

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 708 332**

51 Int. Cl.:

<b>B60L 7/00</b>	(2006.01)
<b>B60L 7/04</b>	(2006.01)
<b>B60L 7/08</b>	(2006.01)
<b>B60L 15/20</b>	(2006.01)
<b>H02P 3/22</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.11.2015 PCT/EP2015/077875**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.07.2016 WO16107707**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.11.2015 E 15804366 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.10.2018 EP 3201034**

54 Título: **Freno eléctrico fiable para un motor sincrónico**

30 Prioridad:

**29.12.2014 EP 14200387**

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

**09.04.2019**

73 Titular/es:

**SIEMENS MOBILITY GMBH (100.0%)  
Otto-Hahn-Ring 6  
81739 München, DE**

72 Inventor/es:

**AMLER, GERALD y  
BERGNER, HANS**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 708 332 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

Freno eléctrico fiable para un motor sincrónico

5 La presente invención hace referencia a un procedimiento para el control fiable del momento de frenado de un sistema de accionamiento con una máquina sincrónica. La invención hace referencia, además, a un sistema de accionamiento y a un vehículo, particularmente un vehículo ferroviario, con un sistema de accionamiento de este tipo.

Los sistemas de accionamiento que presentan un convertidor de corriente y un motor, también denominado máquina eléctrica, pueden proveer un momento de rotación muy preciso en el árbol del motor. Esto incluye tanto momentos para la aceleración del motor, como momentos de frenado para frenar el motor.

10 Dicha circunstancia se observará a continuación en detalle tomando como ejemplo vehículos ferroviarios. En la actualidad, los vehículos ferroviarios se accionan en la mayoría de los casos eléctricamente. Un motor se ocupa de que el vehículo pueda acelerarse pero también de frenarlo. En el frenado mediante el motor se realimenta energía eléctrica que después se conduce a la red de alimentación o se consume mediante las resistencias de frenado. Adicionalmente al freno eléctrico, los vehículos poseen también un freno mecánico, también denominado freno de fricción, con discos de freno o frenos de rueda. Este segundo dispositivo de frenado mecánico se necesita ante todo para poder frenar el vehículo de manera fiable ante una falla del freno eléctrico. Los sistemas de accionamiento actuales funcionan de manera tan fiable que el freno mecánico prácticamente se necesita sólo para el freno estacionario en el estado de reposo, aunque también debe estar diseñado para todo el rango de velocidades.

20 Los requisitos reglamentarios exigen un frenado fiable del vehículo, que lleve el vehículo de manera fiable al estado de reposo en cualquier estado del vehículo. En la actualidad está proporcionado para ello el freno mecánico, que posee un diseño constructivo claro que permite comprender de manera sencilla el modo de funcionamiento. El mismo está sin embargo sujeto a un desgaste de modo que requiere un mantenimiento regular.

25 Con las regulaciones que se realizan en la actualidad en el convertidor de corriente se pueden ajustar, dentro de los datos nominales de máquina y convertidor de corriente, los momentos de rotación discretos y con ello también los momentos de frenado. Sin embargo, la regulación del convertidor de corriente es muy compleja a causa de sus variadas magnitudes de entrada y operaciones internas. Por esta razón, resulta sumamente difícil comprobar una regulación que sea libre de fallas para todos los tipos de estado de vehículo y de funcionamiento posibles. Así, el convertidor de corriente con su modo de regulación actual, resulta apropiado sólo como freno de servicio que se completa para garantizar las exigencias de seguridad con un freno mecánico ejecutado en el vehículo y con sus parámetros característicos.

30 Por la solicitud DE 101 60 612 A1 es conocido un accionamiento por tracción con un convertidor de tracción y una máquina sincrónica de excitación permanente. En una máquina sincrónica, también denominada motor sincrónico, se puede generar de manera sencilla un momento de frenado conectando los bornes de la máquina sincrónica con las resistencias. La solicitud describe la conmutación en un grupo de resistencia para frenar de forma fiable el vehículo. El momento de frenado se ajusta sobre los parámetros de la máquina y de los valores de resistencia, así como del número de revoluciones.

Por la solicitud US 2012/0043817 A1 se conoce un sistema de accionamiento para una aplicación con una red de tensión alterna aislada. Este sistema de accionamiento presenta una máquina eléctrica trifásica que puede funcionar como un motor o como un generador.

40 La presente invención tiene por objeto especificar un procedimiento para el control fiable del momento de frenado de un sistema de accionamiento con una máquina sincrónica, en el cual se obtiene de forma fiable un momento de frenado que puede ser controlado.

