

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 966 318**

51 Int. Cl.:

B60L 50/15	(2009.01) B61C 3/02	(2006.01)
B60L 15/20	(2006.01)	
B60L 58/10	(2009.01)	
B60L 7/10	(2006.01)	
B60L 50/61	(2009.01)	
B60K 6/28	(2007.01)	
B60L 50/53	(2009.01)	
B60L 58/13	(2009.01)	
B60W 20/13	(2006.01)	
B60W 20/15	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.08.2020** **PCT/EP2020/072774**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **01.04.2021** **WO21058195**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.08.2020** **E 20764023 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2023** **EP 4010215**

54 Título: **Procedimiento de operación de un vehículo ferroviario y vehículo ferroviario**

30 Prioridad:

27.09.2019 DE 102019214918

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.04.2024

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

MELZER, MICHAEL;
FISCHPERER, ROLF y
MEINERT, MICHAEL

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 966 318 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

Procedimiento de operación de un vehículo ferroviario y vehículo ferroviario

La invención se refiere a un procedimiento para operar un vehículo ferroviario y un vehículo ferroviario.

En los vehículos ferroviarios, existen dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica a bordo con los que, entre otras cosas, se puede almacenar energía de tracción. Las soluciones de almacenamiento de energía se utilizan en particular en el funcionamiento de vehículos ferroviarios, que se caracteriza por una alternancia frecuente de procesos de aceleración y frenado, ya que permiten aprovechar casi por completo la energía de frenado mediante la recuperación, en donde la energía cinética se convierte en energía eléctrica. De este modo, los sistemas de almacenamiento de energía permiten el funcionamiento autónomo en tramos cortos de vía sin fuentes de energía adicionales a bordo ni alimentación de la catenaria o garantizan temporalmente un menor consumo de energía de la catenaria.

Dichos sistemas de almacenamiento de energía se cargan y descargan de nuevo en alternancia permanente durante el funcionamiento.

El documento DE 102 04215 A1 describe un vehículo, en particular un vehículo ferroviario, que está equipado con un dispositivo de suministro de energía, un dispositivo de accionamiento eléctrico conectado al mismo y un acumulador de energía conectado al dispositivo de accionamiento para almacenar energía de frenado en una fase de frenado del vehículo y para liberar la energía almacenada al dispositivo de accionamiento en una fase de aceleración del vehículo.

El documento DE 10 2008 050 737 A1 divulga un procedimiento para el funcionamiento de un vehículo con propulsión híbrida en donde se infiere un cambio inminente de velocidad en función, por ejemplo, de la velocidad actual. El estado de carga de consigna de la unidad de almacenamiento de energía eléctrica se determina en consecuencia. A continuación, se determina el estado de funcionamiento, es decir, el proceso de carga o descarga, en función de este estado de carga de consigna.

El uso de sistemas de almacenamiento de energía en aplicaciones de accionamiento durante el funcionamiento, por ejemplo, en vehículos ferroviarios, en particular para ahorrar o recuperar energía, especialmente energía de tracción y/o frenado, plantea retos en lo que respecta a su gestión de la energía, ya que suelen funcionar en paralelo con otras fuentes de energía.

Por ejemplo, el problema de los sistemas de almacenamiento de energía en forma de condensadores de doble capa es que su rendimiento es limitado debido a la limitación de corriente y a la baja tensión cuando el sistema de almacenamiento de energía está vacío. Sin embargo, si se prevé que no habrá suficiente energía disponible en la siguiente fase de carga para cargar completamente el sistema de almacenamiento de energía, una descarga profunda por adelantado es desventajosa, ya que esto reduce aún más la capacidad de absorción y no se puede utilizar cualquier potencia de frenado elevada. La energía no utilizada como consecuencia de ello generalmente no puede aprovecharse y se convierte en otra cosa, por ejemplo, en calor, y se "pierde".

La invención se basa en la tarea de especificar un procedimiento con el que el almacenamiento de energía de un vehículo ferroviario pueda utilizarse en forma óptima para absorber la energía esperada, en particular de los procesos de frenado, de la manera más completa posible.

El problema se resuelve mediante las características de la reivindicación de patente independiente 1. Pueden encontrarse otros desarrollos y realizaciones de la invención en las características de las reivindicaciones de patente dependientes.

Con el procedimiento según la invención para operar un vehículo ferroviario, que tiene al menos un acumulador de energía eléctrica (ES) para almacenar energía, la potencia de descarga del ES puede ajustarse durante el funcionamiento del vehículo ferroviario, ajustándose la potencia de descarga mediante la comparación de un estado de carga real con un estado de carga de consigna del ES en función de un estado de energía del vehículo ferroviario.

La solución según la invención tiene la ventaja de que, comparando un estado de carga real con el correspondiente estado de carga de consigna del acumulador de energía en función del estado energético del vehículo ferroviario, es posible deducir si se ha de tomar energía del dispositivo o dispositivos de almacenamiento de energía, es decir, que el procedimiento puede utilizarse para decidir cuándo se ha de tomar energía de uno o más dispositivos de almacenamiento de energía o de una fuente de energía alternativa (por ejemplo, una línea aérea, un motor diésel, etc.) del vehículo ferroviario, a fin de permitir que uno o más dispositivos de almacenamiento de energía del vehículo ferroviario absorban o almacenen la mayor cantidad posible de energía que cabe esperar de nuevo en el futuro, en particular de los procesos de frenado.

De acuerdo con la invención, el estado energético del vehículo ferroviario puede determinarse mediante al menos una variable de estado, en donde la al menos una variable de estado es un equivalente energético del vehículo ferroviario.

