

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 899 773**

51 Int. Cl.:

**H02M 7/493** (2007.01)

**H02P 27/08** (2006.01)

**H02M 7/48** (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.09.2014 PCT/EP2014/069389**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.03.2015 WO15036479**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.09.2014 E 14761881 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.11.2021 EP 3044865**

54 Título: **Sistema de control de una carga eléctrica**

30 Prioridad:

**11.09.2013 FR 1358733**

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

**14.03.2022**

73 Titular/es:

**SCHNEIDER TOSHIBA INVERTER EUROPE SAS  
(100.0%)  
33, rue André Blanchet  
27120 Pacy sur Eure, FR**

72 Inventor/es:

**MALRAIT, FRANÇOIS y  
HERNANDEZ, MICHAEL**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

ES 2 899 773 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**

Sistema de control de una carga eléctrica

**Campo técnico de la invención**

La presente invención se refiere a un sistema de control de una carga eléctrica.

**5 Estado de la técnica**

Para aumentar la potencia suministrada a una misma carga eléctrica, se sabe que se conectan varios convertidores de potencia en paralelo. El principal problema de esta configuración es que fluye una corriente de un convertidor de potencia al otro. El resultado es que la suma de las corrientes en las tres fases de salida de un convertidor de potencia no es cero cuando debería serlo. Para limitar este problema, una solución conocida es sincronizar los controles en MLI (Modulación por ancho de pulso) de las etapas inversoras entre sí. Estas soluciones se describen, por ejemplo, en las patentes US7.327,111, US8.188.694 o US6.917.271. Utilizan una unidad de control centralizada que genera señales MLI para las etapas inversoras de todos los convertidores de potencia conectados en paralelo. Sin embargo, con una unidad de control independiente para controlar cada etapa inversora, la sincronización de las señales MLI ya no es suficiente, ya que no garantiza que cada unidad de control genere la misma tensión de salida. De un convertidor de potencia a otro, se producen fluctuaciones, vinculadas, por ejemplo, a variaciones en los parámetros, las ganancias o las mediciones de corriente.

Otros ejemplos del estado de la técnica pueden encontrarse en los documentos JP 2008 086127, DE 41 05 868 A1, US 5446645 y "Analysis and Design of N Paralleled DC-DC Converters With Master-Slave Current-Sharing Control", Y. Panov et al, XP000736214.

El propósito de la invención es, por lo tanto, proporcionar un sistema de control que emplee una pluralidad de convertidores de potencia conectados en paralelo por el bus de corriente continua (CC), por un lado, y por las tensiones del motor, por otro, a través de un circuito de inductancias, para controlar una carga eléctrica, estando dicho sistema de control dispuesto para garantizar un equilibrio de las corrientes de salida entre los convertidores de potencia conectados en paralelo.

**25 Divulgación de la invención**

Esto se consigue mediante un sistema de control de una carga eléctrica, dicho sistema comprende:

- Un primer convertidor de potencia y un segundo convertidor de potencia conectados en paralelo, cada uno de los cuales comprende una etapa inversora que tiene una salida conectada a la carga eléctrica,
- Una primera unidad de control asignada para controlar la etapa inversora del primer convertidor de potencia y una segunda unidad de control asignada para controlar la etapa inversora del segundo convertidor de potencia,
- La primera unidad de control comprende un módulo de control principal dispuesto para determinar una primera tensión de salida a aplicar a la carga eléctrica, estando dicha primera tensión de salida determinada en función de la corriente de salida del primer convertidor de potencia,
- La segunda unidad de control comprende un módulo de control principal dispuesto para determinar una segunda tensión de salida a aplicar a la carga eléctrica, determinándose dicha segunda tensión de salida a partir de la corriente de salida del segundo convertidor de potencia, y un módulo de control secundario dispuesto para determinar una tensión de corrección a aplicar a dicha segunda tensión de salida, determinándose dicha tensión de corrección a partir de la diferencia entre la corriente de salida del segundo convertidor de potencia y la corriente de salida del primer convertidor de potencia

Según otra particularidad, el primer convertidor de potencia y el segundo convertidor de potencia comprenden cada uno un bus de alimentación de CC que aplica una tensión de CC a su etapa inversora, y el primer convertidor de potencia y el segundo convertidor de potencia están conectados entre sí por su bus de alimentación de CC.

Según otra particularidad, el bus de alimentación de CC del primer convertidor de potencia y el bus de alimentación de CC del segundo convertidor de potencia comprenden cada uno una línea de alimentación con potencial eléctrico positivo y una línea de alimentación con potencial eléctrico negativo.