45 Dicho objeto se resuelve mediante un procedimiento para el control fiable del momento de frenado de un sistema de accionamiento; en donde el sistema de accionamiento presenta una máquina sincrónica y un dispositivo de conmutación; en donde la máquina sincrónica presenta conexiones de fase; en donde el dispositivo de conmutación, en un primer estado, conecta las conexiones de fase entre sí de tal modo que en la máquina sincrónica se genera un primer momento de frenado  $M_{Br1}$ , y en un segundo estado, conecta las conexiones de fase entre sí de modo tal que en la máquina sincrónica se genera un segundo momento de frenado  $M_{Br2}$ ; en donde el dispositivo de conmutación conmuta entre los estados de modo que en la media temporal, en la máquina sincrónica resulta un momento de frenado  $M^*$  predeterminable. Dicho objeto se resuelve además mediante un sistema de accionamiento para implementar el procedimiento para el control fiable del momento de frenado; en donde el sistema de accionamiento presenta una máquina sincrónica y un dispositivo de conmutación; en donde la máquina sincrónica presenta conexiones de fase; en donde el dispositivo de conmutación está conectado eléctricamente con las conexiones de fase; en donde el dispositivo de conmutación presenta un primer y un segundo estado; en donde al menos un valor

de las impedancias entre las conexiones de fase en el primer y el segundo estado del dispositivo de conmutación se diferencian entre sí. Además, este objeto se resuelve mediante un vehículo, particularmente un vehículo ferroviario, con un sistema de accionamiento en correspondencia.

Los acondicionamientos ventajosos de la presente invención se indican en las reivindicaciones relacionadas.

5 La presente invención se basa en el conocimiento de que una máquina sincrónica, particularmente una máquina sincrónica de excitación permanente, resulta apropiada para garantizar un frenado fiable. La máquina sincrónica tiene la propiedad de que tan pronto como la misma rota, genera una tensión que conduce corrientes a través de resistencias y con ello a un momento de frenado. De esta manera, se puede realizar con pocos elementos un freno eléctrico simple. Por los pocos elementos, este freno es apropiado para cumplir las condiciones reglamentarias para un freno eléctrico fiable. A causa de la reducida complejidad, resulta posible de manera relativamente sencilla la comprobación de la seguridad requerida.

Junto a la realización fiable de la acción de frenado, el freno debe poder ser controlado para, por ejemplo, no sobrepasar el valor máximo de rozamiento entre la rueda y el raíl.

15 Para utilizar la menor cantidad posible de componentes adicionales que sean elementos para efectuar el control, que aumentarían la complejidad del control y dificultarían la comprobación de la seguridad, para la generación del momento de frenado, se proporciona un dispositivo de conmutación en el sistema de accionamiento. El objeto del dispositivo de conmutación consiste en que el dispositivo de conmutación conecte las conexiones de fase de la máquina sincrónica de modo que en al menos dos estados del dispositivo de conmutación se generen dos momentos de frenado diferentes en la máquina sincrónica. Aquí, se ha demostrado como ventajoso cuando en un primer estado del dispositivo de conmutación, las conexiones de fase de la máquina sincrónica están en cortocircuito; y en un segundo estado del dispositivo de conmutación, las conexiones de fase, preferentemente simétricamente unas con respecto a otras, se conectan con al menos una resistencia. Para la realización de la simetría, se ha demostrado como ventajoso que se rectifican las corrientes de las conexiones de fase, por ejemplo mediante un puente de diodos B6, y finalmente se suministre la corriente rectificada a una resistencia. Por medio de la conmutación entre los dos estados del dispositivo de conmutación, se realiza un momento de frenado en la máquina sincrónica, el cual se corresponde con el promedio temporal a partir del primer momento de frenado aplicado y del segundo momento de frenado aplicado. Un correspondiente valor teórico, también denominado momento de frenado predeterminable, puede predeterminar el control. Se ha demostrado que resulta particularmente conveniente cuando la conmutación tiene lugar en el orden de magnitud de 10 Hz. En esta frecuencia de conmutación o en frecuencias de conmutación mayores, a causa de la inercia del sistema de accionamiento, una oscilación del momento de frenado no repercute realmente sobre el número de revoluciones o en la velocidad del sistema de accionamiento.

35 Como dispositivo de conmutación también se puede utilizar un convertidor de corriente autoconmutado, ya presente en el sistema de accionamiento, con una o varias unidades de frenado en el circuito intermedio. Al utilizar varias unidades de frenado, se pueden conseguir más estados del dispositivo de conmutación, a partir de las cuales se puede generar el momento de frenado predeterminable en la máquina sincrónica. Se denomina unidad de frenado a un circuito en serie de resistencia e interruptor, en donde dicho circuito en serie está dispuesto eléctricamente en paralelo con respecto a un condensador de circuito intermedio del convertidor de corriente autoconmutado. El interruptor está realizado en este caso por lo general como un interruptor electrónico de potencia, con lo cual el mismo puede implementarse para conmutaciones rápidas hasta en el rango de kHz. En el estado bloqueado de los semiconductores de potencia del convertidor de corriente autoconmutado, los diodos libres conducen la corriente del convertidor de corriente autoconmutado cuando la tensión del circuito intermedio desciende por la resistencia de frenado. La energía de frenado se transforma mediante la resistencia de frenado en calor. El interruptor, que conecta la resistencia de frenado con el circuito intermedio, puede realizarse, recurriendo a la menor electrónica posible, por ejemplo como un contactor que durante el frenado conecta de forma permanente la resistencia de frenado. Mediante la selección del valor de resistencia está determinada la fuerza de frenado a través del número de revoluciones, o bien de la velocidad.

