

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 743 555**

51 Int. Cl.:

**B60M 3/06** (2006.01)

**B60L 9/00** (2009.01)

**B60L 11/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2013** **E 13197772 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2019** **EP 2749447**

54 Título: **Procedimiento para optimizar el funcionamiento de una subestación de tracción reversible y dispositivos asociados**

30 Prioridad:

**27.12.2012 FR 1262886**

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

**19.02.2020**

73 Titular/es:

**ALSTOM TRANSPORT TECHNOLOGIES (100.0%)  
48, rue Albert Dhalenne  
93400 Saint-Ouen, FR**

72 Inventor/es:

**CORNIC, DANIEL**

74 Agente/Representante:

**SALVÀ FERRER, Joan**

ES 2 743 555 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 para optimizar el funcionamiento de una subestación de tracción reversible y dispositivos asociados

5 **[0001]** La invención se refiere a un procedimiento para optimizar el funcionamiento de una subestación de tracción reversible de un sistema de suministro de energía eléctrica para vehículos ferroviarios, estando el sistema ubicado en la interfaz entre una red de suministro corriente alterna y una línea de alimentación de CC, dispuestas a lo largo de una vía y a las que un vehículo ferroviario puede conectarse eléctricamente, siendo la subestación reversible, entre otras cosas, controlable en modo de operación de tracción para transferir a la línea una energía eléctrica  
10 entregada por la red y en modo de operación de frenado para transferir a la red el exceso de energía eléctrica regenerativa capturada en la línea.

**[0002]** El documento EP 1 985 490 A1 describe dicho sistema para suministrar energía eléctrica a vehículos ferroviarios desde subestaciones de tracción reversibles.

15 **[0003]** Cada subestación reversible del sistema comprende un convertidor capaz de ser activado para operar:

- o como un rectificador, para transmitir energía eléctrica desde la red a la línea para suministrar energía eléctrica a un vehículo, situado en las proximidades de la subestación, cuyos motores funcionan en modo tracción;
- 20 - o como inversor, para enrutar la energía eléctrica desde la línea a la red para recuperar energía eléctrica de un vehículo, ubicado en las proximidades de la subestación, cuyos motores funcionan en modo frenado.

**[0004]** Cuando el convertidor funciona como un rectificador, se dice que la subestación está en modo de operación de tracción, y cuando el convertidor funciona como un inversor, la subestación se llama en modo de  
25 operación de frenado. Finalmente, cuando el convertidor está inactivo, la subestación se dice que está en modo de espera.

**[0005]** En cualquiera de los modos de operación de la subestación mencionados anteriormente, el punto de operación del convertidor depende de varios parámetros de configuración cuyos valores se establecen en el despliegue del sistema. En particular, la subestación está configurada para, en modo de tracción, usar una  
30 característica de tensión de corriente/voltaje y, en modo de operación de frenado, una característica de corriente/voltaje bajo frenado. Estas características en tracción y frenado son fijas.

**[0006]** Sin embargo, en el modo de tracción, es necesario maximizar el voltaje aplicado por el convertidor a la  
35 línea  $U_{ssk}$ , para una potencia constante, reducir la corriente inyectada en la línea por el convertidor y así reducir las pérdidas por efecto Joule a lo largo la línea al vehículo para alimentar.

**[0007]** En el modo de frenado, por el contrario, la tensión aplicada por el convertidor a la línea  $U_{ssk}$  debe minimizarse para aumentar la distancia sobre la cual la subestación puede recuperar la energía de frenado.

40 **[0008]** Por lo tanto, la eficiencia energética de una subestación de la técnica anterior se define durante la fase de diseño del sistema y se congela durante el despliegue de este sistema.

**[0009]** El documento CN 101 376 344 B describe un procedimiento de distribución de energía suministrada a  
45 un tren (o recuperada durante el frenado de un tren) entre una subestación eléctrica y un dispositivo de almacenamiento de energía. En tracción (frenado), los parámetros de distribución óptimos a y b se determinan en cada momento, de modo que a% de la energía que se suministrará al tren (un % de la energía que se recuperará del tren) es entregada por (suministrada a) la subestación, el resto b% es suministrada por (suministrada a) el dispositivo de almacenamiento de energía. Los parámetros de distribución se calculan en particular según un estado instantáneo  
50 de carga de la capacidad constituyente del dispositivo de almacenamiento de energía.

**[0010]** Por lo tanto, el objeto de la invención es superar el problema antes mencionado, en particular proponiendo un procedimiento que permita la optimización automática y dinámica del punto operativo del convertidor de una subestación de tracción reversible, en función de los valores de los parámetros operativos de la diferentes  
55 subestaciones del sistema durante su uso.

**[0011]** Con este fin, el objeto de la invención es un procedimiento de optimización, un medio de registro de información, una subestación reversible y un sistema para suministrar energía eléctrica a vehículos ferroviarios según las reivindicaciones adjuntas.

60 **[0012]** La invención y sus ventajas se comprenderán mejor con la lectura de la siguiente descripción, dada únicamente a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

- la figura 1 es una representación esquemática de una red ferroviaria equipada con un sistema de alimentación que  
65 comprende varias subestaciones reversibles, una red ferroviaria en la que puede circular al menos un vehículo

ferroviario;

- la figura 2 es un gráfico que muestra diferentes características de corriente/voltaje en tracción para una subestación reversible de la figura 1;

5 - la figura 3 es un gráfico que muestra diferentes características de frenado de corriente/tensión para una subestación reversible de la figura 1;

- la figura 4 es un diagrama de bloques del procedimiento para optimizar los parámetros de configuración implementados por una subestación del sistema de la figura 1; y,

- la figura 5 es un diagrama de bloques del algoritmo para determinar el valor instantáneo de un modo de operación que se prefiere.

10

**[0013]** La figura 1 representa una red ferroviaria 2 equipada con un sistema 4 de alimentación.

**[0014]** El sistema 4 está ubicado en la interfaz entre una red 20 de suministro de energía y una línea 6 de suministro de energía que está dispuesta a lo largo de una pista 47 de un vehículo ferroviario, como el vehículo 46.

15

**[0015]** La red 20 es una red limpia para entregar un voltaje de CA  $V_n$  que es un alto voltaje de CA trifásico. Por alto voltaje de CA, aquí se entiende un voltaje alterno de entre 1000 y 50 000 V CA. Según la enseñanza de la solicitud de patente FR 28 73 332, esta red 20 también puede ser una red trifásica de baja tensión de CA. Aquí, por baja tensión trifásica de CA, se entiende una tensión por debajo de 1000 V CA. Por lo general, esta red trifásica de CA de bajo voltaje será una red de bajo voltaje cuyo voltaje de CA está entre 400 y 1000 V CA.

20

**[0016]** El voltaje nominal en la línea 6 es un voltaje de CC cuyo valor nominal de  $U_{c\_nom}$  es 750, 1500 o 3000 V CC y cuyas variaciones alrededor de  $U_{c\_nom}$  están entre  $U_{c\_min}$  y  $U_{c\_max}$ , como se especifica en la norma europea EN 50163.

25

**[0017]** El sistema 4 comprende varias subestaciones de tracción reversibles, idénticas entre sí, distribuidas a intervalos regulares a lo largo de la línea 6. Para simplificar la figura 1, solo se han representado tres subestaciones  $S_{k-1}$ ,  $S_k$  y  $S_{k+1}$ .

30

**[0018]** El índice  $k$  representa el número de secuencia de cada subestación a partir de una subestación  $S_0$  ubicada en un extremo de la línea 6 y que se mueve en la dirección  $F$  indicada en la figura 1.

**[0019]** Las subestaciones  $S_k$  están conectadas eléctricamente a la red 20.

35

**[0020]** Cada subestación  $S_k$  está conectada eléctricamente a la línea 6 en un punto  $P_k$  de conexión. El punto  $P_k$  está separado del punto  $P_{k+1}$  y el punto  $P_{k-1}$  por una distancia  $D$ . Esta distancia  $D$  es generalmente superior a varios cientos de metros, pero en cualquier caso lo suficientemente corta para la subestación  $S_k$  puede suministrar tracción a un vehículo cuyo pantógrafo se encuentra en el punto  $P_{k+1}$ , mientras que la subestación  $S_{k+1}$  está inactiva. Aquí la distancia  $D$  está entre 1000 y 2000 m para un voltaje nominal  $U_{C\_nom}$  de 750 V CC y puede llegar hasta 20 km para un voltaje nominal con un voltaje nominal  $U_{C\_nom}$  de 3000 V CC.