Según otra particularidad, la salida del primer convertidor de potencia está conectada a la salida del segundo convertidor de potencia.

**Breve descripción de las figuras**

Otras características y ventajas se desprenderán de la siguiente descripción detallada en relación con los dibujos adjuntos en los que:

- la figura 1 muestra el sistema de control de la invención,
- la figura 2 ilustra esquemáticamente el principio de control implementado en el sistema de control de la invención.

**Descripción detallada de al menos una realización**

5 El sistema de control de la invención está destinado a controlar una carga eléctrica, como por ejemplo un motor eléctrico M. El sistema de control tiene la particularidad de comprender varios convertidores de potencia conectados en paralelo al mismo motor eléctrico.

Cada convertidor de potencia es, por ejemplo, del tipo de accionamiento de velocidad variable. De forma conocida, como se muestra en la figura 1, un variador de velocidad  $VV_k$  (k comprendido entre 1 y n) comprende:

- 10 - una entrada  $IN_k$  con que comprende, por ejemplo, tres fases de entrada,
- una etapa rectificadora  $RECK$  conectada a través de la entrada a una red de distribución eléctrica R,
- un bus de alimentación de CC conectado a la etapa rectificadora y que comprende una línea de alimentación de potencial positivo y una línea de alimentación de potencial negativo, estando la etapa rectificadora dispuesta para rectificar la tensión suministrada por la red de distribución eléctrica para aplicar una tensión de CC al bus de alimentación de CC,
- 15 - uno o varios condensadores de bus  $C_{busk}$  para mantener la tensión del bus en un valor constante,
- una etapa inversora  $INV_k$  que comprende varios brazos de conmutación encargados de dividir la tensión suministrada por el bus de alimentación de corriente continua en una tensión variable para el motor eléctrico M,
- una salida  $OUT_k$  que tiene, por ejemplo, tres fases de salida y que está conectada a los brazos de conmutación de la etapa inversora  $INV_k$  para recibir una tensión de salida  $v_{\sigma k}$ . A la salida se conecta una inductancia de salida  $L_k$ .
- 20

Como se muestra en la figura 1, varios variadores de velocidad están conectados en paralelo conectando las entradas entre sí y las salidas entre sí. Además, los variadores de velocidad también están conectados entre sí a través de su bus de alimentación de CC. Así, las líneas de alimentación positivas de los variadores de velocidad están conectadas entre sí y las líneas de alimentación negativas de los variadores de velocidad están conectadas entre sí.

En lo que sigue, el índice  $\sigma$  se utiliza para representar cada una de las tres fases de salida.

El sistema de control de la invención también comprende varias unidades de control  $UC_k$  (k comprendido entre 1 y n), asignándose una unidad de control diferente para controlar la etapa inversora  $INV_k$  de cada variador de velocidad  $VV_k$ .

De manera conocida, una unidad de control  $UC_k$  comprende un módulo de control principal  $M_{1,k}$  (k comprendido entre 1 y n) que recibe como entrada una estimación o una medición de la corriente de salida del variador de velocidad controlado y determina, según una o varias instrucciones y en función de los parámetros del motor eléctrico, una tensión de salida a aplicar al motor eléctrico. En concreto, la corriente de salida  $i_{\sigma k}$  obtenida se multiplica por el número n de variadores de velocidad del sistema para determinar la corriente del motor  $i_{\sigma M}^{eqk}$ . Esta corriente del motor  $i_{\sigma M}^{eqk}$  se utiliza entonces para determinar la tensión del motor  $v_{\sigma M}^{eqk}$  a aplicar implementando una ley de control LC conocida (no es el objeto de la invención). Esta tensión del motor  $v_{\sigma M}^{eqk}$  corresponde entonces a la tensión de salida  $v_{\sigma k}$ .

En el sistema de control de la invención, cada unidad de control  $UC_k$  determina de forma autónoma una tensión de salida  $v_{\sigma k}$  a aplicar al motor eléctrico M y cada variador de velocidad  $VV_k$  se controla de forma autónoma para aplicar esta tensión de salida  $v_{\sigma k}$  al motor eléctrico M.