Un equivalente energético es preferiblemente la velocidad del vehículo ferroviario, ya que es particularmente fácil de

determinar o medir. La velocidad del vehículo ferroviario es una medida de su energía cinética y, por lo tanto, del estado energético del vehículo ferroviario. Por lo tanto, en lo sucesivo, la velocidad se utiliza generalmente como representativa de este estado energético, aunque esto también se aplica igualmente a otras variables de estado, en particular otros equivalentes energéticos, como la velocidad de rotación, la velocidad angular, la altura, la carga, etc.

- 5 De acuerdo con la invención, el estado de carga de consigna del acumulador de energía puede determinarse en función de al menos un equivalente energético, por lo que una curva de estado de carga de consigna resultante es una función del al menos un equivalente energético del vehículo ferroviario.

El estado de carga de un acumulador de energía puede representarse mediante diferentes variables de estado. Ejemplos de ello son las cantidades de carga acumuladas, las tensiones, las velocidades, etc. En lo que sigue, la tensión se utiliza generalmente como el equivalente de estado de carga particularmente preferido, ya que la tensión también puede determinarse muy fácilmente y con gran precisión, aunque también puede utilizarse sin restricciones cualquier otra variable de estado de carga o cualquier otro equivalente de estado de carga.

Así, según la invención, se determina un estado de carga de consigna predefinido del acumulador de energía, es decir, una tensión o un valor de tensión, en función del estado energético respectivo del vehículo, es decir, un equivalente energético, como, en particular, la velocidad, con lo que puede trazarse una curva de estado de carga de consigna correspondiente. La curva de estado de carga de consigna U es, por lo tanto, una función de la variable de estado pertinente o de la velocidad equivalente de energía pertinente v : $U=f(v)$.

De acuerdo con una realización preferida de la invención, una curva de consigna de estado de carga corresponde a un perfil de funcionamiento del vehículo ferroviario, correspondiendo diferentes perfiles de funcionamiento a diferentes curvas de consigna de estado de carga. En una realización particularmente preferida, las diferentes curvas de estado de carga de consigna se almacenan en una memoria de datos, de modo que pueden recuperarse o leerse en cualquier momento cuando sea necesario y, por lo tanto, están disponibles en cualquier momento. Esto significa que los perfiles de funcionamiento del vehículo ferroviario pueden cartografiarse y almacenarse para todas las situaciones concebibles como curvas de estado de carga de consigna asociadas, en particular de antemano, es decir, predefinidas, con lo que estas pueden almacenarse tanto en función de la ubicación como con validez general.

De acuerdo con otra realización preferida de la invención, puede derivarse una potencia de consigna de descarga comparando el estado de carga real con el estado de carga de consigna del ES en función del estado energético del vehículo ferroviario. De manera particularmente preferida, la potencia de descarga de consigna puede utilizarse para una extracción de energía controlada del ES del vehículo ferroviario, en la que esto tiene lugar de manera particularmente preferente mediante una extracción de corriente controlada que, a su vez, es utilizable de manera particularmente preferente para acelerar el vehículo ferroviario.

El ajuste de la potencia de descarga según la invención, en particular la determinación de la respectiva potencia de consigna de descarga de un acumulador de energía, se controla comparando el estado de carga real actual con el correspondiente estado de carga de consigna predefinido del acumulador de energía en función del estado energético asociado del vehículo. Por ejemplo, la tensión puede controlarse como medida del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía en función de la velocidad del vehículo ferroviario. La velocidad medida junto con la curva de consigna almacenada para el estado de carga $U=f(v)$ da como resultado un valor de consigna para la tensión U_{soil} . El valor medido de la tensión del acumulador de energía U_{ist} se resta de este, lo que puede dar lugar a una desviación de control, que se convierte en una potencia de consigna de descarga en un circuito de control conectado a tal efecto por medio de un controlador correspondiente, por ejemplo, un controlador PI. Una potencia de descarga puede representarse, por ejemplo y en forma especialmente ventajosa, mediante una corriente de descarga, de modo que la potencia de descarga de consigna determinada sobre la base de la comparación descrita con anterioridad corresponde a una corriente de descarga de consigna I_{soil} . Esto conduce, a su vez, en el sistema controlado del vehículo sobre rieles a una toma de corriente controlada I_{ist} del acumulador de energía en la medida en que esta energía representada por ella puede y debe utilizarse, por ejemplo, y en forma especialmente ventajosa para acelerar el vehículo sobre rieles, ya que, de este modo, no se requieren fuentes de energía alternativas. Opcionalmente, también es posible limitar la corriente de descarga, por ejemplo, para evitar una descarga profunda del dispositivo o dispositivos de almacenamiento de energía. La potencia de descarga resultante o la potencia por extraer influyen, a su vez, en el sistema controlado mediante la aceleración y el consiguiente cambio de velocidad del vehículo ferroviario, lo que da lugar a un control realimentado.

De acuerdo con otra realización particularmente preferida de la invención, la curva de estado de carga de consigna es una función de al menos un equivalente energético del vehículo ferroviario y de al menos una variable perturbadora. De manera particularmente preferida, la curva de estado de carga de consigna es adaptable en función de un estado de carga de consigna definido del acumulador de energía a una velocidad definida del vehículo ferroviario.