40

**[0021]** Por suministro de tracción se entiende el hecho de que una subestación genera en la línea 6 potencia suficiente para alimentar los motores de tracción de los vehículos 46.

45

**[0022]** Cada subestación  $S_k$  está asociada con una zona de suministro de tracción  $Z_{tk}$  que es un segmento de la línea 6 centrado alrededor del punto  $P_k$ . La longitud media  $T_k$  de este segmento se define por la siguiente relación:

$$T_k = (U_{ss\ max\ k} - U_{C\ min}) / (\rho I_{max})$$

50

donde:

-  $U_{ss\ max\ k}$  es la tensión máxima que funciona en tracción en el punto  $P_k$  que puede generar la subestación  $S_k$ ,

-  $U_{C\ min}$  es el voltaje mínimo permitido en la línea 6,

55

-  $\rho$  es la resistencia lineal de la línea 6, y

-  $I_{max}$  es la intensidad máxima permitida de la corriente que fluye en la línea 6.

**[0023]** Como observación,  $U_{ss\ max\ k}$  es mayor o igual que  $U_{C\ nom}$ . La distancia  $D$  se elige para que sea igual o ligeramente menor que la distancia  $T_k$ , de modo que, independientemente de la posición del vehículo a lo largo de la línea 6, esta última esté siempre simultáneamente en dos zonas  $Z_{tk}$  y  $Z_{tk+1}$ . Tal elección asegura que los vehículos puedan ser alimentados independientemente de su posición a lo largo de la línea 6, incluso en caso de falla de una de las subestaciones  $S_k$ .

60

**[0024]** La subestación  $S_k$  también está asociada con una zona  $Z_{fk}$  para recuperar la energía de frenado de un vehículo, es un segmento de la línea 6 centrado alrededor del punto  $P_k$ . La longitud media  $F_k$  de este segmento se define por la siguiente relación:

$$F_k = (U_{C_{max}} - U_{C3_{min\ k}}) / (\rho I_{max})$$

5

donde:

-  $U_{Cmax}$  es el voltaje mínimo permitido en la línea 6, y

10 -  $U_{C3min\ k}$  es un límite bajo para el valor de un umbral  $U_{C3k}$  que se definirá más adelante.

**[0025]** Aquí,  $U_{C3min\ k}$  se elige inferior o igual a  $U_{Cnom}$ . Por lo tanto, la distancia  $F_k$  es superior o igual a la distancia  $D$ .

15 **[0026]** Por ejemplo, el límite  $U_{C3min\ k}$  se elige igual a 700 V DC para un sistema cuyo voltaje nominal  $U_C$ -nombre es 75° V

**[0027]** La zona  $Z_{fk}$  es tal que, independientemente de la posición del vehículo que frena dentro de esta zona  $Z_{fk}$ , la subestación  $S_k$  puede recuperar toda o parte de la energía de frenado de este vehículo.

20

**[0028]** Dado que la distancia  $F_k$  es mayor o igual que la distancia  $D$ , es posible recuperar la energía de frenado de un vehículo en el punto  $P_{k-1}$  o en el punto  $P_{k+1}$ . Por lo tanto, incluso si la subestación  $S_k$  está fuera de servicio, las subestaciones  $S_{k-1}$  y  $S_{k+1}$  pueden permitir recuperar la energía de frenado del vehículo ferroviario, independientemente de la posición del vehículo ferroviario entre los puntos  $P_{k-1}$  y  $P_{k+1}$ . Por lo tanto, es posible garantizar que toda la energía de frenado del vehículo ferroviario se recuperará incluso si una subestación está fuera de servicio.

25

**[0029]** La subestación reversible  $S_k$  comprende un convertidor 30 de cuatro cuadrantes conectado, por un lado, a la red 20 y, por el otro, al punto  $P_k$  en la línea 6.

30 **[0030]** Este convertidor 30 está adaptado para rectificar el voltaje trifásico de la red 20 para entregar en la línea 6 un voltaje de CC rectificado entre  $U_{ssmax\ k}$  y  $U_{Cmin}$ .

**[0031]** El convertidor 30 también puede agitar el voltaje de CC presente en la línea 6 para entregar en la red 20 un voltaje trifásico construido a partir de este voltaje de CC entre  $U_{C3min\ k}$  y  $U_{Cmax}$ . En modo inversor, el convertidor 30 puede absorber una corriente continua  $I_k$  como máximo igual a un umbral  $I_{kmax}$ .

35

**[0032]** En estado activo, el convertidor 30 puede cambiar del funcionamiento del rectificador al modo de funcionamiento del inversor, y viceversa, en menos de 10 ms para evitar pérdidas de frenada en el vehículo.

40 **[0033]** Para este propósito, el convertidor 30 está formado, por ejemplo, por un puente rectificador conectado en paralelo a un inversor. Aquí, el puente rectificador es un puente rectificador controlado hecho de tiristores o transistores de potencia como los transistores IGBT (Transistor bipolar de puerta aislada). El puente rectificador controlado permite generar un voltaje fijo de 750 V CC en la línea 6 y esto incluso en el caso de variaciones de más del 50 % de la energía consumida por la carga eléctrica suministrada a través de la línea 6.

45

**[0034]** La subestación  $S_k$  comprende un ordenador programable 29. Esta comprende un medio de cálculo 31, como un procesador, un reloj (no mostrado), un medio de almacenamiento 33, como una memoria de acceso aleatorio y una memoria de solo lectura, y una interfaz de entrada/salida (no se muestra) para la conexión del ordenador a periféricos, como el convertidor 30 o los sensores de medición 34, 36. El procesador es capaz de ejecutar las instrucciones del programa informático almacenadas en los medios de almacenamiento 33.

50

**[0035]** El convertidor 30 es un convertidor controlable. Para este propósito, la subestación  $S_k$  comprende una unidad de control 32 capaz de controlar el convertidor 30 para cambiarlo de un estado inactivo a un estado activo, y viceversa, y, en el estado activo, para hacerlo funcionar. como rectificador y, alternativamente, como inversor.

55

**[0036]** Cuando el convertidor está en estado inactivo, la subestación se dice que está en modo de espera; cuando el convertidor está en estado activo y funciona como un rectificador, se dice que la subestación está en modo de tracción; y cuando el convertidor está en el estado activo y funciona como un inversor, la subestación se llama en modo de frenado. Cabe señalar que, en el modo de espera, la subestación está energizada, pero ningún vehículo viaja a lo largo de la pista, es decir, el intervalo de operación  $H$ , que se definirá más adelante, es infinito

60

**[0037]** Más específicamente, la unidad 32 puede cambiar la subestación al modo de frenado tan pronto como el voltaje medido  $U_{ssk}$  sea mayor que un umbral  $U_{C3k}$ .

