

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 907 931**

51 Int. Cl.:

H02M 3/158 (2006.01)

H02J 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2011** **E 11305324 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.12.2021** **EP 2378651**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para controlar la tensión en los terminales de una carga apta para ser alimentada por un sistema de alimentación**

30 Prioridad:

23.03.2010 FR 1052078

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.04.2022

73 Titular/es:

**GE ENERGY POWER CONVERSION
TECHNOLOGY LIMITED (100.0%)
Boughton Road, Rugby
Warwickshire CV21 1BU, GB**

72 Inventor/es:

**GOLLENTZ, BERNARD;
PERON, RÉGIS y
GIROD, DANIEL**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 907 931 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 y dispositivo para controlar la tensión en los terminales de una carga apta para ser alimentada por un sistema de alimentación

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento para controlar la tensión en los terminales de una carga apta para ser alimentada por un sistema de alimentación en función de una consigna de tensión a suministrar por el sistema de alimentación a los terminales de la carga, incluyendo la tensión en los terminales de la carga una componente resistiva y una componente inductiva, comprendiendo el sistema de alimentación una pluralidad M de convertidores de una corriente continua a otra corriente continua conectados en serie en los terminales de la carga, que consta de N1 convertidor o convertidores de carga conectados a la salida de una alimentación de corriente continua, siendo N1 mayor o igual a 1, y de N2 convertidor o convertidores flotantes, no estando conectados el o los convertidores N2 flotantes a la salida de dicha alimentación, siendo N2 mayor o igual a 1, siendo la suma de N1 y N2 igual a M, y al menos un condensador de almacenamiento montado en paralelo del o los convertidores en el lado opuesto a la carga, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:
- 10
- 15 – el cálculo de señales de control para cada uno de los convertidores M según una ley de control, siendo la ley de control función de la consigna de tensión, y
 - la aplicación de las señales de control a los respectivos convertidores.

La presente invención también se refiere a un dispositivo para controlar la tensión en los terminales de una carga apta para ser alimentada por un sistema de alimentación.

- 20 La presente invención también se refiere a un sistema para alimentar una carga que comprende dicho dispositivo de control.

En particular, la invención se aplica a un sistema de alimentación de alta potencia, típicamente del orden de 50 MW. Tal sistema de alimentación está típicamente destinado a alimentar una carga que requiere ser alimentada por una alimentación pulsada, como por ejemplo una bobina guía de un sincrotrón de protones.

- 25 Un procedimiento de control y un dispositivo de control de los tipos antes mencionados se describen en el documento EP 1 868 279 A1. Las tensiones en los terminales de cada convertidor del lado del condensador de almacenamiento están equilibradas en todo momento y tienen valores idénticos. El valor de la tensión en los terminales de cada convertidor del lado de la carga depende del valor de la tensión en los terminales de cada convertidor del lado del condensador de almacenamiento, por lo que la tensión entregada a los terminales de la carga por los convertidores se distribuye por igual entre los convertidores

- 30 Tal distribución entre los convertidores de la tensión entregada a los terminales de la carga requiere el uso de condensadores de almacenamiento con una capacidad de alto valor.

- 35 Otro documento de la técnica anterior pertinente para la invención es el documento "C Fahrni ET AL: "Un nuevo sistema de potencia pulsada de 60 MW basado en almacenamiento de energía capacitiva para aceleradores de partículas" ("A novel 60 MW Pulsed Power System based on Capacitive Energy Storage for Particle Accelerators"), EPE Journal, 1 de diciembre de 2008 (2008-12-01), páginas 5-13".

El objeto de la invención es proponer un procedimiento de control que mejore la distribución entre los convertidores de la tensión entregada a los terminales de la carga para permitir una reducción del valor de la capacidad de los condensadores de almacenamiento, con el fin de reducir los costos y el tamaño del sistema de alimentación.

- 40 Para ello, el objeto de la invención es un procedimiento de control del tipo mencionado, caracterizado por que la ley de control es tal que la componente resistiva de la tensión en los terminales de la carga es entregada únicamente por el o los convertidores de carga.

Según otros modos de realización, el procedimiento de control comprende una o varias de las siguientes características, tomadas aisladamente o según todas las combinaciones técnicamente posibles:

- 45 – el cálculo de las señales de control comprende la determinación de coeficientes de distribución entre los convertidores de la componente inductiva de la tensión en los terminales de la carga, estando asociado un primer coeficiente de distribución al o a los convertidores de carga y estando asociado un segundo coeficiente de distribución al o a los convertidores flotantes, siendo suministrada la componente inductiva por el o los convertidores de carga y el o los convertidores flotantes en función de la potencia eléctrica suministrada por cada uno de los convertidores y números N1 y N2 de los respectivos convertidores,
- 50 – la ley de control es tal que la tensión V1 en los terminales de cada convertidor de carga en el lado de la carga satisface la siguiente ecuación:

$$V_1 = \frac{1}{N_1} (V_{\text{consigna}} - N_2 \cdot K_2 \cdot V_L)$$

donde V_{consigna} representa la consigna de tensión a suministrar por el sistema de alimentación a los terminales de la carga,

K_2 representa el segundo coeficiente de distribución asociado con el o los convertidores flotantes, y

5 V_L representa la componente inductiva de la tensión en los terminales de la carga,

- la ley de control es tal que la tensión V_2 en los terminales de cada convertidor flotante en el lado de la carga satisface la siguiente ecuación:

$$V_2 = K_2 \cdot V_L + \Delta V_{\text{pérdidas}}$$

donde K_2 representa el segundo coeficiente de distribución asociado con el o los convertidores flotantes, y

10 V_L representa la componente inductiva de la tensión en los terminales de la carga, y

$\Delta V_{\text{pérdidas}}$ representa las pérdidas estimadas para cada convertidor flotante,

