de peso 203.

Por ejemplo, la etapa de calcular cíclicamente la diferencia total del par de frenado ΔCF_t , cuando el módulo de control de frenado 201 recibe los valores de par de frenado efectivo instantáneo CF_{e_i} de los demás módulos de control de frenado (201) y los valores de par de frenado solicitado instantáneo CF_{r_i} de los demás módulos de control de frenado (201), se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta CF_t = \sum_{i=0}^n (CF_{r_i} - CF_{e_i}) \quad (1.1)$$

donde n indica el número total de módulos de control de frenado 201.

Al analizar la fórmula mencionada anteriormente en detalle:

- CF_{r_i} = valor de par de frenado solicitado instantáneo del i-ésimo módulo de control de frenado

- CF_{e_i} = valor de par de frenado efectivo instantáneo del i-ésimo módulo de control de frenado

- $(CF_{r_i} - CF_{e_i})$ corresponde al par de frenado que, por ejemplo, puede haber sido eliminado en el i-ésimo eje por un i-ésimo módulo de WSP 206.

Cuando, por otro lado, el módulo de control de frenado 201 recibe directamente la diferencia local del par de frenado ΔCF_{l_i} de cada uno de los demás módulos de control de frenado (201), la etapa de calcular cíclicamente la diferencia total en el par de frenado ΔCF_t puede obtenerse mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta CF_t = \sum_{i=0}^n \Delta CF_{l_i} \quad (1.2)$$

donde n indica de nuevo el número total de módulos de control de frenado (201) y ΔCF_{l_i} indica la diferencia local en el par de frenado del i-ésimo módulo de control de frenado.

Evidentemente, en una variante clara con respecto a la realización descrita anteriormente, la diferencia local de par de frenado instantáneo ΔCF_{l_i} puede obtenerse, en cambio, por la diferencia entre el valor de par de frenado efectivo instantáneo CF_{e_i} de su par de frenado aplicado y su valor de par de frenado solicitado instantáneo CF_{r_i} , y la diferencia total de par de frenado instantáneo ΔCF_t puede calcularse como la suma de las diferencias entre los valores de par de frenado efectivo instantáneo CF_{e_i} y los valores de par de frenado solicitado instantáneo CF_{r_i} de todos los módulos de control de frenado 201, es decir, la suma de las diferencias locales del par de frenado instantáneo ΔCF_{l_i} de todos los módulos de control de frenado 201 obtenidos como se describió anteriormente. En

tal caso, por lo tanto, es necesario comprobar si, cuando la señal de solicitud de par de frenado 205 alcanza este valor objetivo V_t , la diferencia total calculada del par de frenado instantáneo ΔCF_t es menor que cero. Por tanto, el valor de la señal de solicitud de par de frenado 205 variará hasta que una diferencia total calculada de par de frenado instantáneo ΔCF_t en uno de dichos momentos predeterminados en el tiempo tras el logro de dicho valor objetivo V_t por la señal de solicitud de par de frenado 205 alcance un valor cero o positivo, o, como anteriormente, hasta que la señal de máxima adherencia disponible 204 indique el logro de la máxima adherencia disponible mediante un eje controlado por dicho módulo de control de frenado 201.

En cambio, en esta variante, la fórmula utilizada para calcular la diferencia total en el par de frenado ΔCF_t podría ser:

$$\Delta CF_t = \sum_{i=0}^n (CF_{e_i} - CF_{r_i}) \quad (2.1)$$

En ambas realizaciones descritas anteriormente, el intervalo de tiempo predefinido entre los momentos predeterminados en el tiempo cuando los valores se transmiten y reciben a través de la red de comunicación 215 puede ser, por ejemplo, pero no exclusivamente, de 100 ms. El cálculo por el módulo de control de frenado 201 de una diferencia total de par de frenado ΔCF_t también puede realizarse cada 100 ms, por ejemplo.

El método de transmisión usado puede ser, por ejemplo, pero no exclusivamente, el método de emisión de radiodifusión.

Por conveniencia, la definición de "máxima adherencia disponible lograda" se abreviará a continuación como MAAA. MAAA = 0 significa que cuando el módulo de control de frenado 201 no está usando completamente la adherencia disponible para las ruedas del eje de ese modo controlado, y MAAA = 1 significa que cuando las ruedas del eje controlado por el módulo 201 han excedido la máxima adherencia disponible. Evidentemente, estos valores se dan meramente a modo de ejemplo y pueden usarse igualmente diferentes valores. La señal MAAA 204 puede generarse, por ejemplo, pero no exclusivamente, por un módulo de WSP 206 cuando este último detecta un deslizamiento entre las ruedas con respecto al eje controlado por el módulo de control de frenado 201 y el raíl, superior a un valor predefinido. La señal MAAA 204 puede, además, generarse, por ejemplo, pero no exclusivamente, por un algoritmo basado en un "observador de adherencia" tal como se describió en la solicitud de patente italiana n.º 102016000034535, "Procedure for the control and possible recovery of the adhesion of the wheels of controlled axles of a railway vehicle" por FAIVELEY TRANSPORT ITALIA S.p.A.

En una segunda realización del sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario, la señal de solicitud de par de frenado 205, antes de suministrarse a los medios de frenado 207, se modula por un módulo de WSP 206 si las ruedas 208 del al menos un eje controlado por dicho módulo de control de frenado 201 comienzan a deslizarse.

Dicho módulo de WSP 206 puede ser un sistema que comprende al menos un medio para realizar una modulación, según algoritmos determinados, de la fuerza de frenado de tipo fricción o un módulo de software para la modulación de tipo electrodinámico de la fuerza de frenado. En una posibilidad adicional, el módulo de WSP 206 puede comprender tanto un sistema de modulación de la fuerza de frenado de tipo fricción como un módulo de software para la modulación de la fuerza de frenado de tipo electrodinámico. Lo anterior corresponde a la composición de los medios de frenado 207. En la presente descripción, el término "módulo de software" significa una o más instrucciones de software comprendidas en un programa informático que se adaptan para ejecutarse, por ejemplo, por un microprocesador, para lograr una función o algoritmo predeterminado.

El valor del par de frenado efectivamente aplicado por los medios de frenado 207 corresponderá al valor de par indicado por la señal de solicitud de par de frenado 205, si el módulo de WSP 206 no interviene, y el valor del par de frenado efectivamente aplicado por los medios de frenado 207 será inferior al valor de par indicado por la señal de solicitud de par de frenado 205, si el módulo de WSP 206 no interviene debido al deslizamiento de la rueda 208.

Dada la composición de los medios de frenado 207, las señales 216 emitidas desde el módulo de WSP 206 pueden consistir, por ejemplo, pero no exclusivamente, en un valor de presión neumática tomado aguas arriba del cilindro de freno, convenientemente convertido en valor de par por algoritmos apropiados ejecutados en el módulo de frenado 201, o por valores de corriente medidos en el motor eléctrico que desarrolla la fuerza de frenado electrodinámico, convirtiéndose dichos valores de corriente posteriormente en valores de par de frenado por algoritmos apropiados ejecutados en el módulo de frenado 201, o por ambos valores mencionados si los medios de frenado 207 consisten en ambos modos de frenado.

El valor de la señal de solicitud de desaceleración 202 también puede indicar directamente un valor de solicitud de par de frenado. En este caso, el módulo de control de frenado 201 puede usar la fórmula $a = F/m$ para determinar

el valor de desaceleración objetivo. Adicionalmente, el valor de la señal de solicitud de desaceleración 202 puede indicar directamente un valor de solicitud de presión de frenado neumático, si los medios de frenado 207 son unos medios para proporcionar fuerza de frenado de tipo fricción.

- 5 Dicho de otro modo, el valor ΔCF_t mencionado anteriormente está destinado a permitir la determinación de la cantidad de par de frenado que no se aplica al tren ferroviario compuesto por vehículos ferroviarios, por ejemplo, debido a acciones conjuntas de uno o más módulos de WSP 206 del sistema de frenado.