55 De este modo, el procedimiento según la invención puede utilizarse para tener en cuenta favorablemente variables de perturbación al determinar la curva de estado de carga de consigna. Las variables perturbadoras son influencias que pueden afectar al estado energético del vehículo ferroviario, pero que en gran medida se desconocen. Si pueden medirse una o varias variables perturbadoras, como el estilo de conducción accionado por el conductor o maquinista, la carga útil (m_{zu}), las condiciones meteorológicas (T), las operaciones auxiliares (P_{HBU}), la posición (x,y), el sentido

de la marcha (d), etc., el estado de carga de consigna y, por lo tanto, la correspondiente curva de estado de carga de consigna pueden determinarse no solo en función de un estado energético del vehículo, como, por ejemplo, la velocidad v, sino también en función de la velocidad del vehículo. Por ejemplo, se puede considerar una función $U(v, \text{conductor}, m_{zul}, T, P_{HBU}, x, y, d)$ y así tener en cuenta al menos una o más variables perturbadoras. La descripción matemática de la influencia de una o más variables perturbadoras sobre el valor de consigna del estado de carga es muy compleja y requiere mucho tiempo. La complejidad resultante de las relaciones puede resolverse, por ejemplo, utilizando aprendizaje automático, inteligencia artificial, redes neuronales, etc. Si se utiliza el aprendizaje automático, por ejemplo, podría hacerse una previsión de la potencia de carga y de la energía necesaria para el frenado basándose en las secuencias temporales pasadas de los estados registrados y, a partir de ahí, podría derivarse un estado de consigna del valor de carga. La ventaja del aprendizaje automático reside en que se minimiza la influencia de las variables perturbadoras y se puede eliminar la necesidad de describir matemáticamente el efecto de las variables perturbadoras sobre el valor de consigna del estado de carga. Cuantas más variables perturbadoras se registren mediante medición, menor será la necesidad de un tratamiento específico de las variables perturbadoras, como ocurre con el control simple de la potencia de descarga basado en el estado. En particular, es ventajoso, en función de la ubicación o de una parada del vehículo ferroviario, tener en cuenta variables perturbadoras ya previsibles, como cambios de altitud o de consumo de energía, etc. debidos a resistencias de conducción especiales, como radios de curva, etc. en la curva correspondiente del estado de carga de consigna, es decir, la curva característica $U(v)$.

Aunque la compensación de las variables perturbadoras no es absolutamente necesaria para un control simple de la potencia de descarga basado en el estado, no deja de ser útil.

De acuerdo con la invención, es particularmente preferible tener en cuenta una o más variables perturbadoras ajustando la curva de estado de carga de consigna en función de un estado de carga de consigna definido del sistema de almacenamiento de energía a una velocidad definida del vehículo ferroviario.

Por ejemplo, a continuación, se muestran dos opciones para tratar las variables perturbadoras.

Debido a las variables perturbadoras, las predicciones de una curva de estado de carga de consigna predefinida pueden desviarse de la realidad, de modo que uno o más dispositivos de almacenamiento de energía no pueden cargarse completamente durante el siguiente proceso de carga, en particular el proceso de frenado del vehículo ferroviario, porque se ha eliminado demasiada energía por adelantado y, por lo tanto, se ha perdido, o bien ya están completamente cargados antes de tiempo porque no se han descargado lo suficientemente profundo de antemano y, por lo tanto, se ha perdido parte de la energía, por ejemplo, a través de la radiación térmica. En consecuencia, es ventajoso integrar un sistema de control de nivel superior para adaptar la curva característica correspondiente del estado de carga, es decir, la curva de consigna del estado de carga.

Así, según la invención, cuando se alcanza una velocidad definida, la velocidad de referencia v_{Ref} , por ejemplo, en parada, es decir $v=0$, el estado de carga actual U se resta del valor de consigna del estado de carga asociado, es decir, el estado de carga de referencia U_{Ref} asociado a la velocidad de referencia v_{Ref} . A continuación, la desviación resultante se procesa mediante un regulador, por ejemplo, un regulador PI, en cuya salida se define, por ejemplo, una función $m(v)$ dependiente de la velocidad, y la variable resultante se utiliza para ajustar matemáticamente la curva de consigna, por ejemplo, según el siguiente patrón matemático:

$$m(v) = 1 + (m_n \cdot v/v_{max})$$

La función dependiente de la velocidad $m(v)$ se multiplica ahora por la curva de valor de consigna $U(v)$, por ejemplo, dando como resultado $U(v) \times m(v)$, con lo que la adaptación de la curva de valor de consigna del estado de carga se consigue basándose en la consecución de un valor de consigna del estado de carga definido a una velocidad definida. Por lo tanto, esto conduce a una adaptación del valor de consigna del estado de carga dependiente de la velocidad y, por lo tanto, de la curva del estado de carga de consigna $U(v)$.

De acuerdo con otra realización especialmente preferida de la invención, la inclinación de la curva de consigna del estado de carga puede adaptarse en función de una velocidad definida del vehículo ferroviario.

Cuando se alcanza una velocidad definida, por ejemplo, a $v=0$, se comprueba el ahorro de energía conseguido en comparación con el valor de consigna, por ejemplo, de la siguiente manera:

a) Valor de consigna $dU_{soll} = U_{max} - U_{min}$ con U_{max} = tensión máxima de almacenamiento de energía, es decir, estado de carga máximo, el almacenamiento de energía está totalmente cargado, y U_{min} = tensión mínima de almacenamiento proyectada, es decir, estado de carga mínimo, el almacenamiento de energía está "vacío", es decir, descargado.

b) Valor real $dU_{ist} = U_{ist,min} - U_{ende}$, con $U_{ist,min}$ = tensión más baja alcanzada en el intervalo considerado y U_{ende} = tensión alcanzada después de cargar el almacén de energía mediante el proceso de frenado tras alcanzar la velocidad definida $v=0$.

El valor real correspondiente del estado de carga dU_{ist} nunca puede ser superior al valor de consigna dU_{soll} .

Al comparar el valor real con el valor de consigna, pueden darse los siguientes casos:

Si el valor real es igual al valor de consigna, es decir, $dU_{ist} = dU_{soll}$, no es necesario tomar ninguna otra medida, puesto que el ahorro energético conseguido ya es óptimo.

- 5 Si $U_{ende} < U_{max}$, significa que no se ha conseguido el ahorro de energía óptimo porque el acumulador de energía no se ha podido recargar completamente con el proceso de frenado, ya que se había descargado demasiado. Por consiguiente, la corriente de descarga debe reducirse en consecuencia.