50 A fin de conseguir un control del momento de frenado particularmente ventajoso, el convertidor de corriente autoconmutado debe ser controlado de modo que se pase periódicamente desde el estado "corriente a través de diodos libres", en el cual las conexiones de fase están conectadas eléctricamente mediante diodos libres con la resistencia de la unidad de frenado, al estado "cortocircuito", en el cual las conexiones de fase de la máquina sincrónica están en cortocircuito por medio de los interruptores de semiconductores de potencia del convertidor de corriente autoconmutado. A causa de las altas inductancias de la máquina sincrónica, particularmente en máquinas sincrónicas excitadas de manera permanente, durante el cortocircuito de las conexiones de fase no aparecen corrientes inadmisiblemente elevadas para el convertidor de corriente autoconmutado. En la mayoría de los casos, las corrientes de cortocircuito son insignificadamente mayores a las corrientes nominales. Con el cortocircuito de la máquina eléctrica, donde la máquina eléctrica también se denomina motor, resulta otra curva característica de frenado, que justamente en números altos de revoluciones probablemente no presenta momento de rotación. Mediante la conmutación periódica de los estados, se intercambia entre las curvas características de frenado. Según

la relación de la duración de los dos estados, se puede alcanzar en la media una curva característica de frenado, que se ubica entre la curva característica de la resistencia y del cortocircuito. De esta manera, resulta posible, desde la velocidad máxima hasta velocidades bajas, un control del momento de frenado continuo entre el momento máximo y momentos mínimos.

5 Dicho control del momento de frenado no requiere una regulación de la máquina o de la corriente, por ejemplo utilizando magnitudes de máquinas. Sólo por el sistema antideslizante, también conocido en otros vehículos como sistema antibloqueo de ruedas, abreviado ABS, se puede requerir más o menos momento, y con ello el momento de rotación desciende o se incrementa nuevamente en contraposición al valor máximo.

10 En la ausencia de número de revoluciones, las curvas características de cortocircuito y de resistencia del momento de frenado se cruzan. En este punto, ya no resulta posible ajustar el momento de rotación mediante este procedimiento. En este número de revoluciones, o bien a esta velocidad, se consigue un control sincronizando el interruptor de la unidad de frenado, o sea con una activación periódica. La sincronización de la unidad de frenado, con un grado de modulación  $< 1$ , actúa como un incremento de la resistencia conectada. De esta manera, resulta por ejemplo en una resistencia de 1 Ohm y un grado de modulación de 50%, una curva característica como en una resistencia de 2 Ohm y un grado de modulación de 100%. En este caso, 100% de grado de modulación significa que el interruptor se conecta de manera permanente.

20 Mediante la sincronización del interruptor de la unidad de frenado, resulta otra posibilidad de influencia, también en números elevados de revoluciones. Porque el valor de la resistencia de frenado determina la posición del momento de frenado máximo, es así posible un desplazamiento de este máximo a través de un grado de modulación de la unidad de frenado. De esta manera, dependiendo del grado de modulación, se puede cambiar en el medio de una curva característica, a una curva característica reducida. Si se utiliza esta posibilidad de ajuste, la resistencia se puede dimensionar relativamente con bajas resistencias, de modo que el momento de frenado máximo se alcanza en una velocidad baja. Por encima de esta velocidad, se puede entonces elevar la resistencia de frenado efectiva, mediante la activación de la unidad de frenado, de modo que el momento de frenado máximo esté disponible hasta velocidades máximas.

25 En el caso de números de revoluciones muy reducidos, particularmente cerca del estado de reposo, ya no resulta sin embargo posible un freno eléctrico mediante el procedimiento presentado. Allí, el vehículo debe ser llevado al estado de reposo mediante un simple freno de estacionamiento. La energía de frenado que debe ser transformada en calor para este último resto de velocidad en el freno, es menor en factores a la energía total de un tren con velocidad máxima. Por ello, el freno mecánico restante puede ser diseñado con apenas factor térmico y por tanto muy económico.

30 La conmutación entre las curvas características de cortocircuito y de resistencia del momento de frenado puede ser realizado en una forma de configuración ventajosa mediante un relé temporizador, para ajustar el promedio temporal de las curvas características. Para el frenado del vehículo sería suficiente una tasa de repetición de aproximadamente 10Hz para que una oscilación del momento de frenado del vehículo no resulte perceptible. La ventaja se presenta en la ejecución de regulada. Otra forma de ejecución posible consiste en sincronizar la relación de pulso/pausa en el número de revoluciones de la máquina. El número de revoluciones, o bien, la frecuencia de las magnitudes eléctricas se pueden obtener por ejemplo de las corrientes de motor medidas. De esta manera, el estado "cortocircuito" adopta un número fijo por cada período de oscilación fundamental. En un ajuste continuo de la relación de pulso/pausa no se presentan fenómenos transitorios. Además, tampoco se requiere de una regulación de la corriente. La relación de pulso/pausa se puede predeterminar de forma fija. Sólo la frecuencia se determina mediante la sincronización.

