

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 613 536**

51 Int. Cl.:

B60L 11/18 (2006.01)

H02J 7/02 (2006.01)

H02J 7/06 (2006.01)

H02M 7/217 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.08.2011 PCT/FR2011/051866**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.03.2012 WO2012032241**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.08.2011 E 11755397 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.01.2017 EP 2613960**

54 Título: **Dispositivo de recarga para batería de automóvil y procedimiento de gestión del dispositivo**

30 Prioridad:

07.09.2010 FR 1057103

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

24.05.2017

73 Titular/es:

**RENAULT S.A.S. (100.0%)
13-15 Quai Alphonse Le Gallo
92100 Boulogne-Billancourt, FR**

72 Inventor/es:

**GATI, MEHDI y
KETFI-CHERIF, AHMED**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 613 536 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).

DESCRIPCION

Dispositivo de recarga para batería de automóvil y procedimiento de gestión del dispositivo

El invento se sitúa en el campo de los dispositivos de carga rápida, de las baterías de alta tensión a partir de una toma de una red trifásica y en particular de un dispositivo de recarga rápida para baterías de un vehículo automóvil.

5 En tales sistemas de recarga, se transmite la potencia eléctrica de una red a la batería sucesivamente a través de dos convertidores: un reductor de tensión ("buck") y un elevador de tensión ("boost"). Estos dos convertidores permiten respectivamente bajar y subir la proporción de tensiones entre sus terminales de salida y sus terminales de entrada, abriendo y cerrando sucesivamente una serie de interruptores, con una frecuencia que es controlable en función de la corriente de salida, y/o de la tensión de salida deseadas.

10 La solicitud de patente publicada US2006072352 divulga un sistema de conversión de potencia eléctrica trifásica que comprende un filtro de entrada, un rectificador (T1-T6), y un convertidor elevador-reductor.

El picado de corriente obtenido de la red induce unos componentes de altas frecuencias en la corriente retirada, es decir unos armónicos de orden superior al fundamental de la red de distribución que es habitualmente de 50Hz.

15 El distribuidor eléctrico impone una norma sobre los armónicos de la corriente retirada, y tal sistema de recarga comprende igualmente un filtro del tipo RLC (Resistif-Inductif-Capacitif) en la entrada del reductor de tensión. Este filtro induce un desfase entre la corriente y la tensión retirada de la red. Este desfase implica una potencia reactiva que transita por la red, pero no retirada por el usuario, y que se trata igualmente de minimizar.

20 El objetivo del invento es el de proponer un dispositivo de regulación del reductor de tensión y del elevador de tensión de tal dispositivo de recarga, que permita, a pesar de la presencia de un filtro RLC en la entrada del dispositivo, mantener un desfase reducido entre la corriente y la tensión retirada de la red.

Otro objetivo del invento es el de proponer un dispositivo de recarga embarcado en un vehículo automóvil, adaptado para poder conectarse a una red trifásica exterior, y que se integre en el circuito de bobinado de una máquina eléctrica de un vehículo.

25 Con este fin, un dispositivo de carga rápida para baterías, especialmente para baterías de vehículos automóviles, comprende un escalón de filtrado del tipo resistif-inductif-capacitif destinado a estar conectado a una red trifásica, un escalón reductor de tensión, y un escalón elevador de tensión, destinado a conectarse a la batería, así como una bobina de inducción interpuesta entre el escalón reductor de tensión y el escalón elevador de tensión. El dispositivo comprende igualmente una unidad de regulación apta para imponer unas relaciones cíclicas de picado en el escalón reductor de tensión y en el escalón elevador de tensión. La unidad de regulación comprende unos medios de compensación del desfase inducido por el escalón de filtrado entre las corrientes y las tensiones retiradas de cada fase de la red trifásica, y comprende igualmente unos medios para mantener el valor de la amplitud de la corriente que atraviesa por encima de un umbral predefinido no nulo.

30 Ventajasamente, la unidad de regulación comprende además unos medios para limitar la corriente entrante en la batería a un valor de consigna de la corriente de la batería.

35 De manera preferente, el dispositivo comprende unos medios de medida de las intensidades de las corrientes entrantes en el dispositivo para las fases de la red trifásica, unos medios de medida de la intensidad de la corriente que atraviesa la bobina, y la unidad de regulación comprende al menos dos bucles de regulación que utilizan los valores medidos de la intensidad para proporcionar tres valores utilizados como consignas de las relaciones de picado cíclico del escalón reductor de tensión.

40 La unidad de regulación puede comprender un tercer bucle de regulación, que proporciona un valor utilizado como consigna de la relación cíclica de picado del escalón elevador de tensión.

Según un modo de realización preferido, la unidad de regulación comprende unos medios para determinar tres tensiones de entrada sinusoidales en los puntos de conexión del dispositivo a la red trifásica, y al menos un primer bucle de regulación hace intervenir la pulsación de las tensiones de entrada del dispositivo.

45 Ventajasamente, el primer bucle de regulación está configurado para limitar a cero una componente obtenida como combinación lineal de los valores de las intensidades de las corrientes de entrada, siendo los coeficientes de la combinación lineal funciones trigonométricas de ωt , en donde ω es la pulsación de las tensiones de entrada del dispositivo, y t una medida de tiempo.

50 De manera preferente, la unidad de regulación comprende un operador apto para efectuar tres combinaciones lineales de dos valores obtenidos de dos bucles de regulación, siendo los coeficientes de cada una de las tres combinaciones lineales funciones trigonométricas de ωt .

La unidad de regulación puede estar configurada por ejemplo para efectuar un primer cambio de señal sobre un

vector que tiene por componentes las corrientes de entrada del dispositivo, calculando una, dos o tres componentes de intensidad de las corrientes entrantes, en una señal que gira con respecto a una señal inicial con una velocidad de rotación angular ω correspondiente a la pulsación ω de las tensiones en los puntos de conexión del sistema a la red trifásica. La unidad de regulación puede estar configurada para utilizar a continuación la diferencia con respecto a un valor de consigna, de una de las componentes calculadas en la nueva base, como valor de entrada de uno entre dos bucles de regulación que proporcionan respectivamente dos variables utilizadas a continuación por la unidad de regulación para calcular, mediante otro cambio de la señal que gira, tres valores de consigna de las relaciones cíclicas de picado del escalón reductor de tensión.

El dispositivo puede comprender un medio de medida de la intensidad de la corriente que atraviesa la máquina eléctrica. La unidad de regulación puede entonces estar configurada para comparar respectivamente, o bien una de las componentes en la nueva base y la intensidad de la corriente que atraviesa la máquina eléctrica, o bien dos de las componentes calculadas en la nueva base, calculando para cada valor su diferencia con respecto a cero o su diferencia con respecto a un valor de consigna, para utilizar a continuación las dos diferencias obtenidas como entradas de dos reguladores PID que proporcionan respectivamente dos valores de consigna de la intensidad de la corriente. El valor de consigna puede ser una función constante, o puede ser una función de consigna elaborada en función de las necesidades de energía de la batería.

La unidad de regulación puede comprender un operador apto para aplicar un vector $(I_{fd}, I_{fq}, 0)$ definido por los dos valores de consigna de la intensidad de la corriente I_{fd} e I_{fq} proporcionados por los dos reguladores PID, una matriz de cambio de la señal inverso del primer cambio de señal. Puede comprender dos operadores aptos para dividir las tres intensidades obtenidas a continuación de este cambio de señal, por la intensidad medida que atraviesa la bobina de inducción, y uno o varios módulos piloto aptos para utilizar los tres resultados como valores de consigna de las relaciones cíclicas de picado del escalón reductor de tensión.

La unidad de regulación puede por ejemplo estar configurada para limitar en la nueva señal una de las componentes de la intensidad de la corriente a cero, y limitar simultáneamente otra de las componentes a un valor de consigna de referencia, con el fin de calcular tres consignas de las relaciones cíclicas de picado del escalón reductor de tensión.

Entonces puede comprender en paralelo un bucle de regulación, apto para proporcionar un valor de consigna de la relación cíclica de picado del escalón elevador de tensión, teniendo el bucle como valor de entrada la diferencia entre el segundo valor de consigna y la corriente medida que atraviesa la máquina bobina de inducción..

Según otro modo de realización, la unidad de regulación puede comprender un primer bucle de regulación apto para limitar en la nueva señal una de las componentes de la intensidad de la corriente entrante a cero, y un segundo bucle de regulación apto para limitar la corriente medida que atraviesa la bobina de inducción a un valor de consigna con el fin de calcular tres consignas de las relaciones cíclicas de picado del escalón reductor de tensión.

