

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 581 778**

51 Int. Cl.:

B60L 11/16 (2006.01)

B60L 11/18 (2006.01)

B60L 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.01.2003 PCT/EP2003/00837**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.08.2003 WO03064225**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.01.2003 E 03706393 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **27.12.2023 EP 1470018**

54 Título: **Vehículo con acumulador de energía de frenado**

30 Prioridad:

28.01.2002 DE 10204215

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente modificada:
07.06.2024

73 Titular/es:

**ALSTOM TRANSPORTATION GERMANY GMBH
(100.0%)
Ernst-Reuter-Platz 6
10587 Berlin, DE**

72 Inventor/es:

**STEINER, MICHAEL y
GACHET, BENOIT**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 581 778 T5

DESCRIPCIÓN

Vehículo con acumulador de energía de frenado

5 La presente invención se refiere a un vehículo ferroviario, con un dispositivo de alimentación de energía, un dispositivo de accionamiento eléctrico conectado con el mismo, un dispositivo de acumulación de energía conectado con el dispositivo de accionamiento para almacenar energía de frenado en una fase de frenado del vehículo y para el suministro de la energía acumulada al dispositivo de accionamiento en una fase de aceleración del vehículo, así como un dispositivo de control para el control del funcionamiento del dispositivo de alimentación de energía, del acumulador de energía y del dispositivo de accionamiento. Además, se refiere a un procedimiento correspondiente para el funcionamiento de un vehículo de este tipo.

15 En un vehículo típico en el sentido de la presente invención, por ejemplo un tren automotor diésel, la cadena de accionamiento está formada por un dispositivo de alimentación de energía con al menos un motor diésel y un generador, un rectificador, un circuito intermedio de tensión, así como un accionamiento con ondulador y uno o varios motores eléctricos correspondientes. Desde el circuito intermedio se alimentan también los accionamientos auxiliares y otros módulos eléctricamente accionados del vehículo. En estos vehículos, la potencia máxima de tracción está limitada habitualmente por el motor diésel, que por regla general es el elemento más débil de la cadena de accionamiento.

20 En vehículos genéricos más modernos, por razones relacionadas con el ahorro de energía, se ha propuesto usar acumuladores de energía, que al frenar el vehículo acumulan una parte de la energía de frenado, para poner esta energía adicionalmente a disposición en el momento de volver a acelerar el vehículo. En los vehículos de este tipo, que están previstos para el funcionamiento con acumuladores de energía, el acumulador de energía está conectado en la mayoría de los casos mediante un elemento de regulación, por ejemplo un convertidor de corriente con el circuito intermedio. Un vehículo de este tipo se conoce por ejemplo por "The Innovative Traction System with the Flywheel of the LIREX", autor: Bernd Engel, WCRR (World Congress on Railway Research), Colonia, 2001. En este prototipo conocido, el acumulador de energía comprende un volante, que se pone en rotación usándose la energía de frenado, acumulando de este modo una parte de la energía de frenado como energía cinética en forma energía de energía de rotación. Esta energía cinética puede convertirse en una fase de aceleración, por ejemplo al arrancar, nuevamente en energía eléctrica y puede ponerse adicionalmente a disposición del dispositivo de accionamiento.

35 Un vehículo según el estado de la técnica también se conoce por el documento DE-C-197 00 893. Para aclarar, cabe añadir que el concepto "aceleración" se usa en la presente solicitud siempre en relación con un aumento de la velocidad del vehículo, mientras que en relación con una reducción de la velocidad del vehículo se usa el concepto "frenado".

40 No obstante, en los vehículos conocidos existe el problema de que los acumuladores de energía disponibles son relativamente complejos y por lo tanto caros. Y no por último por un aprovechamiento poco optimizado de la energía de frenado, deben estar dimensionados por regla general relativamente grandes, para almacenar una cantidad suficiente de energía de frenado.

45 Por lo tanto, la presente invención tiene el objetivo de poner a disposición un vehículo o un procedimiento del tipo indicado al principio que no presente los inconvenientes indicados o al menos en menor medida y que garantice, en particular, una configuración sencilla y económica del dispositivo de acumulación de energía.

50 La presente invención consigue este objetivo partiendo de un vehículo según el preámbulo de la reivindicación 1 mediante las características indicadas en la parte caracterizadora de la reivindicación 1. Además, este objetivo se consigue partiendo de un procedimiento según el preámbulo de la reivindicación 13 mediante las características indicadas en la parte caracterizadora de la reivindicación 13.

55 La presente invención está basada en la doctrina técnica de que puede conseguirse un dispositivo de acumulación de energía configurado de una forma especialmente sencilla y económica si el dispositivo de control está realizado de tal modo que la energía del dispositivo de acumulación de energía se suministra en la fase de aceleración durante un primer período corto para conseguir una aceleración elevada.

60 Gracias al suministro de la energía acumulada que se realiza durante un período corto, es decir, con una gran potencia, no solo es posible conseguir valores de aceleración elevados, que en particular en caso de distancias comparativamente cortas entre las paradas del vehículo son más interesantes que una velocidad final lo más alta posible, para conseguir así duraciones de trayecto cortas entre las paradas. Precisamente cuando las distancias entre las paradas son cortas, una aceleración elevada es más importante que una velocidad final elevada, que eventualmente ni puede alcanzarse porque el vehículo ya se frena antes.

65 Además, con este funcionamiento es posible conseguir con una duración de trayecto predeterminada, por ejemplo entre dos paradas, un dimensionado claramente menor del dispositivo de acumulación de energía que en realizaciones convencionales, en las que la energía acumulada en el dispositivo de acumulación de energía se suministra durante

un período largo, por ejemplo durante toda la fase de aceleración. Gracias al buen aprovechamiento de la energía acumulada en el dispositivo de acumulación de energía de acuerdo con la invención y el dimensionado correspondiente del dispositivo de acumulación de energía, se reducen claramente los costes relativamente elevados para el dispositivo de acumulación de energía. En particular, puede aprovecharse de forma ventajosa para la optimización la elección correcta de la potencia de un acumulador de energía.

Otra ventaja de la solución de acuerdo con la invención está en que ahora pueden aprovecharse y se aprovechan las reservas de potencia del dispositivo de accionamiento eléctrico. Por el contrario, en los vehículos de accionamiento autónomo que se usan habitualmente, p.ej. en un tren automotor diésel-eléctrico, la potencia de accionamiento está limitada por la potencia máxima del dispositivo de alimentación de energía, es decir, por ejemplo del motor diésel, que por regla general está claramente por debajo de la potencia máxima del dispositivo de accionamiento eléctrico, es decir, por ejemplo de la parte eléctrica de tracción (convertidores de corriente y motores).

Dicho de otro modo, de acuerdo con la invención se usa para la aceleración elevada de arranque del vehículo la mayor potencia posible del dispositivo de acumulación de energía adicionalmente a la potencia máxima del dispositivo de alimentación de energía.

En variantes preferibles del vehículo de acuerdo con la invención, el primer período es claramente más corto que la fase de aceleración. El primer período debería ser lo más corto posible. El primer período se elige, de acuerdo con la invención, de tal modo que la energía del dispositivo de acumulación de energía se haya suministrado sustancialmente por completo cuando el vehículo haya alcanzado entre el 30 % y el 70 %, preferentemente entre el 30 % y el 50 % de una velocidad máxima predeterminada. De este modo resultan condiciones de aceleración especialmente favorables. Dado el caso, también pueden realizarse primeros períodos aún más cortos.