- el valor de la tensión de CC en los terminales de cada convertidor de carga del lado del condensador de almacenamiento está comprendido entre un primer valor mínimo y un primer valor máximo, el valor de la tensión de CC en los terminales de cada convertidor flotante del lado del condensador de almacenamiento está entre un segundo valor mínimo y un segundo valor máximo, y los coeficientes primero y segundo son una función de los valores mínimos primero y segundo, de los valores máximos primero y segundo, y de los números N_1 de convertidores de carga y N_2 de convertidores flotantes,

- el primer coeficiente de distribución K_1 se determina mediante la siguiente ecuación:

$$K_1 = \frac{(U_{1\max}^2 - U_{1\min}^2)}{N_1 \times (U_{1\max}^2 - U_{1\min}^2) + N_2 \times (U_{2\max}^2 - U_{2\min}^2)},$$

20 donde $U_{1\min}$ y $U_{1\max}$ representan respectivamente el primer valor mínimo y el primer valor máximo, y

$U_{2\min}$ y $U_{2\max}$ representan respectivamente el segundo valor mínimo y el segundo valor máximo,

- el segundo coeficiente de distribución K_2 se determina mediante la siguiente ecuación:

$$K_2 = \frac{(U_{2\max}^2 - U_{2\min}^2)}{N_1 \times (U_{1\max}^2 - U_{1\min}^2) + N_2 \times (U_{2\max}^2 - U_{2\min}^2)},$$

donde $U_{1\min}$ y $U_{1\max}$ representan respectivamente el primer valor mínimo y el primer valor máximo, y

25 $U_{2\min}$ y $U_{2\max}$ representan respectivamente el segundo valor mínimo y el segundo valor máximo,

- los valores máximos primero y segundo son valores predeterminados iguales a 5000 V,
- el primer valor mínimo es un valor predeterminado igual a 3000 V,
- el segundo valor mínimo es un valor predeterminado igual a 2000 V,
- los valores mínimos primero y segundo de los valores predeterminados satisfacen la siguiente desigualdad:

$$30 \quad N_1 \times U_{1\min} + N_2 \times U_{2\min} \geq 10000 \text{ V},$$

donde $U_{1\min}$ y $U_{2\min}$ representan respectivamente el primer y segundo valores mínimos,

- los coeficientes de distribución primero y segundo K_1 , K_2 verifican la siguiente ecuación:

$$N_1 \times K_1 + N_2 \times K_2 = 1.$$

35 La invención se refiere también a un dispositivo para el control de la tensión en los terminales de una carga susceptible de ser alimentada por un sistema de alimentación en función de una consigna de tensión a suministrar por el sistema de alimentación en los terminales de la carga, incluyendo la tensión en los terminales de la carga una componente resistiva y una componente inductiva, comprendiendo el sistema de suministro de energía una pluralidad M de convertidores de una corriente continua a otra corriente continua conectados en serie en los terminales de la carga,

estando conectados N1 convertidor o convertidores de carga a la salida de una alimentación de corriente continua, siendo N1 mayor o igual a 1, no estando conectados N2 convertidor o convertidores flotantes a la salida de dicha alimentación, siendo N2 mayor o igual a 1, siendo la suma de N1 y N2 igual a M, y al menos un condensador de almacenamiento montado en paralelo con el o los convertidores del lado opuesto a la carga, comprendiendo el dispositivo:

- medios para determinar la consigna de tensión,
- medios para controlar cada uno de los M convertidores de acuerdo con una ley de control, siendo la ley de control una función de la consigna de tensión,

caracterizado por que la ley de control es tal que la componente resistiva (V_R) de la tensión en los terminales de carga es entregada solo por el o los convertidores de carga.

La invención también tiene por objeto un sistema para alimentar una carga, del tipo que comprende:

- una alimentación de corriente continua conectada a una red eléctrica,
- M convertidores de una corriente continua a otra corriente continua conectados en serie en los terminales de la carga, compuestos por N1 convertidor o convertidores de carga conectados a la salida de la alimentación de corriente continua, siendo N1 mayor o igual a 1, y por N2 convertidor o convertidores flotantes, no estando conectados el o los N2 convertidores flotantes a la salida de dicha alimentación, siendo N2 mayor o igual a 1, siendo la suma de N1 y N2 igual a M,
- al menos un condensador de almacenamiento conectado en paralelo del o de los convertidores en el lado opuesto a la carga, y
- un dispositivo de control del sistema,
- caracterizado por que el dispositivo de control es como se ha definido anteriormente.
- Según otro modo de realización, el sistema de alimentación comprende la siguiente característica:
- la alimentación de corriente continua comprende al menos un transformador de tensión alterna conectado a la red eléctrica y al menos un rectificador de tensión conectado a la salida del transformador de tensión, estando conectado cada convertidor de carga a la salida de un respectivo rectificador.

Estas características y ventajas de la invención aparecerán con la lectura de la siguiente descripción, dada únicamente a título de ejemplo, y realizada con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- La figura 1 es una representación esquemática de un sistema de alimentación según la invención.
- la figura 2 es un diagrama de flujo del procedimiento de control según la invención, y
- La figura 3 es un conjunto de curvas que representan, en función del tiempo, las tensiones en los terminales de un convertidor de carga, y respectivamente de un convertidor flotante, del lado de un condensador de almacenamiento correspondiente.

En la figura 1, un sistema 10 para alimentar una carga 12 comprende dos transformadores 14 de tensión alterna conectados a una red eléctrica 16 y dos rectificadores 18 de tensión, cada uno conectado a la salida de un transformador 14 de tensión. Los transformadores 14 de tensión y los rectificadores 18 de tensión forman una alimentación 19 de corriente continua conectada a la red eléctrica 16.