Puede comprender en paralelo un bucle de regulación apto para limitar un valor de consigna de la relación cíclica de picado del escalón elevador de tensión, a partir de la corriente medida en los terminales de la batería, de la consigna de la corriente de alimentación de la batería, y de la corriente medida que atraviesa la bobina de inducción.

Según otro aspecto, un procedimiento de regulación de un dispositivo de carga rápida para baterías a partir de una corriente trifásica, comprende una etapa de pilotaje de las relaciones cíclicas de picado de un escalón reductor de tensión, en el transcurso de la cual se compensa, combinando los resultados de dos bucles de regulación, un desfase inducido por un escalón de filtrado del tipo resistif-conductif-capacitif, entre las intensidades de las corrientes de entrada del dispositivo y las tensiones de entrada del dispositivo.

Según un modo de implantación preferido del procedimiento, se filtran las tensiones de entrada del dispositivo para poder modelizarlas mediante tres componentes de un vector que gira en un plano con una pulsación ω , a continuación se aplica un bucle de regulación para anular la componente en este plano, perpendicular al vector modificado de las tensiones de entrada, del vector le que tiene como componentes tres intensidades medidas de entrada del dispositivo.

En tal procedimiento, se limita a cero una combinación lineal de tres corrientes medidas en la entrada del dispositivo, siendo los coeficientes de la combinación lineal funciones trigonométricas de ωt , donde ω es una frecuencia de pulsación de las tensiones de entrada del dispositivo, y t una medida de tiempo.

Otros objetivos, características y ventajas del invento, aparecerán con la lectura de la descripción detallada de un modo de realización del invento, dada a título de ninguna manera limitativo, de los dibujos anexos en los cuales:

- la figura 1 ilustra un dispositivo de recarga según el invento,
- las figuras 2a y 2b ilustran dos sub-conjuntos de regulación de un dispositivo de recarga según el invento,
- las figuras 3a y 3b ilustran otros dos sub-conjuntos de regulación de un dispositivo de recarga según otro modo de realización del invento.

- 5 Tal como está ilustrado en la figura 1, el dispositivo de recarga de una batería 13 comprende tres terminales B₁, B₂, B₃ que permiten conectar el dispositivo 1 a una red trifásica. Estos tres terminales B₁, B₂, B₃ están conectados respectivamente a tres entradas D₁, D₂, D₃ de un reductor de tensión 3, a través cada vez de un ramal de filtrado que comprende dos ramales paralelos, que portan uno una inductancia de valor L₂ y el otro porta en serie una inductancia de valor L₁ y una resistencia de valor R.
- Cada terminal D₁, D₂, D₃ de entrada del reductor de tensión está conectada además a la masa a través de un condensador de capacidad C. El conjunto de resistencias de valor R, de las inductancias de valores L₁ ó L₂ y el conjunto de las tres capacidades de valor C constituyen un filtro del tipo RLC en la entrada del reductor de tensión 3.
- 10 El reductor de tensión 3 comprende tres ramales paralelos 6, 7 y 8 que portan cada uno dos interruptores comandados por una unidad de regulación 15. Cada entrada D₁, D₂ o D₃ del reductor de tensión está conectada respectivamente por un ramal F₁, F₂, F₃ con un punto de conexión situado entre dos interruptores de un mismo ramal, respectivamente 6, 7 y 8.
- 15 El reductor de tensión comprende igualmente un arrama que porta un diodo 9 pasante en un solo sentido, y conectada en paralelo a los ramales 6, 7 y 8. Los extremos comunes de los ramales 6, 7 y 8 y del ramal que porta el diodo 9, constituyen dos terminales de salida del reductor de tensión 3. Uno de estos terminales, situado aguas arriba del diodo del ramal 9 en el sentido de paso de este último, está conectado con el terminal «->» de la batería 13 así como con una primera entrada 10 de un elevador de tensión 4. Otro de estos terminales, situado aguas abajo del diodo del ramal 9 en el sentido de paso de este último está conectado a un primer terminal de una máquina eléctrica 5, cuyo otro terminal está conectado a una segunda entrada del elevador de tensión 4.
- 20 El descriptivo del párrafo precedente corresponde a un primer modo de realización simplificado del reductor de tensión. En este modo de realización, los tres ramales del reductor de tensión están guiados de manera idéntica. Se pueden contemplar otros modos de realización, tales como el ejemplo de los modos de realización descritos en la solicitud de patente FR 2 943 188.
- El ramal que comprende el diodo 9 es opcional, y no nos apartamos del invento suprimiéndolo.
- 25 El elevador de tensión 4 comprende dos interruptores guiados por la unidad de regulación 15, situados en un ramal que conecta su primera entrada 10 con el terminal «<+>» de la batería. La segunda entrada 11 del elevador de tensión 4, a la cual está conectada la máquina eléctrica 5, está conectada entre los dos interruptores.
- 30 Una máquina eléctrica asimilable a una resistencia de valor R_d dispuesta en serie con una bobina de inductancia L_d está conectada entre el terminal de salida del reductor de tensión 3, colocado aguas abajo del diodo 9, y la segunda entrada al elevador de tensión 4. No nos salimos del marco del invento si se reemplaza la máquina eléctrica 5 por una bobina de inductancia no resistiva, o si se conecta en serie con la máquina eléctrica 5 una bobina de inducción suplementaria.
- 35 En los terminales de la batería 13, está conectado un condensador 12 destinado a mantener relativamente estable la tensión en los terminales de la batería 13, así como un módulo 19 de seguimiento de la carga de la batería, apto para proporcionar un valor de consigna I_{bat}^{ref} que traduce, en función del nivel de carga de la batería, la intensidad óptima de la corriente que tiene que entrar por el terminal «<+>» de la batería. El módulo 19 de seguimiento de carga transmite el valor de consigna I_{bat}^{ref} a la unidad de regulación 15 mediante una conexión expresa.
- 40 Unos medios de medida, integrados o no en el módulo 19, transmiten por otra parte a la unidad de regulación 15 un valor I_{bat} que traduce una intensidad de corriente medida que entra efectivamente en la batería, y un valor V_{bat} que traduce la tensión entre el terminal «->» y el terminal «<+>» de la batería 13.
- 45 Otros módulos de medida de la intensidad de corriente permiten medir y transmitir a la unidad de regulación 15, el valor I_d de la corriente que atraviesa la máquina eléctrica 5, los valores I_{e1}, I_{e2}, I_{e3} de intensidad de la corriente que entra por los terminales B₁, B₂, y B₃ del circuito trifásico en el filtro 2. Un módulo de normalización 14 está conectado a los terminales B₁, B₂ y B₃ de conexión del dispositivo de carga 1, y transmite a la unidad de regulación 15, tres valores V_{e1}, V_{e2} y V_{e3} correspondientes a los valores filtrados sinusoidales de tensiones, así como un triplete (c, a, b) que definen el orden en el cual están numerados los terminales B₁, B₂, B₃ con respecto a sus posiciones físicas a, b, c.
- 50 El control del elevador de tensión 4 se hace según métodos conocidos a partir de una consigna a_s definida como a_s = I_{bat}/I_d elaborada por un módulo de control 17 de la unidad de regulación 15. El control del reductor de tensión 3 se hace según unos métodos conocidos a partir de una relación cíclica de picado definida por un triplete (a₁, a₂, a₃) = I_f/I_d = (I_{f1}/I_d, I_{f2}/I_d, I_{f3}/I_d), y elaborado por un módulo de control 16 de la unidad de regulación 15.
- 55 La unidad de regulación 15 comprende para ello dos módulos piloto (no representados), aptos para, el primero, imponer un motivo temporal de apertura y cierre de cada uno de los interruptores del reductor de tensión 3, de tal manera que obtenga las relaciones cíclicas de picado a₁, a₂ y a₃ y apto, el segundo, para imponer un motivo temporal de apertura y de cierre de cada uno de los interruptores del elevador de tensión 4, de tal manera que obtenga la relación cíclica a_s.

Los interruptores son preferentemente transistores que permiten una conmutación rápida, por ejemplo los transistores del tipo IGBT (“Insulated Gate Bipolar Transistor”).

5 La unidad de regulación 15 comprende igualmente un módulo guía de referencia 18, apto para proporcionar a los módulos de control 16 y/o 17 los valores de consigna de la corriente deseados, ya sea de entrada ($I_{e_d}^{ref}$), ya sea de salida (I_{d}^{ref}) del reductor de tensión 3.