10 Las posibles causas son, por ejemplo, que 1. se disponga de demasiada energía de frenado en un tiempo demasiado corto, por lo que se hace efectiva una limitación de la corriente de carga, a consecuencia de la cual no se puede absorber la energía de frenado, o que 2. no se disponga de suficiente energía de frenado para cargar la unidad de almacenamiento de energía, por ejemplo, debido a variables perturbadoras.

Consecuencia:

- En la fase de diseño: Revisar el diseño del sistema de almacenamiento: Más potencia, menos energía.

- En la fase de funcionamiento: La descarga debe reducirse para que el sistema de almacenamiento de energía pueda cargarse al máximo cuando la energía de frenado se absorba por completo.

- 15 Para tener esto en cuenta, se puede aumentar la pendiente de la curva del estado de carga de consigna, es decir, la curva característica $U=f(v)$.

Si $U_{end} = U_{max}$ y $U_{ist,min} > U_{min}$, significa que no se ha alcanzado el ahorro energético óptimo porque el acumulador de energía no se ha descargado lo suficiente con anterioridad.

Las posibles causas son, por ejemplo, que

- 20 1. la corriente de descarga prevista está limitada por el valor máximo o que
2. el consumo de energía del vehículo ferroviario sea inferior al previsto, por ejemplo, debido a variables perturbadoras.

Consecuencia:

- En la fase de diseño: Revisar el diseño del almacenamiento: Más potencia, menos energía.

- 25 - En la fase de funcionamiento: Debe aumentarse la descarga incluso a bajas velocidades para que pueda convertirse más energía en el sistema de almacenamiento de energía.

Para tener esto en cuenta, la pendiente de la curva del estado de carga de consigna, es decir, la curva característica $U=f(v)$ puede reducirse.

Otra realización especialmente preferida de la invención es un vehículo ferroviario con medios para aplicar el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.

- 30 En resumen, el procedimiento según la invención puede utilizarse para garantizar que uno o más dispositivos de almacenamiento de energía de un vehículo ferroviario puedan cargarse de la mejor manera posible mediante energía recuperativa sin ser incapaces de absorber una mayor cantidad de energía o estar ya completamente cargados, a pesar de disponer de energía recuperativa adicional, en comparación con los sistemas o procedimientos de descarga convencionales de la técnica anterior. Esto es especialmente ventajoso para dispositivos de almacenamiento de
35 energía con potencia dependiente del estado de carga, como condensadores de doble capa, dispositivos de almacenamiento masivo de volante de inercia y baterías. Otra ventaja del procedimiento según la invención es que este, y en particular el sistema de control asociado, se adapta automáticamente a variables perturbadoras que normalmente no pueden detectarse o solo pueden detectarse en forma inadecuada y que, por lo tanto, suelen obstaculizar la utilización óptima del almacenamiento de energía. La adaptación es especialmente adecuada para
40 variables perturbadoras que cambian lentamente a lo largo de varios ciclos de carga/descarga. En cambio, el control interno puede reaccionar muy rápidamente a los cambios. La adaptación reacciona independientemente del tipo de perturbación. Indirectamente, la adaptación reacciona incluso automáticamente al envejecimiento del sistema de almacenamiento de energía si cambia su contenido energético y/o su capacidad. Por regla general, muchas de las variables necesarias ya se conocen y solo hay que procesarlas. Por lo tanto, se evita en gran medida el uso de
45 sensores adicionales. Cuando se utiliza el aprendizaje automático, ya no es necesaria la descripción matemática/física de la influencia de las variables perturbadoras sobre el valor de consigna del estado de carga, lo que simplifica la ingeniería.

- Además, el control de descarga adaptativo basado en el estado del sistema de almacenamiento de energía, por ejemplo, cuando se utiliza para condensadores de doble capa, ofrece varias ventajas en cuanto al valor efectivo de la
50 corriente de almacenamiento, el comportamiento de las pérdidas, el envejecimiento térmico, el dimensionamiento de los componentes, el contenido energético del sistema de almacenamiento de energía, el tamaño del sistema de

refrigeración y el consumo de energía. El control de descarga utilizado permite el funcionamiento a tensiones medias más elevadas de los condensadores de doble capa, sin que se vean afectados los límites superior e inferior. Al funcionar a tensiones más altas, se requieren corrientes más bajas para la misma potencia, lo que se traduce en valores de corriente efectiva más bajos que, a su vez, se traducen en menores pérdidas óhmicas en el convertidor, la reactancia y el almacenamiento de energía. Las menores pérdidas mejoran el comportamiento térmico de los componentes y permiten su uso en condiciones ambientales más cálidas o con un menor esfuerzo para refrigerar los componentes. Las menores pérdidas contribuyen a aumentar la eficiencia energética y reducen la demanda de energía. La mejora resultante en el valor eficaz de la corriente también podría utilizarse para permitir umbrales más bajos para el estado mínimo de carga del sistema de almacenamiento de energía que, debido al sistema de control, solo entran en juego en descensos largos, por ejemplo. De este modo, el dispositivo o dispositivos de almacenamiento de energía podrían utilizar una mayor proporción de su contenido energético teórico, lo que se traduciría en un mejor aprovechamiento y una mayor eficiencia energética.

Una opción adicional es sobredimensionar (alto consumo de energía, pero altos costes de inversión) o subdimensionar (barato, pero la energía solo puede recuperarse parcialmente) las unidades de almacenamiento de energía.

A continuación, se explican con más detalle las realizaciones preferidas de la invención con referencia a los dibujos. En ellos se muestra:

Fig. 1 un diagrama de circuito equivalente para un control basado en el estado de la potencia de descarga,

Fig. 2 un diagrama de circuito equivalente para el control de la energía a una velocidad de referencia y

Fig. 3 a 6 diagramas de la capacidad de almacenamiento o de la energía en relación con una curva de estado de carga de consigna adaptada.