El sistema 10 de alimentación también incluye M convertidores 20 de una corriente continua a otra corriente continua y M condensadores 22 de almacenamiento, estando cada uno montado en paralelo con un convertidor 20 respectivo. Los M convertidores 20 están conectados en serie a los terminales de la carga 12. M es mayor o igual a 1.

El sistema 10 de alimentación también incluye un dispositivo 24 para controlar una tensión V en los terminales de carga 12, dos filtros 26 conectados entre la carga y los convertidores, y dos dispositivos 27 para descargar la carga en caso de falta de ésta.

En el ejemplo de realización de la figura 1, los M convertidores consisten en N1 primeros convertidores 30A denominados convertidores de carga conectados a la salida de un rectificador 18 respectivo y N2 segundos convertidores 30B denominados convertidores flotantes. Los N2 convertidores flotantes 30B no se conectan directamente a la salida de los rectificadores. N1 y N2 son mayores o iguales a 1. La suma de N1 y N2 es igual a M.

En el ejemplo de realización de la figura 1, M es un número par mayor o igual a 4, por ejemplo igual a 6. N1 es igual a 2 y N2 es igual a 4.

La carga 12 comprende una bobina guía de un sincrotrón de protones separada en dos semi-bobinas 34, y relés 35 para aislar las semi-bobinas 34. La carga 12 tiene una inductancia L_c , por ejemplo igual a 9 mH, una resistencia interna R_c , por ejemplo igual a 3,2 mΩ, una capacitancia C_c , por ejemplo igual a 22 nF, y una resistencia de amortiguamiento p_c , por ejemplo igual a 136 Ω.

5 La corriente entregada a la carga 12 tiene una intensidad I_c y la tensión V . La tensión V en los terminales de la carga 12 tiene una componente resistiva V_R y una componente inductiva V_L . La componente resistiva V_R es la componente de la tensión V correspondiente a las resistencias interna R_c y de amortiguamiento p_c , y está en fase con la corriente apropiada para circular en la carga 12. La componente inductiva V_L es la componente de la tensión V correspondiente a la inductancia L_c , y está desfasada 90° con la corriente apta para circular en la carga 12.

10 Cada transformador 14 de tensión alterna está conectado a la red eléctrica 16 a través de un primer relé 36.

La red eléctrica 16 es una red alterna polifásica apta para entregar al sistema 10 de alimentación una corriente que comprende una pluralidad de fases. La red eléctrica 16 es, por ejemplo, una red trifásica.

15 Cada rectificador 18 es un convertidor de una corriente alterna de entrada en una corriente continua de salida, y está conectada a la salida al primer convertidor 30A correspondiente a través de segundos relés 38 aptos para aislar el primer convertidor 30A de su rectificador 18 respectivo si es necesario.

Todos los convertidores 20 son idénticos en su estructura, siendo únicamente su ley de control específica para cada uno.

20 Cada convertidor 20 de una corriente continua a otra corriente continua, también llamado ("chopper"), comprende dos primeros terminales 40 conectados al respectivo condensador 22 de almacenamiento y dos segundos terminales V_+ , V_- . Cada terminal V_+ de un interruptor eléctrico ("chopper") 20 está conectado al terminal V_- de un interruptor eléctrico 20 adyacente, estando los interruptores eléctricos 20 conectados en serie a los terminales de la carga 12. Los dos segundos terminales V_+ , V_- dispuestos en los extremos de los interruptores eléctricos 20 en serie, y no conectados a un segundo terminal correspondiente de otro interruptor eléctrico, están conectados a los terminales de la carga 12.

25 Cada convertidor de carga 30A tiene una tensión U_1 entre sus terminales 40 del lado del condensador de almacenamiento asociado y una tensión V_1 entre sus terminales V_+ , V_- del lado de la carga. El valor de la tensión de corriente continua U_1 en el lado del condensador de almacenamiento está comprendido entre un primer valor mínimo U_{1min} y un primer valor máximo U_{1max} . El primer valor máximo U_{1max} y el primer valor mínimo U_{1min} son, por ejemplo, valores predeterminados respectivamente iguales a 5000 V y 3000 V.

30 Cada convertidor flotante 30B tiene una tensión U_2 entre sus terminales 40 del lado del condensador de almacenamiento asociado y una tensión V_2 entre sus terminales V_+ , V_- del lado de la carga. El valor de la tensión de corriente continua U_2 en el lado del condensador de almacenamiento está entre un segundo valor mínimo U_{2min} y un segundo valor máximo U_{2max} . El segundo valor máximo U_{2max} y el segundo valor mínimo U_{2min} son, por ejemplo, valores predeterminados respectivamente iguales a 5000 V y 2000 V.

El primer y segundo valores mínimos U_{1min} , U_{2min} satisfacer la siguiente desigualdad:

35
$$N_1 \times U_{1min} + N_2 \times U_{2min} \geq 10000 \text{ V} \quad (1)$$

40 Cada interruptor eléctrico 20 es apropiado para hacer variar la tensión V_1 , V_2 de la corriente que circula por los segundos terminales V_+ , V_- con respecto a la tensión U_1 , U_2 de la corriente que circula por los primeros terminales 40. Cada interruptor eléctrico 20 es reversible, siendo la corriente apropiada para circular desde el condensador 22 correspondiente a la carga 12 durante un intervalo de tiempo y de circular en sentido contrario desde la carga 12 al condensador 22 durante otro intervalo de tiempo.

45 Cada interruptor eléctrico 20 incluye dos módulos, no representados, que forman un puente H. Cada módulo está conectado entre los dos primeros terminales 40 por un lado, y un segundo terminal respectivo V_+ , V_- por otro lado. Cada módulo comprende una o más ramas de conmutación, preferiblemente idénticas. Cada rama de conmutación forma, por ejemplo, un ondulator de tensión de tres niveles. Alternativamente, cada rama de conmutación forma un ondulator de tensión de dos niveles.