- [0038]** La unidad 32 también puede cambiar la subestación en el modo de tracción tan pronto como el voltaje  $U_{ssk}$  sea inferior a un umbral  $U_{dk}$ . Por ejemplo, el umbral  $U_{dk}$  es menor o igual a  $U_{Cnom}$ .
- 5 **[0039]** La unidad 32 permite controlar el voltaje  $U_{ssk}$  suministrado o absorbido por la subestación  $S_k$  en el punto  $P_k$  en un punto de ajuste  $U_{ssc}$ . Para este propósito, la subestación  $S_k$  comprende un sensor 34 de la intensidad de la corriente  $I_k$  y un sensor 36 del voltaje  $U_{ssk}$  en el punto  $P_k$ .
- 10 **[0040]** La subestación  $S_k$  también comprende un módulo 40 para ajustar el valor del umbral  $U_{C3k}$  en función de la tensión medida  $U_{ssk}$ . El módulo 40 es, por ejemplo, del tipo descrito en la solicitud EP 1 985 490 A1, y su funcionamiento se presenta en esta aplicación.
- 15 **[0041]** La unidad 32 y el módulo 40 se hacen, por ejemplo, en forma de programas informáticos cuyas instrucciones se almacenan en los medios de almacenamiento 33 del ordenador.
- 20 **[0042]** En un momento dado, el punto de operación del convertidor 30 es, en el modo de operación de tracción, a lo largo de una característica de tracción CT que conecta la tensión  $U_{ssk}$  a la corriente  $I_k$  (como las representadas en la figura 2) y, en el modo de operación de frenado, a lo largo de una característica de frenado CF que conecta la tensión  $U_{ssk}$  a la corriente  $I_k$  (como las que se muestran en la figura 3).
- 25 **[0043]** Dado que la característica de frenado CF es una curva paramétrica cerrada de forma compleja (denominada curva NYQUIST), la figura 3 solo muestra el rango de excursión de la característica de frenado CF. Este dominio está limitado, según uno de los voltajes, por un intervalo característico. Cuanto más se prolongue este intervalo, mayor será el área de la característica de frenado CF asociada con ella, lo que corresponde, en recuperación, a una mejor eficiencia de la energía de frenado.
- [0044]** En un momento dado, el funcionamiento de la subestación  $S_k$  está determinado por un par de características de tracción/frenado CT/CF.
- 30 **[0045]** Más generalmente, en un instante  $t$  dado, el funcionamiento de la subestación está determinado por los valores actuales  $P_c(t)$  de una pluralidad de parámetros de configuración que utiliza la unidad 32 para controlar el convertidor 30.
- 35 **[0046]** Ahora se describirá un procedimiento para optimizar los valores actuales de los parámetros de configuración, y en particular el par característico de tracción/frenado utilizado por la unidad de control 32. Este procedimiento de optimización tiene como objetivo mejorar automáticamente la eficiencia energética de una subestación según su uso real en un sistema particular a medida que se implementa y opera.
- 40 **[0047]** La subestación  $S_k$  comprende un módulo 50 para determinar el modo de operación que se prefiere.
- 45 **[0048]** El módulo 50 toma como entrada diversos parámetros operativos de la subestación. En la presente realización ilustrativa, estos parámetros operativos son el intervalo operativo H, que es el inverso de la frecuencia promedio de paso de los vehículos en un punto de la pista, y el voltaje de CA  $V_n$  entregado por la red 20.
- 50 **[0049]** Los valores instantáneos  $H(t)$  y  $V_n(t)$  de estos parámetros operativos se almacenan en un primer espacio de memoria 51 de los medios de almacenamiento 33.
- [0050]** Los valores de estos parámetros son modificables, ya sea por un operador, o automáticamente, por medio de un sistema experto de operación de la red (ATS para "Supervisión automática de trenes" en inglés). Por lo tanto, dependiendo del período del día, el valor actual del intervalo operativo H se modifica para tener en cuenta, por ejemplo, una hora pico que requiere el aumento en el número y la frecuencia de los vehículos que viajan a lo largo del trayecto.
- 55 **[0051]** El valor actual del voltaje de CA  $V_n$  resulta de la medición instantánea del voltaje realmente entregado por la red 20. Las variaciones de  $\pm 10\%$  alrededor del valor nominal de la tensión de CA  $V_n$  son convencionales y están previstas por EN 50160.
- 60 **[0052]** El módulo 50 emite un valor instantáneo,  $M(t)$ , de una variable "modo de operación preferido". Esta variable toma el valor +1 cuando el modo que se prefiere corresponde al modo operativo en tensión, el valor -1 cuando el modo que se prefiere corresponde al modo de operación en frenado y el valor 0 cuando el modo de operación que se debe integrar es "devuelto", es decir que no se prefiere ningún modo de operación entre el modo de operación de tracción y el modo de operación de frenado, y el valor -2 cuando el modo preferido corresponde al modo en reloj de la subestación.
- 65 **[0053]** Si se determina que el modo de operación preferido corresponde al modo de operación de tracción, los

parámetros de configuración de la subestación  $S_k$  se optimizan para permitir una mejor eficiencia energética cuando la subestación está realmente en el modo de operación en tracción, posiblemente en detrimento de la eficiencia energética cuando la subestación está en modo de operación en frenado. En particular, la característica de tracción utilizada por la unidad de control 32 está optimizada para acercarse a la curva CT1 en la figura 2. Dado que las características de tracción y frenado están correlacionadas entre sí, cuando la característica de tracción utilizada se aproxima a la característica CT1, la característica de frenado correspondiente es similar a la característica de frenado CF1 de la figura 3 que, debido a su rango característico, ha reducido la eficiencia de recuperación.

**[0054]** Si se determina que el modo de operación preferido corresponde al modo de operación de frenada, los parámetros de configuración de la subestación se optimizan para permitir una mejor eficiencia energética cuando la subestación está realmente en el modo de operación en frenada, posiblemente en detrimento de la eficiencia energética cuando la subestación está en modo de operación en el modo de tracción. En particular, la característica de frenada utilizada por la unidad de control 32 está optimizada para acercarse a la curva CF2 en la figura 3. Al mismo tiempo, la característica de tracción utilizada está cerca de la curva CT2 de la figura 2, que tiene una eficiencia energética de tracción reducida.

**[0055]** Si se determina que el modo de operación preferido es neutro, los parámetros de configuración de la subestación  $S_k$  se optimizan para permitir una buena eficiencia energética cuando la subestación está realmente en el modo de operación en tracción, cuando la subestación está en modo de operación en frenado. Se adoptará una configuración promedio de las características en tracción y frenado. El valor del modo de funcionamiento preferido es "neutral".

**[0056]** Finalmente, si se determina que el modo de operación preferido es el modo de espera, los parámetros de configuración sin carga de tracción se optimizan para mejorar la eficiencia energética de la subestación.

**[0057]** Para la determinación del valor instantáneo  $M(t)$  del modo de operación preferido, el módulo 50 implementa un algoritmo que toma la forma de un árbol de decisión que se representa en la figura 5 y que se describirá más adelante, en relación con los pasos correspondientes del procedimiento de optimización que se presentan a continuación.

**[0058]** La subestación  $S_k$  comprende un módulo de comparación 54, capaz de comparar el valor instantáneo  $M(t)$  del modo de operación que se prefiere, entregado a la salida del módulo 50, y el valor actual  $M_c$  de esta variable que se almacena en el momento considerado, en el primer espacio de memoria 51.

**[0059]** Solo cuando el valor instantáneo  $M(t)$  es diferente del valor actual  $M_c$ , el módulo 54 almacena el valor instantáneo en el primer espacio de memoria 51 como el valor actual del modo de operación que se prefiere.

**[0060]** La subestación  $S_k$  comprende medios de lectura/escritura 56 capaces de leer, en los medios de almacenamiento 33, los valores de los parámetros de configuración asociados con un valor particular del modo de operación preferida, para escribirlos en un segundo espacio de memoria 52 como valores actuales  $P_c(t)$  de los parámetros de configuración. La unidad 32 usa los valores actuales  $P_c(t)$  para accionar el convertidor 30.

**[0061]** A la inversa, los medios de lectura/escritura 56 están adaptados para leer, en el segundo espacio de memoria 52, los valores actuales  $P_c(t)$  de los parámetros de configuración para escribirlos en los medios de memoria 33 asociándoles un modo de operación preferido correspondiente al valor actual  $M_c$  del modo de operación preferido.

**[0062]** Los medios de lectura/escritura 56 hacen posible, cuando se cambia el valor del modo operativo que se prefiere, guardar los valores actuales de los parámetros de configuración asociados con el modo preferido que se abandona, y cargar, en tanto que valores comunes, los valores de los parámetros de configuración asociados, en los medios de memoria 33, al modo preferido que se gana.