En variantes ventajosas del vehículo de acuerdo con la invención está previsto que el dispositivo de control esté realizado de tal modo que la energía del dispositivo de acumulación de energía se suministra en la fase de aceleración con una potencia suficiente para el aprovechamiento lo más completo posible de la potencia máxima del dispositivo de accionamiento. De este modo resulta de forma ventajosa un aprovechamiento óptimo de las reservas de potencia existentes. Por consiguiente, el dispositivo de accionamiento puede optimizarse correspondientemente y por lo tanto puede dimensionarse de forma económica.

Al final de la fase de aceleración, cuando el dispositivo de acumulación de energía está casi vacío, aumentan fuertemente las pérdidas en el dispositivo de acumulación de energía. En esta fase puede ser recomendable una reducción de la potencia del dispositivo de acumulación de energía, según la concepción del dispositivo de acumulación de energía. Esto puede realizarse de diferentes formas. En variantes preferibles de la invención, esto es especialmente sencillo mediante limitación de la corriente en el dispositivo de acumulación de energía a un valor máximo. El dispositivo de control está realizado, por lo tanto, preferentemente para la limitación de la corriente de descarga del dispositivo de acumulación de energía, al menos al final del proceso de descarga del dispositivo de acumulación de energía.

La limitación de corriente hace que tenga lugar una limitación de la potencia y tiene varios efectos: por un lado, se reducen las pérdidas en el acumulador de energía, por otro lado, se limita la corriente de salida del convertidor de corriente para el dispositivo de acumulación de energía y finalmente los semiconductores y otros componentes (p.ej. bobinas de choque etc.) tienen una corriente máxima para la que están concebidos.

Unas realizaciones especialmente ventajosas de la invención se refieren a un vehículo con un dispositivo de alimentación de energía, un dispositivo de accionamiento eléctrico conectado con éste, un dispositivo de acumulación de energía conectado con el dispositivo de accionamiento para almacenar la energía de frenado en una fase de aceleración del vehículo y para suministrar la energía acumulada al dispositivo de accionamiento en una fase de aceleración del vehículo, así como un dispositivo de control para el control del funcionamiento del dispositivo de alimentación de energía, del acumulador de energía y del dispositivo de accionamiento. De acuerdo con la invención, el dispositivo de control está realizado para la reducción de las pérdidas en el dispositivo de acumulación de energía mediante un control optimizado respecto a las pérdidas de la corriente de carga del dispositivo de acumulación de energía durante un segundo período durante la fase de frenado. El control optimizado para pérdidas influye sobre todo en el calor perdido y, por lo tanto, en el esfuerzo a realizar para la refrigeración del dispositivo de acumulación de energía, que puede reducirse de este modo claramente. Gracias al control optimizado para pérdidas, dado el caso también es posible aprovechar lo más completamente posible la capacidad de acumulación del dispositivo de acumulación de energía. De este modo puede conseguirse a su vez una concepción correspondientemente optimizada o un dimensionado más pequeño y por lo tanto más económico del dispositivo de acumulación de energía.

El control optimizado para pérdidas de la corriente de carga del dispositivo de acumulación de energía durante un segundo período durante la fase de frenado para la reducción de las pérdidas en el dispositivo de acumulación de energía representa por lo demás una idea de la invención susceptible de protección por sí misma, independiente del control de acuerdo con la invención del suministro de energía durante la fase de aceleración, que también consigue el objetivo indicado al principio.

Un aprovechamiento especialmente favorable de la energía de frenado resulta en configuraciones preferibles del

vehículo de acuerdo con la invención, en las que el segundo período dura sustancialmente durante toda la fase de frenado.

5 La optimización de las pérdidas del proceso de carga puede conseguirse de diferentes formas. Una optimización de pérdidas que puede realizarse de forma especialmente buena y sencilla resulta en variantes preferibles del vehículo de acuerdo con la invención, en las que el dispositivo de control está realizado para conseguir una corriente de carga sustancialmente constante. El valor efectivo de la corriente de carga corresponde en este caso a lo largo del período de carga sustancialmente a su valor medio, por lo que también se minimizan correspondientemente las pérdidas.

10 En variante preferibles del vehículo de acuerdo con la invención está previsto que el dispositivo de control esté realizado para la determinación de la corriente de carga a partir de la energía que se necesita para la carga completa del dispositivo de acumulación de energía y la energía disponible para la carga. De este modo puede conseguirse de forma sencilla un control optimizado para pérdidas, adaptado a las condiciones reales.

15 Puede determinarse, por ejemplo, a partir del conocimiento de la velocidad y de algunas magnitudes en función del vehículo, como p.ej. la masa etc., la energía cinética de frenado disponible. Si se tienen en cuenta las resistencias al avance, los accionamientos auxiliares a alimentar, la pendiente actual, puede determinarse la energía sobrante actual que está disponible para la carga del acumulador de energía. También se conoce la energía necesaria para la carga completa del dispositivo de acumulación de energía. En el caso de condensadores de doble capa, esta está predeterminada por el valor actual de la tensión y la tensión teórica en caso de carga completa. En acumuladores de volante, esta está predeterminada por la velocidad actual del volante y su valor teórico en caso de carga completa. Para simplificar, en ambos casos es posible no tener en cuenta las pérdidas.

20 En variantes preferibles de la invención que trabajan con las regulaciones de exploración hoy día habituales, el dispositivo de control recalcula y corrige varias veces durante un proceso de frenado las magnitudes constantes aquí indicadas, de modo que pueden reducirse de forma ventajosa los efectos parasitarios no tenidos en cuenta (p.ej. errores en la pendiente o la masa en función de los pasajeros).

25 Por razones de protección, también durante el proceso de frenado está prevista preferentemente una limitación a una corriente máxima al dispositivo de acumulación de energía.

30 El vehículo de acuerdo con la invención puede ser cualquier vehículo ferroviario. De forma especialmente ventajosa, la invención puede usarse en relación con vehículo ferroviarios, como se usan habitualmente en el transporte público de personas o mercancías, puesto que precisamente aquí es donde se manifiestan especialmente bien las ventajas de la invención, en particular respecto al comportamiento de aceleración optimizado.

35 El dispositivo de acumulación de energía también puede estar realizado de cualquier forma conocida, adecuada para la acumulación de cantidades de energía correspondientemente grandes. Un dispositivo de acumulación de energía puede ser, por ejemplo, un acumulador de volante correspondientemente configurado o similar. En variantes ventajosas del vehículo de acuerdo con la invención, el dispositivo de acumulación de energía presenta al menos un condensador para la acumulación de la energía de frenado. Estas variantes tienen la ventaja de contener solo pocas partes móviles, por lo que garantizan un funcionamiento con un desgaste correspondientemente reducido o que requiere poco mantenimiento.

40 Actualmente se están desarrollando acumuladores de energía capacitivos, que son adecuados para el uso en vehículos ferroviarios. Se trata en particular de condensadores de doble capa, como por ejemplo los llamados SuperCaps, Boost-Caps, ultracapacitors.

45 La presente invención puede usarse en relación con vehículos que presentan un dispositivo de acumulación de energía configurado de una forma a elegir libremente. También puede usarse en vehículos que son alimentados temporalmente o incluso permanentemente por dispositivos de contactos correspondientes de una red de abastecimiento de energía.