10 Por lo tanto, $\Delta CF_t=0$ corresponde a un estado en el que todo el par de frenado solicitado corresponde al par de frenado efectivo.

Por ejemplo, un estado de adherencia perfecta, donde no interviene ningún WSP 206 en el tren.

15 Haciendo referencia ahora a la figura 3, se ilustra un caso de ejemplo en el que se supone que dicha solicitud de desaceleración requiere una adherencia disponible $\mu = A$. Si la adherencia disponible es inferior, por ejemplo, representada por la curva μ_1 , el eje controlado por el módulo de control de frenado 201 comienza a deslizarse en cuanto se supera el pico P1, la entrada MAAA 204 asume inmediatamente el valor MAAA = 1, el módulo de control de frenado 201, sin embargo, continúa aumentando el par de frenado solicitado hasta el valor correspondiente a la línea A, es decir, hasta que el par de frenado, previamente calculado, correspondiente al valor de la señal de solicitud de desaceleración 202 y a su propia señal de peso 203, se aplica por completo. Es tarea del módulo de WSP 206 limitar el par de frenado solicitado por la señal de solicitud de par de frenado 205 con el fin de mantener el deslizamiento de las ruedas 208 a un valor de velocidad controlado, limpiando el raíl parcial o totalmente si es necesario y aumentando la adherencia para las ruedas posteriores.

25 El motivo de esta estrategia es forzar la acción de limpieza de raíles llevada a cabo por el módulo de WSP. Otro motivo es no limitar una solicitud de par de frenado que pueda corresponder a una solicitud de frenado de emergencia. Si la adherencia disponible es mayor que la línea A, por ejemplo, representada por la curva μ_2 , la entrada MAAA 204 mantiene el valor MAAA = 0, indicando, por tanto, que la máxima adherencia disponible aún no se ha logrado, o que todavía hay margen para aumentar el par de frenado. Dicho margen corresponde a la distancia desde la línea $\mu = A$ y el punto P2. Entonces, el módulo de control de frenado 201 observa el valor ΔCF_t calculado periódicamente de este modo, por ejemplo, según la fórmula 1.1 descrita anteriormente.

30 Si, cuando la señal de solicitud de par de frenado 205 alcanza dicho valor objetivo V_t , la diferencia total calculada de par de frenado instantáneo ΔCF_t es mayor que cero, el módulo de control de frenado 201 varía la señal de solicitud de par de frenado 205 para aumentar el par de frenado aplicado convertido por los medios de frenado 207.

40 El valor de la señal de solicitud de par de frenado 205 se varía hasta que el valor de una diferencia total calculada de par de frenado instantáneo ΔCF_t en uno de dichos momentos predeterminados en el tiempo tras el logro de dicho valor objetivo V_t por la señal de solicitud de par de frenado 205 alcanza un valor cero o negativo, o hasta que la señal de máxima adherencia disponible 204 indica el logro de la máxima adherencia disponible mediante un eje controlado por dicho módulo de control de frenado 201.

45 Por lo tanto, si la adherencia disponible corresponde, por ejemplo, a la curva μ_2 , si, durante el aumento adicional en el par de frenado, se supera dicha curva de adherencia μ_2 , se inicia un fenómeno de deslizamiento en el eje controlado 208, la entrada 204 asume el valor MAAA = 1, y el módulo de control de frenado 201 reduce el valor de par de frenado en un valor almacenado previamente. Dicho valor predeterminado puede ser cero o tal como para reducir el valor de par de frenado continuamente hasta que se logre el estado MAAA = 0. El valor predeterminado, siendo en cualquier caso tal como para no permitir que el valor de par de frenado aplicado sea inferior al valor de par de frenado inicialmente solicitado por medio de la señal de solicitud de desaceleración 202, corresponde a la línea recta $\mu = A$.

50 En una realización adicional, un valor límite de par de frenado correspondiente, en la figura 3, al valor de adherencia $\mu = B$ puede almacenarse dentro del módulo de control de frenado 201. Siendo necesario dicho valor límite de par de frenado para evitar un aumento excesivo en el par de frenado, posibilitado por cualquier adherencia disponible μ_3 . Los aumentos excesivos en el par de frenado pueden provocar daños mecánicos o altas temperaturas en los elementos de frenado. Los expertos en la técnica saben que la adherencia en el punto de contacto entre la rueda y el raíl disminuye a medida que la velocidad del vehículo aumenta. Con el fin de evitar que se produzca un deslizamiento debido a un aumento excesivo en el par de frenado más allá de los límites nominales, dicho valor límite de par de frenado puede ser en función de la velocidad, así como del peso, como se ilustra cualitativamente en la figura 4. Dicha función puede tener una característica continua (línea continua) o con una o más etapas (línea discontinua).

65 La información anterior hace referencia a un control de par "por eje".

La figura 10 muestra una configuración de control "por bogie": el módulo de control de frenado 1101 genera una

solicitud de par de frenado 1105 que se envía en paralelo a los módulos de generación de par de frenado 1108 y 1109 asociados con los dos ejes representados por las ruedas 1110 y 1111. A cada eje está asociado un módulo de WSP 1106 y 1107, cada función de WSP utilizada para controlar el deslizamiento de los respectivos ejes 1110 y 1111.

También en este caso, tal como se describió anteriormente, los módulos de WSP 1106 y 1107 pueden ser un sistema o un módulo de software, o pueden ser tanto un sistema como un módulo de software.

En la configuración descrita en la figura 10, el módulo de control de frenado 1101 recibe las mismas señales que las que recibe el módulo de control de frenado 201 descrito anteriormente.

Además, el módulo de control de frenado 1101 sigue el procedimiento descrito anteriormente e implementado por el módulo de control de frenado 201 en la figura 2. En la configuración descrita en la figura 10, la señal MAAA asume, por ejemplo, el valor MAAA = 0 cuando ambos ejes correspondientes a las ruedas 1110 y 1111 no están en la fase de deslizamiento y asume el valor MAAA = 1 cuando al menos uno de los ejes correspondientes a las ruedas 1110 y 1111 está en la fase de deslizamiento.

Tal como se describió anteriormente, un módulo de control de frenado 201 o 1101 es completamente autónomo a la hora de decidir las acciones a realizar.