En otras palabras, para cada variador de velocidad del sistema, tenemos las siguientes relaciones, formando un sistema S1

$$L_1 \frac{d}{dt} i_{\sigma 1} = v_{\sigma 1} - v_{\sigma M}$$

$$L_n \frac{d}{dt} i_{\sigma n} = v_{\sigma n} - v_{\sigma M}$$

En el que:

- L1 ... Ln representan la inductancia de salida de cada variador de velocidad,
  - $i_{\sigma 1}$  ...  $i_{\sigma n}$  representan la corriente de salida de cada variador de velocidad,
  - $v_{\sigma 1}$  ...  $v_{\sigma n}$  representan la tensión de salida de cada variador de velocidad,
- 5 -  $v_{\sigma M}$  representa la tensión global en el motor eléctrico.

Las inductancias se eligen preferentemente para que sean idénticas.

Las relaciones anteriores no garantizan el equilibrio de las corrientes cuando los componentes físicos empleados difieren de un variador de velocidad a otro.

- 10 Por lo tanto, el objetivo de la invención es permitir el control de las corrientes de los variadores teniendo en cuenta la corriente a aplicar al motor eléctrico. Este objetivo se expresa de la siguiente manera

$$i_{\sigma 1} + i_{\sigma 2} + \dots + i_{\sigma n} = i_{\sigma M}$$

$$i_{\sigma 1} = i_{\sigma 2} = \dots = i_{\sigma n}$$

- 15 Para garantizar el equilibrio de las corrientes entre los variadores de velocidad, la invención consiste en garantizar que al menos una de las corrientes de salida de un variador de velocidad sea conocida por las unidades de control de los demás variadores de velocidad del sistema. La forma más sencilla de hacerlo es seleccionar un variador de velocidad "maestro" cuya corriente de salida se envíe a las unidades de control de los demás variadores de velocidad del sistema de control.

- 20 El variador de velocidad "maestro" es, por ejemplo, el variador de orden 1 asociado a la unidad de control de orden 1. Los variadores de velocidad llamados "esclavos" son entonces los de orden 2 a n, cada uno de ellos asociado a una unidad de control respectiva de orden 2 a n.

- 25 En el sistema así formado, la unidad de control del variador de velocidad "maestro" de orden 1 comprende un módulo de control principal  $M_{1,1}$ , como se ha descrito anteriormente, para determinar la tensión de salida  $v_{\sigma 1}$  a aplicar a la salida del variador de velocidad "maestro" en función de la corriente de salida  $i_{\sigma 1}$  del variador de velocidad "maestro"  $VV_1$ .

- 30 De acuerdo con la invención, las unidades de control de orden 2 a n comprenden cada una un módulo de control principal  $M_{1,k}$  (k comprendido entre 2 y n) como el descrito anteriormente, que está dispuesto para determinar la tensión de salida del variador de velocidad controlado, y un módulo de control secundario  $M_{2,k}$  (k comprendido entre 2 y n). Este módulo de control secundario está dispuesto para determinar una tensión de corrección  $\Delta v_{\sigma k}$  a aplicar a la tensión de salida  $v_{\sigma k}$  determinada por el módulo de control principal  $M_{1,k}$ . En cada unidad de control de orden 2 a n, el módulo de control secundario  $M_{2,k}$  recibe, como entrada, la corriente de salida  $i_{\sigma k}$  del variador de velocidad controlado, así como la corriente de salida  $i_{\sigma 1}$  del variador de velocidad de orden 1  $VV_1$ . El módulo de control secundario  $M_{2,k}$  está dispuesto para determinar la diferencia entre la corriente de salida  $i_{\sigma k}$  del variador de velocidad controlado  $VV_k$  y la corriente de salida  $i_{\sigma 1}$  del variador de velocidad de orden 1 y para inyectar dicha diferencia en un corrector de acción proporcional o en un corrector de acción proporcional-integral PI. A partir de la diferencia inyectada en la entrada, el corrector determina una tensión de corrección a aplicar a la tensión de salida determinada por el módulo de control principal. Por lo tanto, para cada variador de velocidad, esta tensión de corrección refleja la diferencia a corregir entre la corriente de salida de ese variador de velocidad y la corriente de salida de referencia del variador de velocidad elegido como "maestro".

- 40 El módulo de control secundario implementa así un algoritmo de control expresado por las siguientes relaciones, para un variador de velocidad "esclavo" k (k comprendido entre 2 y n):

$$\Delta v_{\sigma k} = -KP \cdot (i_{\sigma k} - i_{\sigma 1}) + \Delta v_{Intk}$$

$$\frac{d}{dt} \Delta v_{Intk} = -KI \cdot (i_{\sigma k} - i_{\sigma 1})$$

Con:

- $\Delta v_{\sigma k}$  que representa la tensión de corrección determinada para el variador de velocidad k (k va de 2 a n),
- 45 - KP, KI las ganancias del regulador utilizado,
- $\Delta v_{Intk}$  el término integral del regulador utilizado.