50 Naturalmente, la invención puede usarse de forma especialmente ventajosa en relación con un vehículo que está realizado al menos temporalmente como vehículo accionado de forma autónoma, puesto que destacan claramente las ventajas en comparación con un vehículo comparable no equipado de acuerdo con la invención. En un vehículo alimentado temporalmente mediante una red de abastecimiento de energía correspondiente resulta además la ventaja de que la energía del dispositivo de acumulación de energía puede volver a alimentarse a la red de abastecimiento, en cuanto exista un contacto correspondiente con la red de abastecimiento de energía. El dispositivo de alimentación de energía comprende preferentemente un dispositivo de motor-generator autónomo.

55 De forma especialmente ventajosa, la invención puede usarse en relación con grupos conocidos, que comprenden un accionamiento con combustible, por ejemplo en relación con un grupo diésel-eléctrico. Naturalmente, se sobrentiende también que la invención puede usarse por supuesto también en relación con un dispositivo de alimentación de energía que comprende una pila de combustible.

La presente invención se refiere además a un procedimiento correspondiente para el funcionamiento de un vehículo ferroviario, con un dispositivo de alimentación de energía, un dispositivo de accionamiento eléctrico conectado con el mismo, un dispositivo de acumulación de energía conectado con el dispositivo de accionamiento para almacenar energía de frenado en una fase de frenado del vehículo y para el suministro de la energía acumulada al dispositivo de accionamiento en una fase de aceleración del vehículo, controlándose el funcionamiento del dispositivo de alimentación de energía, del acumulador de energía y del dispositivo de accionamiento mediante un dispositivo de control. De acuerdo con la invención, la energía del dispositivo de acumulación de energía se suministra en la fase de aceleración para conseguir una aceleración elevada durante un primer período corto. Las características y ventajas del procedimiento de acuerdo con la invención ya se han descrito anteriormente en relación con el vehículo de acuerdo con la invención, de modo que aquí se remite a estas explicaciones.

La presente invención se refiere además a un procedimiento para el funcionamiento de un vehículo con un dispositivo de alimentación de energía, un dispositivo de accionamiento eléctrico conectado con el mismo, un dispositivo de acumulación de energía conectado con el dispositivo de accionamiento para almacenar energía de frenado en una fase de frenado del vehículo y para el suministro de la energía acumulada al dispositivo de accionamiento en una fase de aceleración del vehículo, controlándose el funcionamiento del dispositivo de alimentación de energía, del acumulador de energía y del dispositivo de accionamiento mediante un dispositivo de control. De acuerdo con la invención, durante un segundo período durante la fase de frenado se realiza un control optimizado para pérdidas de la corriente de carga del dispositivo de acumulación de energía para la reducción de las pérdidas en el dispositivo de acumulación de energía. Las características y ventajas del procedimiento de acuerdo con la invención ya se han descrito anteriormente en relación con el vehículo de acuerdo con la invención, de modo que aquí se remite a estas explicaciones.

Otras realizaciones preferibles de la invención resultan de las reivindicaciones dependientes o de las descripciones expuestas a continuación de ejemplos de realización preferibles, haciéndose referencia a los dibujos adjuntos. Muestran:

- La Figura 1 un diagrama de bloques de la cadena de accionamiento de una forma de realización del vehículo de acuerdo con la invención.
- Las Figuras 2A, 2B una comparación de diagramas de fuerza de tracción-velocidad de un vehículo de comparación y una forma de realización del vehículo de acuerdo con la invención;
- Las Figuras 3A, 3B una comparación de diagramas de potencia-velocidad (P-v) del vehículo de comparación y de la forma de realización del vehículo de acuerdo con la invención de la Figura 2;
- Las Figuras 4A, 4B, una comparación de diagramas de velocidad-tiempo (v-t) del vehículo de comparación y de la forma de realización del vehículo de acuerdo con la invención de la Figura 2;
- Las Figuras 5A, 5B, una comparación de diagramas de potencia-tiempo o de tramo recorrido-tiempo (p-t o w-t) del vehículo de comparación y de la forma de realización del vehículo de acuerdo con la invención de la Figura 2;
- La Figura 6 un detalle de la fase de frenado de la forma de realización de la Figura 5B;
- La Figura 7 un detalle de la fase de marcha de la forma de realización de la Figura 5B.

La Figura 1 muestra un diagrama de bloques de la cadena de accionamiento 1 de una forma de realización preferible del vehículo de acuerdo con la invención, que está accionado según el procedimiento de acuerdo con la invención.

La cadena de accionamiento 1 comprende un dispositivo de alimentación de energía 2, un dispositivo de accionamiento eléctrico 3 conectado con el mismo y un dispositivo de acumulación de energía 4 conectado con el dispositivo de accionamiento 3. Este dispositivo de acumulación de energía 4 sirve para almacenar energía de frenado, que se recibe durante una fase de frenado del vehículo, así como para el suministro de la energía acumulada al dispositivo de accionamiento 3, cuando el vehículo se encuentra en una fase de aceleración, por ejemplo al arrancar o al realizar una aceleración intermedia. El funcionamiento del dispositivo de alimentación de energía 2, del dispositivo de acumulación de energía 4 y del dispositivo de accionamiento 3 es controlado o regulado mediante un dispositivo de control 5 correspondiente. El dispositivo de alimentación de energía 2 y el dispositivo de acumulación de energía 4 están conectados mediante un circuito intermedio 6 con el dispositivo de accionamiento 3.

El dispositivo de accionamiento 3 comprende en el ejemplo mostrado un ondulator 3.1 y consumidores 3.2, como por ejemplo uno o varios motores de tracción y accionamientos auxiliares del vehículo.

El dispositivo de control 5 controla el funcionamiento de los componentes, por un lado, de tal modo que la energía del dispositivo de acumulación de energía 4 se suministra en la fase de aceleración durante un primer período lo más corto posible para conseguir una aceleración elevada. En la fase de frenado, controla el funcionamiento de los

componentes, por otro lado, de tal modo que durante un segundo período durante la fase de frenado se produce un control optimizado para pérdidas de la corriente de carga del dispositivo de acumulación de energía 4, para la reducción de las pérdidas en el dispositivo de acumulación de energía 4.

- 5 El funcionamiento de acuerdo con la invención se explicará a continuación con ayuda de una comparación de un vehículo de comparación con una realización de un vehículo de acuerdo con la invención.

Funcionamiento en las fases de arranque o de marcha:

- 10 Para conseguir duraciones de trayecto cortas entre las paradas, se necesitan aceleraciones elevadas. En particular, cuando las distancias entre las paradas son cortas, es más importante una aceleración elevada que una velocidad final elevada, que eventualmente ni siquiera se alcanza, puesto que el vehículo ya se frena antes.

- 15 Para la aceleración elevada en el arranque del vehículo, el funcionamiento de acuerdo con la invención usa la mayor cantidad posible de potencia del dispositivo de acumulación de energía 4, además de la potencia máxima del dispositivo de alimentación de energía 2, por ejemplo en forma de un grupo diésel-eléctrico. De este modo queda limitada la potencia máxima de la cadena de accionamiento 1 por la potencia máxima del dispositivo de accionamiento 3 (convertidores de corriente y motores) y ya no por la potencia de la alimentación de energía (p.ej. del motor diésel).