10 La unidad de regulación 15 recibe en la entrada los valores filtrados V_{e1} , V_{e2} , V_{e3} de tensión en los terminales de entrada del dispositivo, el orden de numeración (c, b, a) de los terminales, los valores de la corriente medidos I_{e1} , I_{e2} , I_3 en los terminales de entrada así numerados B_1 , B_2 , B_3 , el valor I_d de la corriente medida a través de la máquina eléctrica 5, el valor I_{bat} de la corriente que llega al terminal «+» de la batería 13, el valor de consigna I_{bat}^{ref} proporcionado por el módulo de seguimiento de la carga 19. Algunos de estos valores son utilizados por el módulo guía de referencia 18 para elaborar una consigna de intensidad intermedia. El módulo guía de referencia utiliza especialmente los valores I_{bat}^{ref} de consigna de la corriente que llega a la batería, la amplitud V_m de las señales de tensión en los terminales de entrada del dispositivo, la tensión V_{bat} en los terminales de la batería 13, y la tensión I_{bat} que llega al terminal «+» de la batería 13.

15 La consigna de intensidad de la corriente elaborada por el módulo guía 18 se transmite al módulo de control 16 que utiliza, conjuntamente con los valores I_{e1} , I_{e2} , I_{e3} de corriente que entra en los terminales de la red trifásica, para generar en medio de una doble bucle de regulación, tres valores de relación cíclica de picado a_1 , a_2 , a_3 que permiten controlar los ciclos de apertura y de cierre de los interruptores del reductor de tensión 3.

20 El módulo de control 17, ya sea a partir de la consigna de intensidad I_{bat}^{ref} de la corriente que entra en la batería, ya sea a partir de una consigna de corriente generada por el módulo guía de referencia 18, opera un bucle de regulación que proporciona un valor de control a_s que representa la relación cíclica de picado del elevador de tensión 4.

A título indicativo, los valores característicos de los elementos eléctricos del dispositivo de carga 1 se encuentran en las zonas de los siguientes valores:

- 25 - las capacidades C del filtro 2 representan algunos centenares de μF , por ejemplo entre 100 y 500 μF cada una,
 - la capacidad 12 disponible en los terminales de la batería 13 con el fin de estabilizar la tensión en sus terminales, es del orden de mF, por ejemplo entre 1 y 10 mF,
 - las resistencias de valores R del circuito de filtrado 2 son del orden del ohmio, por ejemplo entre 1 y 10 ohms,
 - la resistencia R_d del rotor de la máquina eléctrica Me es del orden de algunas decenas de m Ω , por ejemplo entre
 30 0,01 y 0,1 Ω ,
 - las inductancias L_1 , L_2 y L_d correspondientes respectivamente a las inductancias del filtro 2 y a los bobinados de la máquina eléctrica 5, son valores del orden de algunas decenas de μH , por ejemplo valores comprendidos entre 10 y 100 μH .

35 Aquí ahora las grandes líneas de razonamiento permiten llegar al modo de regulación que el invento propone aplicar, para el funcionamiento de los módulos 16, 17 y 18 de la unidad de regulación 15.

40 El orden en el que están numerados los terminales B_1 , B_2 y B_3 está definido en cada ramal del dispositivo en una red trifásica por el módulo de normalización 14. El módulo denormalización 14 recibe en la entrada tres tensiones V_{Ea} , V_{Eb} , V_{Ec} entre cada terminal de entrada del dispositivo y una fase correspondiente a la fase neutra de la red trifásica. El módulo de normalización 14 efectúa, entonces según técnicas conocidas, por ejemplo según técnicas del tipo “bucle de enclavamiento de fase” o “PLL” (“Phase Locked Loop”), un filtrado de cada una de las señales de entrada de tal manera que obtiene una señal sinusoidal que tiene la misma frecuencia principal que la señal medida.

El módulo de normalización determina entonces el orden en el cual deben ser numeradas las tres señales de tal manera que tenga una primera señal bajo la forma $V_m \sin(\omega t)$, una segunda señal V_{e2} igual a la señal V_{e1} desfasada $-2\pi/3$, y una señal V_{e3} igual a la señal V_{e1} desfasada $+2\pi/3$.

45 El módulo de normalización 14 envía a continuación a la unidad de regulación 15 las características de la corriente permitiendo a las unidad de regulación 15 reconstruir un vector de tensión

$$\vec{V} = (V_{e1}, V_{e2}, V_{e3}) = V_m (\sin(\omega t), \sin(\omega t - 2\pi/3), \sin(\omega t + 2\pi/3)),$$
 es decir la amplitud V_m , la pulsación ω de la tensión, y el origen de los tiempos elegidos para que el primer término V_{e1} tenga una fase nula.

50 El módulo de normalización 14 envía igualmente el orden en el que deben ser numerados los tres terminales B_1 , B_2 , B_3 para que los tres términos del vector presenten entre sí el desfase especificado anteriormente.

5 La unidad de regulación 15 recibe de tres captadores de intensidad de corriente, tres valores medidos en cada uno de los terminales B₁, B₂, B₃ que representan tres corrientes I_{e1}, I_{e2}, I_{e3} que entran en el dispositivo. La unidad de regulación 15 ordena tres valores I_{e1}, I_{e2}, I_{e3} para obtener un vector de la corriente (I_{e1}, I_{e2}, I_{e3}) de tal manera que la intensidad I_{e1} sea la intensidad que atraviesa el terminal B₁ correspondiente a la tensión filtrada V_{e1}, que la intensidad I_{e2} sea la corriente que atraviesa el terminal B₂ cuya tensión filtrada B₃ cuya tensión filtrada corresponde con V_{e3}.

No nos salimos del marco del invento si es diferente el orden atribuido a los tres valores de tensión filtrados del definido anteriormente. Sin embargo, las ecuaciones que siguen deberán adaptarse en consecuencia, especialmente para la expresión de la matriz de cambio de señal T(ωt) definida más adelante.

10 Los índices 1, 2 3 corresponden a una rotación numérica de las fases de la red trifásica que pueden corresponder, en el orden, a los índices a, b, c o pueden ser una permutación de éstos.

15 En la continuación del razonamiento, las identificaciones de los terminales B₁, B₂, B₃ de conexión del dispositivo 1 a la red trifásica, así como la numeración que se emplea, para los puntos de conexión D₁, D₂, D₃, los ramales F₁, F₂, F₃, las tensiones V_{f1}, V_{f2}, V_{f3}, las intensidades de corriente I_{e1}, I_{e2}, I_{e3}, I_{f1}, I_{f2}, I_{f3} supone que los terminales B₁, B₂, B₃ han sido numerados por el módulo de normalización 14 según el principio anterior.

El módulo de normalización 14 envía los tres valores modelizados V_{e1}, V_{e2}, V_{e3} de tensión, a la unidad de regulación 15, que debe a continuación elaborar unos valores de consigna de relación cíclica de picado para el reductor de tensión 3 y para el elevador de tensión 4, que permite satisfacer tres objetivos:

20 - minimizar el desfase entre las corrientes I_{e1}, I_{e2}, I_{e3}, medidas a través de los terminales B₁, B₂, B₃ de conexión a la red trifásica, y los tres valores de tensión modelizados V_{e1}, V_{e2}, V_{e3} en los terminales correspondientes del dispositivo,

- obtener una corriente medida de entrada I_{bat} por el terminal «+» de la batería 13, correspondiente a las necesidades de alimentación de la batería, estando determinadas estas necesidades por el módulo de seguimiento de carga 19 y suministrados como función I_{bat}^{ref} en la unidad de regulación 15,

25 - evitar una anulación de la corriente I_d que transita a través de la bobina de inducción L_d de la máquina eléctrica 5, con el fin de no generar armónicos indeseables al nivel de la corriente retirada de la red.

Se considera para esto un vector de tensión V_e que tiene como coordenadas en una base inicial V₁, V₂, V₃, es

decir $\vec{V}_e = (V_{e1}, V_{e2}, V_{e3})$ en esta primera base.

Se considera, en la misma base, (se podría decir indiferentemente "en la misma señal"), u vector de intensidad de

30 corriente de entrada en el dispositivo 1: $\vec{I}_e = (I_{e1}, I_{e2}, I_{e3})$, y un vector de intensidad de salida del

filtro 2: $\vec{I}_f = (I_{f1}, I_{f2}, I_{f3})$,

así como un vector de tensión en los terminales de las capacidades C

de filtrado del filtro 2: $\vec{V}_f = (V_{f1}, V_{f2}, V_{f3})$.

A continuación anotamos como "s" el operador de derivación con respecto al tiempo "t", o sea $\frac{d}{dt} = s$, lo que puede expresarse también, en una anotación compleja y para las corrientes sinusoidales de pulsación ω, s= jω.