35 Como ya se describió anteriormente, también la sincronización del interruptor de la unidad de frenado, para ampliar la región de curva característica del momento de frenado, se puede ajustar controladamente a partir de las variables de estado. Por ejemplo, el grado de modulación puede variar independientemente del número de revoluciones. Tampoco aquí resulta necesaria una regulación.

40 En el funcionamiento de diodos, en la resistencia la corriente fluye al mismo tiempo no a través de seis, sino de tres diodos libres. Según el signo de la corriente, a través de un diodo libre superior o de uno inferior. Aquí pueden presentarse los siguientes estados de conmutación: O bien a través de un diodo libre superior y dos inferiores, o a la inversa, a través de dos diodos libres superiores y uno inferior. En total existen seis posibles combinaciones. Por esta razón, para la transición al cortocircuito no resulta necesario conectar en el convertidor de corriente tres interruptores de semiconductores de potencia del convertidor de corriente. Es suficiente conectar un único interruptor de semiconductores de potencia del convertidor de corriente, y en efecto, aquel que se encuentra en la misma mitad (superior o inferior) del convertidor de corriente como los diodos libres conductores. Esto se puede determinar mediante una lógica sencilla a partir de los signos de las corrientes. Con este procedimiento, la frecuencia de conmutación de los semiconductores de potencia se corresponde con la frecuencia base del motor, lo cual también minimiza las pérdidas del convertidor de corriente.

El procedimiento descrito también es aplicable cuando en lugar de la unidad de frenado o complementariamente a la unidad de frenado se utiliza un dispositivo de resistencia externo.

5 Igualmente, es posible conectar en paralelo otro rectificador y otra resistencia, a los diodos libres del convertidor de corriente. La reducción del momento de frenado a través de cortocircuito por medio del convertidor de corriente funciona tal como se describió.

10 Se puede determinar con qué potencia frena realmente el motor a partir de un simple cálculo de tensiones y corrientes en el motor. De esta manera, para un incremento de la seguridad, se puede comprobar sencilla y efectivamente la eficacia del freno. Esto incrementa la seguridad del freno eléctrico y simplifica la homologación de un procedimiento de este tipo para un vehículo, particularmente un vehículo ferroviario. De manera alternativa, el cálculo del momento de frenado presente en la máquina sincrónica puede llevarse a cabo mediante la medición de tensión y corriente en la resistencia. A partir de estas magnitudes se puede determinar si el vehículo ferroviario efectivamente frena y si el momento de frenado se corresponde con el valor teórico. De esta manera, se puede realizar de manera sencilla y fiable un monitoreo del procedimiento para el control fiable del momento de frenado.

15 A continuación, la presente invención se explica en detalle mediante los ejemplos de ejecución representados en las figuras. En ellos se muestra:

en la figura 1 y la figura 2, el desarrollo a modo de ejemplo del momento de frenado a través de la velocidad, para dos valores diferentes de resistencia;

en la figura 3, el desarrollo a modo de ejemplo de dos momentos de frenado;

en la figura 4, un primer ejemplo de ejecución de la invención;

20 en la figura 5, un segundo ejemplo de ejecución de la invención; y

en la figura 6, otro ejemplo de ejecución de con un convertidor de corriente autoconmutado como un dispositivo de conmutación.

25 La figura 1 muestra el desarrollo del momento de frenado  $M_{Br}$  a través del número de revoluciones, para el caso en el que las conexiones de fase 20 están conectadas eléctricamente cada una con una resistencia 4 con un valor  $R_1$ . En la figura 2 está representado el desarrollo para una segunda resistencia 4 con un valor  $R_2$  con  $R_2 < R_1$ . Se puede reconocer claramente que el máximo del momento de frenado  $M_{Br}$  alcanzable para resistencias 4 inferiores aparece en velocidades inferiores. En un número de revoluciones cero, independientemente del valor de resistencia, no se puede alcanzar un momento de frenado  $M_{Br}$  en la máquina sincrónica 2. Para poder conseguir también en un estado de reposo, un momento de frenado en el sistema de accionamiento, se debe proporcionar otro freno en el sistema de accionamiento 1, como por ejemplo un freno mecánico.