- 20 Para la representación sencilla de la invención, se contrastan el funcionamiento de comparación de un vehículo de comparación y el funcionamiento de acuerdo con la invención en las figuras 2 a 5. Las Figuras con la letra "A" designan respectivamente el vehículo de comparación, mientras que las Figuras con la letra "B" están asignadas al vehículo de acuerdo con la invención. En primer lugar se muestran los diferentes diagramas de fuerza de tracción-velocidad (Figura 2A y 2B) y los diagramas de potencia-velocidad (Figura 3A y 3B), que conducen a las dinámicas de marcha diferentes.
 25 En el diagrama velocidad-tiempo (Figura 4A y 4B) se ha insertado para mayor claridad la curva de velocidad 7 de la solución de comparación en la representación del funcionamiento de acuerdo con la invención en la Figura 4B.

- En la representación de la velocidad en la Figura 4B se ve claramente la mayor aceleración en el arranque del procedimiento de acuerdo con la invención. En el ejemplo, el dispositivo de acumulación de energía se ha vaciado ya después de aprox. 30 segundos en el procedimiento de acuerdo con la invención. En el procedimiento de comparación, se consume una potencia constante del circuito intermedio durante toda la fase de aceleración.

- En las Figuras 3 y 5 está representada la potencia de tracción, compuesta por la potencia del dispositivo de alimentación de energía 2, p.ej. el diésel, y la potencia del dispositivo de acumulación de energía. El rango 8 designa aquí el rango de la potencia que se consigue mediante el dispositivo de acumulación de energía 4 además de la potencia del dispositivo de alimentación de energía 2.

- Como puede verse en la Figura 3B, el primer período, es decir, el período hasta el vaciado sustancialmente completo del dispositivo de acumulación de energía, termina en el ejemplo mostrado aproximadamente cuando se ha alcanzado el 60 % de la velocidad máxima predeterminada de 160 km/h. Se sobrentiende que en otras variantes de la invención también pueden conseguirse primeros períodos claramente más cortos, de modo que el vaciado del dispositivo de acumulación de energía se ha realizado ya al haberse alcanzado una parte claramente inferior de la velocidad máxima.

- En el ejemplo elegido, los siguientes valores conducen al contenido de energía necesario del dispositivo de acumulación de energía denominado a continuación acumulador de energía "ES":

Funcionamiento de comparación	Funcionamiento de acuerdo con la invención
$P_{ES} = 160 \text{ KW}$	$P_{ES} = 600 \text{ KW}$
$t_{ES} = 202 \text{ s (7 a 209 s)}$	$t_{ES} = 36 \text{ s (8 a 44 s)}$
$E_{ES} = 9 \text{ kWh (100 \%)}$	$E_{ES} = 6 \text{ kWh (66 \%)}$

- El funcionamiento de acuerdo con la invención conduce obviamente a un acumulador de energía claramente más pequeño que el funcionamiento de comparación, en la misma duración de trayecto.

- En vista de los elevados costes para el acumulador de energía, esto es el objetivo primario. Cabe añadir que el consumo total de energía es casi igual en los dos procedimientos. Si bien el procedimiento de acuerdo con la invención puede almacenar menos energía de frenado por el acumulador de energía más pequeño que en el funcionamiento del estado de la técnica cercano, la energía de frenado disponible también es más pequeña por regla general, debido a la menor velocidad al comenzar el proceso de frenado.

- En el diagrama tiempo-tramo recorrido de la Figura 5B (abajo), se sobreponen la curva 9 para el vehículo de acuerdo con la invención y la curva 10 para el vehículo de comparación. Se puede ver claramente que en el vehículo de acuerdo con la invención resultan duraciones de trayecto claramente inferiores, precisamente en trayectos cortos, gracias a la aceleración de arranque claramente más elevada.

Funcionamiento en la fase de frenado:

Con una concepción razonable del acumulador de energía, en muchos trayectos la energía de frenado disponible es claramente mayor que la energía a almacenar en el acumulador de energía. En este caso resulta también aquí un grado de libertad en el funcionamiento del acumulador de energía que debe usarse para la optimización del funcionamiento en el proceso de frenado.

Para mayor claridad, los valores característicos en la fase de frenado de la Figura 5B están representados en la Figura 6 en una vista a escala ampliada.

A partir del conocimiento de la velocidad y de algunas magnitudes en función del vehículo, como p.ej. masa etc., puede determinarse la energía cinética de frenado disponible ($E_{kin} \sim m \cdot v^2$). Si se tienen en cuenta las resistencias al avance, los accionamientos auxiliares a alimentar, la pendiente actual etc., puede determinarse la energía sobrante actual $E_{frenado}$ que está disponible para la carga del acumulador de energía.

Se conoce la energía necesaria para la carga completa del acumulador de energía. En el caso de condensadores de doble capa, está predeterminada por el valor actual de la tensión y la tensión teórica en caso de carga completa ($E_{ES} = 0,5 \cdot C \cdot (U_{teórica} - U(t))^2$). En el caso de acumuladores de volante está predeterminada por la velocidad actual del volante y su valor teórico en caso de carga completa ($E_{ES} = 0,5 \cdot m \cdot (v_{teórica} - v(t))^2$). Para simplificar, no se tienen en cuenta las pérdidas.

Puede determinarse la potencia media para la carga del acumulador de energía durante el proceso de frenado:

$$P_{ESmedia} / P_{frenadomax} = E_{ES} / E_{frenado}$$

A partir del valor medio de la potencia puede determinarse ahora el funcionamiento óptimo del acumulador de energía.

En el caso de condensadores de doble capa, las pérdidas dependen sobre todo de su resistencia en serie. Las pérdidas corresponden al cuadrado del valor efectivo de corriente ($P_v = R \cdot I_{eff}^2$). El valor efectivo de corriente es más pequeño cuando la corriente $i(t)$ tiene una evolución constante, por lo que corresponde a su valor medio. Para minimizar las pérdidas en el acumulador de energía, en el procedimiento de acuerdo con la invención se mantiene sustancialmente constante la corriente al condensador. En caso de una corriente constante a un condensador, la tensión del condensador aumenta linealmente. El valor medio de tensión del acumulador de energía es, por lo tanto:

$$U_{ESmedia} = (U_{ES}(t) + U_{ESteórica}) / 2$$

$U_{ESteórica}$ es la tensión teórica cuando el acumulador de energía está completamente cargado.

A partir de ella puede determinarse ahora la corriente optimizada para pérdidas al acumulador de energía:

$$I_{óptima} = P_{ESmedia} / U_{ESmedia}$$

La potencia resultante al acumulador de energía depende del tiempo y puede ser determinada mediante la tensión actual del acumulador de energía:

$$P_{ES}(t) = U_{ES}(t) \cdot I_{óptima}$$

En una regulación por exploración, que es preferible, las magnitudes constantes aquí presentadas se recalculan y corrigen varias veces durante una fase de frenado, de modo que se reducen los efectos parasitarios no tenidos en cuenta (p.ej. errores en la pendiente o la masa que depende de los pasajeros).

Se sobrentiende que el procedimiento de acuerdo con la invención optimizado para condensadores de doble capa puede aplicarse también para acumuladores de volante.

En el caso más sencillo, cuando el motor en el acumulador de volante no tiene un rango de debilitamiento de campo, la tensión del motor es lineal respecto al número de revoluciones o a la velocidad. También aquí es deseable una corriente de motor pequeña, puesto que de este modo se reducen las pérdidas en el cobre del motor, pero también la potencia perdida del convertidor de corriente. Según el principio de dualidad, el procedimiento anteriormente presentado también puede aplicarse aquí, intercambiándose las magnitudes tensión U_{ES} por velocidad V_{ES} (o por el número de revoluciones del motor).