Reutilizando estas expresiones en el sistema S1 expresado anteriormente, obtenemos entonces

$$\left\{ \begin{array}{l} L_2 \frac{d}{dt}(i_{\sigma 2} - i_{\sigma 1}) = -KP \cdot (i_{\sigma 2} - i_{\sigma 1}) + \Delta V_{Int2} + \left[ v_{\sigma M}^{2eq} - v_{\sigma M}^{1eq} - (L_2 - L_1) \frac{d}{dt} i_{\sigma 1} \right] \\ \frac{d}{dt} \Delta V_{Int2} = -KI \cdot (i_{\sigma 2} - i_{\sigma 1}) \\ L_3 \frac{d}{dt}(i_{\sigma 3} - i_{\sigma 1}) = -KP \cdot (i_{\sigma 3} - i_{\sigma 1}) + \Delta V_{Int3} + \left[ v_{\sigma M}^{3eq} - v_{\sigma M}^{1eq} - (L_3 - L_1) \frac{d}{dt} i_{\sigma 1} \right] \\ \frac{d}{dt} \Delta V_{Int3} = -KI \cdot (i_{\sigma 3} - i_{\sigma 1}) \\ \dots \\ L_{n-1} \frac{d}{dt}(i_{\sigma n-1} - i_{\sigma 1}) = -KP \cdot (i_{\sigma n-1} - i_{\sigma 1}) + \Delta V_{Intn-1} + \left[ v_{\sigma M}^{n-1eq} - v_{\sigma M}^{1eq} - (L_{n-1} - L_1) \frac{d}{dt} i_{\sigma 1} \right] \\ \frac{d}{dt} \Delta V_{Intn-1} = -KI \cdot (i_{\sigma n-1} - i_{\sigma 1}) \\ L_n \frac{d}{dt}(i_{\sigma n} - i_{\sigma 1}) = -KP \cdot (i_{\sigma n} - i_{\sigma 1}) + \Delta V_{Intn} + \left[ v_{\sigma M}^{neq} - v_{\sigma M}^{1eq} - (L_n - L_1) \frac{d}{dt} i_{\sigma 1} \right] \\ \frac{d}{dt} \Delta V_{Intn} = -KI \cdot (i_{\sigma n} - i_{\sigma 1}) \end{array} \right.$$

Lo que muestra un control eficaz de la desviación de la corriente, es decir:

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{\sigma 2} = i_{\sigma 1} \\ i_{\sigma 3} = i_{\sigma 1} \\ \dots \\ i_{\sigma n-1} = i_{\sigma 1} \\ i_{\sigma n} = i_{\sigma 1} \end{array} \right.$$

5 En un sistema de control de dos variadores de velocidad, el principio de la invención consiste, por tanto, en garantizar que la corriente de salida de uno de los dos variadores de velocidad se suministre al otro variador de velocidad. Si el sistema tiene más de dos variadores de velocidad conectados en paralelo, se puede utilizar el mismo principio para que uno de los variadores suministre su corriente de salida a los demás variadores del sistema.

La siguiente demostración ilustra una generalización de la solución. Esta solución general consiste en estabilizar el siguiente sistema (1):

$$\begin{aligned} L_1 \frac{d}{dt} i_{\sigma 1} &= v_{\sigma 1} - v_{\sigma M} \\ L_n \frac{d}{dt} i_{\sigma n} &= v_{\sigma n} - v_{\sigma M} \end{aligned} \quad (1)$$

10

en el que las corrientes siguen la relación:

$$i_{\sigma 1} + i_{\sigma 2} + \dots + i_{\sigma n} = i_{\sigma M}$$

El objetivo es entonces equilibrar las corrientes entre los diferentes variadores:

$$i_{\sigma 1} = i_{\sigma 2} = \dots = i_{\sigma n}$$

15 Para simplificar la escritura, consideramos aquí que las inductancias  $L_i$  son todas idénticas e iguales a  $L$ . La diferencia entre las inductancias puede ser tratada como una perturbación del sistema así simplificado. En escritura matricial, las relaciones (1) se convierten en:

$$L \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} i_{\sigma 1} \\ i_{\sigma 2} \\ \vdots \\ i_{\sigma n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{\sigma 1} \\ v_{\sigma 2} \\ \vdots \\ v_{\sigma n} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} \cdot v_{\sigma M} \quad (2)$$

Las tensiones suministradas por cada variador pueden descomponerse como la suma de dos cantidades:

20

$$v_{\sigma i} = v_{\sigma Mi} + v_{E\sigma 1}$$

Una primera cantidad  $v_{\sigma Mi}$  se utiliza para controlar el motor.