La figura 5 ilustra el caso de funcionamiento del sistema mencionado anteriormente en el caso de adherencia degradada. La línea G representa el par de frenado requerido para lograr la desaceleración nominal solicitada, la línea H representa cualitativamente el par de frenado correspondiente a la máxima adherencia disponible. La inclinación de la línea H representa el fenómeno de limpieza del raíl, aproximándose, a modo de ejemplo, a las etapas de aumento de μ ilustradas en la figura 9. Los expertos en la técnica de los ferrocarriles saben que, en realidad, lo que se representa con la línea H puede producirse en la naturaleza en forma de curvas de las cuales la línea H es una buena aproximación y, en cualquier caso, suficiente para la presente demostración. En la solicitud de desaceleración, todos los módulos de control de frenado 1101 aplicarán el par de frenado G según un primer gradiente común α . Los ejes correspondientes a los bogies primero y segundo empezarán a deslizarse cuando el valor de par de frenado aplicado a estos alcance los puntos H1 y H2 respectivamente en la línea H. Las señales de entrada MAAA a los módulos relativos a los bogies primero y segundo asumirán un estado MAAA = 1 debido a la presencia de deslizamiento. Los módulos de control de frenado 1101 relativos a los bogies primero y segundo aumentarán, en cualquier caso, el valor de par de frenado, alcanzando la línea G, los módulos de WSP 206 correspondientes al mismo limitarán el par de frenado a los bogies, manteniendo los ejes en un estado de deslizamiento controlado. Tal como se describió anteriormente, cuando se alcanza el valor de par de frenado G, los módulos de control de frenado 1101 relativos a los bogies primero y segundo, habiendo recibido una señal MAAA = 1, mantendrán permanentemente el valor de par de frenado G. Los módulos de control de frenado 1101 restantes, cuando se logra el valor de presión "G", observan que el valor ΔCF_t logrado es inferior a cero, es decir, $\Delta CF_t > 0$ porque el deslizamiento de los bogies primero y segundo les impide lograr el par de frenado G. Al mismo tiempo, recibirán una señal MAAA = 0. En este estado, comenzarán a aumentar el par de frenado con un segundo gradiente β iguales entre sí, por ejemplo, pero no exclusivamente, más lento que el primer gradiente. En el ejemplo, el par de frenado en el tercer bogie se cruza con la línea H durante el aumento del mismo, comenzando a deslizarse al menos uno de los ejes de dicho tercer bogie. En este punto, el módulo de control de frenado 1101 correspondiente recibe MAAA = 1 y, por lo tanto, tal como se describió anteriormente, reduce el par de frenado con una etapa fija γ o de forma continua hasta que recibe una señal MAAA = 0, interrumpiendo el deslizamiento sobre los ejes del tercer bogie correspondiente, y obteniendo aún localmente el mayor par de frenado posible. Se puede decidir asignar el valor cero al parámetro γ . En este caso, el par de frenado no se reduce, y se impondrá un deslizamiento mínimo permanente, controlado por el módulo de WSP correspondiente, que acelerará la limpieza del raíl para las ruedas posteriores.

En el ejemplo de la figura 5, solo los bogies cuarto y quinto pueden lograr un valor de par de frenado representado por la línea L para cancelar ΔCF . Si, por otro lado, se ha programado un valor límite de par de frenado J, con $G < J < L$ correspondiente a la línea B de la figura 3, los módulos de control de frenado 1101 relacionados con dichos bogies cuarto y quinto suspenden el aumento del par de frenado y no se logra la desaceleración esperada. Sin embargo, la desaceleración del vehículo o del tren de vehículos siempre se maximiza mejor incluso en el estado degradado.

Una variante que mejora lo descrito en la figura 5, haciendo referencia, por ejemplo, pero no exclusivamente, al módulo de control de frenado 201, 1101, se representa por el hecho de que dicho módulo de control de frenado 201, 1101, en presencia de una señal MAAA = 1, puede activar un posible medio de recuperación de adherencia 211 conectado al mismo por medio de una respectiva señal de control 210. Los medios de recuperación de adherencia 211 pueden, por ejemplo, pero no exclusivamente, comprender uno o más areneros conectados de manera eléctrica a este módulo de control de frenado. O, dichos medios de recuperación de adherencia 211 pueden, por ejemplo, pero no exclusivamente, comprender uno o más dispositivos de inyección de material adaptado para aumentar el coeficiente de fricción entre la rueda y el raíl.

Por ejemplo, dicha señal de control 210 puede ser una señal binaria para controlar el flujo de arena u otros medios de recuperación de adherencia 211 en un modo de encendido/apagado.

Además, de nuevo a modo de ejemplo, la señal de control 210 puede ser una señal de control continua dispuesta para controlar el flujo de arena u otros medios para mejorar la adherencia según una ley continua proporcional a la velocidad del vehículo 214, o según una ley continua proporcional a la distancia entre el punto H asociado con dicho módulo de control de frenado 201 y la línea G de la figura 5, o según una ley continua proporcional a la velocidad del vehículo 214 y a la distancia entre el punto H asociado con dicho módulo de control de frenado 201 y la línea G de la figura 5.

Cada módulo de control de frenado 201 también puede desactivar dichos medios de recuperación de adherencia 211 tras alcanzar un valor de deslizamiento predeterminado que puede almacenarse en un medio de memoria o un valor de adherencia instantánea mínima predeterminado que puede almacenarse en tal medio de memoria.

Del mismo modo, dicho módulo de control de frenado 201, 1101, en presencia de una señal MAAA = 1, puede activar una o más zapatas de freno magnéticas 213 conectadas al mismo por medio de una señal de activación y desactivación 212 con el fin de realizar una acción de limpieza del rail, con el fin de aumentar la adherencia disponible. Por otro lado, si hay una señal MAAA = 0, el módulo de control de frenado 201, 1101 puede interrumpir la activación de dichas zapatas de freno magnéticas 213.

Dicha señal de activación y desactivación 212 de las zapatas de freno magnéticas puede enviarse con una histéresis de onda temporal para evitar posibles oscilaciones continuas de la misma señal de control, que podrían dañar las zapatas de freno magnéticas 213.

La activación de los medios de recuperación de adherencia 211 o las zapatas de freno magnéticas 213 descritas anteriormente pretenden mover la línea H de la figura 5 hacia la izquierda. En este caso, un mayor número de bogies puede contribuir a recuperar la desaceleración solicitada usando cada uno de ellos una cantidad inferior de par de frenado, posiblemente evitando la intersección con la curva $\mu = B$ de la figura 3.

El módulo de control de frenado 201 puede desactivar las zapatas de freno magnéticas 213 tras alcanzar un valor de deslizamiento mínimo predeterminado que puede almacenarse en el medio de memoria o tras alcanzar un valor de adherencia instantánea mínimo predeterminado que puede almacenarse en los medios de memoria.

El par de frenado o la presión neumática generados por al menos un medio de frenado 207 puede interrumpirse por el módulo de control de frenado 201 cuando se logra un par de frenado predeterminado o valor de presión neumática, el cual puede almacenarse en los medios de memoria.

Lo siguiente es una ilustración de algunas realizaciones de ejemplo de un sistema de control de frenado de emergencia y de servicio.

En una primera realización ilustrada en la figura 6, el sistema de control de frenado es un sistema electroneumático.

Tal sistema comprende una válvula relé neumática 701, que puede controlarse por dos cámaras de pilotaje 702 y 703. En la entrada 705 de dicha válvula relé 701, puede proporcionarse un suministro neumático procedente de depósitos (no mostrados en la figura 6). El suministro puede proporcionarse a una presión superior a la solicitada por los usuarios conectados a la salida 704.

Dichos usuarios pueden ser uno o más cilindros de frenado relacionados con un eje, o con un bogie, o con un vehículo (dichos cilindros no se muestran en la figura 6).

Las válvulas 112, controladas por los módulos de WSP 104, pueden interponerse entre la salida 704 de la válvula relé 701 y los cilindros de freno. La válvula 701 puede devolver a su salida 704 el valor de presión correspondiente al valor más alto entre los presentes en las entradas de control 702A y 703B.

La entrada 702A puede activarse por una presión procedente de una solicitud de emergencia (no mostrada en la figura 6).

Un orificio calibrado 711 puede limitar el gradiente de presión procedente del valor de la señal de solicitud de frenado de emergencia 202. La entrada 703B puede activarse con una presión 707, dicho frenado de servicio, proveniente de una acción de modulación llevada a cabo por un par de válvulas de solenoide 708 y 709 controladas por el módulo de control de frenado 201, el cual en esta realización es un sistema de microprocesador 712. La acción de modulación es conocida para los expertos en la técnica. En el caso de un frenado de servicio, el sistema de microprocesador 712 puede generar un par de frenado actuando sobre las válvulas 708 y 709, provocando que aumente la presión 707 y, por consiguiente, también la presión 704 del usuario neumático.

Del mismo modo, el sistema de microprocesador 712 puede generar un par de frenado enviando una solicitud de

par de frenado adecuada 713 al sistema de control de tracción 717, el cual controlará los motores relacionados, no mostrados. Además, el sistema de microprocesador puede generar un par de frenado como la suma en porcentajes variables en el tiempo de los pares neumáticos y electrodinámicos descritos anteriormente.