Todos los condensadores 22 de almacenamiento son idénticos en su estructura y cada uno tiene una capacidad C .

El sistema 10 de alimentación también comprende M derivaciones controlables 41, cada una de las cuales está dispuesta en paralelo con los segundos terminales V_+ , V_- de un interruptor eléctrico respectivo. Cada derivación 41 es capaz, cuando es controlada, de cortocircuitar los dos segundos terminales V_+ , V_- del interruptor correspondiente.

50 El dispositivo 24 de control comprende medios 42A para determinar una consigna de tensión $V_{consigna}$ para ser suministrada por el sistema de alimentación a la carga 12, medios 42B para medir la intensidad I de una corriente entregada a la carga 12 por el sistema de alimentación, y medios 43 para controlar cada uno de los M convertidores 20 de acuerdo con una ley de control. Los medios 42A de determinación comprenden, por ejemplo, un dispositivo de

adquisición de una señal que incluye la consigna de tensión V_{consigna} , siendo la señal, por ejemplo, transmitida por la carga 12 cada milisegundo.

5 Como variante, los medios 42A de determinación incluyen una memoria en la que se almacenan valores predefinidos en función del tiempo de la consigna de tensión V_{consigna} a suministrar. El paso de muestreo entre dos valores predefinidos sucesivos es, por ejemplo, igual a un milisegundo.

Los medios 42B de medición incluyen, por ejemplo, un amperímetro capaz de medir la intensidad I de la corriente entregada a la carga.

10 Los medios 43 de control están conectados con los medios 42A de determinación por un lado y con los medios 42B de medición por otro lado. Los medios 43 de control comprenden una unidad de proceso de información formada, por ejemplo, por un procesador 44A de datos asociado a una memoria 44B. La memoria 44B es capaz de almacenar un software 44C para calcular las señales de control de cada uno de los convertidores 20 de acuerdo con la ley de control y un software 44D para aplicar las señales de control a los respectivos convertidores 20.

Como variante, los medios 43 de control se realizan en forma de componente lógico programable, o bien en forma de circuito integrado dedicado.

15 Cada filtro 26 está dispuesto entre la carga 12 y un conjunto de convertidores 28 respectivos, y comprende una primera rama 45 y una segunda rama 46, estando las dos ramas 45, 46 en paralelo entre sí. La primera rama 45 incluye dos condensadores 47 conectados en serie entre los terminales de la carga 12, estando conectados los dos condensadores 47 entre sí en un punto medio 48. La segunda rama 46 incluye un condensador 49 y una resistencia 50 conectados en serie entre los terminales de la carga 12. Los puntos medios 48 de cada una de las primeras ramas 20
45 de los filtros están interconectados y conectados a una masa eléctrica 52 a través de resistencias 54.

El dispositivo 27 de descarga está conectado en paralelo con la carga 12 entre sus respectivos terminales. El dispositivo 27 de descarga comprende una bobina 56 conectada en serie a un conjunto de componentes que comprende un primer tiristor 58 conectado en paralelo con un segundo tiristor 60 y una resistencia 62 de descarga conectada en serie. El primer tiristor 58 y el segundo tiristor 60 están conectados cabeza con cola.

25 La figura 2 ilustra un proceso para controlar la tensión V en los terminales de la carga en función de la consigna de tensión V_{consigna} a suministrar por el sistema de alimentación a la carga.

En la etapa 100, la consigna de tensión V_{consigna} que ha de ser suministrada a los terminales de la carga se determina utilizando los medios 42A de determinación. El valor de consigna se adquiere, por ejemplo, cada milisegundo a partir de una señal procedente de la carga 12.

30 Alternativamente, la consigna de tensión V_{consigna} está predefinida en forma de una pluralidad de muestras asociadas con respectivos instantes de tiempo.

El dispositivo 24 de control calcula entonces en la etapa 110 señales de control para cada uno de los convertidores 20 según la ley de control, siendo la ley de control función de la consigna de tensión V_{consigna} .

35 La ley de control es tal que la componente resistiva V_R de la tensión en los terminales de carga es suministrada únicamente por los convertidores 30A de carga.

La componente inductiva V_L de la tensión en los terminales de la carga es suministrada por los convertidores 30A de carga y los convertidores flotantes 30B en función de la energía eléctrica suministrada por cada uno de los convertidores y de los números N_1 y N_2 de convertidores 30A, 30B respectivos.

40 El dispositivo 24 de control finalmente aplica en la etapa 120 las señales de control previamente calculadas a los convertidores 20 respectivos, para controlar la tensión V_1 en los terminales de cada convertidor 30A de carga en el lado de carga y la tensión V_2 en los terminales de cada convertidor flotante 30B en el lado de la carga.

45 Durante la etapa 110 descrita anteriormente, el cálculo de las señales de control comprende la determinación de los coeficientes de distribución de la componente inductiva V_L entre los convertidores 30A, 30B, a saber, un primer coeficiente K_1 de distribución asociado a los convertidores 30A de carga y un segundo coeficiente K_2 de distribución asociado a los convertidores flotantes 30B. Los coeficientes de distribución primero y segundo K_1 , K_2 satisfacen la siguiente ecuación:

$$N_1 \times K_1 + N_2 \times K_2 = 1 \quad (1)$$

50 Los coeficientes de distribución primero y segundo K_1 , K_2 son función de los valores mínimos primero y segundo $U_{1\text{min}}$, $U_{2\text{min}}$, de los valores máximos primero y segundo $U_{1\text{max}}$, $U_{2\text{max}}$ y de los números N_1 de convertidores de carga y N_2 de convertidores flotantes. Los coeficientes de distribución primero y segundo K_1 , K_2 se calculan de hecho a partir de la variación de la energía suministrada por cada uno de los convertidores, función a su vez de la potencia eléctrica suministrada por cada uno de los convertidores. La variación de energía ΔE_1 suministrada por los convertidores de carga se define de manera convencional según la ecuación:

$$\Delta E1 = \frac{I}{2} \times C \times (U1_{max}^2 - U1_{min}^2) \quad (2)$$

De manera similar, la variación de energía $\Delta E2$ suministrada por los convertidores flotantes se define de acuerdo con la ecuación:

$$\Delta E2 = \frac{I}{2} \times C \times (U2_{max}^2 - U2_{min}^2) \quad (3)$$

5 Estando definida la variación de energía total ΔE según la siguiente relación:

$$\Delta E = N1 \times \Delta E1 + N2 \times \Delta E2, \quad (4)$$

y siendo los coeficientes de distribución primero y segundo $K1$, $K2$ respectivamente iguales a $\Delta E1 / \Delta E$ y a $\Delta E2 / \Delta E$, el primer coeficiente $K1$ de distribución se calcula entonces usando la siguiente ecuación:

$$K1 = \frac{(U1_{max}^2 - U1_{min}^2)}{N1 \times (U1_{max}^2 - U1_{min}^2) + N2 \times (U2_{max}^2 - U2_{min}^2)} \quad (5)$$

10 De manera similar, el segundo coeficiente $K2$ de distribución se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$K2 = \frac{(U2_{max}^2 - U2_{min}^2)}{N1 \times (U1_{max}^2 - U1_{min}^2) + N2 \times (U2_{max}^2 - U2_{min}^2)} \quad (6)$$

A continuación, se calcula la ley de control de cada uno de los convertidores 20 utilizando los coeficientes de distribución primero y segundo $K1$, $K2$ previamente determinados. La ley de control es tal que la tensión $V2$ entre los terminales de cada convertidor flotante 30B en el lado de la carga no incluye componente resistivo y, por lo tanto, satisface la siguiente ecuación:

15

$$V2 = K2.V_L + \Delta V_{p\acute{e}rdidas} \quad (7)$$

donde $\Delta V_{p\acute{e}rdidas}$ representa pérdidas estimadas y predefinidas para cada convertidor flotante 30B cuando la corriente circula desde el condensador 22 correspondiente a la carga 12.

20 La ley de control también es tal que la tensión $V1$ en los terminales de cada convertidor 30A de carga en el lado de la carga satisface la siguiente ecuación:

$$V1 = \frac{1}{N1} (V_{consigna} - N2.K2.V_L) \quad (8)$$

En otras palabras, la tensión $V1$ en los terminales de cada convertidor 30A de carga en el lado de carga se calcula por la diferencia entre la consigna de tensión $V_{consigna}$ y la tensión $V2$ en los terminales de cada convertidor flotante 30B determinado previamente.

25 De hecho, la consigna de tensión $V_{consigna}$ satisface por definición la siguiente relación:

$$V_{consigna} = N1 \times V1 + N2 \times V2 + \Delta V, \quad (9)$$

donde ΔV representa la diferencia de tensión entre la consigna de tensión $V_{consigna}$ a suministrar y la tensión realmente entregada por el sistema 10 de alimentación a los terminales de la carga.

30 Se constata entonces que la diferencia de tensión ΔV corresponde a todas las pérdidas de los convertidores flotantes 30B ya que ΔV es igual a $N2 \times \Delta V_{p\acute{e}rdidas}$.

La figura 3 representa las curvas 200 y 202 de las tensiones en los terminales de los convertidores 20 del lado del condensador 22 de almacenamiento.

La curva 200 ilustra la tensión de corriente continua $U1$ en los terminales de cada convertidor 30A de carga en el lado del condensador de almacenamiento.

35 En el ejemplo de la Figura 3, el primer valor mínimo $U1_{min}$ es sustancialmente igual a 3500 voltios, y el primer valor máximo $U1_{max}$ es sustancialmente igual a 5000 voltios.

La curva 202 ilustra la tensión de corriente continua U_2 a través de cada convertidor flotante 30B en el lado del condensador de almacenamiento. El segundo valor mínimo $U_{2\min}$ y el segundo valor máximo $U_{2\max}$ son, en la realización de la figura 3, respectivamente iguales a 2000 voltios y 5000 voltios.

5 Se ve así que el procedimiento de control y el dispositivo de control 24 según la invención mejoran la distribución entre los convertidores 30A, 30B de la tensión entregada a los terminales de la carga 12, siendo la componente resistiva V_R entregada solo por los convertidores 30A de carga.

10 En otras palabras, las pérdidas resistivas en la carga 12 son compensadas directamente por la energía entregada por la red 16 de alimentación además de la energía almacenada en los condensadores 22 de almacenamiento. Al estar la capacidad C de los condensadores 22 de almacenamiento directamente dimensionada por la energía que ha de ser suministrada a la carga, esta mejor distribución entre los convertidores de la tensión entregada a la carga permite reducir el valor de la capacidad C . Esta reducción en la capacidad C de los condensadores de almacenamiento conduce entonces a una reducción de costos y del tamaño del sistema de alimentación según la invención.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de control de la tensión (V) en los terminales de una carga (12) apta para ser alimentada por un sistema (10) de alimentación en función de una consigna de tensión (V_{consigna}) a suministrar por el sistema (10) de alimentación a los terminales de carga (12), teniendo la carga (12) una resistencia (R_c , P_c) y una inductancia (L_c), incluyendo la tensión (V) en los terminales de la carga (12) una componente resistiva (V_R) y una componente inductiva (V_L), comprendiendo el sistema (10) de alimentación una pluralidad M de convertidores (20) de una corriente continua a otra corriente continua conectados en serie a los terminales de la carga (12), consistente en N1 convertidor o convertidores 30A de carga conectados a la salida de una alimentación (19) de corriente continua, siendo N1 mayor o igual a 1, y en N2 convertidor o convertidores flotantes (30B), no estando conectados el o los N2 convertidores flotantes (30B) a la salida de dicha alimentación (19), siendo N2 mayor o igual a 1, siendo la suma de N1 y N2 igual a M, y al menos un condensador (22) de almacenamiento montado en paralelo de cada convertidor respectivo (20) en el lado opuesto a la carga (12), comprendiendo el procedimiento las siguientes etapas:

- el cálculo (110) de señales de control de cada uno de los M convertidores (20) según una ley de control, siendo la ley de control función de la consigna de tensión (V_{consigna}), y

- la aplicación (120) de señales de control a los convertidores (20) respectivos,

caracterizado por que la ley de control es tal que la componente resistiva (V_R) de la tensión en los terminales de carga es entregada únicamente por el o los convertidores (30A) de carga.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, donde el cálculo de las señales (110) de control comprende la determinación de coeficientes de distribución (K_1 , K_2) entre los convertidores (30A, 30B) de la componente inductiva (V_L) de la tensión en los terminales de la carga, estando asociado un primer coeficiente (K_1) de distribución con el o los convertidores (30A) de carga y un segundo coeficiente (K_2) de distribución asociado con el o los convertidores flotantes (30B), siendo la componente inductiva (V_L) suministrada por el o los convertidores (30A) de carga y el o los convertidores flotantes (30B) en función de la potencia eléctrica suministrada por cada uno de los convertidores y de los números N1 y N2 de los convertidores (30A, 30B) respectivos.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, donde la ley de control es tal que la tensión (V_1) en los terminales de cada convertidor (30A) de carga del lado de la carga (12) satisface la siguiente ecuación:

$$V_1 = \frac{1}{N_1} (V_{\text{consigna}} - N_2 \cdot K_2 \cdot V_L)$$

donde V_{consigna} representa la consigna de tensión a suministrar por el sistema (10) de alimentación a los terminales de la carga (12),

K_2 representa el segundo coeficiente de distribución asociado con los convertidores flotantes (30B), y

V_L representa la componente inductiva de la tensión en los terminales de la carga (12).

4. Procedimiento según la reivindicación 2 o 3, en donde la ley de control es tal que la tensión (V_2) en los terminales de cada convertidor flotante (30B) del lado de la carga (12) satisface la siguiente ecuación:

$$V_2 = K_2 \cdot V_L + \Delta V_{\text{pérdidas}}$$

donde K_2 representa el segundo coeficiente de distribución asociado con los convertidores flotantes (30B), y

V_L representa la componente inductiva de la tensión en los terminales de la carga (12), y

$\Delta V_{\text{pérdidas}}$ representa las pérdidas estimadas para cada convertidor flotante (30B).

5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en donde el valor de la tensión de corriente continua (U_1) en los terminales de cada convertidor (30A) de carga del lado del condensador (22) de almacenamiento está comprendido entre un primer valor mínimo ($U_{1\text{min}}$) y un primer valor máximo ($U_{1\text{max}}$), donde el valor de la tensión de corriente continua (U_2) en los terminales de cada convertidor flotante (30B) del lado del condensador (22) de almacenamiento está comprendido entre un segundo valor mínimo ($U_{2\text{min}}$) y un segundo valor máximo ($U_{2\text{max}}$), y donde los coeficientes primero y segundo (K_1 , K_2) son función de los valores mínimos primero y segundo ($U_{1\text{min}}$, $U_{2\text{min}}$), de los valores máximos primero y segundo ($U_{1\text{max}}$, $U_{2\text{max}}$), y de los números N1 de convertidores de carga y N2 de convertidores flotantes.

6. Procedimiento según la reivindicación 5, en donde el primer coeficiente (K_1) de distribución se determina mediante la siguiente ecuación:

$$K1 = \frac{(U1_{max}^2 - U1_{min}^2)}{N1 \times (U1_{max}^2 - U1_{min}^2) + N2 \times (U2_{max}^2 - U2_{min}^2)}$$

donde $U1_{min}$ y $U1_{max}$ representan respectivamente el primer valor mínimo y el primer valor máximo, y

$U2_{min}$ y $U2_{max}$ representan respectivamente el segundo valor mínimo y el segundo valor máximo.

- 5 7. Procedimiento según la reivindicación 5 o 6, en el que el segundo coeficiente ($K2$) de distribución se determina mediante la siguiente ecuación:

$$K2 = \frac{(U2_{max}^2 - U2_{min}^2)}{N1 \times (U1_{max}^2 - U1_{min}^2) + N2 \times (U2_{max}^2 - U2_{min}^2)}$$

donde $U1_{min}$ y $U1_{max}$ representan respectivamente el primer valor mínimo y el primer valor máximo, y

$U2_{min}$ y $U2_{max}$ representan respectivamente el segundo valor mínimo y el segundo valor máximo.

- 10 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en donde los valores máximos primero y segundo ($U1_{max}$, $U2_{max}$) son valores predeterminados iguales a 5000 V.

9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, en donde el primer valor mínimo ($U1_{min}$) es un valor predeterminado igual a 3000 V.

10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 9, en el que el segundo valor mínimo ($U2_{min}$) es un valor predeterminado igual a 2000 V.

- 15 11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 10, en donde los valores mínimos primero y segundo ($U1_{min}$, $U2_{min}$) de los valores predeterminados satisfacen la siguiente ecuación:

$$N1 \times U1_{min} + N2 \times U2_{min} \geq 10000V,$$

donde $U1_{min}$ y $U2_{min}$ representan respectivamente los valores mínimos primero y segundo.