Una segunda cantidad  $v_{E\sigma 1}$  se utiliza para controlar el equilibrio de las corrientes de los variadores.

Para simplificar la escritura, consideramos aquí que los componentes de las tensiones  $V_{\sigma Mi}$  utilizadas para controlar el motor son todas idénticas e iguales a  $V_{\sigma M}^{REF}$ . La diferencia entre estos componentes de tensión puede tratarse como una perturbación del sistema simplificado.

Definamos P como la matriz de cambio de coordenadas invertible tal que:

5

$$P \times \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$

Definamos entonces las corrientes  $i_{\Sigma i}$  para i de 1 a n-1 tales que:

$$P \times \begin{pmatrix} i_{\sigma 1} \\ i_{\sigma 2} \\ \vdots \\ i_{\sigma n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_{\sigma M} \\ i_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ i_{\Sigma n-1} \end{pmatrix}$$

P con la forma:

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ -Q \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} & & & Q \end{pmatrix}$$

10 donde Q debe ser una matriz invertible.

Si definimos los vectores  $u_n$  de dimensión n (filas)×1(columna) y  $u_{n-1}$  de dimensión n-1 (filas)×1(columna)

$$u_n = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} \text{ et } u_{n-1} = \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}$$

Obtenemos la siguiente escritura de P:

15

$$P = \begin{pmatrix} \dots & u_n^T & \dots \\ -Q \cdot u_{n-1} & & Q \end{pmatrix}$$

La inversa de P tiene la siguiente forma:

$$P^{-1} = \frac{1}{n} \begin{pmatrix} \dots & -u_{n-1}^T \cdot R & \dots \\ u_n & & R \end{pmatrix}$$

R es la matriz definida por:

$$R = n \times (I_{n-1} + u_{n-1} \cdot u_{n-1}^T)^{-1} \cdot Q^{-1}$$

20 Apliquemos esta transformación a las tensiones. Definamos entonces las tensiones  $V_{\Sigma i}$  para i de 1 a n-1 tales que:

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1:n} V_{\sigma i} \\ V_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ V_{\Sigma n-1} \end{pmatrix} = P \times \begin{pmatrix} V_{\sigma 1} \\ V_{\sigma 2} \\ \vdots \\ V_{\sigma n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1:n} V_{\sigma i} \\ V_{\sigma 2} - V_{\sigma 1} \\ \vdots \\ V_{\sigma n} - V_{\sigma 1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n \cdot V_{\sigma M}^{REF} + \sum_{i=1:n} V_{E\sigma i} \\ V_{E\sigma 2} - V_{E\sigma 1} \\ \vdots \\ V_{E\sigma n} - V_{E\sigma 1} \end{pmatrix}$$

En estas nuevas coordenadas, la relación (2) se convierte en:

$$L \times \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} i_{\sigma M} \\ i_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ i_{\Sigma n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1:n} V_{\sigma i} \\ V_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ V_{\Sigma n-1} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} n \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \cdot V_{\sigma M} \quad (3)$$

Las corrientes  $i_{\Sigma i}$  son de la forma:

$$\begin{pmatrix} i_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ i_{\Sigma n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -Q \cdot u_{n-1} & Q \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} i_{\sigma 1} \\ i_{\sigma 2} \\ \vdots \\ i_{\sigma n} \end{pmatrix} = Q \times \begin{pmatrix} i_{\sigma 2} - i_{\sigma 1} \\ \vdots \\ i_{\sigma n} - i_{\sigma 1} \end{pmatrix}$$

- 5 La línea 1 del sistema (3) es para el control del motor. Podemos considerar que cada variador proporciona un componente para

$$\sum_{i=1:n} V_{\sigma i} = n \cdot V_{\sigma M}^{REF} + \sum_{i=1:n} V_{E\sigma i}$$

Considerando ahora sólo las líneas de 2 a n, que llevan el problema de controlar el flujo de corriente, obtenemos:

$$L \times \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} i_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ i_{\Sigma n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ V_{\Sigma n-1} \end{pmatrix} \quad (4)$$

- 10 En esta etapa, las tensiones de control deben ser definidas por las siguientes relaciones:

$$\begin{pmatrix} V_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ V_{\Sigma n-1} \end{pmatrix} = f \begin{pmatrix} i_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ i_{\Sigma n-1} \end{pmatrix}$$

La función f tiene la propiedad de estabilizar el sistema (4). Citamos dos ejemplos y continuamos, sin pérdida de generalidad, con el ejemplo del corrector de acción proporcional.