Por razones de la protección, es recomendable la limitación a una corriente máxima al acumulador de energía.

Funcionamiento en la fase de marcha:

Al final de la fase de aceleración, cuando el acumulador de energía está casi vacío, aumentan fuertemente las pérdidas

en el acumulador de energía. Según la concepción del acumulador de energía, en esta fase puede ser recomendable una reducción de la potencia del acumulador de energía. Esto puede conseguirse fácilmente mediante la limitación de la corriente al acumulador de energía a un valor máximo. La limitación de la corriente hace, al igual que en la fase de frenado, que tenga lugar una limitación de la potencia, véase en la Figura 7, en la que en el diagrama superior no tiene lugar una limitación de la corriente máxima I_{ESmax} al acumulador de energía, mientras que, en el diagrama inferior, sí que hay una limitación. Esta limitación de la corriente tiene varios efectos: a) se reducen las pérdidas en el acumulador de energía, b) está limitada la corriente de salida del rectificador para el acumulador de energía y c) unos semiconductores u otros componentes (p.ej. bobinas de choque) eventualmente necesarios tienen una corriente máxima para la que están concebidos.

La detección de si un vehículo se encuentra en la fase de arranque o en la fase de frenado es posible con distintos procedimientos Para indicar un ejemplo: fase de arranque: el valor teórico de la fuerza de tracción es positivo tras una fase de parada (período con velocidad 0). Fase de frenado: el valor teórico de la fuerza de tracción es negativo a una velocidad superior a cero.

La presente invención se ha descrito anteriormente con ayuda de ejemplos de vehículos autónomos, por ejemplo un tren automotor diésel-eléctrico, con un accionamiento diésel-eléctrico como dispositivo de alimentación de energía. No obstante, se sobrentiende que también puede usarse en relación con otros dispositivos de alimentación de energía. El dispositivo de alimentación de energía puede ser, por ejemplo, una pila de combustible. También es posible que en un vehículo parcialmente autónomo o en un vehículo no autónomo, alimentado por la red, sea una red de abastecimiento de energía.

REIVINDICACIONES

1. Un vehículo ferroviario con un dispositivo de alimentación de energía (2), un dispositivo de accionamiento eléctrico (3) conectado al mismo, un dispositivo de acumulación de energía (4) conectado al dispositivo de accionamiento (3) para almacenar energía de frenado en una fase de frenado del vehículo y para el suministro de la energía acumulada al dispositivo de accionamiento (3) en una fase de aceleración del vehículo, estando el dispositivo de alimentación de energía (2) y el dispositivo de acumulación de energía (4) conectados a través de un circuito intermedio (6) con el dispositivo de accionamiento (3), así como un dispositivo de control (5) para el control del funcionamiento del dispositivo de alimentación de energía (2), del dispositivo de acumulación de energía (4) y del dispositivo de accionamiento (3), **caracterizado por que** el dispositivo de control (5) está realizado de tal modo que la energía del dispositivo de acumulación de energía (4) se suministra en la fase de aceleración durante un primer período corto para conseguir una aceleración elevada, utilizándose para la aceleración potencia del dispositivo de acumulación de energía (4) además de la potencia máxima del dispositivo de alimentación de energía (2), seleccionándose el primer período más corto que la fase de aceleración y seleccionándose el primer período de tal modo que la energía del dispositivo de acumulación de energía (4) se haya suministrado sustancialmente por completo cuando el vehículo haya alcanzado entre el 30 % y el 70 % de una velocidad máxima predeterminada.
2. Vehículo ferroviario de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el primer período dura menos del 17,2 % de la duración de la fase de aceleración.
3. Vehículo ferroviario de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** el primer período se elige de tal modo que la energía del dispositivo de acumulación de energía (4) se haya suministrado sustancialmente por completo cuando el vehículo haya alcanzado entre el 30 % y el 50 % de una velocidad máxima predeterminada.
4. Vehículo ferroviario de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el dispositivo de control (5) está realizado de tal modo que la energía del dispositivo de acumulación de energía (4) se suministra en la fase de aceleración con una potencia suficiente para el aprovechamiento de la potencia máxima del dispositivo de accionamiento (3).
5. Vehículo ferroviario de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el dispositivo de control (5) está realizado para la limitación de la corriente de descarga del dispositivo de acumulación de energía (4), al menos al final del proceso de descarga del dispositivo de acumulación de energía (4).
6. Vehículo ferroviario de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores con un dispositivo de alimentación de energía (2), un dispositivo de accionamiento eléctrico (3) conectado al mismo, un dispositivo de acumulación de energía (4) conectado al dispositivo de accionamiento para almacenar energía de frenado en una fase de frenado del vehículo y para el suministro de la energía acumulada al dispositivo de accionamiento (3) en una fase de aceleración del vehículo, así como un dispositivo de control (5) para el control del funcionamiento del dispositivo de alimentación de energía (2), del dispositivo de acumulación de energía (4) y del dispositivo de accionamiento (3), **caracterizado por que** el dispositivo de control (5) está realizado para la reducción de las pérdidas en el dispositivo de acumulación de energía (4) mediante un control optimizado para pérdidas de la corriente de carga del dispositivo de acumulación de energía (4) durante un segundo período durante la fase de frenado.
7. Vehículo ferroviario de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado por que** el segundo período dura sustancialmente durante toda la fase de frenado.
8. Vehículo ferroviario de acuerdo con las reivindicaciones 6 o 7, **caracterizado por que** el dispositivo de control (5) está realizado para conseguir una corriente de carga sustancialmente constante.
9. Vehículo ferroviario de acuerdo con una de las reivindicaciones 6 a 8, **caracterizado por que** el dispositivo de control (5) está realizado para la determinación de la corriente de carga a partir de la energía necesaria para la carga completa del dispositivo de acumulación de energía (4) y de la energía disponible para la carga.
10. Vehículo ferroviario de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el dispositivo de acumulación de energía (4) presenta al menos un condensador, en particular un condensador de doble capa, para almacenar la energía de frenado.
11. Vehículo ferroviario de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el dispositivo de acumulación de energía (4) presenta al menos un acumulador de volante para la acumulación de la energía de frenado.
12. Vehículo ferroviario de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** está realizado como vehículo accionado al menos temporalmente de forma autónoma, comprendiendo el dispositivo de alimentación de energía (2) preferentemente un dispositivo motor-generador autónomo, que comprende en particular un accionamiento por combustible.