La Fig. 1 muestra un diagrama de circuito equivalente para un control basado en el estado 1 de la potencia de descarga.

La potencia de descarga de un sistema de almacenamiento de energía se ajusta en forma controlada comparando un estado de carga real actual con un estado de carga de consigna predefinido del sistema de almacenamiento de energía en función del estado energético de un vehículo ferroviario, en particular la velocidad de un vehículo ferroviario, que es una medida de la energía cinética y, por lo tanto, del estado energético del vehículo ferroviario. En las figuras y en la descripción de las figuras, la velocidad se utiliza, por lo tanto, como representativa de este estado energético, aunque esto también se aplica igualmente a otras variables de estado, en particular a otros equivalentes energéticos, como la velocidad de rotación, la velocidad angular, la posición de la altura, la carga, etc.

La Fig. 1 muestra una memoria 10 de datos que contiene una o más curvas de estado de carga de consigna $U(v)$. Las curvas de estado de carga de consigna son, por ejemplo, curvas de tensión U en función de la variable de estado velocidad v . Una curva de estado de carga de consigna corresponde a un perfil de funcionamiento del vehículo ferroviario, correspondiendo a diferentes perfiles de funcionamiento diferentes curvas de estado de carga de consigna. Esto significa que, en la memoria 10 de datos, puede almacenarse una curva de estado de carga de consigna asociada para cada perfil de funcionamiento concebible de un vehículo ferroviario, ya sea dependiente de la ubicación o válido en general, de modo que pueda llamarse o leerse en cualquier momento cuando sea necesario y, por lo tanto, esté disponible en todo momento.

La velocidad medida v junto con la curva de estado de carga de consigna almacenada en la memoria 10 de datos ($U=f(v)$) da como resultado un valor de consigna para la tensión U_{soll} . A este se le resta el valor medido de la tensión U^{ist} . Si de ello resulta una desviación de regulación distinta de 0, esta se convierte en el regulador 12, aquí ejemplificado como regulador PI, en una potencia de descarga de consigna, representada en la Figura 1, por ejemplo, por la corriente de descarga de consigna I_{soll} . En un limitador 14 de corriente opcional, también es posible limitar la corriente de descarga, por ejemplo, para evitar una descarga profunda del dispositivo o dispositivos de almacenamiento de energía.

La consigna I_{soll} mostrada en la Fig. 1 conduce posteriormente a una toma de corriente controlada I_{ist} (no mostrada aquí) del sistema de almacenamiento de energía en el sistema 16 controlado, por ejemplo, para acelerar el vehículo ferroviario. La potencia de descarga resultante, o la potencia a extraer, influye a su vez en el sistema controlado por medio de la aceleración y el cambio resultante en la velocidad del vehículo ferroviario y, por lo tanto, conduce a un control de realimentación. El sistema 16 controlado también puede verse influido por otras variables de estado, en particular variables perturbadoras (simbolizadas en la Fig. 1 por una flecha que apunta hacia el sistema 16 controlado).

Las variables perturbadoras son influencias que pueden afectar al estado energético del vehículo, pero que se desconocen en gran medida.

Si pueden medirse una o varias variables perturbadoras, tales como el estilo de conducción (conductor) provocado por el conductor o el maquinista, la carga útil (m_{Zul}), las condiciones meteorológicas (T), las operaciones auxiliares (P_{HBU}), la posición (x,y), la dirección de la marcha (d), etc., el estado de carga de consigna y, por lo tanto, la correspondiente curva de estado de carga de consigna pueden representarse no solo como una función de un estado energético del vehículo, como la velocidad v , sino también como una dependencia unidimensional o multidimensional.

Por ejemplo, puede considerarse una función $U(v, \text{conductor}, m_{zul}, T, P_{HBU}, x, y, d)$ y, de este modo, pueden tenerse en cuenta al menos una o más variables de perturbación. Las figuras siguientes muestran ejemplos del tratamiento de las variables perturbadoras.

La Fig. 2 muestra un diagrama de circuito equivalente para un sistema de control correspondiente a una velocidad de referencia.

Debido a las variables de perturbación ya mencionadas, las predicciones de una curva de estado de carga de consigna predefinida pueden desviarse de la realidad, de modo que uno o más almacenes de energía o bien no pueden cargarse completamente durante el siguiente proceso de carga, en particular el proceso de frenado del vehículo ferroviario, porque se ha extraído demasiada energía por adelantado y, por lo tanto, se ha perdido, o bien ya están completamente cargados antes de tiempo porque no se han descargado con suficiente profundidad de antemano y, por lo tanto, parte de la energía se pierde, por ejemplo, a través de la radiación térmica. Por consiguiente, es ventajoso integrar un sistema de control de nivel superior para adaptar la curva característica correspondiente del estado de carga, es decir, la curva de consigna del estado de carga, como se muestra a modo de ejemplo en la Fig. 2.

Cuando se alcanza una velocidad definida, la velocidad de referencia v_{Ref} , por ejemplo, en reposo, es decir, a $v = 0$, el estado de carga actual U_{23} se resta del valor de consigna del estado de carga asociado, es decir, el estado de carga de referencia U_{Ref} perteneciente a la velocidad de referencia v_{Ref} , por medio del disparador 21.

La desviación resultante se procesa entonces por medio de un regulador 27, diseñado aquí por ejemplo, como un regulador PI, en cuya salida del regulador 27 se define, por ejemplo, una función dependiente de la velocidad $m(v)$, y la variable resultante se utiliza para ajustar matemáticamente la curva del valor de consigna de acuerdo con el siguiente patrón matemático, por ejemplo:

$$m(v) = 1 + (m_n \cdot v/v_{max})$$

La función dependiente de la velocidad $m(v)$ se multiplica ahora por la curva del valor de consigna $U(v)$, por ejemplo, resultando $U(v) \times m(v)$, con lo que la adaptación de la curva del estado de carga de consigna se consigue basándose en la consecución de un estado de carga de consigna U_{Ref} definido a una velocidad v_{Ref} definida. Por lo tanto, esto conduce a una adaptación del valor de consigna del estado de carga en función de la velocidad y, por lo tanto, de la curva del estado de carga de consigna $U(v)$.