30 La figura 3 muestra por un lado el desarrollo del momento de frenado  $M_{Br1}$ , en donde el mismo se genera porque las conexiones de fase 20 de la máquina sincrónica 2 están en cortocircuito; y por otro lado el desarrollo de un segundo momento de frenado  $M_{Br2}$ , en el cual las conexiones de fase 20 están conectadas mediante al menos una resistencia 4. La región que se encuentra entre ambas curvas, puede ser utilizada a través del procedimiento para un control fiable del momento de frenado  $M_{Br}$ , para generar un momento de frenado  $M_{Br}$  en la máquina sincrónica 2. La región por encima del segundo momento de frenado, al menos la parte que se encuentra a la derecha del máximo del segundo momento de frenado  $M_{Br2}$ , puede entonces ser generada en la máquina sincrónica 2 cuando el dispositivo de conmutación 2 presenta un interruptor 3, el cual interrumpe temporalmente el flujo de corriente a través de la resistencia 4. Con esta interrupción, se puede incrementar la resistencia efectiva en las conexiones de fase 20, lo que conduce a un desplazamiento del máximo hacia números de rotación más elevados.

35 La figura 4 muestra un primer ejemplo de ejecución de la invención. El sistema de accionamiento 1 presenta aquí una máquina sincrónica 2, particularmente una máquina sincrónica 2 de excitación permanente, y un dispositivo de conmutación 3, los cuales están conectados eléctricamente entre sí mediante las conexiones de fase 20. El dispositivo de conmutación 3 comprende un interruptor de dispositivo de conmutación 31. El mismo, en una posición superior representada del interruptor de dispositivo de conmutación 31, cortocircuita las conexiones de fase 20; mientras que el interruptor de dispositivo de conmutación 31, en una segunda posición, o sea, en la posición inferior del interruptor de dispositivo de conmutación 31 representado, conecta entre sí las conexiones de fase 20 de la máquina sincrónica mediante una conexión en estrella de resistencias 4. La conexión en estrella se forma por una conexión entre los contactos de interruptor del interruptor de dispositivo de conmutación 31 y un punto de estrella 30; en donde en esta conexión está dispuesta respectivamente la resistencia 4. Se ha demostrado como ventajoso proporcionar los mismos valores de resistencia para las resistencias 4 representadas. De esta manera, el momento de frenado es constante a lo largo de una rotación de motor. De esta manera se evitan los molestos tirones, por ejemplo en un vehículo o en un vehículo ferroviario.

El ejemplo de ejecución de a figura 5 es comparable con el ejemplo de ejecución de la figura 4, con un número más reducido de resistencias 4. Para evitar repeticiones, se remite a la descripción de la figura 4, así como a los símbolos de referencia introducidos allí. También en el ejemplo de ejecución de la figura 5 se consigue un momento de frenado homogéneo a través de la rotación total de la máquina sincrónica 2 gracias a las condiciones simétricas logradas por la rectificación en relación a todas las conexiones de fase 20. La rectificación de las corrientes de las conexiones de fase 20 se realiza mediante el medio 6 para la rectificación. En este ejemplo de ejecución esto se realiza a través de un puente de diodos. Este puente de diodos también se denomina puente B6 no controlado o puente de diodos B6. El mismo no necesita de un control y puede integrarse de manera económica en el dispositivo de conmutación 3.

La figura 6 muestra un ejemplo de ejecución, en donde el dispositivo de conmutación está conformado por un convertidor de corriente 11 autoconmutado. Para evitar repeticiones, se remite a la descripción de las figuras 1 a 5, así como a los símbolos de referencia introducidos allí. El convertidor de corriente 11 presenta una unidad de frenado 7, un condensador de circuito intermedio 13 y semiconductores de potencia 13, 14. En el circuito intermedio se encuentra una unidad de frenado 7. La misma está dispuesta en paralelo al condensador de circuito intermedio 13. La unidad de frenado presenta un circuito en serie de la resistencia 4 y un interruptor 5. Los semiconductores de potencia 13, 14 del convertidor de corriente, o sea el interruptor de semiconductor de potencia 14 y los diodos libres, asumen el rol del interruptor del dispositivo de conmutación 31. Cuando no se activa ningún interruptor de semiconductor de potencia, las corrientes pueden fluir sólo mediante los diodos libres 15 del convertidor de corriente 11. Esto sucede cuando la tensión del circuito intermedio, o sea la tensión en el condensador del circuito intermedio 13, es menor a la amplitud de la tensión inducida por la máquina sincrónica 2. Eventualmente, la tensión del condensador de circuito intermedio 13 puede descender por la conexión del interruptor 5 tanto que los diodos libres 15 se vuelven conductores y una corriente fluye a través de la resistencia 4.

En este ejemplo de ejecución, el interruptor 5 puede estar realizado por ejemplo como un interruptor electrónico de potencia, como en la representación, o como un interruptor mecánico. En una conformación como interruptor electrónico de potencia, el mismo puede conmutar con una alta frecuencia. La conexión de un interruptor electrónico de potencia se denomina también como sincronización. Cuando se pretende un diseño constructivo particularmente sencillo, se puede implementar como interruptor 5 un interruptor mecánico, como por ejemplo un contactor. Este interruptor 5 no requiere de un sistema electrónico de control. Por este sencillo modo de activación, el interruptor mecánico es especialmente apropiado para equipos relevantes para la seguridad como el freno fiable de un vehículo.