35 Las relaciones entre corriente y tensión de cada una de los ramales del filtro 2 se escriben:

$$\vec{V}_e = L_2 \cdot s \cdot (L_1 \cdot s + R) / (L_2 \cdot s + L_1 \cdot s + R) \cdot \vec{I}_e + \vec{V}_f$$

y

$$C \cdot s \cdot \vec{V}_f = \vec{I}_e - \vec{I}_f$$

e incluso

$$[(L_1 + L_2) \cdot s + R] \cdot (\vec{V}_e - \vec{V}_f) = (L_1 \cdot L_2 \cdot s^2 + R \cdot L_2 \cdot s) \cdot \vec{I}_e$$

ecuación (1)

y

$$C \cdot s \cdot \vec{V}_f = I_e - \vec{I}_f$$

ecuación (2)

la ecuación del ramal que lleva la máquina eléctrica 5 se escribe:

$$Rd \cdot Id + Ld \cdot s \cdot Id = \vec{a} \cdot \vec{V}_f - a_s \cdot V_{bat}$$

5 en donde $\vec{a} = (a_1, a_2, a_3)$ es el vector definido en la base inicial por las relaciones cíclicas de picado (PWM) del reductor de tensión 3.

Lo que puede escribirse incluso:

$$Rd \cdot Id + Ld \cdot s \cdot Id = (\vec{I}_f \cdot \vec{V}_f - I_{bat} \cdot V_{bat}) / Id$$

o incluso:

$$Rd \cdot Id^2 + Ld / 2 \cdot s \cdot (Id^2) = \vec{I}_f \cdot \vec{V}_f - I_{bat} \cdot V_{bat}$$

10 Se define una matriz de cambio de variable T(ωt) (que se puede llamar indiferentemente matriz de cambio de base o matriz de cambio de señal) a partir del vector \vec{V}_e en la forma:

$$T(\omega t) = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \sin(\omega t) & \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos(\omega t) & \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

15 Esta matriz representa un cambio de base entre una base inicial, y una base de entrada giratoria, definida por tres vectores u_1, u_2, u_3 cuyas coordenadas en la base inicial son respectivamente:

$$\begin{aligned} \vec{u}_1 &= \left(\sin(\omega t), \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \right) \\ \vec{u}_2 &= \left(\cos(\omega t), \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \right) \\ \vec{u}_3 &= (1, 1, 1) \end{aligned}$$

Dicho de otra manera, \vec{u}_1 es colineal con \vec{V}_e y gira con \vec{V}_e en la base de partida, \vec{u}_2 es perpendicular a \vec{V}_e y gira con \vec{V}_e en la base de partida, \vec{u}_3 es perpendicular a \vec{u}_1 y a \vec{u}_2 y permanece fija en la base de partida.

La matriz $T^{-1}(\omega t)$ que, multiplicada por $T(\omega t)$ permite encontrar la matriz identidad, está dada por:

$$T^{-1}(\omega t) = \begin{bmatrix} \sin(\omega t) & \cos(\omega t) & 1 \\ \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \\ \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \end{bmatrix}$$

La matriz $T(\omega t)$, y las derivadas primera y segunda con respecto al tiempo de su matriz inversa $T^{-1}(\omega t)$, poseen las siguientes importantes propiedades:

$$T(\omega t) \cdot \frac{d}{dt}(T^{-1}(\omega t)) = T(\omega t) \cdot s(T^{-1}(\omega t)) = \begin{bmatrix} 0 & -\omega & 0 \\ \omega & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$T(\omega t) \cdot \frac{d^2}{dt^2}(T^{-1}(\omega t)) = T(\omega t) \cdot s^2(T^{-1}(\omega t)) = \begin{bmatrix} -\omega^2 & 0 & 0 \\ 0 & -\omega^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

5

Se utiliza a continuación las siguientes anotaciones:

$\vec{V}_{e123} = (V_{e1}, V_{e2}, V_{e3}) = V_m (\sin(\omega t), \sin(\omega t - 2\pi/3), \sin(\omega t + 2\pi/3))$, que es la expresión de \vec{V}_e en la base de partida.

10 $\vec{V}_{edq0} = T(\omega t) * \vec{V}_{e123} = (V_{ed}, V_{eq}, V_{e0}) = (V_m, 0, 0)$ que es la expresión de \vec{V}_e en la base giratoria definida por los vectores $\vec{u}_1, \vec{u}_2, \vec{u}_3$.

$\vec{I}_{e123} = (I_{e1}, I_{e2}, I_{e3}) = I_m (\sin(\omega t - \varphi), \sin(\omega t - \varphi - 2\pi/3), \sin(\omega t - \varphi + 2\pi/3))$, que es la expresión de \vec{I}_e en la base de partida, siendo φ el desfase de la corriente con respecto a la tensión de cada terminal de ramificación del dispositivo 1 a la red trifásica.

15 $\vec{I}_{edq0} = T(\omega t) * \vec{I}_{e123} = (I_{ed}, I_{dq}, I_{d0}) = I_m (\cos\varphi, \sin\varphi, 0)$, que es la expresión de \vec{I}_e en la base giratoria definida por los vectores $\vec{u}_1, \vec{u}_2, \vec{u}_3$.

En efecto, dada la manera en la que está definida la base giratoria $\vec{u}_1, \vec{u}_2, \vec{u}_3, \vec{V}_e$ está fijo en la base giratoria y el vector corriente \vec{I}_e está fijo igualmente en la base giratoria y puede escribirse si la corriente en cada fase está desfasada con respecto a la tensión de fase un ángulo φ :

20 $\vec{I}_{edq0} = (I_{ed}, I_{eq}, I_{e0}) = I_m (\cos\varphi, \sin\varphi, 0)$, dicho de otra manera, reducir el desfase entre la corriente y la tensión retirada de la red se vuelve a anular el componente según $\vec{u}(\vec{I}_e)$, es decir anular la componente I_{eq} .

Se utilizan igualmente las anotaciones:

$\vec{I}_{f123} = (I_{f1}, I_{f2}, I_{f3})$ que es la expresión de \vec{I}_f en la base de partida,

$\vec{I}_{fdq0} = T(\omega t) * \vec{I}_{f123} = (I_{fd}, I_{fq}, I_{f0})$ que es la expresión de \vec{I}_f en la base giratoria definida por los vectores $\vec{u}_1, \vec{u}_2, \vec{u}_3$.

$\vec{V}_{f123} = (V_{f1}, V_{f2}, V_{f3})$ que es la expresión de \vec{V}_f en la base de partida,

25 $\vec{V}_{fdq0} = T(\omega t) * \vec{V}_f = (V_{fd}, V_{fq}, V_{f0})$ que es la expresión de \vec{V}_f en la base giratoria definida por los vectores $\vec{u}_1, \vec{u}_2, \vec{u}_3$.

Escribir las ecuaciones características del filtro 2 en la base giratoria, se hace multiplicando a izquierdas por $T(\omega t)$ las ecuaciones (1) y (2) expresadas en la base de partida. Se obtiene entonces:

$$\begin{aligned} & (L_1 + L_2) \cdot T(\omega t) \cdot s \cdot (Ve_{123} - Vf_{123}) + R \cdot T(\omega t) \cdot (Ve_{123} - Vf_{123}) \\ &= (L_1 \cdot L_2) \cdot T(\omega t) \cdot (s^2 \cdot Ie_{123}) + R \cdot L_2 \cdot T(\omega t) \cdot (s \cdot Ie_{123}) \end{aligned}$$

y

$$C \cdot T(\omega t) \cdot (s \cdot Vf_{123}) = T(\omega t) \cdot Ie_{123} - T(\omega t) \cdot If_{123} ,$$

5

lo que puede escribirse incluso en función de expresiones de los diferentes vectores en la base giratoria:

$$\begin{aligned} & (L_1 + L_2) \cdot T(\omega t) \cdot s \cdot (T^{-1}(\omega t)(Ve_{dqo} - Vf_{dqo})) + R \cdot (Ve_{dqo} - Vf_{dqo}) \\ &= (L_1 \cdot L_2) \cdot T(\omega t) \cdot (s^2 \cdot T^{-1}(\omega t)(Ie_{dqo})) + R \cdot L_2 \cdot T(\omega t) \cdot s \cdot (T^{-1}(\omega t)Ie_{dqo}) \end{aligned}$$

y

$$C \cdot T(\omega t) \cdot (s \cdot T^{-1}(\omega t)(Vf_{dqo})) = Ie_{dqo} - T(\omega t) \cdot If_{dqo}$$

- 10 Al anularse las coordenadas según el vector \vec{u}_3 se, se obtienen las siguientes ecuaciones concernientes a las coordenadas según los vectores \vec{u}_1 y \vec{u}_2 :