**[0063]** La subestación  $S_k$  comprende un módulo de cálculo 62. Este es capaz de calcular, a partir de valores instantáneos de las variables de operación medidas  $G_m(t)$ , como  $U_{ss}$ ,  $I_k$ , etc., y los valores actuales  $P_c(t)$  de los parámetros de configuración de la subestación, tales como  $U_{c3k}$ ,  $U_d$ , etc., valores instantáneos  $G_c(t)$  de cantidades operativas calculadas, tales como:

- la energía de tracción,  $E_t$ ;
- la energía de frenado  $E_f$ ;
- el factor de potencia,  $\cos \varphi$ ;
- la distorsión armónica de la corriente, THDI;
- el pico de potencia,  $\eta$ ; y,
- la potencia media  $P_0$ , sobre una base de 10 o 15 mn, según la referencia contractual de los proveedores de energía.

**[0064]** Los valores instantáneos  $G(t)$  de las cantidades operativas, medidas y calculadas se almacenan en un tercer espacio de memoria 53, medios de almacenamiento predefinidos y compartidos 33. Se almacenan allí con un

atributo temporal que indica el tiempo de medición o cálculo.

- 5 **[0065]** La subestación  $S_k$  comprende un módulo 64 de valor promedio capaz de calcular el valor promedio  $G(t)$  de los últimos  $N$  valores instantáneos  $G(t)$  de las cantidades operativas. Preferiblemente,  $N$  se elige igual a 10.
- 10 **[0066]** La subestación  $S_k$  comprende un módulo 72 para seleccionar una función de optimización  $F$ . Dicha función constituye un criterio cuantitativo que depende de las cantidades operativas que caracterizan el punto operativo de la subestación y cuya maximización permite determinar el mejor punto de operación de la subestación.
- 15 **[0067]** Se selecciona una función de optimización  $F$  según el valor actual del modo operativo preferido,  $Mc$ , contenido en el primer espacio de memoria 51.
- 20 **[0068]** Cuando el modo operativo preferido es +1, la función de optimización seleccionada por la unidad 72 es una función de optimización de tracción.
- 25 **[0069]** Cuando el modo operativo preferido es -1, la función de optimización seleccionada por la unidad 72 es una función de optimización de frenado.
- 30 **[0070]** Cuando el modo operativo preferido es 0, la función de optimización seleccionada por la unidad 72 es una función de optimización neutral.
- 35 **[0071]** Cuando el modo operativo preferido es -2, la función de optimización seleccionada por la unidad 72 es una función de optimización en espera.
- 40 **[0072]** Una función de optimización resulta de la suma ponderada de varias funciones de optimización elementales, cada función de optimización elemental representa un criterio básico relacionado con una cantidad operativa particular.
- 45 **[0073]** La función de optimización de tracción  $FT$  comprende, por ejemplo, las siguientes funciones elementales que se han ordenado según el peso que se les asigna en la función de optimización de tracción, desde el peso más alto al más bajo:
- una primera función elemental en el voltaje  $U_{ssk}$ , que indica que se desea aumentar este voltaje;
  - una segunda función elemental sobre la energía de tracción  $E_t$ , que indica que se desea reducir esta energía;
  - 50 - una tercera función elemental sobre la distorsión armónica de la corriente THDI, que indica que se desea mantener esta distorsión por debajo de un umbral, por ejemplo del 5 %;
  - una cuarta función elemental en la potencia máxima  $\eta$ , que indica que se desea reducir la potencia instantánea; y,
  - una quinta función elemental sobre el factor de potencia  $\cos \varphi$ , lo que significa que se desea mantener este factor cerca de la unidad.
- 55 **[0074]** La función de optimización de frenado  $FF$  comprende, por ejemplo, las siguientes funciones elementales que se han ordenado según el peso que se les asigna en la función de optimización de frenado, desde el peso más alto al más bajo:
- 60 - una primera función elemental sobre la energía de frenado  $E_f$ , que indica que se desea reducir esta energía;
  - una segunda función elemental sobre la distorsión armónica de la corriente THDI, que indica que se desea mantener esta distorsión por debajo de un umbral, por ejemplo del 5 %;
  - una tercera función elemental sobre el factor de potencia  $\cos \varphi$ , lo que significa que se desea mantener este factor cerca de la unidad; y,
  - 65 - una cuarta función elemental sobre la eficacia  $\eta$ , que indica que se desea aumentar este voltaje;
- [0075]** La función de optimización neutral,  $FN$ , comprende, por ejemplo, las siguientes funciones elementales, que se asignan, en la función de optimización neutral, un peso respectivo que se especificará según la aplicación:
- 70 - soporte de la tensión de línea,
  - optimización global de la energía neta ( $E_t - E_f$ ),
  - Factor de potencia, y
  - Contenido armónico global.
- 75 **[0076]** Finalmente, la función de optimización en modo de espera,  $FV$ , tiene las siguientes funciones básicas:
- el control y la regulación de los auxiliares de refrigeración de la subestación, en modo económico,
  - la puesta en reposo de funciones que no son necesarias para el monitoreo y la seguridad de la subestación y el equipo periférico (función de deslastre de energía llamada deslastre de carga).

- [0077]** La subestación  $S_k$  comprende un módulo de evaluación 74 capaz de determinar el valor de la función de optimización seleccionada, en base a los valores de las cantidades operativas que se le aplican en la entrada. La unidad 74 evalúa así el valor instantáneo  $F(t)$  de la función de optimización seleccionada a partir de los valores promedio  $G(t)$  de las cantidades operativas. La unidad 74 también evalúa el valor modificado  $\Delta F(t)$  de la función de optimización seleccionado, a partir de los valores modificados  $\Delta G(t)$  de las variables de funcionamiento. La forma de obtener estos valores modificados se presenta a continuación.
- [0078]** La subestación  $S_k$  comprende un módulo de variación 76 diseñado para calcular valores modificados  $\Delta G(t)$  de las cantidades operativas a partir de los valores promedio  $\hat{G}(t)$  de las cantidades operativas que se le aplican como entrada. Los valores modificados se calculan para permanecer "cerca" a los valores de entrada promedio. La unidad 76 utiliza un criterio de distancia en el espacio de las tuplas cuyos componentes corresponden a las cantidades operativas. Por ejemplo, la unidad 76 determina los valores modificados  $\Delta G(t)$  por un sorteo en un volumen hiper alrededor de la media valores de  $G(t)$  de las variables de funcionamiento.
- [0079]** La subestación  $S_k$  comprende un módulo de maximización 78 capaz de seleccionar, como valores maximizados  $G_{\max}(t)$  de las variables operativas, los valores modificados  $\Delta G(t)$  que conducen a un valor de la función de optimización  $F$  superior al valor instantáneo de esta función  $F(t)$ .
- [0080]** La subestación  $S_k$  comprende un módulo de cálculo inverso 80 capaz de determinar, a partir de los valores maximizados  $G_{\max}(t)$  de las cantidades operativas, los valores optimizados  $P_o(t)$  de los parámetros de configuración. La unidad 80 puede escribir estos valores optimizados en el segundo espacio de memoria 52 como valores actuales  $P_c(t)$  de los parámetros de configuración.
- [0081]** La subestación  $S_k$  también comprende, para la gestión de un contador de enteros  $T$ , que representa las iteraciones del procedimiento presentado a continuación, medios para inicializar este entero a cero, para incrementarlo en una unidad y para compararlos con un valor de referencia  $T_0$ , por ejemplo igual a 10.
- [0082]** El procedimiento para optimizar el funcionamiento de la subestación  $S_k$  se describirá ahora en detalle con referencia a las figuras 4 y 5.
- [0083]** El procedimiento 100 se ejecuta periódicamente, por ejemplo, cada minuto.
- [0084]** En cada ejecución, un contador  $T$  se incrementa en una unidad (incrementando el paso 102).
- [0085]** La ejecución del procedimiento 100 comienza con un paso para determinar el valor actual  $M_c$  del modo operativo que se prefiere.
- [0086]** Durante una etapa de decisión 114, se llama al módulo 50. Lee, en el primer espacio de memoria 51, el valor instantáneo del intervalo operativo  $H$  y el del voltaje alterno  $V_n$ . Entonces, el módulo 50 implementa el siguiente algoritmo de decisión ilustrado en la figura 5:
- Si el intervalo de operación  $H$  es menor que el primer umbral bajo  $H_{\min}$ , por ejemplo 3 minutos, el modo preferido toma el valor +1 que corresponde a la operación de tracción. Este es el caso donde el tráfico en la pista es denso (fuerte receptividad de la línea), es decir, en una hora pico de la operación de la pista. Luego se decide dar prioridad a la calidad del suministro de energía eléctrica de los vehículos en circulación.
  - Si el intervalo de operación  $H$  es superior al primer umbral alto  $H_{\max}$ , por ejemplo 1 h, el modo preferido toma el valor -1 que corresponde a la operación de frenado. Este es el caso en el que la energía de frenado generada en la línea solo puede devolverse a la red 20, ya que es poco probable que otro tren que viaja en la vía pueda recuperar esta energía (baja receptividad de la línea).
  - Si el intervalo de funcionamiento  $H$  es mayor que el primer umbral bajo  $H_{\min}$  y menor que el primer umbral alto  $H_{\max}$ , el módulo 50 tiene en cuenta el valor actual del voltaje de CA de la red 20.
    - Si el voltaje de CA  $V_n$  es inferior a un segundo umbral bajo  $V_{n\min}$ , por ejemplo 1000 V, el modo preferido toma el valor -1 que corresponde a la operación de frenado. Esto corresponde a las horas de menor actividad de un sistema para una red del tipo de transporte urbano, donde la receptividad de la línea es baja y donde se debe preferir la regeneración de la energía de frenado por la subestación.
    - Si el voltaje de CA  $V_n$  es mayor que un umbral alto  $V_{n\max}$ , por ejemplo 1500 V, el modo preferido toma el valor + 1 que corresponde a la operación de tracción. Esto corresponde a un sistema para una red de línea principal, donde la regeneración de la energía de frenado de los trenes es secundaria y donde se debe preferir la función de energía de tracción.
  - Finalmente, si el voltaje de CA  $V_n$  es mayor que el segundo umbral bajo  $V_{n\min}$  y menor que el segundo umbral alto  $V_{n\max}$ , el modo preferido toma el valor 0 que corresponde al modo neutral donde ninguno de los modos de operación en tracción o frenado es preferible. Esto corresponde a un sistema para una red de tipo suburbano basado en vagones o trenes de locomotoras, donde la elección de las restricciones asignadas debe dejarse a la iniciativa del operador según los requisitos de potencia de las líneas.