En el primer estado del dispositivo de conmutación 3, las conexiones de fase 20 de la máquina sincrónica 2 se cortocircuitan. Esto sucede con la ayuda de los semiconductores de potencia 14, 15 del convertidor de corriente 11 autoconmutado. Para generar el cortocircuito, todas las conexiones de fase 20 se conectan bien con el potencial de circuito intermedio superior o con el inferior. Para ello, hay que conectar al menos un interruptor de semiconductor de potencia 14. En base a las direcciones de corriente de las corrientes  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  de las conexiones de fase 20, se decide si en el cortocircuito la correspondiente corriente de fase fluye a través del interruptor de semiconductor de potencia 14 o de los diodos libres 15. Cuando sólo hay que activar, o sea conectar, el interruptor de semiconductor de potencia, entonces resulta el cortocircuito de las conexiones de fase. Para evitar una lógica de selección para la activación del interruptor de semiconductor de potencia 15, para la generación de un cortocircuito se pueden activar todos los interruptores de semiconductor de potencia 15 superiores o todos los interruptores de semiconductor de potencia 15 inferiores. Con interruptores de semiconductor de potencia 15 superiores se denomina a los interruptores de semiconductor de potencia 15 que están conectados con el potencial positivo de circuito intermedio. Por interruptores de semiconductor de potencia 15 inferiores se entiende los interruptores de semiconductor de potencia 15 que están conectados con el potencial negativo de circuito intermedio.

En el segundo estado del dispositivo de conmutación 3, en el cual las conexiones de fase de la máquina sincrónica están conectadas con la resistencia 4, el interruptor 5 debe estar permanentemente conectado o sincronizado. Mediante la sincronización, o sea por la repetida conexión y desconexión del interruptor 5, se incrementa la resistencia 4 efectiva para el momento de frenado de la máquina sincrónica 2. De esta manera, incrementa el rango del momento de frenado que se puede alcanzar en la máquina sincrónica 2, como se describió en relación a la figura 3. Ya que en paralelo a la unidad de frenado 7 está dispuesto el condensador de circuito intermedio 13, el interruptor 5 puede abrirse de manera sencilla, incluso cuando las corrientes son empujadas por las inductancias de la máquina sincrónica 2, porque al desconectar el interruptor 5 resulta un trayecto de corriente a través del condensador de circuito intermedio 13 para dichas corrientes. Los interruptores de semiconductores de potencia 14 del convertidor de corriente 11 autoconmutado no se controlan en el segundo estado del dispositivo de conmutación 3, o sea que dichos interruptores de semiconductores de potencia 14 están desconectados.