- 5 13. Un procedimiento para el funcionamiento de un vehículo ferroviario con un dispositivo de alimentación de energía (2), un dispositivo de accionamiento eléctrico (3) conectado al mismo, un dispositivo de acumulación de energía (4) conectado al dispositivo de accionamiento para almacenar energía de frenado en una fase de frenado del vehículo y para el suministro de la energía acumulada al dispositivo de accionamiento (3) en una fase de aceleración del vehículo, estando el dispositivo de alimentación de energía (2) y el dispositivo de acumulación de energía (4) conectados a través de un circuito intermedio (6) con el dispositivo de accionamiento (3), controlándose el funcionamiento del dispositivo de alimentación de energía (2), del dispositivo de acumulación de energía (4) y del dispositivo de accionamiento (3) mediante al menos un dispositivo de control (5), **caracterizado por que** la energía del dispositivo de acumulación de energía (4) se suministra en la fase de aceleración durante un primer período corto para conseguir una aceleración elevada, utilizándose para la aceleración potencia del dispositivo de acumulación de energía (4) además de la potencia máxima del dispositivo de alimentación de energía (2), siendo el primer período más corto que la fase de aceleración y eligiéndose el primer período de tal modo que la energía del dispositivo de acumulación de energía (4) se haya suministrado sustancialmente por completo cuando el vehículo haya alcanzado entre el 30 % y el 70 % de una velocidad máxima predeterminada.
- 15 14. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13, **caracterizado por que** el primer período es menor que el 17,2 % de la duración de la fase de aceleración.
- 20 15. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 13 o 14, **caracterizado por que** el primer período se selecciona de tal modo que la energía del dispositivo de acumulación de energía (4) se haya suministrado sustancialmente por completo cuando el vehículo haya alcanzado entre el 30 % y el 50 % de una velocidad máxima predeterminada
- 25 16. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 13 a 15, **caracterizado por que** la energía del dispositivo de acumulación de energía (4) se suministra en la fase de aceleración con una potencia suficiente para el aprovechamiento de la potencia máxima del dispositivo de accionamiento (3).
- 30 17. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 13 a 16, **caracterizado por que** la corriente de descarga del dispositivo de acumulación de energía (4) está limitada al menos al final del proceso de descarga del dispositivo de acumulación de energía (4).
- 35 18. Procedimiento para el funcionamiento de un vehículo de acuerdo con una de las reivindicaciones 13 a 17 con un dispositivo de alimentación de energía (2), un dispositivo de accionamiento eléctrico (3) conectado al mismo, un dispositivo de acumulación de energía (4) conectado al dispositivo de accionamiento (3) para almacenar energía de frenado en una fase de frenado del vehículo y para el suministro de la energía acumulada al dispositivo de accionamiento (3) en una fase de aceleración del vehículo, controlándose el funcionamiento del dispositivo de alimentación de energía (2), del dispositivo de acumulación de energía (4) y del dispositivo de accionamiento (3) mediante al menos un dispositivo de control (5), **caracterizado por que** durante un segundo período durante la fase de frenado se realiza un control optimizado para pérdidas de la corriente de carga del dispositivo de acumulación de energía (4) para la reducción de las pérdidas en el dispositivo de acumulación de energía (4).
- 40 19. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 18, **caracterizado por que** el segundo período dura sustancialmente durante toda la fase de frenado.
- 45 20. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 18 o 19, **caracterizado por que** la corriente de carga se mantiene sustancialmente constante.
- 50 21. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 18 a 20, **caracterizado por que** la corriente de carga optimizada para pérdidas se determina a partir de la energía necesaria para la carga completa del dispositivo de acumulación de energía (4) y de la energía disponible para la carga.