**[0087]** El valor entregado por el módulo 50 es el valor instantáneo  $M(t)$  del modo de operación que se prefiere.

**[0088]** La determinación del modo de funcionamiento preferido se continúa actualizando el valor actual  $M_c$  del valor instantáneo  $M(t)$ . Si el valor instantáneo  $M(t)$  es diferente del valor actual  $M_c$ , el módulo 54 almacena el valor instantáneo en el primer espacio de memoria 51 como nuevo valor actual del modo de operación que se prefiere. Esto se hace, durante un paso de comparación 122, comparando el valor actual  $M_c$  del modo operativo preferido, almacenado en el primer espacio de memoria 51, con el valor instantáneo  $M(t)$ .

**[0089]** Si el valor instantáneo del modo de operación a favorecer es diferente de su valor actual, se llevarán a cabo los siguientes pasos:

- en el curso de un paso 124, los medios de lectura/escritura 56 guardan los valores actuales  $P(t)$  de los parámetros de configuración presentes en el segundo espacio de memoria 52, en los medios de memoria al asociarlos con el valor modo preferido de operación de  $M_c$  actual, luego lee, en los medios de almacenamiento, los valores de los parámetros de configuración que están asociados con el valor instantáneo  $M(t)$  del modo de operación que se prefiere, para colocarlos en el segundo espacio de memoria 52, como valores actuales  $P(t)$  de los parámetros de configuración. Desde este momento, la unidad de control 32 accede a los valores de los parámetros de configuración almacenados en este segundo espacio de memoria, y utiliza, en particular, un par de características de tracción/frenado asociadas con el valor actual  $M(t)$  del modo favorecer entonces el módulo 56 almacena el valor instantáneo  $M(t)$  del modo que se preferirá como el valor actual  $M_c$  en el primer espacio de memoria 51.

- durante un paso 126, el módulo de selección 72 selecciona, en los medios de almacenamiento, la función de optimización  $F$  correspondiente al nuevo valor actual  $M_c$  del modo a favorecer y la carga en el módulo de evaluación 74.

**[0090]** Después de estos pasos, o si el valor actual del modo operativo preferido no cambia, el procedimiento realiza un paso de cálculo 130. Durante este paso, se llama al módulo de cálculo 62 para calcular los valores instantáneos  $G_c(t)$  de las cantidades operativas calculadas, a partir de los valores actuales  $P(t)$  de los parámetros de configuración y de los valores instantáneos  $G_m(t)$  de las cantidades medido por los diferentes sensores.

**[0091]** Los valores instantáneos  $G(t)$  de las cantidades operativas, medidas y calculadas, se registran en un tercer espacio de memoria 53 de los medios de almacenamiento, con un atributo temporal, correspondiente al valor actual del contador  $T$ .

**[0092]** Durante un paso de comparación 134, el valor actual de  $T$  se compara con un número entero de referencia  $T_0$ , por ejemplo igual a 10.

**[0093]** Si  $T$  es menor que 10, el procedimiento se reanuda en el paso 102.

**[0094]** Si  $T$  es igual a 10, después de restablecer el contador  $T$  a cero (paso 136), el procedimiento continúa con una fase de optimización de los parámetros de configuración.

**[0095]** Durante una etapa de cálculo 142, se llama al módulo 64 para calcular el valor promedio  $\hat{G}(t)$  de las cantidades operativas, comenzando desde los últimos diez valores instantáneos  $G(t)$  de las cantidades operativas contenidas en el tercer espacio de memoria 53.

**[0096]** Durante una etapa de evaluación 144, el módulo de evaluación 74 se ejecuta para calcular el valor instantáneo  $F(t)$  de la función de optimización  $F$  seleccionada por el módulo 72. Este cálculo utiliza los valores promedio  $\hat{G}(t)$  de las cantidades operativas.

**[0097]** Durante un paso de variación 146, el módulo de variación 76 se ejecuta para determinar, a partir de los valores promedio  $\hat{G}(t)$  variables operativas, valores modificados  $\Delta G(t)$  de las variables operativas.

**[0098]** Durante una etapa de cálculo 148, el módulo 74 se ejecuta de nuevo para calcular el valor modificado  $\Delta F(t)$  de la función de optimización  $F$  seleccionada. Este cálculo utiliza los valores modificados  $\Delta G(t)$  de las cantidades operativas.

**[0099]** Durante una etapa de maximización 150, el valor modificado  $\Delta F(t)$  de la función de optimización se compara con su valor instantáneo  $F(t)$  utilizando el módulo de maximización 78.

**[0100]** Si el valor modificado  $\Delta F(t)$  es menor que el valor instantáneo  $F(t)$ , el procedimiento vuelve al paso 146 para determinar otro conjunto de valores modificados  $\Delta G(t)$  de las cantidades operativas.

**[0101]** Si el valor modificado  $\Delta F(t)$  es mayor que el valor instantáneo  $F(t)$  de la función de restricción, el procedimiento pasa a un paso de cálculo inverso 160.