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} (L_1 + L_2)s + R & -(L_1 + L_2)\omega \\ (L_1 + L_2)\omega & (L_1 + L_2)s + R \end{bmatrix} \begin{pmatrix} Ve_d - Vf_d \\ Ve_q - Vf_q \end{pmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} L_1 L_2 s^2 + RL_2 s - L_1 L_2 \omega^2 & -L_2(2L_1 \omega s + R) \\ L_2(2L_1 \omega s + R) & L_1 L_2 s^2 + RL_2 s - L_1 L_2 \omega^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} Ie_d \\ Ie_q \end{pmatrix} \end{aligned}$$

ecuación (3)

$$y \quad \begin{bmatrix} Cs & -C\omega \\ C\omega & Cs \end{bmatrix} \begin{pmatrix} Vf_d \\ Vf_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Ie_d - If_d \\ Ie_q - If_q \end{pmatrix}$$

ecuación (4)

- 15 Eliminando los términos de tensión Vf_d y Vf_q entre las ecuaciones (3) y (4), se consigue una ecuación de la siguiente forma que une Ie_q , If_q , e If_d :

$$Ie_q = FA(s)If_q + FB(s)If_d$$

en donde FA(s) es una función de transformación de I_{f_q} que se deduce de las ecuaciones (3) y (4), y FB(s) es una función de transformación de la función I_{f_d} que se deduce igualmente de las ecuaciones (3) y (4). Se encuentra que para las pulsaciones ω de la red eléctrica próximas a $\omega = 2\pi \times 50$ u $\omega = 2\pi \times 60$, y para los órdenes de magnitud las resistencias R, Rd de las capacidades C y de las inductancias L_1, L_2, L_d mencionadas más arriba, la transformación FB(s) aplicada a un valor de la corriente I proporciona unos valores despreciables ante los valores salidos de la transformación FA(s) aplicada a la misma corriente I.

Se deduce de ello que se puede utilizar la variable I_{f_q} de corriente transitoria entre el filtro 2 y el reductor de tensión 3, como variable de control para limitar la componente I_{e_q} de la corriente a 0, y anular así el desfase entre las corrientes y las tensiones de entrada del dispositivo de carga.

Según la aproximación:

$$I_{e_q} = FA(s) I_{f_q} \quad \text{ecuación (5)}$$

La ecuación del ramal que contiene la máquina eléctrica 5 permite proponer una relación que relaciona I_d e I_{f_d} . En efecto, se escribe:

$$R_d \cdot I_d^2 + L_d / 2 \cdot s \cdot (I_d^2) = \bar{I}_f \cdot \bar{V}_f - I_{bat} \cdot V_{bat}$$

incluso:

$$R_d \cdot I_d^2 + L_d / 2 \cdot s \cdot (I_d^2) = I_{f_d} V_{f_d} - I_{f_q} V_{f_q} - I_{bat} \cdot V_{bat} \quad \text{ecuación (6)}$$

Considerando que el producto $I_{bat} \times V_{bat}$ es una perturbación de variación mucho más lenta que los valores de las corrientes de entrada que se tratan de regular, y considerando que la componente V_{f_q} del vector de las tensiones en los terminales de las capacidades es nula – o poco diferente, por el hecho de que los valores R, L_1, L_2 del filtro, de V_{e_q} se obtiene a partir de la ecuación (6) una relación que une directamente las variaciones de I_{f_d} y de I_d .

Se puede pues utilizar la variable de la corriente I_{f_d} como variable de control para limitar la corriente I_d que atraviesa la máquina eléctrica 5, a un valor de consigna que será elaborado de tal manera que no permita la anulación de la corriente en la bobina de inductancia L_d .

I_{f_d} e I_{f_q} pueden pues ser utilizadas las dos como variables de control para limitar respectivamente la corriente I_d que atraviesa la máquina eléctrica y la corriente I_{e_q} transmitida entre el filtro y el reductor de tensión 3, cada uno a un valor de consigna de referencia.

Con el fin de conocer los valores de relación cíclica de picado a_1, a_2, a_3 que permiten obtener los valores de I_{f_d} e I_{f_q} deseados, basta con efectuar un cambio de señal con la ayuda de la matriz $T^{-1}(\omega t)$ con el fin de recalcular a partir de I_{f_d} e I_{f_q} las tres coordenadas $I_{f_1}, I_{f_2}, I_{f_3}$ de las corrientes transmitidas entre el filtro 2 y el reductor de tensión 3. Dividiendo estos tres valores $I_{f_1}, I_{f_2}, I_{f_3}$ por el valor I_d de la corriente medida a través de la máquina eléctrica 5, se obtienen por definición los tres valores a_1, a_2, a_3 de la relación cíclica de picado del reductor de tensión 3. El control del reductor de tensión 3 con la ayuda de estas tres consignas de las relaciones cíclicas de picado, permite limitar I_{e_q} en una referencia nula, con el fin de anular el desfase entre corriente y tensión de entrada del dispositivo, y limitar I_d , la corriente que atraviesa la máquina eléctrica 5, al valor de consigna deseado I_d^{ref} .

Si se regula I_{e_q} con I_{f_q} para anular el desfase ϕ , y se regula I_d con I_{f_d} para evitar la anulación de la corriente en la bobina de la máquina eléctrica, es suficiente entonces para satisfacer el tercer objetivo de la regulación efectuada por la unidad de regulación 15, es decir limitar la corriente entrante en la batería I_{bat} al valor de consigna I_{bat}^{ref} proporcionado por el módulo de seguimiento de la carga 19. Para ello, se puede por ejemplo imponer una relación cíclica de picado a_s en el elevador de tensión 4 de tal manera que se respeta la relación $a_s = I_{bat}^{ref} / I_d$. Con el fin de compensar el desfase temporal entre el momento en el que los valores I_{bat} e I_d son medidos, y el momento en el que la variable de control a_s que define la relación cíclica de picado del elevador de tensión 4, se hace efectivos, puede utilizarse un bucle de control del tipo "feed forward", calculando la variable de control a_s a partir de la suma de la corriente de consigna I_{bat}^{ref} y del error integrado entre la corriente de consigna I_{bat}^{ref} y la corriente efectivamente medida I_{bat} en el terminal + de la batería 13.

Según otra variante de realización, se pueden utilizar las ecuaciones (3) y (4) con el fin de escribir eliminando los términos V_{f_d} y V_{f_q} una relación entre I_{e_d}, I_{f_q} e I_{f_d} bajo la forma:

$$I_{e_d} = FE(s)(I_{f_q}) + FD(s)(I_{f_d})$$

Se constata esta vez aquí, con los valores usuales de pulsación de red y con los valores de las resistencias R, Rd, de las capacidades C y de las inductancias L₁, L₂, Ld que el término FD(I_{f_d}) es preponderante ante el término FE(I_{f_q}). Se puede escribir entonces en una primera aproximación:

$$I_{e_d} = FD(I_{f_d}) \quad \text{ecuación (6)}$$

5 Se puede pues, según esta otra variante de realización utilizar los valores de corriente I_{f_q} e I_{f_d} para limitar simultáneamente I_{e_q} e I_{e_d} a dos valores de consigna respectivos. I_{e_q} será limitada como anteriormente a cero para anular el desfase φ, e I_{f_d} será limitada a un valor de consigna I_{e_d}^{ref} elaborado para obtener la intensidad de consigna I_{bat}^{ref} de entrada del terminal + de la batería 13. Se efectuará como anteriormente un cambio de señal con la ayuda de la matriz T⁻¹ (ωt) con el fin de calcular, a partir de los valores de control I_{f_q} e I_{f_d} deseados, los valores a aplicar a₁, a₂, a₃ como consigna de la relación cíclica de picado, en el reductor de tensión 3.

En este segundo modo de realización, se utilizan conjuntamente un bucle de regulación sobre I_{f_q} para regular I_{e_q} y un bucle de regulación sobre I_{f_d} para regular la corriente que llega a la batería. Queda pues por definir un tercer bucle de regulación que permita limitar la corriente que transita por la máquina eléctrica 5.

15 Sin embargo, en una primera aproximación, la relación que traduce la dinámica de la corriente a través de la máquina eléctrica 5, es:

$$Rd \cdot Id + Ld \cdot s \cdot Id = \vec{a} \cdot \vec{V}f - a_s \cdot V_{bat} \quad \text{ecuación (7)}$$

relaciona directamente a_s y la corriente Id que atraviesa la máquina eléctrica 5, pues:

$\vec{a} \cdot \vec{V}f$ puede ser considerada como una perturbación cuyos valores están determinados por los dos primeros bucles de regulación y V_{bat} es un valor relativamente estable gracias a la presencia del condensador 12.