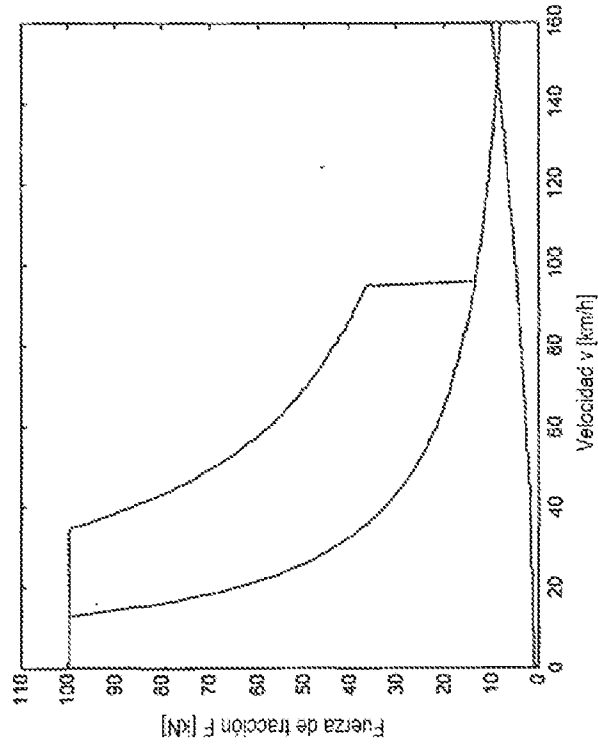


Fig. 2B

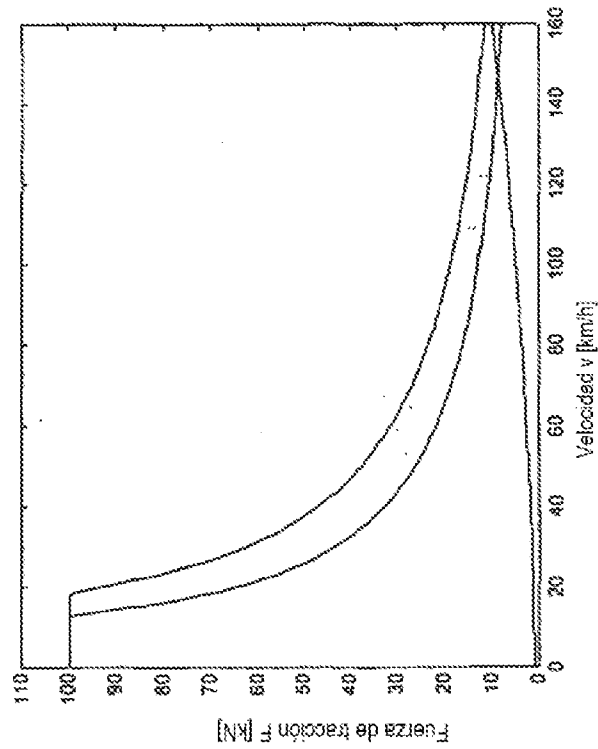


Fig. 2A

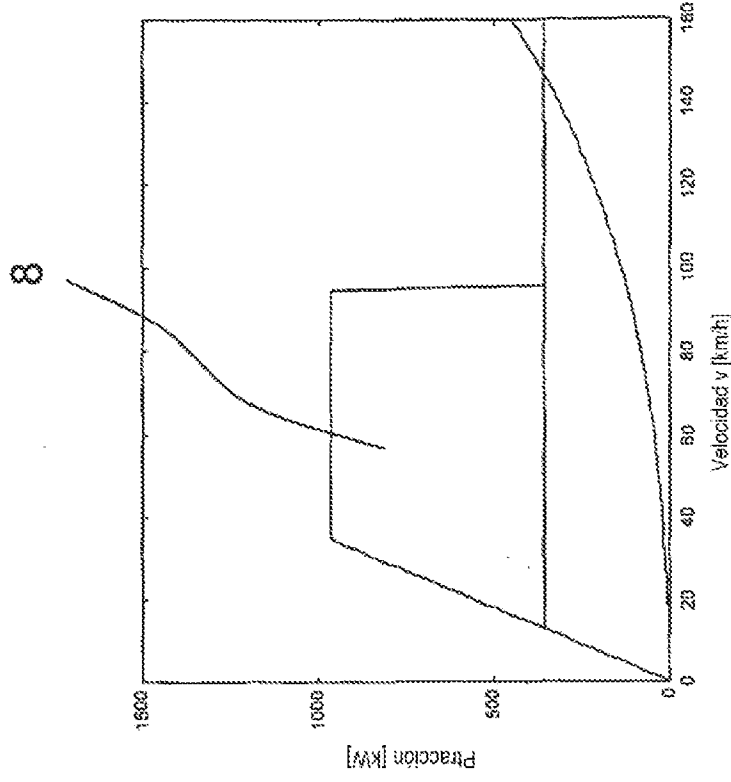


Fig. 3B

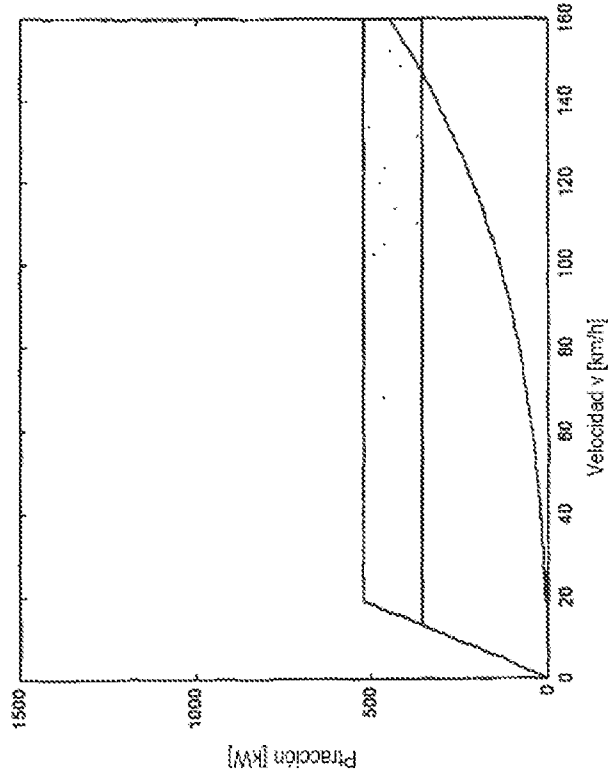


Fig. 3A

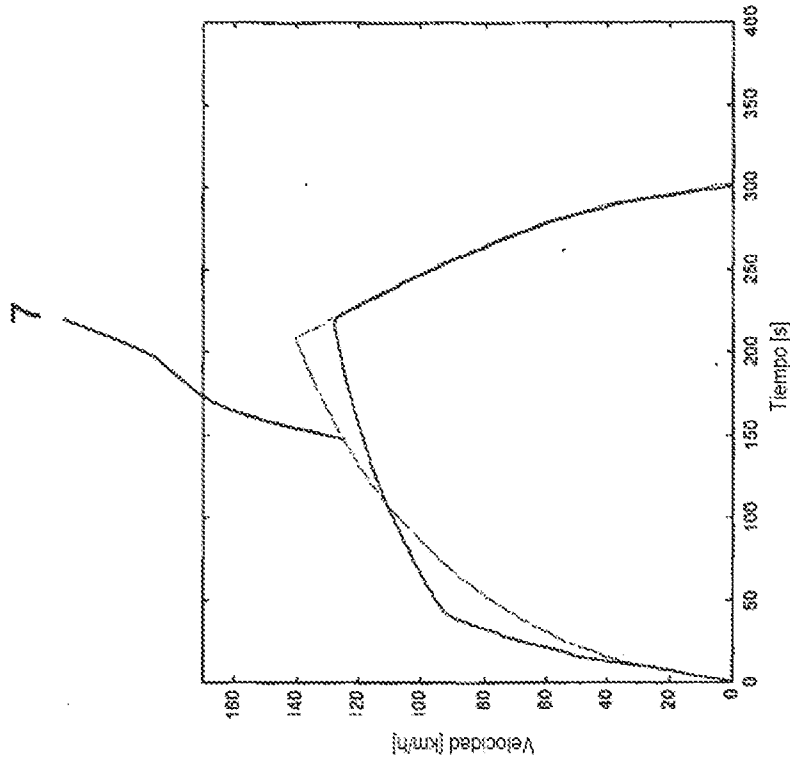


Fig. 4B