- [0102]** Durante este cálculo 160, el módulo de cálculo inverso 80 se llama para, a partir de los valores modificados  $\Delta G(t)$  de las variables de funcionamiento que maximizan la función de optimización F, identificar valores optimizados  $P_{opt}(t)$  de los parámetros de configuración
- 5 **[0103]** Los valores de los parámetros de configuración así optimizados se almacenan en el segundo espacio de memoria 52 como valores actuales P(t) de los parámetros de configuración En particular, la unidad de control 32 usa los valores actualizados de los parámetros de configuración para controlar el convertidor 30.
- 10 **[0104]** Al final de este cálculo 160, finaliza el procedimiento.
- [0105]** Según el procedimiento definido anteriormente, la subestación Sk determina dinámicamente el modo de operación preferido en el momento actual y optimiza los parámetros de configuración asociados con este modo de operación.
- 15 **[0106]** En la realización descrita, la determinación del modo de operación que se prefiere se lleva a cabo a partir de los parámetros operativos H y Vn.
- [0107]** Alternativamente, en lugar de la tensión de CA Vn, el parámetro operativo D de la distancia entre dos subestaciones consecutivas se utiliza en el árbol de decisión de la siguiente manera:
- 20 - Si el intervalo de funcionamiento H es mayor que el primer umbral bajo Hmin y menor que el primer umbral alto Hmax, el módulo 50 tiene en cuenta el valor actual de la distancia D entre dos subestaciones vecinas.  
 - Si la distancia D es inferior a un segundo umbral bajo Dmin, por ejemplo 2000 m, el modo preferido toma el valor -1 que corresponde a la operación de frenado.
- 25 - Si la Distancia D es mayor que un umbral alto Dmax, por ejemplo 10.000 m, el modo preferido toma el valor +1 que corresponde a la operación de tracción.  
 - Finalmente, si la Distancia D es mayor que el segundo umbral bajo Dmin y menor que el segundo umbral alto Dmax, el modo preferido toma el valor 0 que corresponde al modo neutral donde ninguno de los modos de operación en tracción o frenado es preferible
- 30 **[0108]** Según otra variante, la determinación del modo de operación preferido tiene en cuenta los valores actuales de los parámetros de configuración de las subestaciones adyacentes a la subestación Sk considerada y, en particular, los valores actuales de sus modos de operación. para favorecerse mutuamente, para una sincronización global de la red.
- 35 **[0109]** La optimización de los parámetros de configuración del modo operativo correspondiente al modo que se prefiere se realiza mediante el aprendizaje, a partir del historial del uso real de la subestación una vez que el sistema se implementó y funcionó.
- 40 **[0110]** En la realización ilustrativa, se utiliza una profundidad de 10 o 15 mn correspondiente a la ventana de medición utilizada por los proveedores de energía, pero otras formas de tener en cuenta la historia del funcionamiento de la subestación son posibles
- [0111]** La optimización utiliza una función de restricción.
- 45 **[0112]** En la realización presentada, se fija el peso que afecta a las diversas funciones elementales de la función de optimización. El número y la naturaleza de las funciones elementales utilizadas también son fijos.
- [0113]** Como variante, estos pesos resultan de la implementación de algoritmos de estimación, por ejemplo del tipo de red neuronal.
- 50 **[0114]** Como variante, las funciones elementales introducidas en la función de optimización resultan de un algoritmo de adaptación, por ejemplo del tipo de algoritmo genético.
- 55 **[0115]** Para la optimización real, la realización ilustrativa proporciona un sorteo aleatorio cerca de los valores actuales de las cantidades operativas.
- [0116]** En una variante, las cantidades operativas se modifican sobre la base de un cálculo de las variaciones de la función de esfuerzo.
- 60

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para optimizar el funcionamiento de una subestación de tracción reversible (Sk) de un sistema (4) de suministro de energía eléctrica para vehículos ferroviarios, estando el sistema ubicado en la interfaz entre una red (20) de suministro corriente alterna y una línea (6) de alimentación de CC, dispuestas a lo largo de una vía y a las que un vehículo ferroviario (46) puede conectarse eléctricamente, siendo la subestación reversible, entre otras cosas, controlable en modo de operación de tracción para transferir a la línea una energía eléctrica entregada por la red y en modo de operación de frenado para transferir a la red el exceso de energía eléctrica regenerativa capturada en la línea, **caracterizado porque** el procedimiento supone:
- 10 - determinar (114, 122, 124, 126) un valor actual (Mc) de un modo operativo preferido a partir de valores de una pluralidad de parámetros operativos (H, Vn) de la subestación (Sk);  
 - maximizar (150) al menos una función de optimización (F) que depende del valor actual (Mc) del modo de operación a preferir, en función de los valores instantáneos (G(t)) de varias cantidades operativas de la subestación (Sk), para obtener valores maximizados (Gmax(t)) de las cantidades operativas;
- 15 - el cálculo (160) de valores optimizados (Popt(t)) de varios parámetros de configuración de la subestación (Sk) a partir de los valores maximizados (Gmax(t)) de las cantidades operativas, dichos valores optimizados (Popt(t)) de dichos parámetros de configuración que se guardan como valores actuales de los parámetros de configuración (Pc(t)) para controlar la subestación (Sk),
- 20 varias variables operativas que se seleccionan entre:
- la energía de tracción, Et;
  - la energía de frenado Ef;
- 25 - el factor de potencia,  $\cos \varphi$ ;
  - la distorsión armónica de la corriente, THDI;
  - el pico de potencia,  $\eta$ ; y,
  - la potencia media P0, sobre una base de 10 o 15 mn, según la referencia contractual de los proveedores de energía.

30 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el modo operativo preferido toma un valor actual (Mc) en el conjunto que incluye el valor +1 cuando el modo preferido corresponde al modo operativo en tracción, el valor -1 cuando el modo que se prefiere corresponde al modo de operación de frenado, posiblemente el valor 0 cuando no se privilegia el modo de operación entre el modo de operación en tracción y el modo de operación de frenado, y posiblemente aún el valor -2 cuando el modo preferido es un modo de espera, en el que no se intercambia

35 energía entre la red y la línea, la subestación se controla para minimizar su consumo de energía.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado porque** la determinación del valor actual (Mc) de un modo operativo comprende un paso de decisión (114) que implementa un algoritmo de tipo árbol de decisión para determinar un valor instantáneo (M(t)) a partir de los valores instantáneos de varios parámetros operativos (H, Vn) de la subestación (Sk) y la actualización (122, 124, 126) del valor actual (Mc) con el valor instantáneo (M(t)).

40 4. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque** dicho algoritmo del tipo de árbol de decisión toma como entrada los valores instantáneos de los parámetros operativos entre un intervalo operativo (H) de los vehículos ferroviarios en dicho canal, una tensión alterna (Vn) entregado por la red y, cuando el sistema comprende al menos dos subestaciones reversibles, la distancia (D) entre las al menos dos subestaciones.

45 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el procedimiento comprende un paso (126) de seleccionar la función de optimización (F) a maximizar, dependiendo del valor actual (Mc) del modo operativo que se prefiere.

50 6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado porque** la función de optimización (F) es una suma ponderada de una pluralidad de funciones elementales.

7. Procedimiento según la reivindicación 6, **caracterizado porque** la etapa de selección (126) implica un algoritmo de estimación de peso para ponderar cada función elemental en la función de optimización.