20 Es pues posible, en este segundo modo de realización, controlar a_s directamente a partir del error entre un valor de referencia Id^{ref} y el valor medido Id que atraviesa la máquina eléctrica 5.

Los valores utilizados como consigna son el valor cero para I_{e_q} y dos funciones de intensidad de las consignas I_{e_q}^{ref} e I_d^{ref} elaborados por el módulo guía de referencia 18, respectivamente para I_{e_q} e Id .

25 Para determinar la consigna I_{e_d}^{ref} de la corriente entrante en el dispositivo, se expresa la conservación de la potencia eléctrica entre los terminales de conexión de la red trifásica y los terminales de la batería. Se desprecian para ello en una primera aproximación las pérdidas de energía eléctrica en el dispositivo, relacionadas especialmente con la presencia de resistencias.

El valor de consigna de la corriente entrante I_{e_d}^{ref} está dada entonces pr la relación:

$$I_{e_d}^{ref} = 2/3 \cdot I_{bat}^{ref} \cdot V_{bat} / Vm \quad \text{ecuación (8)}$$

30 en donde

Vm es la amplitud de la tensión de entrada (tensión de la red);

V_{bat} es la tensión medida en los terminales de la batería 13;

I_{bat}^{ref} es la consigna de la corriente de la batería, elaborada por el módulo de seguimiento de la carga 19.

35 La consigna Id^{ref} de la corriente que atraviesa la máquina eléctrica 5, destinada a evitar la anulación de la corriente en la inductancia de la máquina eléctrica, puede o bien quedar fijada a una constante arbitraria o bien seguir una función cualquiera constantemente superior a cero.

En los modos de realización descritos se decide ajustar Id^{ref} en función de las corrientes de consigna I_{e_d}^{ref} en la entrada del dispositivo e I_{bat}^{ref} a los terminales de la batería 13, según la siguiente fórmula:

$$Id^{ref} = \text{Max}(I_{e_d}^{ref}, I_{bat}^{ref}) + A \quad \text{ecuación (9)}$$

40 en donde I_{e_d}^{ref} está dado por la relación anterior, I_{bat}^{ref} es la consigna de la corriente de la batería proporcionada por

el módulo de seguimiento de la carga 19, y A es una constante arbitraria que se puede fijar por ejemplo a un valor de 200 amperios.

5 El módulo guía de referencia 18 de la figura 1, asociado a los módulos de control 16 y 17 cuyo funcionamiento está detallado más abajo, calcula sistemáticamente I_{d}^{ref} según la ecuación (8), y calcula a continuación I_{d}^{ref} según la ecuación (9). En función de los modos de funcionamiento retenidos para cada módulo 16 y 17, el módulo guía 18 envía uno de los valores I_{e}^{ref} ó I_{d}^{ref} al módulo 16 o al módulo 17, y envía eventualmente otro de los dos valores al otro módulo. Sin embargo no nos alejamos del marco del invento si el módulo guía de referencia no calcula y no transmite nada más que uno de los valores I_{e}^{ref} ó I_{d}^{ref} .

10 Las figuras 2a, 2b y 3a, 3b ilustran dos modos de regulación retenidos para utilizar el invento a partir de las consideraciones precedentes, utilizando un dispositivo de carga 1 correspondiente a la figura 1. Sucede que en las figuras 2a, 2b y 3a, 3b referencias comunes en la figura 1 están designadas con las mismas referencias.

15 La figura 2a ilustra un modo de funcionamiento posible del módulo de control 16. El módulo de control 16 recibe en una primera entrada el valor medido Id de intensidad de la corriente que atraviesa la máquina eléctrica 5. Él envía este valor a una entrada negativa del sustractor 20, que recibe en una entrada positiva un valor de consigna de la corriente I_{d}^{ref} elaborado por el módulo guía de referencia 18. La diferencia es enviada a un corrector 21 que puede ser un corrector del tipo proporcional integral derivado, cuya función de corrección está anotada aquí como k5 y cuyos términos pueden ser deducidos de la ecuación (6).

20 El resultado de esta corrección es interpretado como una componente I_{d} según el vector \vec{u}_1 de la base giratoria, paralelo al vector de tensión filtrado \vec{V}_e que ha servido para definir el cambio de señal, de una corriente de consigna a la salida del filtro 2. El módulo de control 16 recibe en otras tres entradas los valores medidos I_{e1} , I_{e2} , I_{e3} de las corrientes en los terminales de entrada B₁, B₂, B₃ del dispositivo 1, y utiliza estos tres valores como tres coordenadas de un vector \vec{T}_e de intensidad de la corriente, sobre los cuales aplica por un operador 22 un cambio de señal, para obtener una de las coordenadas del vector \vec{T}_e en la base giratoria definida por la matriz de cambio de base T(ωt). La
 25 coordenada retenida I_{eq} es una coordenada según el vector \vec{u}_2 perpendicular al vector de tensión filtrado \vec{V}_e que ha servido para definir el cambio de señal. Esta coordenada I_{eq} es enviada a una entrada negativa de un sustractor 23 que recibe en una entrada positiva una consigna I_{eq}^{ref} igual a cero almacenada en una memoria 30 del módulo de control 16.

La diferencia es enviada a un corrector 24 igualmente del tipo proporcional integrado derivado, representado aquí por una función de corrección K1, cuyos términos pueden deducirse de la ecuación (5).

30 El resultado del corrector 24 es interpretado como una intensidad de corriente I_{fq} correspondiente a una coordenada según el vector \vec{u}_2 perpendicular al vector tensión filtrada \vec{V}_e que ha servido para definir el cambio de señal. Los resultados I_{fd} del corrector 41 e I_{fq} del corrector 24 son utilizados a continuación como dos componentes en la base giratoria, de un vector $I_f = (I_{fd}, I_{fq}, 0)$ que representan un vector consigna para la intensidad de la corriente de salida del filtro 2. Para ello, se aplica a este vector $(I_{fd}, I_{fq}, 0)$ la matriz de cambio de base inversa $T^{-1}(\omega t)$ por medio de un
 35 operador 25, que proporciona tres coordenadas I_{f1} , I_{f2} , I_{f3} que representan \vec{I}_f en la base de partida, es decir que representan tres valores de consigna de las corrientes que salen del filtro 2 y atraviesan respectivamente los ramales F1, F2 y F3 de la figura 1. El módulo de control 16 divide a continuación, con la ayuda de un inversor de valor 26 y de tres multiplicadores 27, 28, 29 cada uno de los valores I_{f1} , I_{f2} , I_{f3} por el valor Id de la corriente que atraviesa la máquina eléctrica 5, y proporciona así tres valores a_1 , a_2 , a_3 que permiten, según los métodos conocidos,
 40 el control del reductor de tensión 3. Los valores a_1 , a_2 , a_3 son enviados por ejemplo a un módulo de control (no representado) que impone a los interruptores del reductor de tensión 3, los ciclos de apertura y de cierre que permiten obtener estas relaciones cíclicas de picado.

45 La figura 2b ilustra un modo posible de funcionamiento de un módulo de control 17 permite controlar el elevador de tensión 4 conjuntamente con el módulo de control 16 cuyo modo de funcionamiento está descrito en la figura 2a. El módulo de control 17 recibe un valor medido I_{bat} en una de sus entradas, y la envía a la entrada negativa del sustractor 31, que recibe en su entrada positiva el valor I_{bat}^{ref} proporcionada por el módulo de seguimiento de la carga 19. La diferencia entre los dos términos es enviada por el sustractor 31 al primer corrector 32 de tipo proporcional, a continuación al segundo corrector 32 de tipo integrador. El valor de consigna de la corriente I_{bat}^{ref} es
 50 enviado simultáneamente por un bucle del tipo "feed forward" 35, a un sumador 34 que recibe en una segunda entrada el resultado del integrador 33.

55 En una tercera entrada, el módulo de control 17 recibe el valor medido id de la corriente que atraviesa la máquina eléctrica 5, envía este valor a un operador inversor 36, a continuación a un multiplicador 37 que recibe en su segunda el resultado del sumador 34. El resultado del multiplicador 37, que es la corriente de consigna de la batería aumentada en un término de error corregido, dividido por la corriente Id que atraviesa la máquina eléctrica 5, es enviado como valor a_s de consigna de la relación cíclica de picado, a un módulo de control (no representado) que impone según métodos conocidos a los interruptores del elevador de tensión 4, los ciclos de apertura y de cierre que

permiten obtener esta relación cíclica de picado.