En las Figuras 3 a 6, se ilustra a modo de ejemplo otra opción para tratar las variables perturbadoras.

Las Figuras 3 a 6 muestran diagramas de la capacidad 30, 40 de almacenamiento y de la energía 35, 45 en relación con una curva de estado de carga de consigna adaptada.

Cuando se alcanza una velocidad definida, por ejemplo, a $v = 0$, se comprueba el ahorro de energía conseguido en comparación con el valor de consigna, por ejemplo, de la siguiente manera:

a) Valor de consigna $dU_{soll} = U_{max} - U_{min}$ con U_{max} = tensión máxima de almacenamiento de energía, es decir, estado de carga máximo, el almacenamiento de energía está completamente cargado, y U_{min} = tensión mínima de almacenamiento proyectada, es decir, estado de carga mínimo, el almacenamiento de energía está "vacío", es decir, descargado.

b) Valor real $dU_{ist} = U_{ist,min} - U_{ende}$, siendo $U_{ist,min}$ = tensión mínima alcanzada en el intervalo considerado y U_{ende} = tensión alcanzada tras cargar el almacén de energía mediante el proceso de frenado después de alcanzar la velocidad definida $v = 0$.

El valor real correspondiente del estado de carga dU_{ist} nunca puede ser superior al valor de consigna dU_{soll} .

Al comparar el valor real con el valor de consigna del estado de carga, pueden darse los siguientes casos:

Si el valor real es igual al valor de consigna, es decir, $dU_{ist} = dU_{soll}$, no es necesario tomar ninguna otra medida, ya que el ahorro de energía conseguido ya es óptimo.

Si $U_{ende} < U_{max}$, significa que no se ha conseguido el ahorro de energía óptimo porque el acumulador de energía no se ha podido recargar completamente con el proceso de frenado, ya que antes se había descargado demasiado. Por consiguiente, la corriente de descarga debe reducirse en consecuencia.

Las posibles causas son, por ejemplo, que 1. se disponga de demasiada energía de frenado en un tiempo demasiado corto, por lo que se hace efectiva una limitación de la corriente de carga, a consecuencia de la cual no se puede absorber la energía de frenado, o que 2. no se disponga de suficiente energía de frenado para cargar el acumulador de energía, por ejemplo, debido a variables perturbadoras.

Consecuencia:

- En la fase de diseño: Revisión del diseño del sistema de almacenamiento: Más potencia, menos energía.

- En la fase de funcionamiento: La descarga debe reducirse para que el sistema de almacenamiento de energía pueda cargarse al máximo cuando la energía de frenado se absorba por completo.

Para tener esto en cuenta, se puede aumentar la pendiente de la curva del estado de carga de consigna, es decir, la curva característica $U=f(v)$.

- 5 Este caso se ilustra en las Fig. 3 y 4, en donde el diagrama 30 muestra la capacidad de almacenamiento en función de la velocidad, y tanto la capacidad de almacenamiento como la velocidad se indican en %. Del mismo modo, el diagrama 35 muestra la energía en función de la velocidad, y tanto la capacidad de almacenamiento como la velocidad también se dan en %.

- 10 El diagrama 30 muestra la curva 32 característica con el curso normal de la potencia de almacenamiento en función de la velocidad según la curva de estado de carga de consigna original en comparación con la curva 34 característica, que representa el curso corregido de la potencia de almacenamiento en función de la velocidad según la curva de estado de carga de consigna adaptada, como se ha explicado con anterioridad. Del mismo modo, el diagrama 35 muestra la curva 37 característica con el curso normal de la energía en función de la velocidad según la curva de estado de carga de consigna original en comparación con la curva 39 característica, que representa el curso corregido de la energía en función de la velocidad según la curva de estado de carga de consigna adaptada, como se ha explicado con anterioridad.

Como puede observarse directamente en los diagramas 30 y 35, las curvas características corregidas 34 y 39 se extienden con una mayor inclinación claramente por encima de las correspondientes curvas 32 y 37 características no corregidas.

- 20 Las curvas 34 y 39 características corregidas representan, por lo tanto, debido a las condiciones explicadas con anterioridad, las curvas de estado de carga de consigna adaptadas correspondientes, que están destinadas a sustituir a las curvas de estado de carga de consigna originales y, por lo tanto, pueden representar mucho mejor la situación real.

- 25 Si $U_{end} = U_{max}$ y $U_{ist,min} > U_{min}$, significa que no se ha conseguido el ahorro de energía óptimo porque el acumulador de energía no se ha descargado lo suficiente con anterioridad.

Las posibles causas son, por ejemplo, que

1. la corriente de descarga prevista esté limitada por el valor máximo o que
2. el consumo de energía del vehículo ferroviario sea inferior al previsto, por ejemplo, debido a variables perturbadoras.

Consecuencia:

- 30 - En la fase de diseño: Revisar el diseño del almacenamiento: Más potencia, menos energía.
- En la fase de funcionamiento: Debe aumentarse la descarga incluso a bajas velocidades para que pueda convertirse más energía en el sistema de almacenamiento de energía.

Para tener esto en cuenta, la pendiente de la curva del estado de carga de consigna, es decir, la curva característica $U=f(v)$ puede reducirse.

- 35 Este caso se ilustra en las Fig. 5 y 6, en donde el diagrama 40 muestra la capacidad de almacenamiento en función de la velocidad, y tanto la capacidad de almacenamiento como la velocidad se indican en %. Del mismo modo, el diagrama 45 muestra la energía en función de la velocidad, y tanto la capacidad de almacenamiento como la velocidad también se indican en porcentaje.