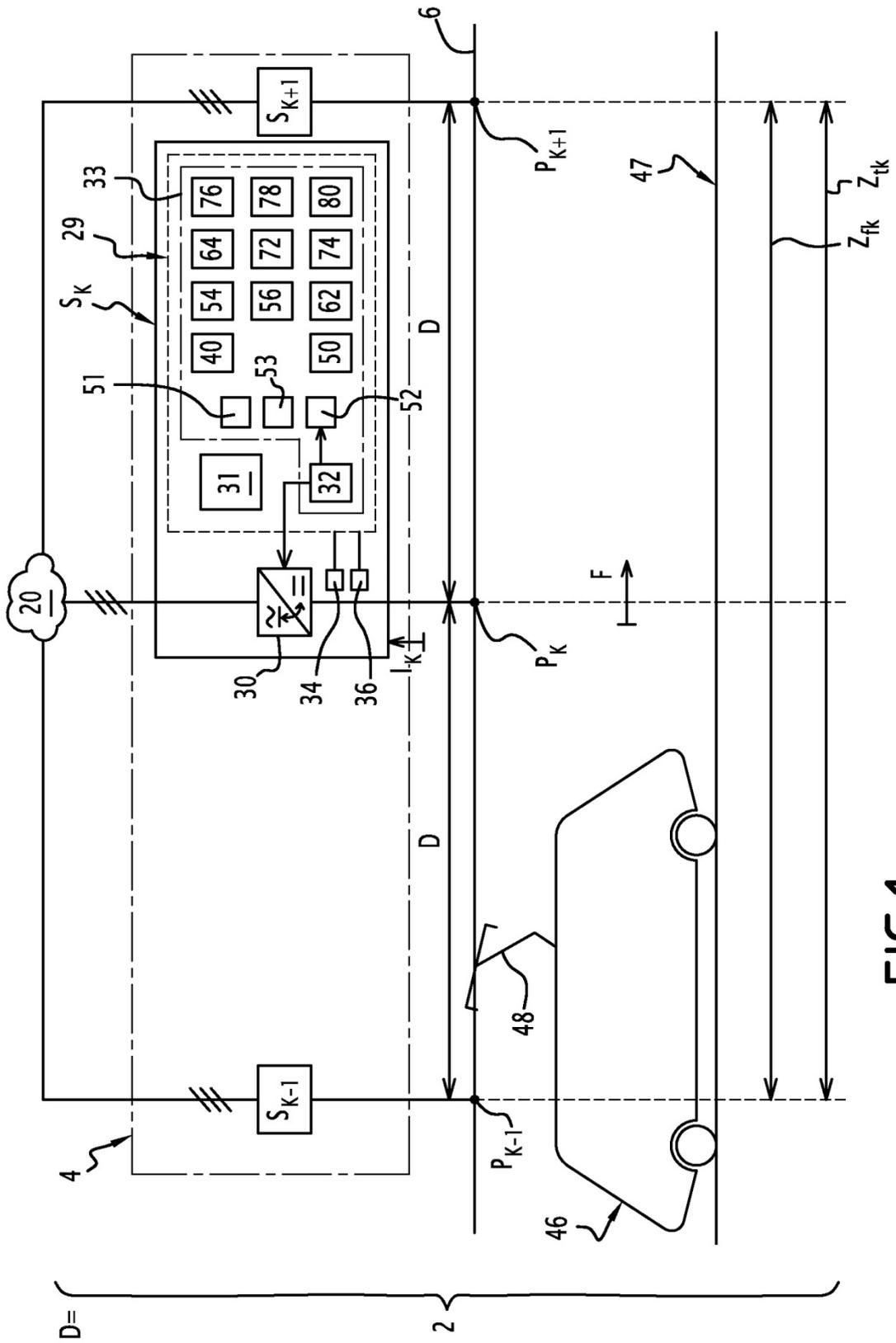
55 8. Procedimiento según la reivindicación 6 o la reivindicación 7, **caracterizado porque** el paso de selección (126) implica un algoritmo de adaptación para cambiar durante el uso de dicha subestación, las funciones elementales caen dentro de la definición de la función de optimización.

60 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la maximización (150) comprende determinar (144) el valor instantáneo (F(t)) de la función de optimización seleccionada en función de los valores (G(f)) de las variables de funcionamiento, la modificación (146) de los valores instantáneos ( $\Delta G(f)$ ) de las variables de funcionamiento, determinando (148) el valor modificado ( $\Delta F(f)$ ) de la función de optimización en función de los valores modificados de las cantidades operativas, comparando (150) el valor modificado y el valor instantáneo

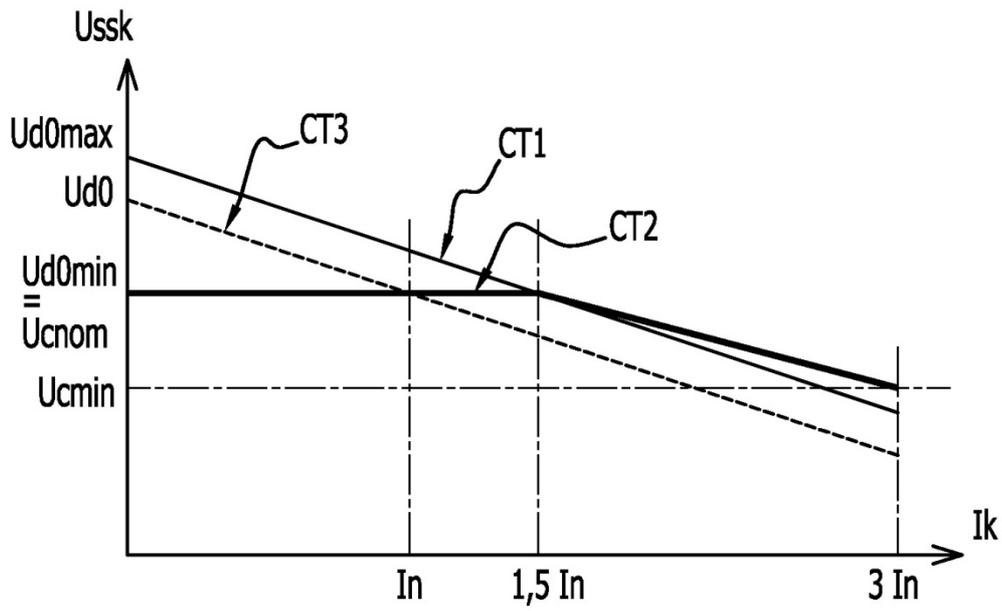
65

de la función de restricción y, cuando el valor modificado es mayor que el valor instantáneo, asignando los valores modificados como valores maximizado ( $G_{max}(t)$ ) de las cantidades operativas.

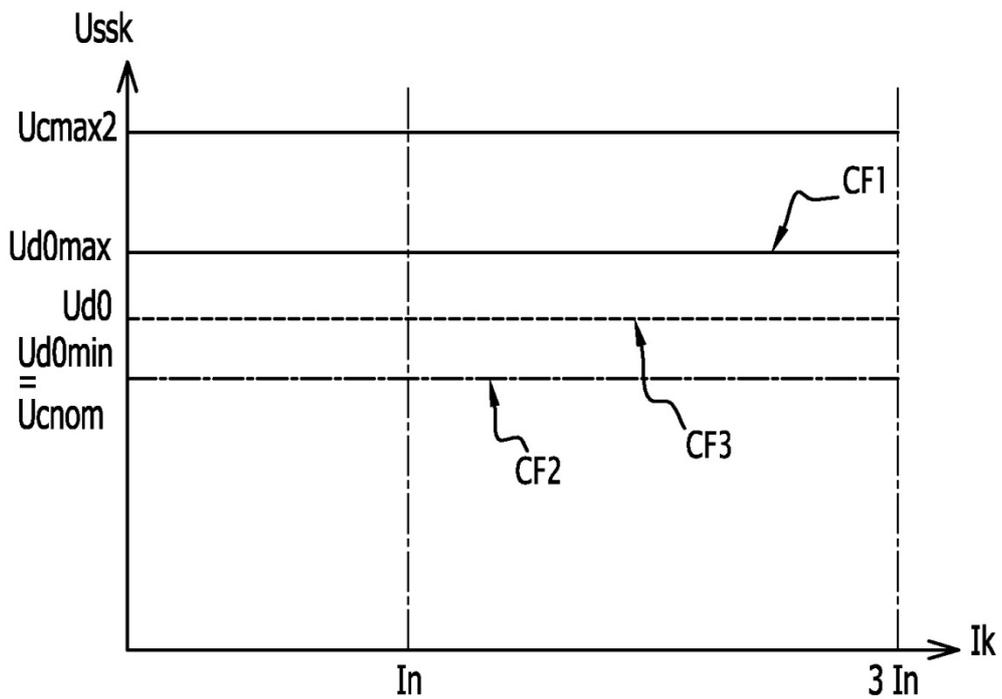
10. Un medio de grabación de información, **caracterizado porque** incluye instrucciones para ejecutar un procedimiento de optimización según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, cuando las instrucciones son ejecutadas por un ordenador electrónico.
11. Subestación de tracción reversible de un sistema de suministro de energía del vehículo ferroviario (4), estando dicho sistema ubicado en la interfaz entre una red de suministro de CA (20) y una línea (6) de fuente de alimentación de CC dispuesta a lo largo de una vía y a la cual un vehículo ferroviario (46) puede conectarse eléctricamente, siendo controlable dicha subestación reversible en modo de operación de frenado para transferir, a la red, una energía eléctrica capturada en la línea; y en un modo operativo de tracción para transferir energía eléctrica entregada por la red a la línea, la subestación comprende un convertidor (30) y un ordenador (29) que controla el convertidor, **caracterizado porque** el ordenador está programado para realizar un procedimiento de optimización según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
12. Sistema (4) para suministrar energía eléctrica a vehículos ferroviarios, estando dicho sistema ubicado en la interfaz entre una red de suministro de CA (20) y una línea de suministro de CC (6) dispuesta a lo largo una vía y a la cual se puede conectar eléctricamente un vehículo ferroviario (46), dicho sistema comprende al menos una estación de tracción reversible controlada en modo de operación de frenado para transferir a la red energía eléctrica detectada en la línea; y en modo de operación de tracción para transferir energía eléctrica entregada por la red a la línea, **caracterizada porque** dicha subestación está según la subestación (Sk) de la reivindicación 11.