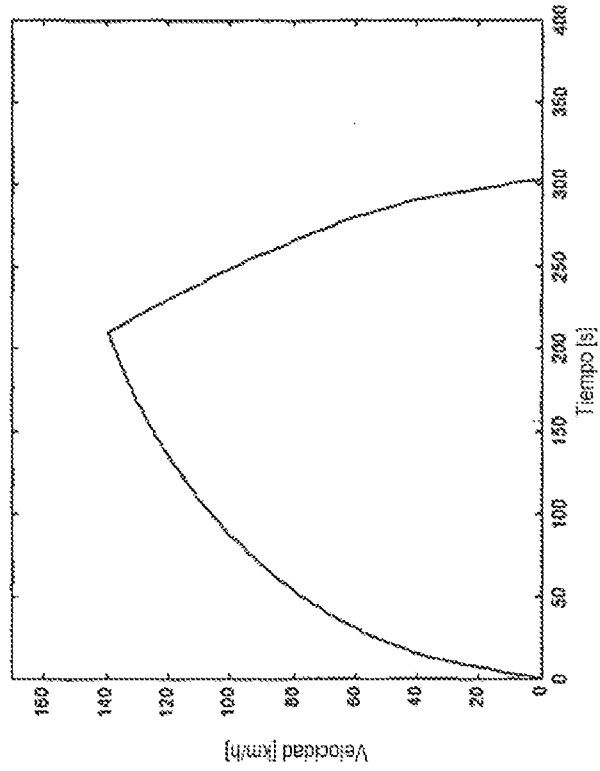


Fig. 4A

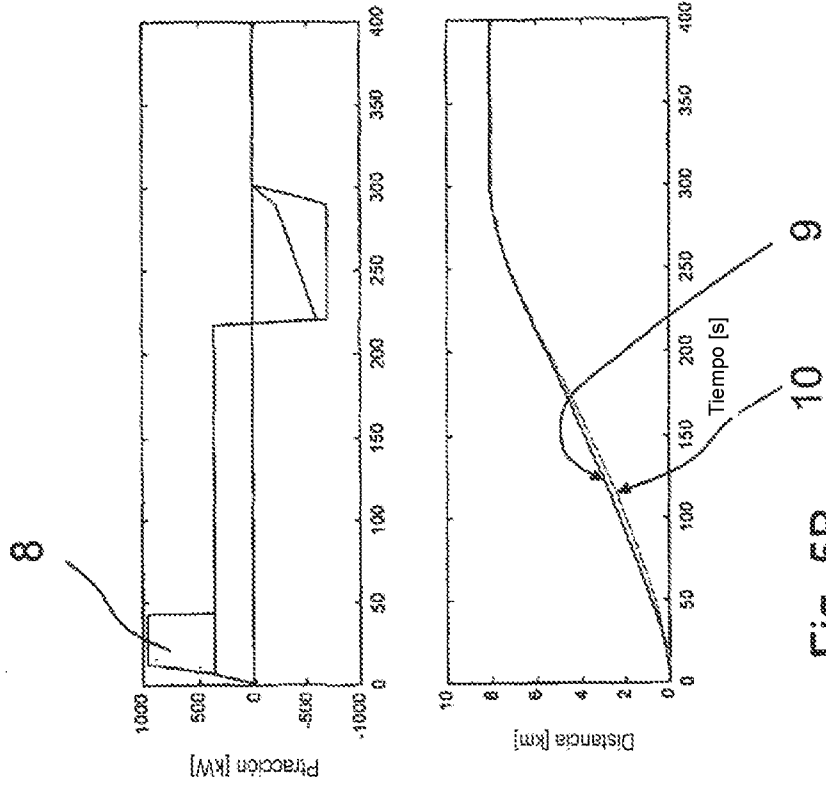


Fig. 5B

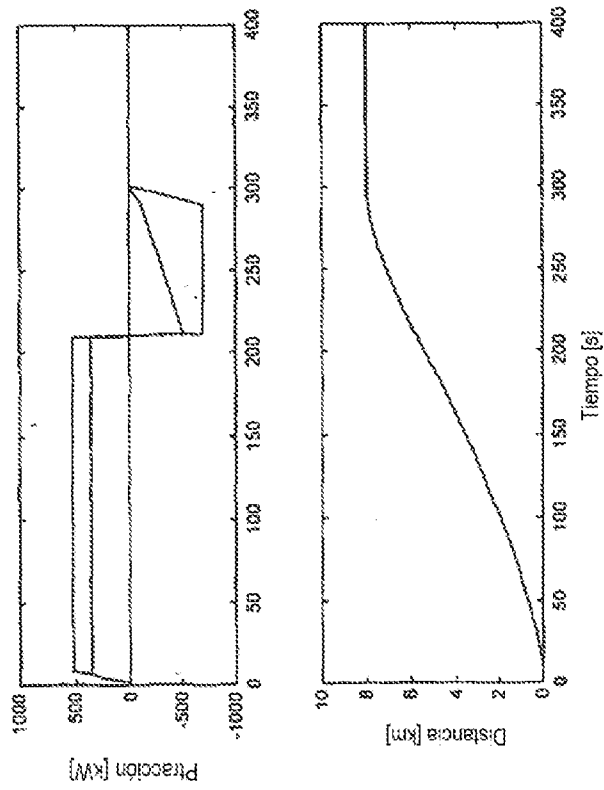


Fig. 5A

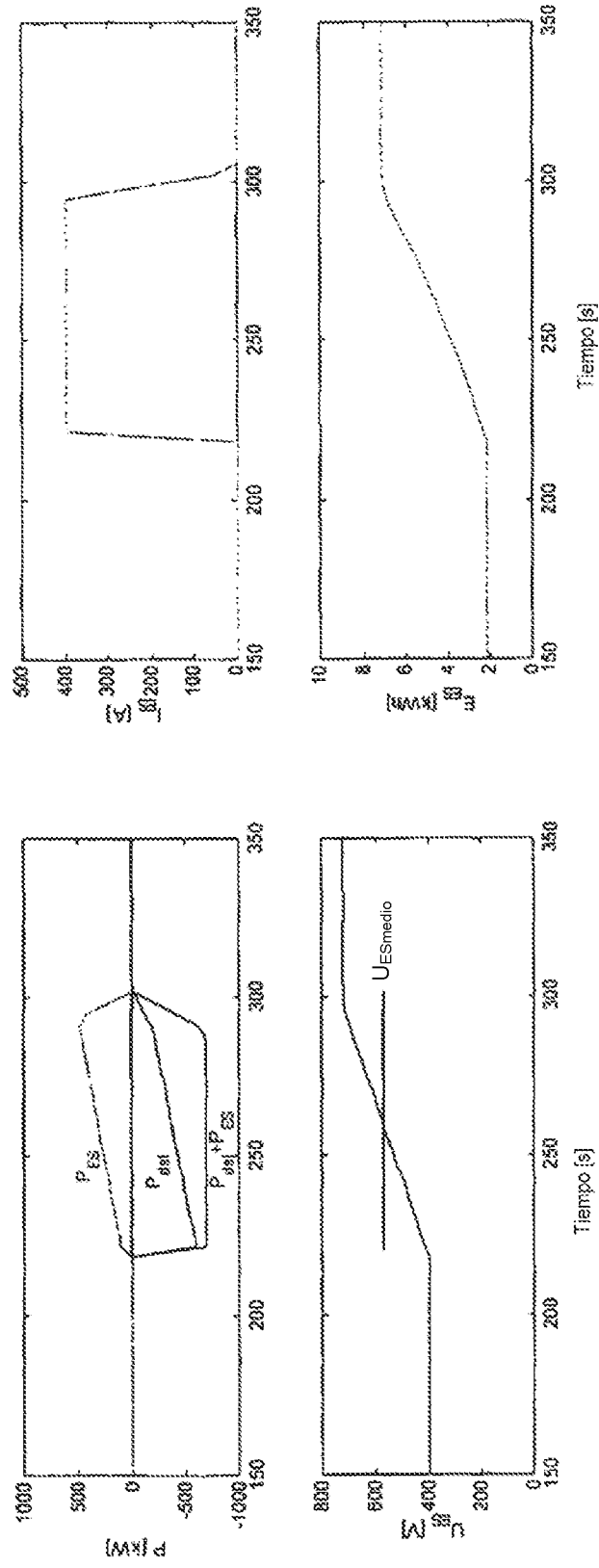


Fig. 6

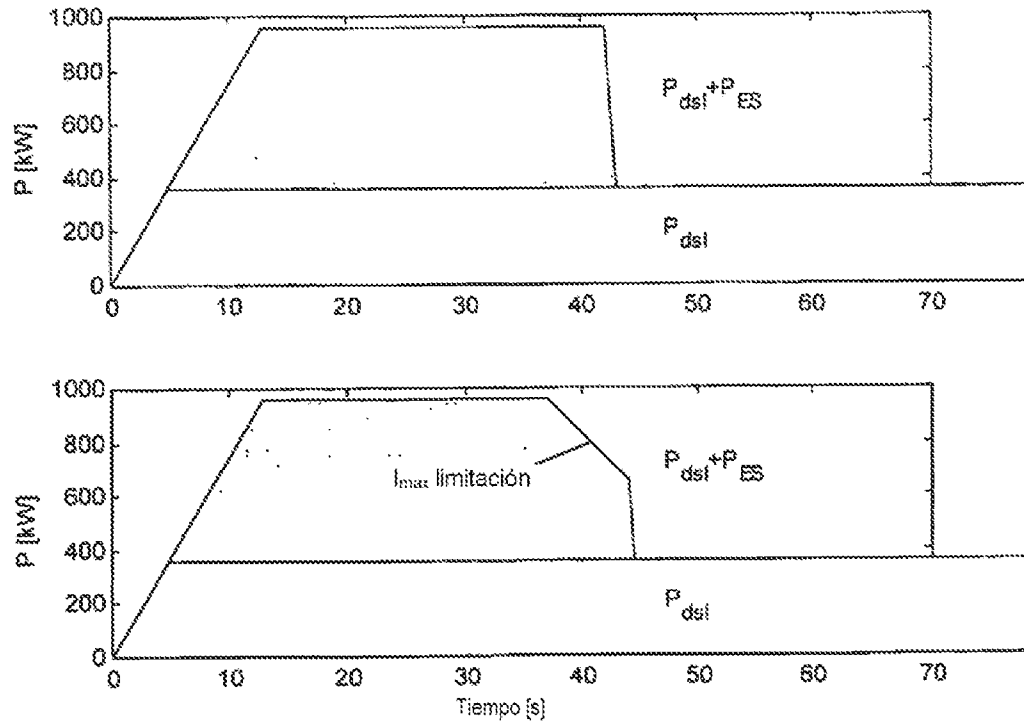


Fig. 7