- 5 Durante el frenado de servicio, el sistema de microprocesador 712 puede implementar las estrategias ilustradas en la figura 5, generando un nivel G en la figura 5 con gradiente α . Posteriormente, si los estados lo requieren, generar un nivel H de la figura 5 con un gradiente β .

- 10 En el caso de frenado de emergencia, el sistema de microprocesador 712 puede duplicar en la entrada 703B la presión instantánea presente en la entrada 702A.

Dicha presión en la entrada 702A puede tener un gradiente α determinado por el orificio 711, hasta alcanzar simultáneamente el nivel G de la figura 5.

- 15 Posteriormente, solo el sistema de microprocesador 712 puede prever el crecimiento adicional del par de frenado con gradiente β hasta alcanzar la línea H de la figura 5.

- 20 La figura 7 ilustra una realización, en la que el sistema de control de frenado de emergencia y de servicio es un sistema electroneumático.

- Dicho sistema electroneumático comprende un módulo de control de presión de pesaje electrónico 810 que recibe información de peso 813 según la cual dicho módulo de control de presión de pesaje 810 controla un módulo electroneumático 811 por medio de señales de control 812, de modo que dicho módulo electroneumático 811 genera una presión neumática 814 igual a la presión de frenado de emergencia correspondiente a dicho peso 813.

- 25 En esta realización, el módulo de control de frenado 201 es un módulo electrónico 815 que puede controlar una válvula de solenoide de carga 816 y una válvula de solenoide de descarga 817 respectivamente mediante las señales de control 818 y 819.

- 30 Dichas señales 818 y 819 pueden interrumpirse por contactos 820 de un relé activado por un bucle de emergencia 821. Dichos contactos 820 pueden ilustrarse en el estado de ausencia de una señal del bucle de emergencia 821, es decir, de una solicitud de frenado de emergencia afirmada. Cuando la solicitud de emergencia no se afirma, es decir, la señal eléctrica del bucle de emergencia 821 está presente, los contactos 820 se cierran y el módulo electrónico 815 puede controlar activamente las válvulas de carga 816 y de descarga 817, 816, produciendo una presión de pilotaje 822 proporcional a una solicitud de frenado 823 para una entrada 803 de la válvula relé 801.

- 35 Dicha presión de pilotaje 822 puede asumir como valor máximo un valor de presión 814 equivalente a una presión de frenado de emergencia. La válvula relé 801 puede recibir una presión de suministro 804 en su entrada 803 y puede generar una presión de frenado 805 en su salida 802 para los cilindros de freno, no mostrados en la figura 7.

- 45 Dicha presión de frenado 805 puede tener un valor igual al valor de la presión de pilotaje 822 pero con una tasa de flujo adecuada para el volumen de los cilindros de freno. En el caso de una solicitud de frenado de emergencia afirmada, la señal proveniente del bucle de emergencia 821 puede desactivarse, los contactos 820 pueden abrirse, y las válvulas de solenoide 816 y 817 pueden desactivarse asumiendo el estado ilustrado en la figura 7. Por lo tanto, la presión de frenado de emergencia 814 puede traerse de vuelta a la entrada 822 de la válvula relé 801 con un gradiente establecido por el orificio calibrado 806. La válvula relé 801 puede suministrar una presión 805, equivalente a la presión de frenado de emergencia 814, en su salida 802 para activar los cilindros de freno, no mostrados.

- 50 El módulo electrónico 815 puede llevar a cabo las estrategias ilustradas en la figura 5, generando el par de frenado hasta un nivel G de la figura 5 con gradiente α .

- 55 Posteriormente, si se solicita un aumento adicional hasta la línea H de la figura 5, el módulo electrónico 815 puede configurar las válvulas de solenoide 816 y 817 tal como se ilustra en la figura 7, de tal manera que la presión de frenado de emergencia 814 llegue permanentemente a la entrada 822 de la válvula relé 801.

- 60 El módulo de control de presión de pesaje 810 puede controlar el módulo 811 que prevé el aumento de la presión según un gradiente β . Dicha presión es necesaria para alcanzar la línea H de la figura 5.

- 65 Durante un frenado de emergencia, la señal del bucle de emergencia 821 puede desactivarse, los contactos 820 se abren, las válvulas de solenoide 816 y 817 se desactivan, asumiendo el estado mostrado en la figura 7, por lo que la presión del freno de emergencia 814 puede traerse de vuelta a la entrada 822 de la válvula relé 801 con un gradiente establecido por el orificio calibrado 806. El orificio se calibra según el gradiente α .

Posteriormente, el módulo de control de presión de pesaje electrónico 810 puede controlar el módulo 811 que

prevé un aumento de la presión según un gradiente β , siendo necesaria dicha presión para alcanzar la línea H de la figura 5.

La figura 8 ilustra una realización, en la que el sistema de control de frenado de emergencia y de servicio es un sistema electroneumático.

Tal sistema electroneumático comprende un módulo de control de presión de pesaje electrónico 910 que recibe información de peso 913 según la cual dicho módulo de control de presión de pesaje 910 puede controlar un módulo electroneumático 911 por medio de señales de control 912. El módulo electroneumático 911 puede controlarse de tal manera que dicho módulo electroneumático 911 genere una presión neumática 914 igual a la presión de frenado de emergencia, correspondiente a dicho peso 913.

En esta realización, el módulo de control de frenado 201 es un módulo electrónico 915 que puede controlar una válvula de solenoide de carga 916 y una válvula de solenoide de descarga 917 respectivamente mediante las señales de control 918 y 919. Interrumpiéndose dichas señales de control 918 y 919 por los contactos 920 de un relé activado por un bucle de emergencia 921.

Dichos contactos 920 se ilustran en el estado de ausencia de una señal del bucle de emergencia 921, es decir, de una solicitud de frenado de emergencia afirmada. Cuando la solicitud de emergencia no se afirma, es decir, la señal eléctrica del bucle de emergencia 921 está presente, los contactos 920 se cierran y el módulo electrónico 915 puede controlar activamente las válvulas 916 y 917, produciendo una presión de frenado 922 proporcional a una solicitud de frenado 923, enviándose dicha presión de frenado 922 a los cilindros de freno, no mostrados en la figura 8. En el caso de una solicitud de frenado de emergencia afirmada, la línea 921 se desactiva, los contactos 920 se abren, las válvulas de solenoide 916 y 917 se desactivan, asumiendo el estado ilustrado en la figura 8, por lo que la presión de frenado de emergencia 914 vuelve a los cilindros de freno con un gradiente establecido por el orificio calibrado 906.

Durante el frenado de servicio, el módulo electrónico 915 puede llevar a cabo las estrategias ilustradas en la figura 5, generando el par de frenado hasta un nivel G de la figura 5 con gradiente α .

Posteriormente, si se solicita un aumento adicional hasta la línea H de la figura 5, el módulo electrónico 915 configurará las válvulas de solenoide 916 y 917 tal como se ilustra en la figura 8, es decir, de tal manera que la presión 914 vuelva permanentemente a los cilindros de freno.

El módulo de control de presión de pesaje 910 puede controlar el módulo 911 que prevé el aumento de la presión según un gradiente β . Dicha presión es necesaria para alcanzar la línea H de la figura 5. Durante una solicitud de frenado de emergencia, la línea 921 se desactiva, los contactos 920 se abren, las válvulas de solenoide 916 y 917 se desactivan, asumiendo el estado mostrado en la figura 8, por lo que la presión de frenado de emergencia 914 vuelve a los cilindros de freno con un gradiente establecido por el orificio calibrado 906. Dicho orificio puede calibrarse según el gradiente α . Posteriormente, el módulo de control de presión de pesaje 910 puede controlar el módulo electroneumático 911 que prevé el aumento de la presión según un gradiente β . Dicha presión es necesaria para alcanzar la línea H de la figura 5.