- 40 El diagrama 40 muestra la curva característica 42 con el curso normal de la potencia de almacenamiento en función de la velocidad según la curva de estado de carga de consigna original en comparación con la curva 44 característica, que representa el curso corregido de la potencia de almacenamiento en función de la velocidad según la curva de estado de carga de consigna adaptada, como se ha explicado con anterioridad. Del mismo modo, el diagrama 45 muestra la curva 47 característica con el curso normal de la energía en función de la velocidad según la curva de estado de carga de consigna original en comparación con la curva 49 característica, que representa el curso corregido de la energía en función de la velocidad según la curva de estado de carga de consigna adaptada, como se ha explicado con anterioridad.

Como puede observarse directamente en los diagramas 40 y 45, las curvas 44 y 49 características corregidas discurren con una pendiente reducida claramente por debajo de las correspondientes curvas 42 y 47 características no corregidas.

- 50 Las curvas 44 y 49 características corregidas representan, por lo tanto, debido a las condiciones explicadas con anterioridad, las curvas de estado de carga de consigna adaptadas correspondientes, que están destinadas a sustituir a las curvas de estado de carga de consigna originales y, por lo tanto, pueden representar mucho mejor la situación

real.

Para determinar el cambio de pendiente:

- Como medida M para la corrección posterior necesaria, sirve la diferencia entre el ahorro energético conseguido y el ahorro energético de consigna: $M = (d_{ist})/(d_{soll})$.

- 5 - Ejemplo de curva de potencia (lineal):

$$P(v) = P_{max} * (1 - (1 - P_{min}/P_{max}) * (v/v_{max})^{EXP}) \text{ con } EXP = 1$$

- Ejemplo de curva característica excesiva:

$$P(v) = P_{max} * (1 - (1 - P_{min}/P_{max}) * (v/v_{max})^{1+M})$$

- Ejemplo de curva característica rebajada

10
$$P(v) = P(v) = P_{max} * (1 - (1 - P_{min}/P_{max}) * (v/v_{max})^{1-M})$$

- Si se reajusta el exponente EXP para cada nueva evaluación, se puede conseguir un control adaptativo y una optimización de la curva característica.

- Para garantizar que el exponente converge y no diverge, se puede utilizar, por ejemplo, la siguiente fórmula

$$EXP_{neu} = EXP_{alt} + /- M_{neu} * x, \text{ y seleccionar } x \text{ suficientemente pequeño.}$$

- 15 En este ejemplo, se supone que la curva característica de energía de los diagramas 35 y 45 de las Figuras 4 y 6 es cuadrática con la curva característica de potencia. Esto corresponde a un almacenamiento de condensador ideal con $E \sim U^2$ y $P \sim U$, es decir, $U = f(v)$ en este ejemplo corresponde a la curva característica de potencia en los diagramas 30 y 40 de las Figuras 3 o 5:

$$U(v) = U_{max} * (1 - (1 - U_{min}/U_{max}) * (v/v_{max})^{EXP}) .$$

- 20 La curva de potencia representa la capacidad de almacenamiento disponible en función de la velocidad, que no debe confundirse con la capacidad de almacenamiento por extraer en función de la velocidad, que está determinada por I_{soll} .

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para operar un vehículo ferroviario que presenta al menos un acumulador de energía eléctrica para almacenar energía,
5 en donde la potencia de descarga del acumulador de energía puede ajustarse durante el funcionamiento del vehículo ferroviario mediante un sistema de control, en donde la potencia de descarga se ajusta comparando un estado (23) de carga real con un estado (25) de carga de consigna del acumulador de energía en función de un estado energético del vehículo ferroviario,
10 en donde el estado energético del vehículo ferroviario se determina mediante al menos una variable de estado, en donde la al menos una variable de estado es un equivalente energético del vehículo ferroviario, en donde el estado (25) de carga de consigna del acumulador de energía se determina en función de al menos un equivalente energético, en donde una curva de estado de carga de consigna resultante (32, 37, 42, 47) es una función del al menos un equivalente energético del vehículo ferroviario, caracterizado porque la curva (32, 37, 42, 47) del estado de carga de consigna se adapta en función de una desviación de un estado (25) de carga de consigna definido con respecto al estado (23) de carga real del acumulador de energía cuando se alcanza un valor (21) definido del equivalente energético del vehículo ferroviario.
15
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque un equivalente energético es la velocidad del vehículo ferroviario.
3. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque una curva (32, 37, 42, 47) de estado de carga de consigna corresponde a un perfil de funcionamiento del vehículo ferroviario,
20 correspondiendo diferentes perfiles de funcionamiento a diferentes curvas de estado de carga de consigna en cada caso.
4. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las curvas de estado de carga de consigna se almacenan en una memoria de datos.
5. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque puede obtenerse una potencia de consigna de descarga comparando el estado (23) de carga real con el estado (25) de carga de consigna del acumulador de energía en función del estado energético del vehículo ferroviario.
25
6. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la potencia de descarga de consigna puede utilizarse para una extracción controlada de energía del acumulador de energía del vehículo ferroviario.
7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado porque la extracción controlada de energía del acumulador de energía del vehículo ferroviario tiene lugar mediante una extracción controlada de corriente.
30
8. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la extracción controlada de energía del acumulador de energía del vehículo ferroviario puede utilizarse para acelerar el vehículo ferroviario.
9. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la curva (32, 37, 42, 47) de estado de carga de consigna es una función del al menos un equivalente energético del vehículo ferroviario y de al menos una variable perturbadora.
35
10. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la curva (32, 37, 42, 47) de estado de carga de consigna puede adaptarse en función de un estado (25) de carga de consigna definido del acumulador de energía a una velocidad definida del vehículo ferroviario.
40
11. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la inclinación de la curva (32, 37, 42, 47) del estado de carga de consigna puede adaptarse en función de una velocidad definida del vehículo ferroviario.
12. Vehículo ferroviario con medios configurados para llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.
45