Aunque la invención ha sido descrita e ilustrada en detalle a través de ejemplos de ejecución preferidos, dicha invención no está restringida a los ejemplos revelados, y otras variaciones pueden ser derivadas de aquí por el especialista sin abandonar el alcance de la presente invención.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el control fiable del momento de frenado de un sistema de accionamiento (1), en donde el sistema de accionamiento (1) presenta una máquina sincrónica (2) y un dispositivo de conmutación (3); en donde la máquina sincrónica (2) presenta conexiones de fase (20); en donde el dispositivo de conmutación (3), en un primer estado, conecta las conexiones de fase (20) entre sí de tal modo que en la máquina sincrónica (2) se genera un primer momento de frenado ( $M_{Br1}$ ), y en un segundo estado, conecta las conexiones de fase (20) entre sí de modo tal que en la máquina sincrónica (2) se genera un segundo momento de frenado ( $M_{Br2}$ ); en donde el dispositivo de conmutación (3) conmuta entre los estados de modo que en la media temporal, en la máquina sincrónica resulta un momento de frenado ( $M^*$ ) predeterminable; en donde para generar el primer momento de frenado ( $M_{Br1}$ ) se cortocircuitan las conexiones de fase (20) de la máquina sincrónica (2); en donde para generar el segundo momento de frenado ( $M_{Br2}$ ) las conexiones de fase (20) de la máquina sincrónica (2) se conectan con al menos una resistencia (4); caracterizado porque la conmutación tiene lugar periódicamente; en donde la conmutación entre los estados del dispositivo de conmutación (3) tiene lugar con una frecuencia de conmutación de 10 Hz o mayor; en donde el procedimiento se utiliza para frenar un vehículo, particularmente un vehículo ferroviario; en donde la conmutación entre los estados del dispositivo de conmutación (3) se controla mediante un relé temporizador; en donde la conmutación se realiza de manera no regulada por el relé temporizador.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde el estado "cortocircuito" adopta un número fijo de períodos de oscilación fundamental.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, en donde para incrementar la seguridad, se controla la eficacia del freno a partir de tensiones y corrientes en las conexiones de fases (20) de la máquina sincrónica (2), para considerar si se alcanza el momento de frenado predeterminado en la máquina sincrónica (2).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el sistema de accionamiento (1) presenta un freno mecánico; en donde ante el descenso por debajo de un número definido de revoluciones, o de una velocidad definida del vehículo, se activa un freno mecánico.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde para generar el segundo momento de frenado ( $M_{Br2}$ ), se rectifican corrientes ( $i_1, i_2, i_3$ ) de las conexiones de fase (20) de la máquina sincrónica (2), y después de la rectificación se suministran al menos a una resistencia (4).
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, en donde una corriente ( $i_R$ ) se interrumpe por la al menos una resistencia (4) mediante un interruptor (5) de modo tal que el valor de resistencia efectiva para generar el segundo momento de frenado ( $M_{Br2}$ ) se modifica, de modo que el segundo momento de frenado ( $M_{Br2}$ ) se modifica.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, en donde el dispositivo de conmutación (3) está conformado por un convertidor de corriente (11) autoconmutado; en donde el convertidor de corriente (11) autoconmutado, del lado de la corriente continua eléctricamente en paralelo con respecto a un condensador de circuito intermedio (13), presenta una conexión en serie de la resistencia (4) y del interruptor (5); en donde, en el primer estado del convertidor de corriente (11) autoconmutado, al menos un interruptor de semiconductor de potencia (14) del convertidor de corriente (11) autoconmutado se controlan de modo que las conexiones de fase (20) se cortocircuitan y en el segundo estado del convertidor de corriente (11) autoconmutado no se controlan, de modo que las conexiones de fase (20) están conectadas mediante diodos libres (15) con la resistencia (4).
8. Sistema de accionamiento (1) para implementar el procedimiento para el control fiable del momento de frenado según una de las reivindicaciones 1 a 7, en donde el sistema de accionamiento (1) presenta una máquina sincrónica (2) y un dispositivo de conmutación (3); en donde la máquina sincrónica (2) presenta conexiones de fase (20); en donde el dispositivo de conmutación (3) está conectado eléctricamente con las conexiones de fase (20); en donde el dispositivo de conmutación (3) presenta un primer y un segundo estado; en donde en un primer estado del dispositivo de conmutación (3), las conexiones de fase (20) están en cortocircuito; en donde en un segundo estado del dispositivo de conmutación (3), las conexiones de fase (20) de la máquina sincrónica (2) están conectadas con al menos una resistencia (4); caracterizado porque el sistema de accionamiento presenta un relé temporizador, con el cual la conmutación entre los estados del dispositivo de conmutación (3) es periódicamente controlable y con una frecuencia de conmutación de 10 Hz o mayor, en donde la conmutación se realiza de manera no regulada por el relé temporizador.
9. Sistema de accionamiento (1) según la reivindicación 8, en donde en el primer estado del dispositivo de conmutación (3), las conexiones de fase (20) de la máquina sincrónica (2) están conectadas respectivamente por medio de una resistencia (4) con un punto de estrella (30).
10. Sistema de accionamiento (1) según la reivindicación 8, en donde el dispositivo de conmutación 3 está conformado por un convertidor de corriente (11) autoconmutado; en donde el convertidor de corriente (11)

5 autoconmutado está conectado con las conexiones de fase (20) de la máquina sincrónica (2); en donde el convertidor de corriente (11) autoconmutado presenta un circuito intermedio del lado de la tensión continua; en donde la resistencia (4) está dispuesta con un interruptor (5) en un circuito en serie; en donde el circuito en serie está dispuesto eléctricamente en paralelo con respecto al circuito intermedio del convertidor de corriente (11) autoconmutado.

11. Vehículo, particularmente un vehículo ferroviario con un sistema de accionamiento (1) según una de las reivindicaciones 8 a 10.