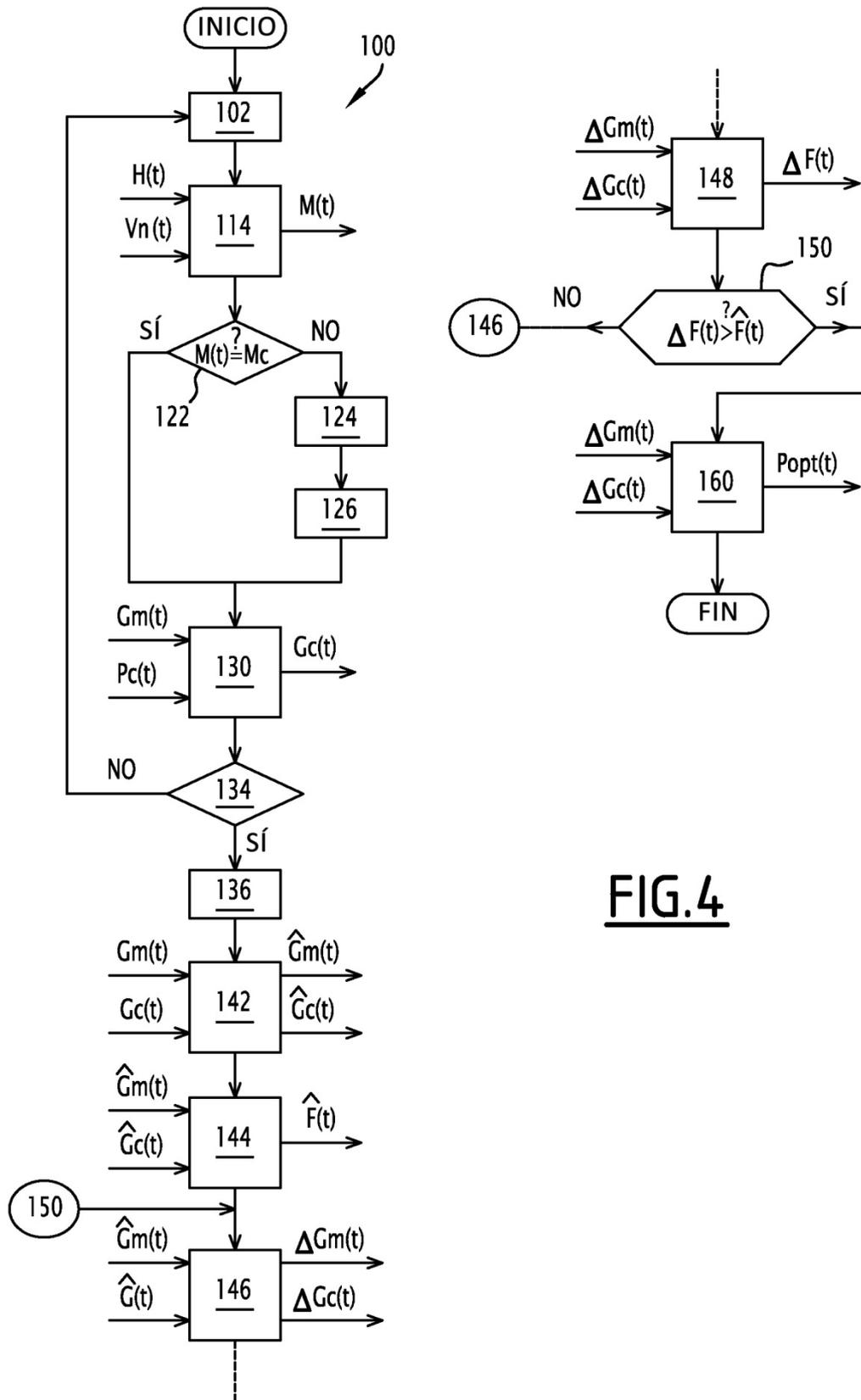
**FIG. 1**



**FIG.2**



**FIG.3**



**FIG.4**

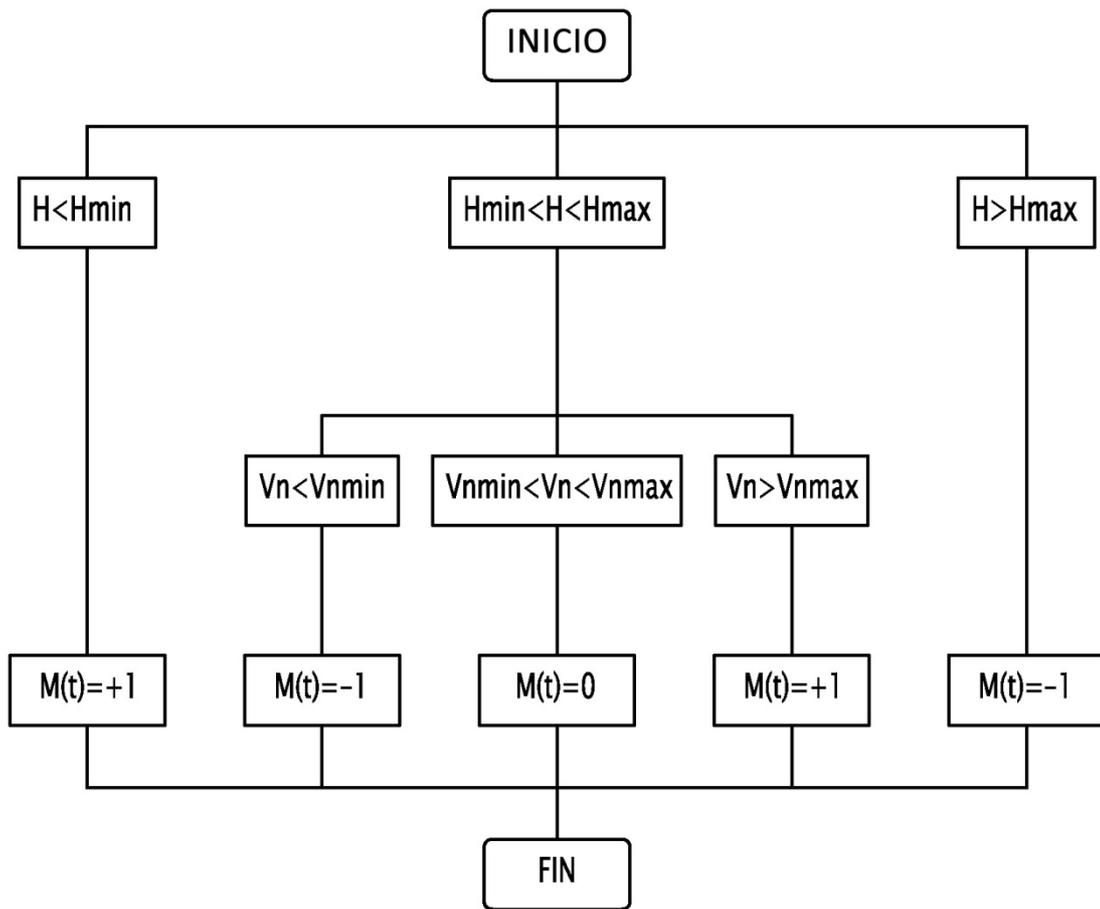


FIG.5