Se han descrito diversos aspectos y realizaciones de un sistema de control de frenado de emergencia y de servicio según la invención. La invención, además, no se limita a las realizaciones descritas, pero puede variar dentro del alcance definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario, en el que cada vehículo ferroviario comprende una pluralidad de ejes dispuestos para frenarse por un par de frenado respectivo generado por medios de frenado (207);

incluyendo dicho sistema de control de frenado una pluralidad de módulos de control de frenado (201), cada uno de los cuales controla al menos un eje respectivo de un vehículo ferroviario;

estando dispuesto cada uno de dichos módulos de control de frenado (201) para:

- recibir una señal de solicitud de desaceleración (202), común a todos los módulos de control de frenado (201), y dispuestos para indicar un valor de desaceleración objetivo del al menos un vehículo ferroviario que va a alcanzarse;

- recibir una señal de logro de máxima adherencia disponible (204) adaptada para indicar el logro de la máxima adherencia disponible mediante un eje controlado por dicho módulo de control de frenado (201);

- generar, independientemente de cualquier otro módulo de control de frenado (201), una señal de solicitud de par de frenado (205) indicativa de un valor de par de frenado solicitado CFr; siendo el valor de la señal de solicitud de par de frenado (205) variable para aumentar, según un primer gradiente de par, el valor de par de frenado solicitado CFr; siendo el valor de la señal de solicitud de par de frenado (205) variable hasta que alcanza un valor objetivo V_t que se determina en función de la señal de solicitud de desaceleración (202) y de una señal de peso (203) indicativa del peso ejercido sobre un eje o sobre un bogie o sobre un vagón que incluye un eje controlado por dicho módulo de control de frenado (201);

- proporcionar dicha señal de solicitud de par de frenado (205) a un medio de frenado (207) asociado a un eje del vehículo ferroviario controlado por dicho módulo de control de frenado (201); estando dispuesto dicho medio de frenado (207) para convertir el valor de la señal de solicitud de par de frenado (205) en un par de frenado que tiene un valor de par de frenado efectivo CFe que se aplica a un eje controlado por dicho módulo de control de frenado (201) para hacer que el al menos un vehículo ferroviario desacelere;

- transmitir a los demás módulos de control de frenado (201), cíclicamente en momentos predeterminados en el tiempo separados entre sí por un intervalo de tiempo predefinido y a través de una red de comunicación (215), el valor de par de frenado efectivo instantáneo CFe de su propio par de frenado aplicado y su propio valor de par de frenado solicitado instantáneo CFr indicado por la señal de solicitud de par de frenado (205), o una diferencia local de par de frenado instantáneo ΔCFI obtenida a través de la diferencia entre su propio valor de par de frenado solicitado instantáneo CFr y el valor de par de frenado instantáneo real CFe de su propio par de frenado aplicado;

- recibir, cíclicamente en cada uno de dichos momentos predeterminados en el tiempo y a través de dicha red de comunicación (215), los valores de par de frenado efectivo instantáneo CFe transmitidos por los demás módulos de control de frenado (201) y los valores de par de frenado solicitado instantáneo CFr transmitidos por los demás módulos de control de frenado (201), o la diferencia local de par de frenado instantáneo ΔCFI transmitida por cada uno de los demás módulos de control de frenado (201);

- calcular, cíclicamente para cada uno de dichos momentos predeterminados en el tiempo, una diferencia total de par de frenado instantáneo ΔCF_t como la suma de las diferencias entre los valores de par de frenado solicitado instantáneo CFr y los valores de par de frenado efectivo instantáneo CFe de todos los módulos de control de frenado (201), o bien, la suma de las diferencias locales de par de frenado instantáneo ΔCFI de todos los módulos de control de frenado (201);

si tras alcanzar dicho valor objetivo V_t por la señal de solicitud de par de frenado (205) la diferencia total calculada de par de frenado instantáneo ΔCF_t es mayor que cero, variando el valor de la señal de solicitud de par de frenado (205), para aumentar el par de frenado aplicado convertido por el medio de frenado (207); variándose el valor de la señal de solicitud de par de frenado (205) siempre que una diferencia total de par de frenado instantáneo ΔCF_t , calculada en uno de dichos momentos predeterminados en el tiempo que es posterior al alcance de dicho valor objetivo V_t por la señal de solicitud de par de frenado (205), no tenga un valor nulo o negativo, o siempre que la señal de máxima adherencia disponible (204) no haya indicado el logro de la máxima adherencia disponible mediante un eje controlado por dicho módulo de control de frenado (201); aumentándose el par de frenado aplicado según un segundo gradiente de par predeterminado.

2. Sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario según la reivindicación 1, en el que cuando el módulo de control de frenado (201) recibe los valores de par de frenado efectivo instantáneo CFe de los demás módulos de control de frenado (201) y los valores de par

de frenado instantáneo solicitado CFe de los demás módulos de control de frenado (201), la etapa de calcular cíclicamente una diferencia total de par de frenado ΔCFt se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta CFt = \sum_{i=0}^n (CFr_i - CFe_i)$$

donde n indica el número total de módulos de control de frenado (201), CFri indica el valor de par de frenado requerido instantáneo del i-ésimo módulo de control y CFei indica el valor de par de frenado efectivo instantáneo del i-ésimo módulo de control de frenado.

3. Sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario según la reivindicación 1, en el que el módulo de control de frenado (201) recibe la diferencia local de par de frenado ΔCFI de todos los demás módulos de control de frenado (201), la etapa de calcular cíclicamente una diferencia total de par de frenado ΔCFt se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta CFt = \sum_{i=0}^n \Delta CFI_i$$

donde n indica el número total de módulos de control de frenado (201) y ΔCFI_i indica la diferencia local del par de frenado del i-ésimo módulo de control de frenado.

4. Sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, si las ruedas (208) del al menos un eje controlado por dicho módulo de control de frenado (201) empieza a deslizarse, la señal de solicitud de par de frenado (205) se modula por un módulo de WSP (206) antes de suministrarse a los medios de frenado (207).
5. Sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada medio de frenado (207) comprende un freno de fricción o un freno regenerativo electrodinámico o una composición porcentual variable de un freno de fricción y de un freno regenerativo electrodinámico.
6. Sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el valor de la señal de solicitud de desaceleración (202) es indicativa de un valor de par de frenado o de presión de frenado neumática que permite derivar, a través de una fórmula de conversión específica, un valor de desaceleración esperado del vehículo ferroviario que va a alcanzarse.
7. Sistema de control de frenado para al menos un vehículo ferroviario según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la generación del par de frenado o presión neumática por uno de dichos medios de frenado (207) se interrumpe cuando se alcanza un valor predeterminado de par de frenado o presión neumática.
8. Sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo de control de frenado (201) regula el valor de la señal de solicitud de par de frenado (205) para reducir, mediante etapas o de manera continua, el par de frenado o la presión neumática generado por el al menos un medio de frenado (207) en un valor predeterminado, cuando la señal de logro de máxima adherencia disponible (204) señala el logro de máxima adherencia disponible mediante al menos un eje controlado por dicho módulo de control de frenado (201).
9. Sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el segundo gradiente de par de cada módulo de control de frenado (201) es independiente de cualquier otro segundo gradiente de par de cualquier otro módulo de control de frenado (201).
10. Sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario según las reivindicaciones 1 a 8, en el que el primer gradiente de par es el mismo para cada módulo de control de frenado (201) de un vehículo ferroviario y/o el segundo gradiente de par es igual para cada módulo de control de frenado (201) de un vehículo ferroviario.
11. Sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario según

cualquier reivindicación 1 a 9, en el que los gradientes de par primero y segundo se calibran por cada módulo de control de frenado (201) según la señal de peso (203) recibida por cada módulo de control de frenado (201).