5 Se pueden considerar otros tipos de corrección distintos que la corrección proporcional del corrector 32 y que la corrección proporcional del integrador 33, teniendo como objetivo del bucle de corrección compensar el desfase temporal entre el momento en el que los valores de control I_d e I_{bat}^{ref} son determinados, y el momento en el que la relación cíclica de picado correspondiente a_s se aplica.

Los modos de funcionamiento descritos en las figuras 2a y 2b son complementarios: el modo de funcionamiento descrito en la figura 2a permite, al controlar el reductor de tensión 3, anular el desfase entre la corriente y la tensión retiradas de la red, y permite igualmente obtener una intensidad de corriente I_d que atraviesa la máquina eléctrica, que es no nula, y que es compatible con la corriente I_{bat}^{ref} que se busca al final para obtener la entrada de la batería.

10 El modo de funcionamiento del módulo de control 17 descrito en la figura 2b permite entonces, al limitar I_{bat} sobre I_{bat}^{ref} , sacar partido de la corriente I_d que atraviesa la máquina eléctrica, y regulada por el módulo 16, de tal manera que se obtiene la corriente deseada I_{bat}^{ref} en la entrada de la batería 13.

15 La figura 3a ilustra otro modo posible de funcionamiento del módulo de control 16, que permite controlar el reductor de tensión 3 de la figura 1. Como en el modo de funcionamiento de la figura 2a, los tres valores I_{e1} , I_{e2} , I_{e3} que constituyen las coordenadas del vector I_e de las intensidades de corriente entrante por los terminales B_1 , B_2 , B_3 del dispositivo 1, son transformados por un operador 22 que los multiplica por la matriz de cambio de señal $T(\omega t)$.

El operador 22 proporciona esta vez dos coordenadas I_{eq} e I_{ed} de la corriente entrante por los terminales del circuito trifásico, que son las coordenadas del vector \vec{I}_e en el plano de rotación definido por los vectores \vec{u}_1, \vec{u}_2 , del vector filtrado de tensión en la entrada del dispositivo. La coordenada I_{eq} que es la coordenada perpendicular al vector filtrado de tensión es, como en el modo de regulación de la figura 2a, enviada al sustractor 23, que le resta un valor de consigna I_{eq}^{ref} almacenado en una memoria 30 e igual a cero, y envía la diferencia a un corrector 24 representado por la función de corrección K1 que puede ser la misma que la de la figura 3a.

20 El corrector 24 proporciona un valor I_{fq} que es utilizado a continuación como una componente del vector \vec{I}_f de consigna de la corriente en la entrada del reductor de tensión 3. En el modo de regulación de la figura 3a, el operador 22 envía la segunda coordenada I_{ed} de la corriente entrante en el dispositivo, que es la coordenada que es la coordenada según el vector \vec{u}_1 , paralela al vector filtrado de tensión \vec{V}_e , en un sustractor 40 que le resta un valor de consigna I_{ed}^{ref} elaborado por el módulo guía de referencia 18 de la figura 1.

La diferencia es enviada a un corrector 41 representado por una función de corrección k4 que puede ser de tipo proporcional integral derivado y cuyos términos pueden deducirse de la ecuación (6).

30 El corrector 41 proporciona un valor I_{fd} que es interpretado como un valor de consigna de la coordenada paralela al vector \vec{V}_e de tensiones filtradas a la entrada del dispositivo, del vector \vec{I}_f que define las tres corrientes entrantes por los terminales del reductor de tensión 3. I_{fd} es interpretado como la coordenada según el segundo vector de base \vec{u}_2 de la base giratoria, perpendicular al vector \vec{V}_e de tensiones filtradas en la entrada del dispositivo, del vector \vec{I}_f de las intensidades entrantes en el reductor de tensión 3. Las dos coordenadas I_{fd} e I_{fq} son enviadas respectivamente por los correctores 41 y 24 a un operador 25 que los multiplica por la matriz inversa de cambio de base $T^{-1}(\omega t)$. El operador 25 proporciona tres coordenadas I_{f1} , I_{f2} , I_{f3} de \vec{I}_f en la base de partida, traduciendo los valores de intensidades de corriente de consigna que se desean obtener respectivamente en los ramales F_1 , F_2 , F_3 de entrada del reductor de tensión 3.

40 Como en el modo de regulación de la figura 2a, los tres valores de consigna I_{f1} , I_{f2} , I_{f3} son a continuación divididos por medio de un operador inversor 26 y de tres operadores multiplicadores 27, 28 y 29 por el valor medido I_d de la corriente que atraviesa la máquina eléctrica 5. El módulo de control 16 proporciona entonces tres valores de consigna a_1 , a_2 , a_3 utilizados por un módulo de control (no representado) como consignas de relación cíclica de picado para controlar el reductor de tensión 3.

45 La figura 3b ilustra un modo de regulación por el módulo 17, que es complementario al modo de regulación por el módulo 16 descrito en la figura 3a. El módulo de control 17 recibe aquí en una primera entrada, el valor medido I_d de la corriente que atraviesa la máquina eléctrica 5, la envía a la entrada negativa del sustractor 42 que recibe en una entrada positiva un valor de consigna I_d^{ref} elaborado por el módulo guía de referencia 18.

50 La diferencia entre el valor medido I_d y el valor de consigna I_d^{ref} es enviada a un corrector 43, por ejemplo de tipo proporcional integral, y representado por una función de corrección K6, cuyos términos pueden deducirse de la ecuación (7). El corrector 43 proporciona un valor a_s que el módulo de control 17 envía a un módulo de control (no representado) para definir los ciclos de apertura y de cierre de los interruptores que forman parte del elevador de tensión 4.

El objeto del invento no se limita a los modos de realización descritos, y pueden describirse numerosas variantes

especialmente en lo que concierne a la forma del vector modelizado \vec{V}_e de las tensiones entrantes, y la matriz de cambio de base que se ha desarrollado.

5 Se puede utilizar una arquitectura de filtro diferente a la entrada del reductor de tensión 3, siendo modificados entonces los términos de las ecuaciones (3) y (4) , pero manteniendo posible el cambio de señal, con las mismas ventajas que se han descrito anteriormente.

Se pueden considerar mandos multivariables en los que tres bucles de regulación, o más, serían interdependientes para proporcionar conjuntamente los cuatro valores de consigna de las relaciones cíclicas de picado a_1, a_2, a_3, a_s

10 La arquitectura del dispositivo 1 puede variar, con la condición de conservar la sucesión filtro-reductor de tensión-bobina de inducción-elevador de tensión-batería. Se observará en particular que los ramales F_1, F_2, F_3 pueden reducirse a los de conexión D_1, D_2, D_3

El dispositivo de carga según el invento permite conciliar en cada instante las necesidades de alimentación de la batería, y las exigencias del suministrador de corriente trifásica en términos de potencia reactiva y de armónicos de la corriente suministrada.

Lista de referencias

15	1.	Dispositivo de carga
	2.	Filtro
	3.	Reductor de tensión
	4.	Elevador de tensión
	5.	Máquina eléctrica
20	6,7,8	Ramales paralelos del reductor de tensión 3
	9	Diodo
	10	Primer terminal del ramal del elevador de tensión 4
	11	Segundo terminal del ramal del elevador de tensión 4
	12	Condensador
25	13	Batería
	14	Módulo de normalización
	15	Unidad de regulación
	16,17	Módulos de control
	18	Módulo guía de referencia
30	19	Módulo de seguimiento de la carga
	20	Sustractor
	21	Corrector
	22	Operador de cambio de señal (=operador de cambio de base)
	23	Sustractor
35	24	Corrector
	25	Operador de cambio de señal (= operador de cambio de base)
	26	Inversor
	27, 28, 29	Multiplicadores
	30	Memoria
40	31	Sustractor