- 20 12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 11, en donde los coeficientes de distribución primero y segundo ($K1$, $K2$) satisfacen la siguiente ecuación:

$$N1 \times K1 + N2 \times K2 = 1.$$

- 25 13. Dispositivo (24) de control de la tensión (V) en los terminales de una carga (12) apto para ser alimentado por un sistema (10) de alimentación en función de una consigna de tensión ($V_{consigna}$) a suministrar por el sistema (10) de alimentación a los terminales de la carga (12), teniendo la carga (12) una resistencia (R_c , P_c) y una inductancia (L_c), incluyendo la tensión (V) en los terminales de la carga (12) una componente resistiva (V_R) y una componente inductiva (V_L), comprendiendo el sistema (10) de alimentación una pluralidad M de convertidores (20) de una corriente continua a otra corriente continua conectados en serie a los terminales de la carga (12), estando conectados N1 convertidor o convertidores (30A) de carga a la salida de una alimentación (19) de corriente continua, siendo N1 mayor o igual a 1, y no estando conectados N2 convertidor o convertidores flotantes (30B), a la salida de dicha alimentación (19), siendo N2 mayor o igual a 1, siendo la suma de N1 y N2 igual a M, y al menos un condensador (22) de almacenamiento montado en paralelo de un convertidor (20) respectivo en el lado opuesto a la carga (12), comprendiendo el dispositivo (24):

- medios (42A) para determinar la consigna de tensión ($V_{consigna}$),

- 35 - medios (43) de control de cada uno de los M convertidores (20) según una ley de control, siendo la ley de control función de la consigna de tensión ($V_{consigna}$),

caracterizado por que la ley de control es tal que la componente resistiva (V_R) de la tensión en los terminales de carga es entregado únicamente por el o los convertidores (30A) de carga.

14. Sistema (10) de alimentación de una carga (12), del tipo que comprende:

- una alimentación (19) de corriente continua configurada para ser conectada a una red eléctrica (16),

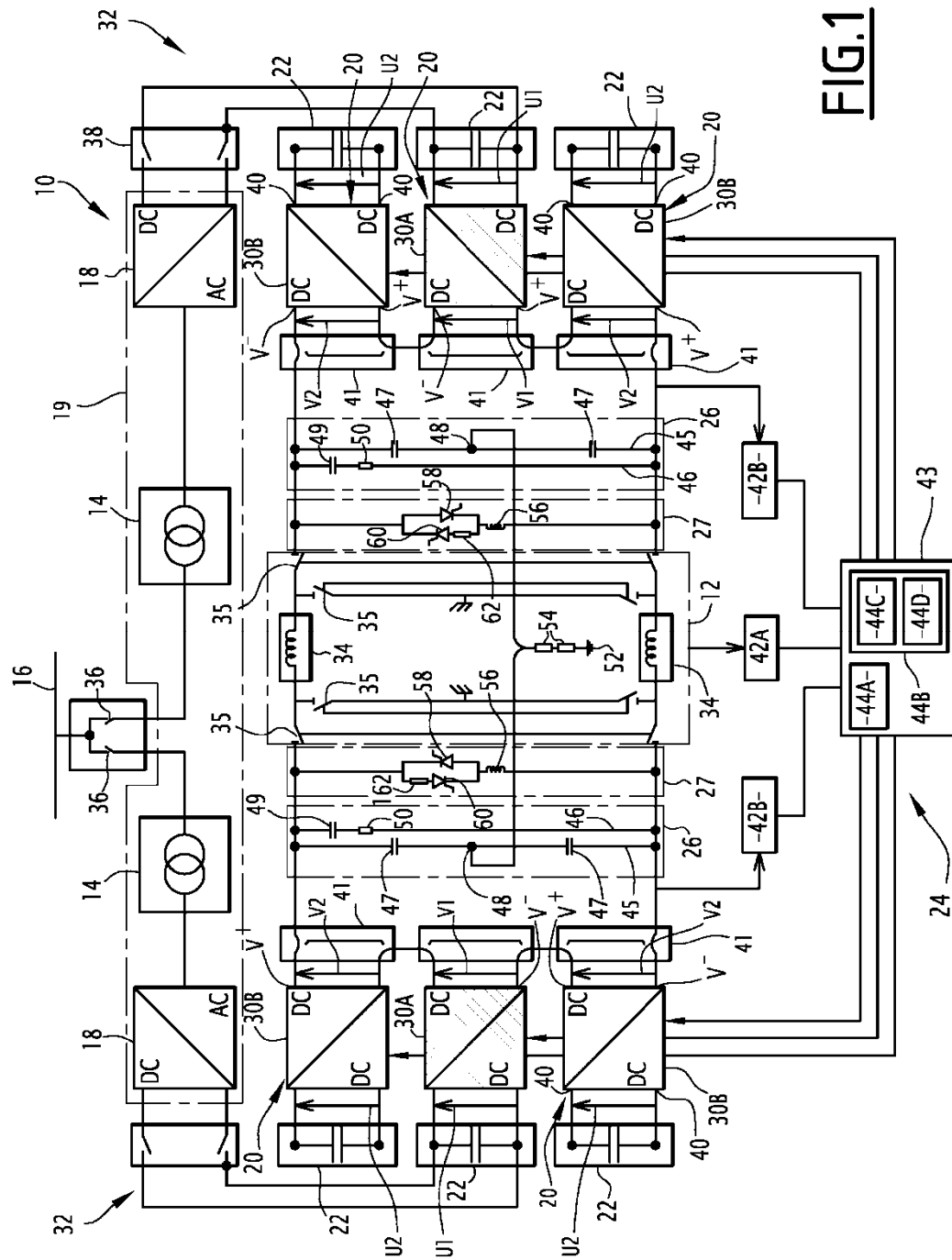
- 40 - M convertidores (20) de una corriente continua en otra corriente continua configurados para ser conectados en serie a los terminales de la carga (12), constituidos por N1 convertidores (30A) de carga conectados a la salida de la alimentación (19) de corriente continua, siendo N1 mayor o igual a 1, y por N2 convertidores flotantes (30B), no estando conectados el o los N2 convertidores flotantes (30B) a la salida de dicha alimentación (19), siendo N2 mayor o igual a 1, siendo la suma de N1 y N2 igual a M,

- al menos un condensador (22) de almacenamiento montado en paralelo de cada convertidor (20) respectivo en el lado opuesto a la carga (12), y

- un dispositivo (24) de control del sistema,

caracterizado por que el dispositivo (24) de control es conforme con la reivindicación 13.