- 5 12. Sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada módulo de control de frenado (201) activa al menos un medio de recuperación de adherencia (211) que comprende un arenero o un inyector dispensador de material para la recuperación de adherencia, y desactiva dicho medio de recuperación de adherencia (211) tras alcanzar un valor de deslizamiento predeterminado o un valor de adherencia mínimo instantáneo predeterminado.
10
13. Sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo de control de frenado (201) activa al menos una zapata electromagnética y la desactiva cuando se alcanza un valor de deslizamiento mínimo predeterminado o tras alcanzar un valor de adherencia mínimo instantáneo predeterminado.
15
14. Sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo de control de frenado (201) es un sistema de microprocesador (712).
20
15. Sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario según una de las reivindicaciones 1 a 13, en el que el módulo de control de frenado es un módulo electroneumático (811).
- 25 16. Sistema de control de frenado de emergencia y de servicio para al menos un vehículo ferroviario según una de las reivindicaciones 1 a 13, en el que el módulo de control de frenado es un módulo de control electrónico de presión de pesaje (910).

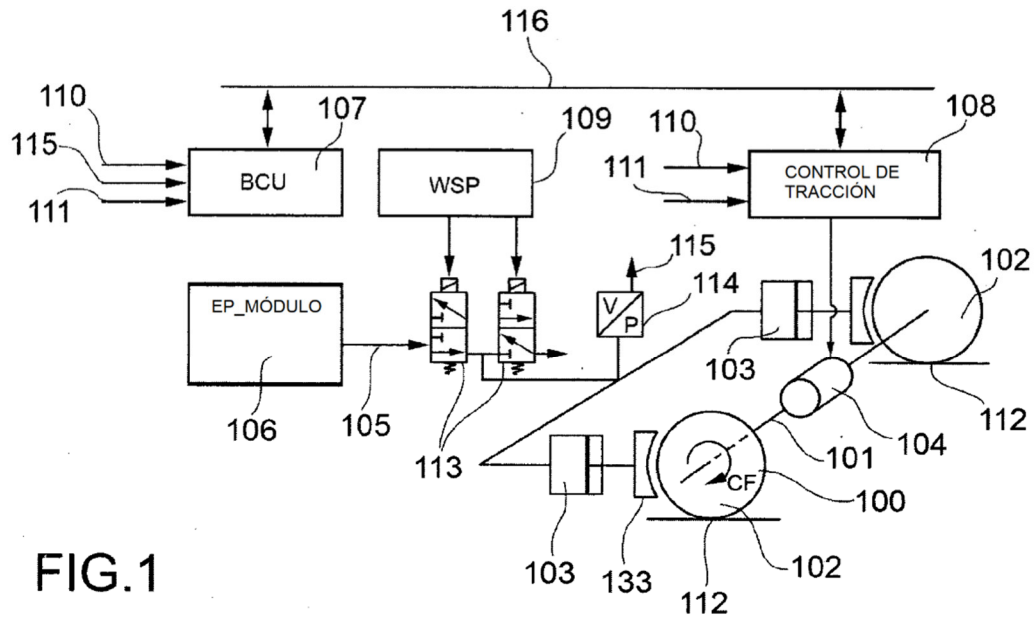


FIG.1

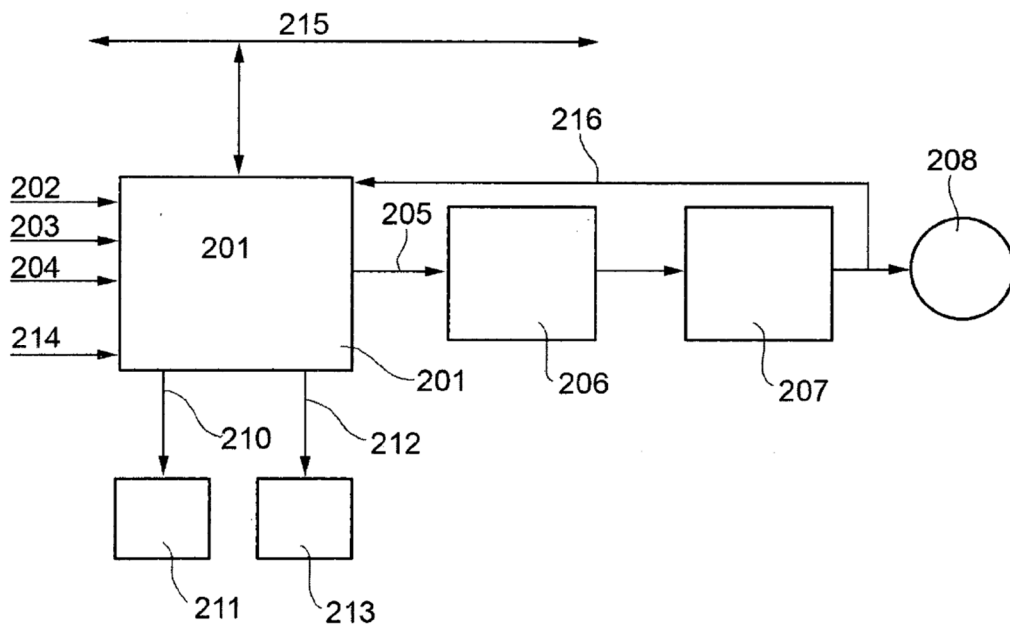


FIG.2

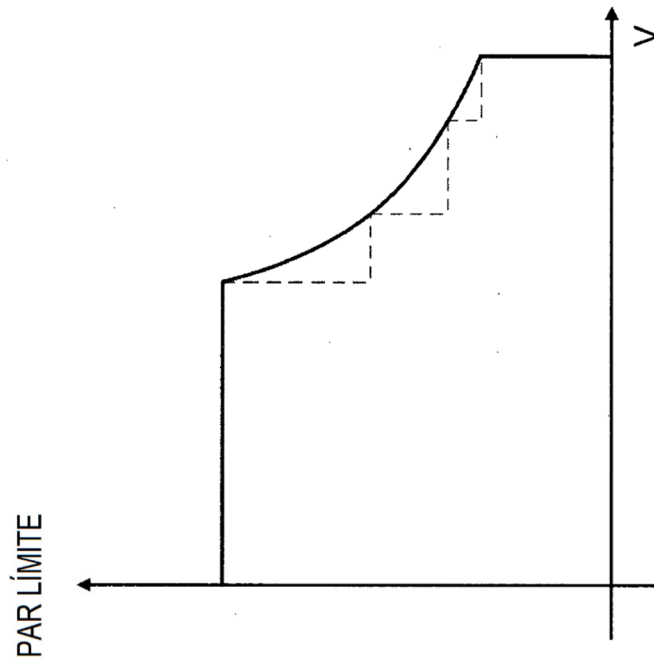


FIG. 4

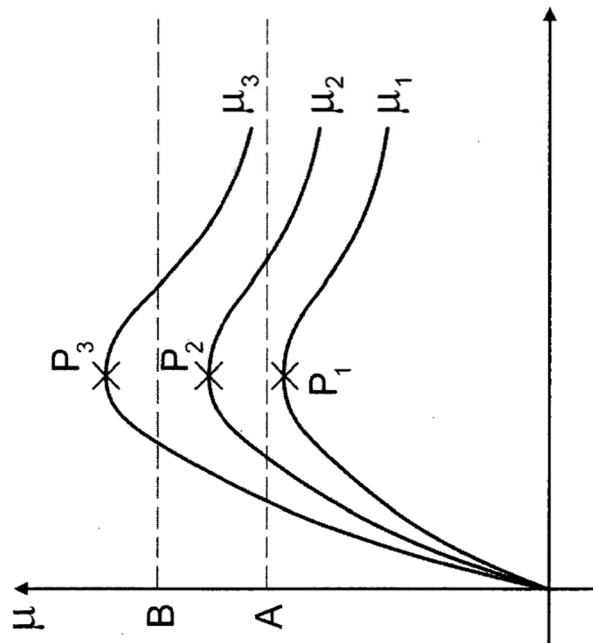


FIG. 3

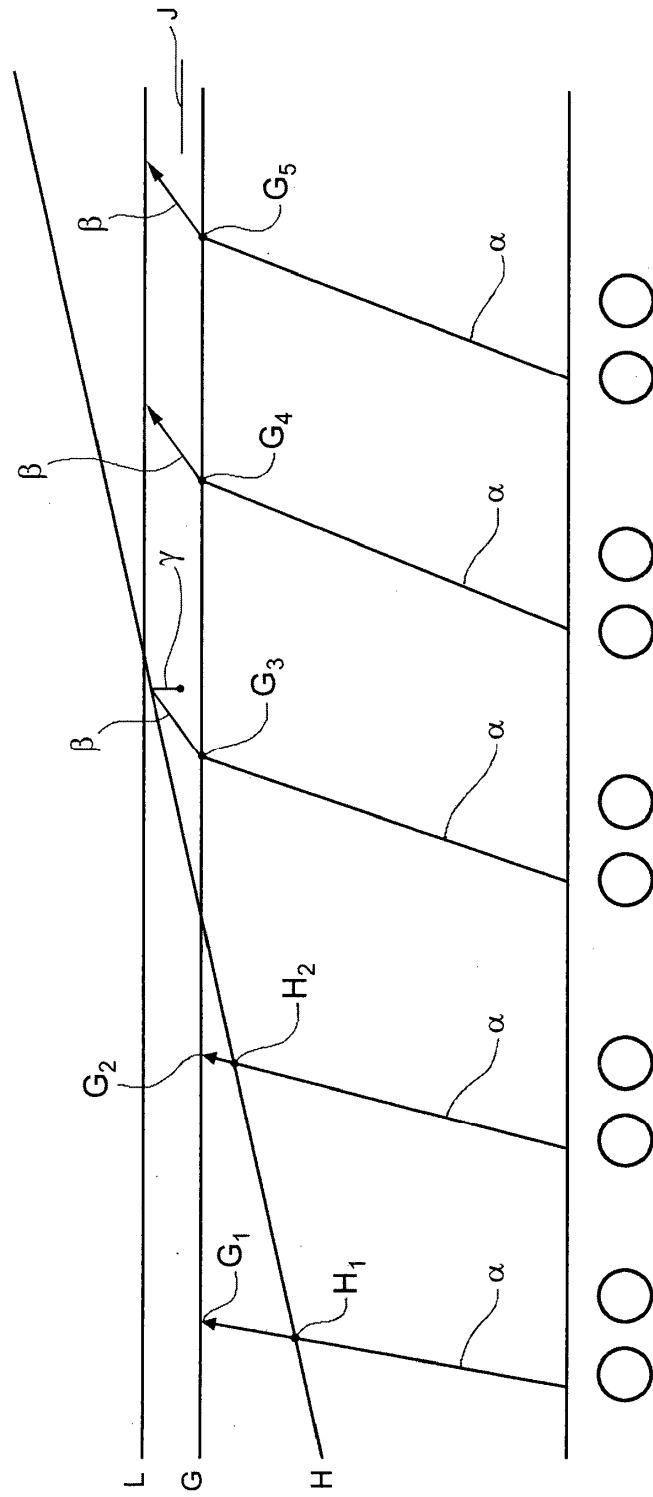
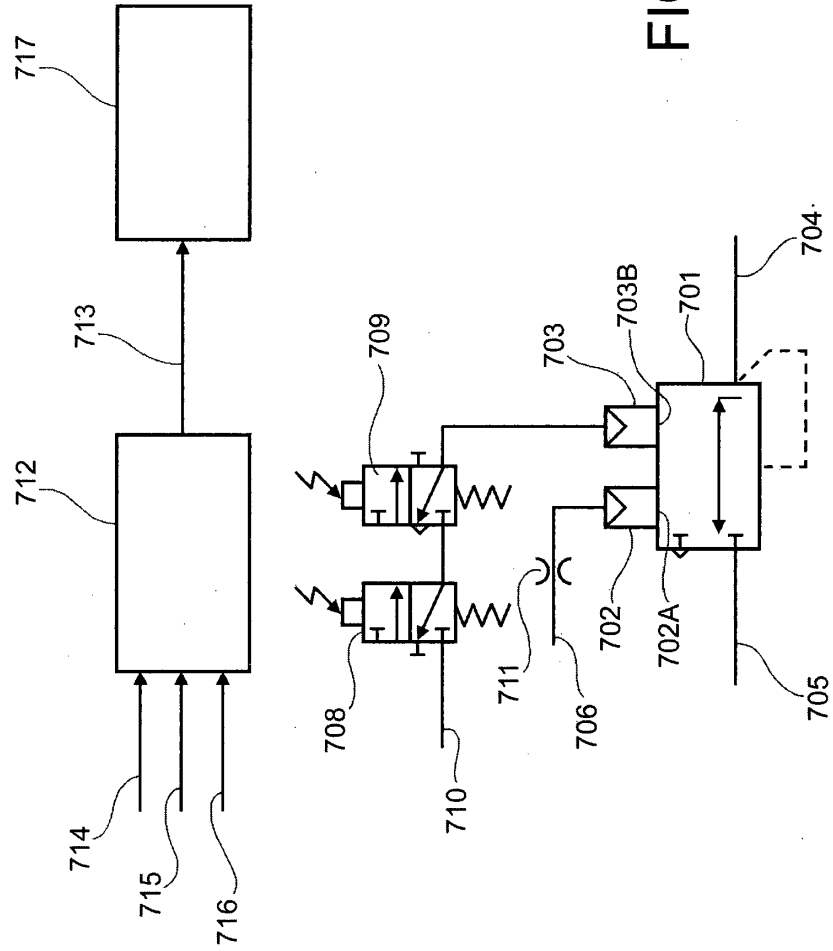