	32	Corrector
	33	Corrector integrador
	34	Sumador
	35	Bucle "feed forward"
5	36	Inversor
	37	Multiplicador
	40	Sustractor
	41	Corrector
	42	Sustractor
10	43	Corrector
	α	Factor de corrección del corrector 32
	a_1, a_2, a_3	Relaciones cíclicas de picado del reductor de tensión 3 definidas por $a_1 = I_{f1}/I_d$, $a_2 = I_{f2}/I_d$, $a_3 = I_{f3}/I_d$
	a_s	Relación cíclica de picado del elevador de tensión 4 definida por $a_s = I_{bat}/I_d$
	B_1, B_2, B_3	Terminales del ramal del dispositivo 1 en las fases de la red trifásica
15	C	Capacidades del filtro 2, de valor C
	D_1, D_2, D_3	Puntos de conexión del filtro 2 en las entradas del reductor de tensión 3
	F_1, F_2, F_3	Ramales o puntos de conexión entre las entradas del reductor de tensión 3, el medio (punto entre dos interruptores) de cada ramal 6, 7, 8 del reductor de tensión 3
	L_1	Primera serie de inductancias del filtro 2, de valor L_1
20	L_2	Segunda serie de inductancias del filtro 2, de valor L_2
	R	Resistencias del filtro 2, de valor R
	Rd	Resistencia equivalente de los bobinados de la máquina eléctrica Ld Inductancia equivalente de los bobinados de la máquina eléctrica 5
	I_{e1}, I_{e2}, I_{e3}	Valores medidos de la corriente entrante por los ter-
25	I_{f1}, I_{f2}, I_{f3}	Corrientes entrantes en los ramales F, F, F en el reductor de tensión 3 a partir del filtro 2
	I_d	Corriente medida que atraviesa la máquina eléctrica 5
	I_{bat}	Corriente medida que entra por el terminal «+» de la batería 13
	I_{bat}^{ref}	Consigna de intensidad de corriente de la batería emitida por el módulo de seguimiento de carga
	19	
30	I_{ed}	Proyección del vector $\vec{Ie} = (I_{e1}, I_{e2}, I_{e3})$ expresado en la base de partida sobre el primer vector \vec{u}_1 de la base giratoria
	I_{fd}	Proyección del vector I_f igual a (I_{f1}, I_{f2}, I_{f3}) expresado en la base de partida sobre el primer vector \vec{u}_1 de la base giratoria
	K1, K4, K5, K6	Funciones de corrección de los correctores 24, 21 41 y 43
35	T(wt)	Matriz de cambio de base entre una señal inicial en la que las tensiones en los terminales de entrada del dispositivo definen un vector $\vec{Ve} = (V_{e1}, V_{e2}, V_{e3})$, y una señal definida por una base giratoria ortogonal cuyo primer vector de base u es colineal con el vector \vec{Ve} , y un tercer vector de base es fijo con respecto a la base de partida

ES 2 613 536 T3

$T^{-1}(\omega t)$	Matriz inversa de cambio de base, entre la señal definida por la base giratoria y la señal inicial
VE_a, VE_b, VE_c	Tensión medida entre la masa y cada uno de los terminales del ramal del dispositivo de carga en red trifásica
5	Ve_1, Ve_2, Ve_3 Valores de tensión filtrados por el módulo de normalización 14 a partir de los valores de tensión medidos $VE_1,$
	VE_2, VE_3 reordenados de 1 a 3 para obtener un desfase predefinido entre el primero, el segundo y el tercer término filtrado, siendo repercutida la numeración de 1 a 3 en la numeración de los terminales B_1, B_2, B_3, D_1
	D_2, D_3 y los ramales F_1, F_2, F_3 del dispositivo de carga y en la designación de los valores medidos al nivel de estos terminales o de estos ramales.

10

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (1) de carga rápida para batería (13) especialmente para batería de un vehículo automóvil, que comprende una etapa de filtrado (2) del tipo resistivo-inductivo-capacitivo destinado a ser conectado a una red trifásica, una etapa (3) de reductor de tensión, y una etapa (4) de elevador de tensión, destinado a ser conectado a la batería (13), así como una bobina de inducción (Ld) interpuesta entre la etapa reductor (3) y la etapa elevador (4) de tensión, comprendiendo el dispositivo (1) igualmente una unidad de regulación (15) apta para imponer relaciones cíclicas de picado (a_1, a_2, a_3, a_4) a la etapa reductor de tensión (3) y a la etapa elevador de tensión (4), unos medios de medida de las intensidades (I_{e1}, I_2, I_{e3}) de las corrientes entrantes en el dispositivo por las fases (B_1, B_2, B_3) de la red trifásica, unos medios de medida de la intensidad de la corriente (Id) que atraviesa la bobina (Ld), la unidad de regulación (15) que comprende a su vez al menos dos bucles de regulación (16, 17) utilizando los valores medidos de intensidad ($I_{e1}, I_{e2}, I_{e3}, I_d$) para proporcionar tres valores (a_1, a_2, a_3) utilizadas como consignas de las relaciones cíclicas de la etapa (3) del reductor de tensión y para compensar el desfase inducido por la etapa de filtrado (12) entre las corrientes (I_{e1}, I_{e2}, I_{e3}) y las tensiones (V_{e1}, V_{e2}, V_{e3}) retiradas de cada fase (B_1, B_2, B_3) de la red trifásica, y para mantener el valor de la amplitud de la corriente que atraviesa la bobina (Ld) por encima de un umbral predefinido no nulo.
2. Dispositivo de carga rápida según la reivindicación 1, en la cual la unidad de regulación (15) comprende además unos medios (16, 17) para limitar la corriente (I_{bat}) que entra en la batería (13) en un valor de consigna (I_{bat}^{ref}) de la corriente de la batería.
3. Dispositivo de carga rápida según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, e la cual la unidad de regulación (15) comprende un tercer bucle de regulación (17) que proporciona un valor (a_s) utilizado como consigna de la relación cíclica de picado de la etapa (4) del elevador de tensión.
4. Dispositivo de carga rápida según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la unidad de regulación (15) comprende unos medios para determinar tres tensiones de entrada sinusoidales (V_{e1}, V_{e2}, V_{e3}) en los puntos de conexión (B_1, B_2, B_3) del dispositivo (1) a la red trifásica, y en el cual al menos un primer bucle de regulación hace intervenir la pulsación (ω) de las tensiones de entrada (V_{e1}, V_{e2}, V_{e3}).
5. Dispositivo de carga rápida según la reivindicación 4, en el cual el primer bucle de regulación está configurado para limitar a cero una componente (I_{eq}) obtenida como una combinación lineal de los valores (I_{e1}, I_{e2}, I_{e3}) de las intensidades de las corrientes de entrada, siendo los coeficientes de la combinación lineal funciones trigonométricas de ωt , en donde t es una medida del tiempo.
6. Dispositivo de carga rápida según la reivindicación 5, en el cual la unidad de regulación (15) comprende un operador (25) apto para efectuar tres combinaciones lineales de dos valores (I_{eq}, I_{ed}) obtenidas de dos de los bucles de regulación, siendo los coeficientes de cada una de las tres combinaciones funciones trigonométricas de ωt .
7. Procedimiento de regulación de un dispositivo (1) de carga rápida para batería (13) a partir de una corriente trifásica, que comprende una etapa de medición de las intensidades (I_{e1}, I_{e2}, I_{e3}) de las corrientes entrantes en el dispositivo por las fases (B_1, B_2, B_3) de la red trifásica, una etapa de medición de la intensidad de la corriente (Id) que atraviesa la bobina (Ld), una etapa de determinación de tres valores (a_1, a_2, a_3) utilizados como consignas de las relaciones de picado cíclicas de una etapa de reductor de tensión (3) por al menos dos bucles de regulación (16, 17) en función de los valores medidos de intensidad ($I_{e1}, I_{e2}, I_{e3}, I_d$) con el fin de compensar el desfase inducido por una etapa de filtrado (2) del tipo resistivo-capacitivo-inductivo, entre las intensidades de las corrientes de entrada (I_{e1}, I_{e2}, I_{e3}) del dispositivo y las tensiones de entrada (V_{e1}, V_{e2}, V_{e3}) del dispositivo (1), una etapa de control. De un escalón reductor de tensión con las relaciones cíclicas de picado (a_1, a_2, a_3).
8. Procedimiento de regulación del dispositivo (1) de carga rápida según la reivindicación 7, en el cual se filtran las tensiones de entrada ($V_{E_c}, V_{E_b}, V_{E_a}$) del dispositivo para poder modelizarlas para tres componentes (V_{e1}, V_{e2}, V_{e3}) de un vector (\vec{V}_e) que gira en un plano (\vec{u}_1, \vec{u}_2) con una pulsación ω , a continuación se aplica un bucle de regulación para anular la componente en este plano (\vec{u}_1, \vec{u}_2) perpendicular al vector modelizado (\vec{V}_e) de las tensiones de entrada, del vector \vec{T}_e que tiene como componentes tres intensidades (I_{e1}, I_{e2}, I_{e3}) medidas de entrada en el dispositivo (1).
9. Procedimiento de regulación de un dispositivo (1) de carga rápida según la reivindicación 7, en el cual se limita a cero una combinación lineal de tres corrientes (I_{e1}, I_{e2}, I_{e3}) medidas a la entrada del dispositivo, siendo los coeficientes de la combinación lineal funciones trigonométricas de ωt , en donde ω es una frecuencia de pulsación de las tensiones de entrada del dispositivo y t es una medida del tiempo.

FIG.1