- 5 15. Sistema (10) según la reivindicación 14, en donde la alimentación (19) de corriente continua comprende al menos un transformador (14) de tensión alterna configurado para ser conectado a la red eléctrica (16) y al menos un rectificador (18) de tensión conectado a la salida del transformador (14) de tensión, estando conectado cada convertidor (30A) de carga a la salida de un rectificador (18) respectivo.



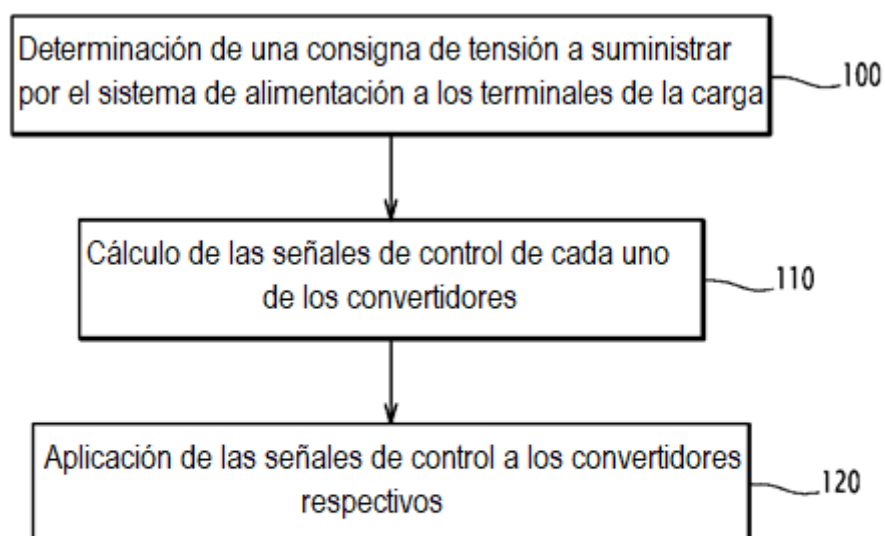


FIG.2

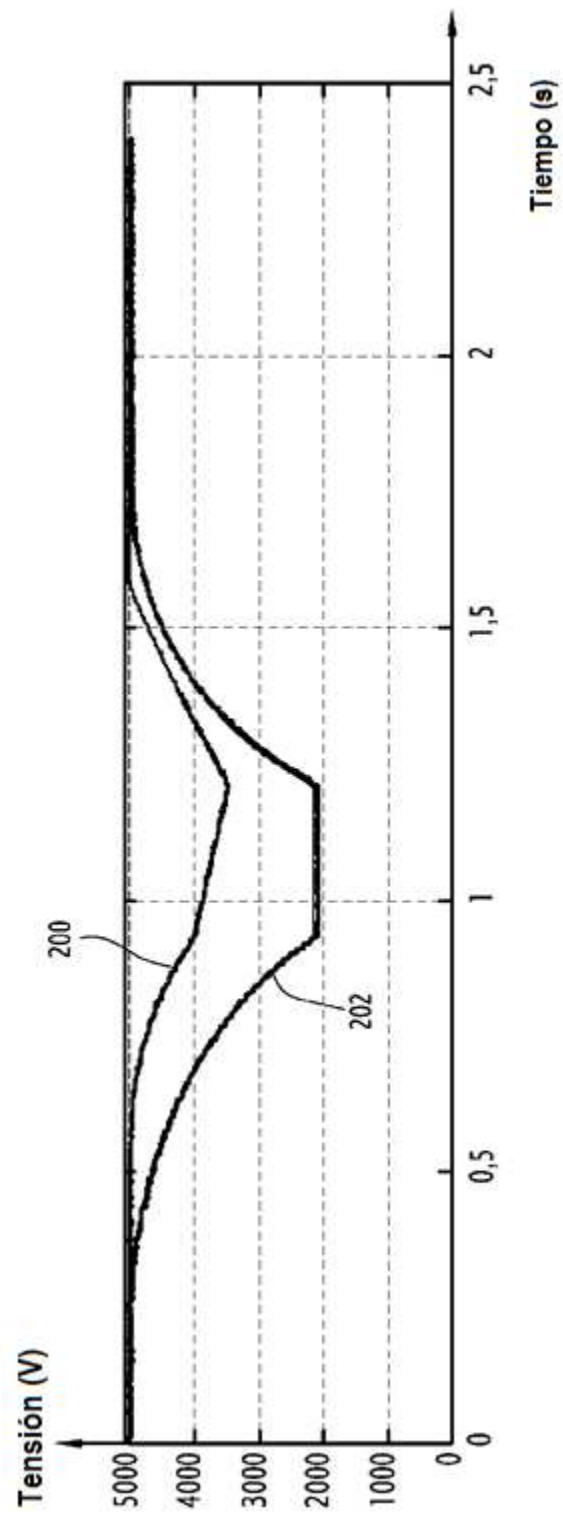


FIG.3