FIG. 5



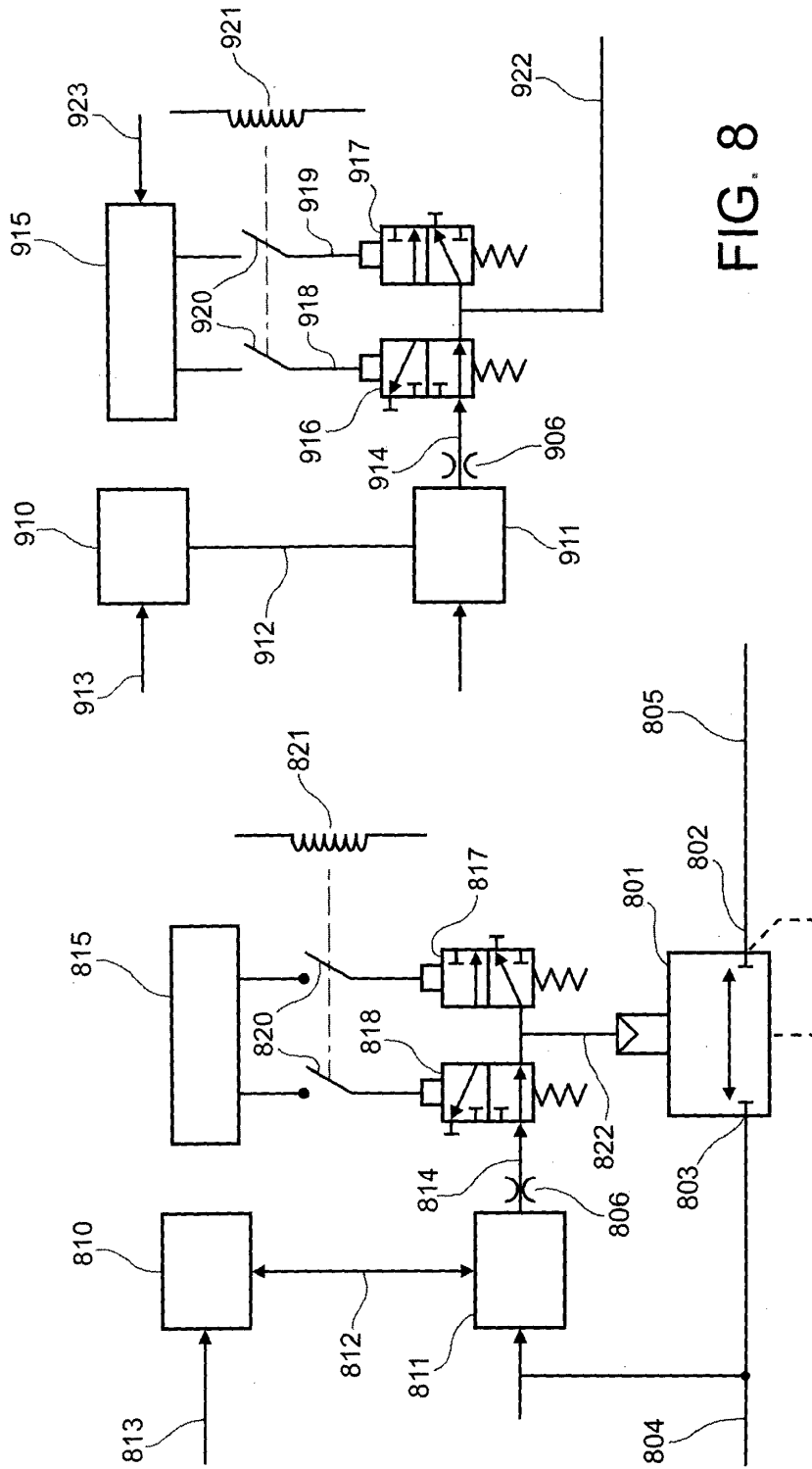


FIG. 7

FIG. 8

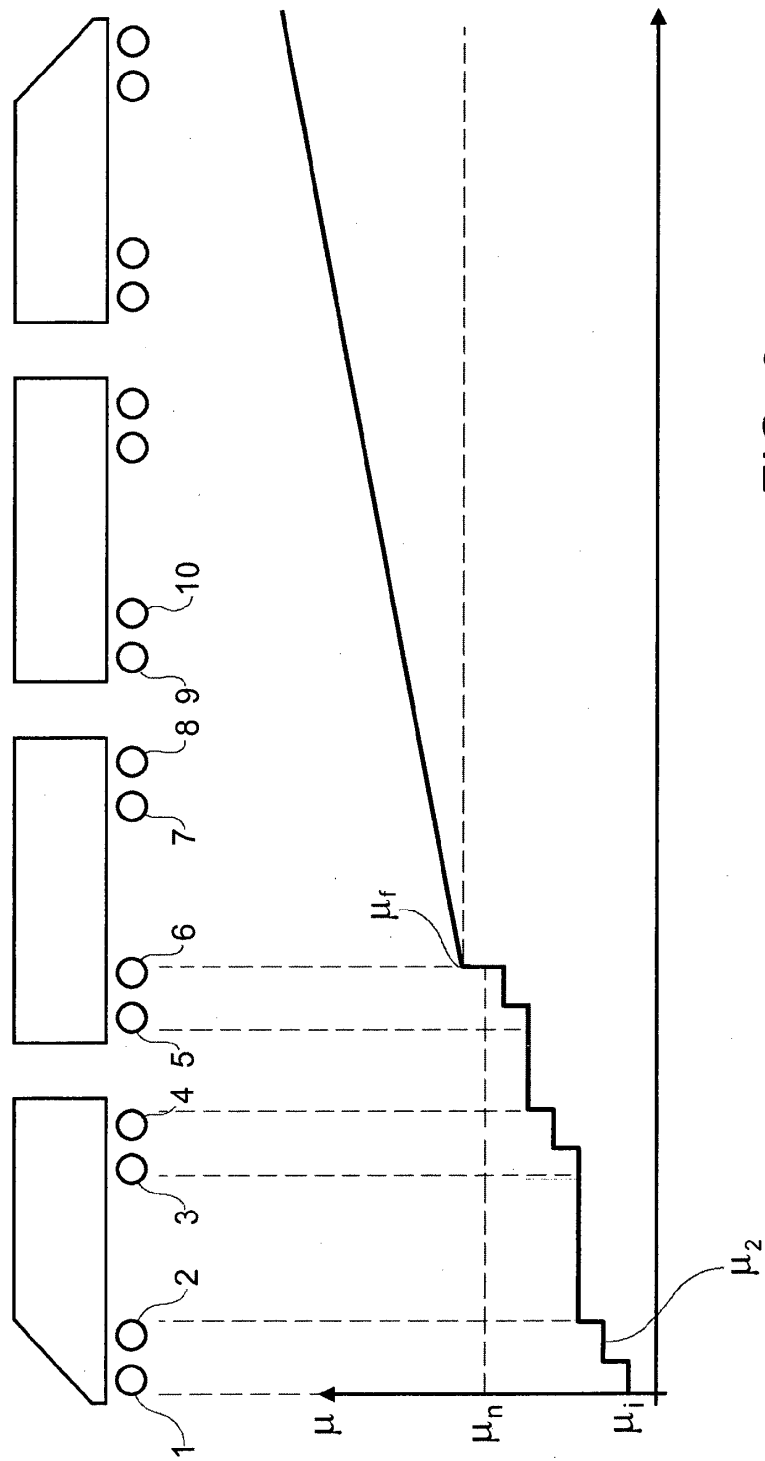


FIG. 9

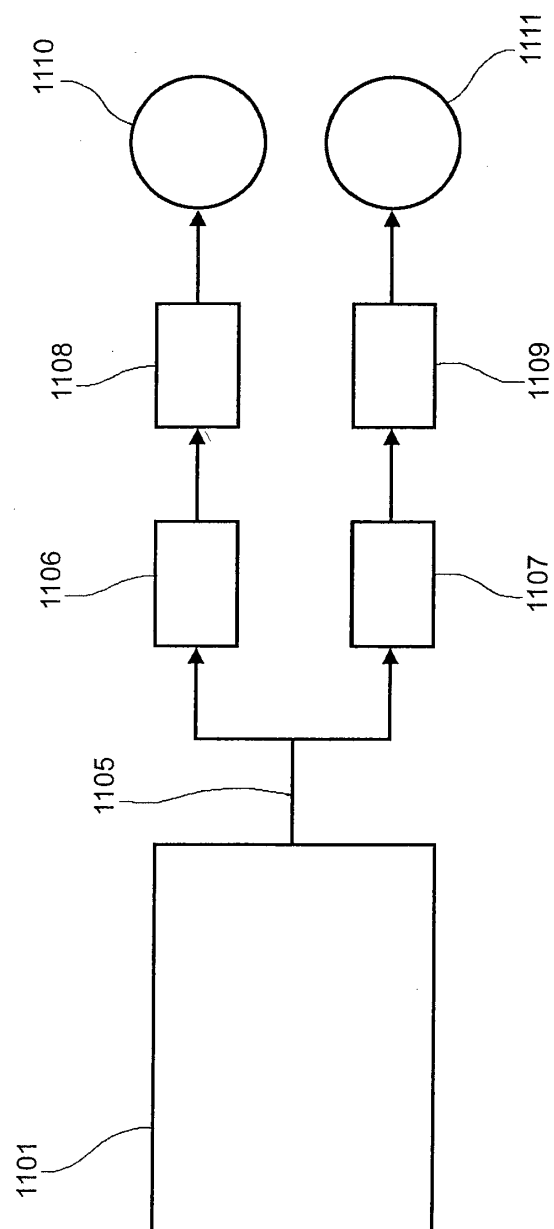


FIG. 10