FIG 1

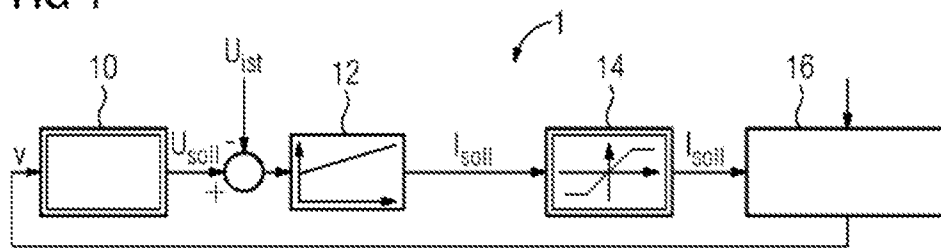


FIG 2

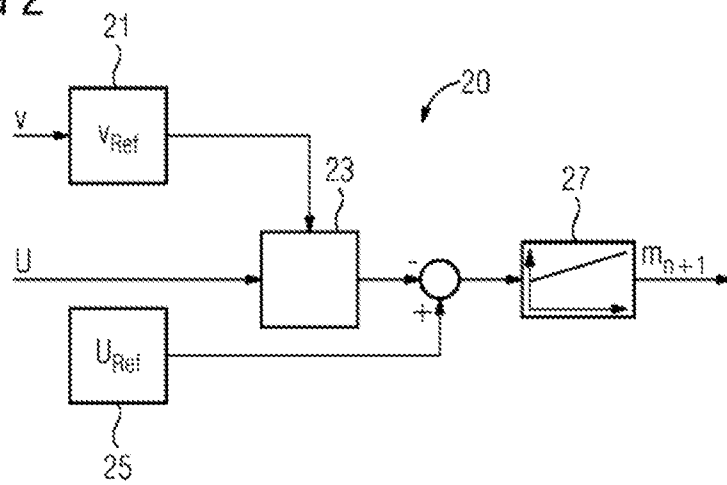


FIG 3

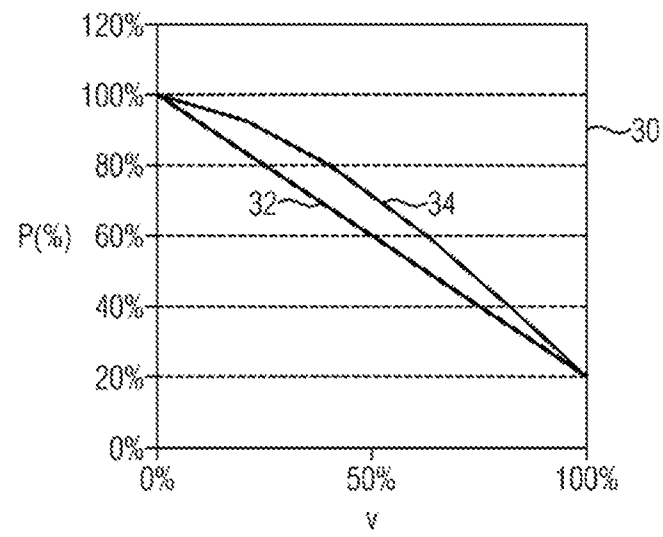


FIG 4

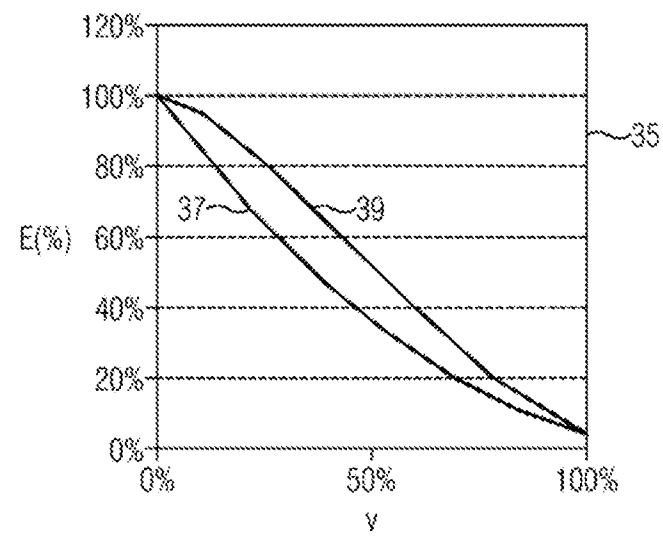


FIG 5

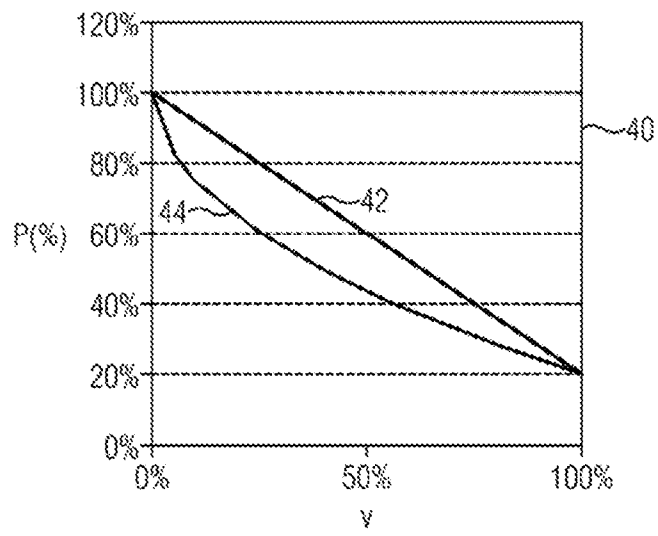


FIG 6