FIG 1



FIG 2

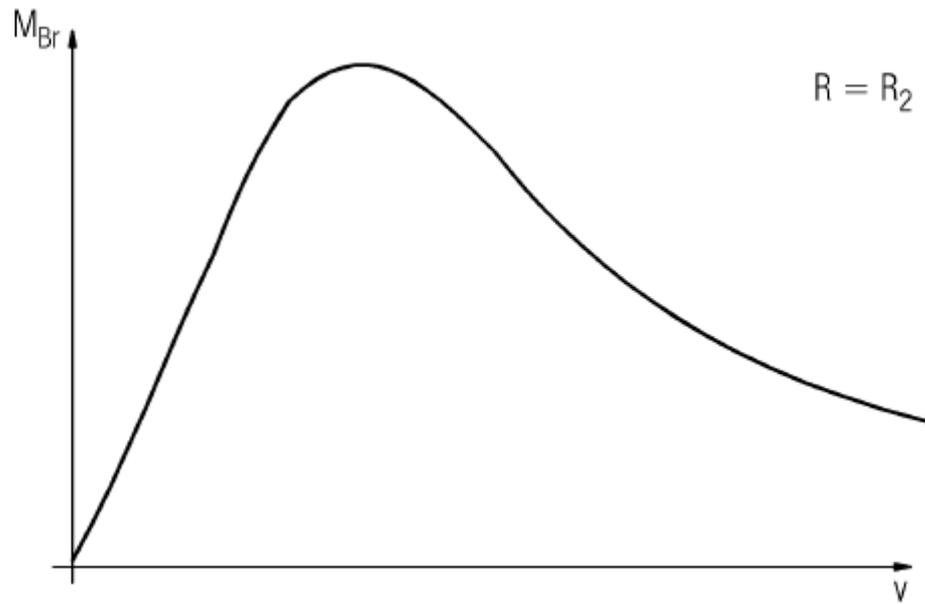


FIG 3

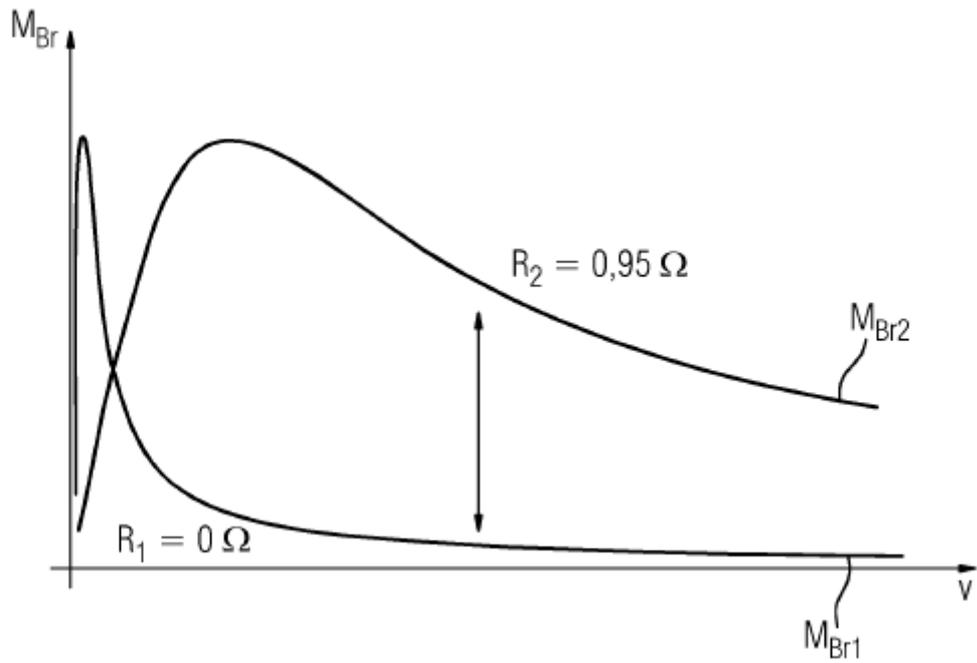


FIG 4

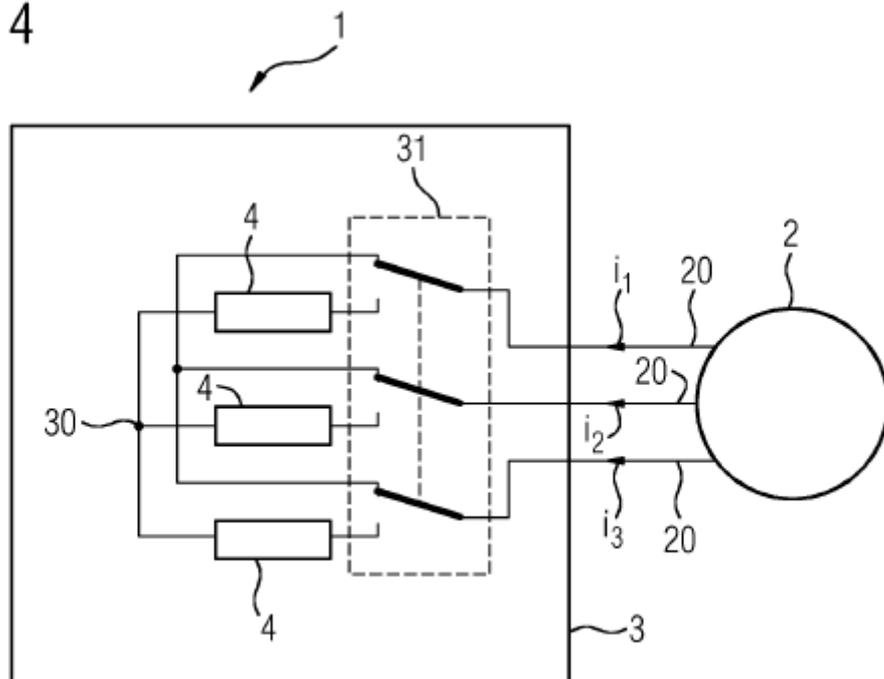


FIG 5