Como primer ejemplo, podemos definir el caso de un corrector de acción proporcional:

$$\begin{pmatrix} V_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ V_{\Sigma n-1} \end{pmatrix} = K \times \begin{pmatrix} i_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ i_{\Sigma n-1} \end{pmatrix}$$

- 15 La matriz K tiene la propiedad de tener todos sus valores propios con partes reales estrictamente negativas. Esta propiedad asegura la convergencia exponencial a cero de las diferencias de corriente en el caso del sistema (3).

Como segundo ejemplo, podemos definir el caso de un corrector de acciones proporcionales e integrales.

$$\begin{pmatrix} V_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ V_{\Sigma n-1} \end{pmatrix} = K_P \times \begin{pmatrix} i_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ i_{\Sigma n-1} \end{pmatrix} + \int K_I \times \begin{pmatrix} i_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ i_{\Sigma n-1} \end{pmatrix} \times dt$$

- 20 Definamos W el estado de los integradores:

$$\begin{pmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_{n-1} \end{pmatrix} = \int K_I \times \begin{pmatrix} i_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ i_{\Sigma n-1} \end{pmatrix} \times dt$$

Con el sistema (4), se llega a:

$$L \times \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} i_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ i_{\Sigma n-1} \end{pmatrix} = K_P \times \begin{pmatrix} i_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ i_{\Sigma n-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_{n-1} \end{pmatrix}$$

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_{n-1} \end{pmatrix} = K_I \times \begin{pmatrix} i_{\Sigma 1} \\ \vdots \\ i_{\Sigma n-1} \end{pmatrix}$$

Las matrices  $K_P$  y  $K_I$  tienen la propiedad de estabilizar el sistema así compuesto, es decir, la matriz  $K_{PI}$  tiene la propiedad de tener todos sus valores propios con partes reales estrictamente negativas, donde

$$K_{PI} = \begin{pmatrix} K_P & I_{N-1} \\ \frac{L}{K_I} & L \\ \frac{L}{K_I} & 0_{N-1} \end{pmatrix}$$

5 Donde  $I_{N-1}$  es la matriz de identidad de dimensión  $N-1$ , y  $0_{N-1}$  es la matriz nula de dimensión  $N-1$ .

Si volvemos a las tensiones a entregar por cada variador en el caso de una corrección de acción proporcional, obtenemos la siguiente relación:

$$\begin{pmatrix} V_{E\sigma 2} - V_{E\sigma 1} \\ \vdots \\ V_{E\sigma n} - V_{E\sigma 1} \end{pmatrix} = Q^{-1} \times K \times Q \times \begin{pmatrix} i_{\sigma 2} - i_{\sigma 1} \\ \vdots \\ i_{\sigma n} - i_{\sigma 1} \end{pmatrix}$$

Según la matriz  $G = Q^{-1} \times K \times Q$ , las corrientes deben repartirse entre los diferentes variadores.

10 Caso 1: elección de  $Q = I_{N-1}$  (matriz de identidad), y  $K$  una matriz diagonal.

Eligiendo  $V_{E\sigma 1} = 0$ , obtenemos  $G=K$ , y

$$\begin{cases} V_{E\sigma 2} = K_2 \times (i_{\sigma 2} - i_{\sigma 1}) \\ \vdots \\ V_{E\sigma n} = K_n \times (i_{\sigma n} - i_{\sigma 1}) \end{cases}$$

Esto requiere que la corriente del variador 1 sea compartida con los otros variadores.

Caso 2: elección de

$$Q = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & 1 & \ddots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

15

, y  $K$  una matriz

$$K = \begin{pmatrix} k_2 & 0 & \dots & 0 \\ -k_2 & k_3 & \ddots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & -k_{n-1} & k_n \end{pmatrix}$$

Si elegimos  $V_{E\sigma 1} = 0$ , entonces

$$G = \begin{pmatrix} k_2 & 0 & \dots & 0 \\ -k_3 & k_3 & \ddots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & -k_n & k_n \end{pmatrix}$$

Y

$$\begin{cases} V_{E\sigma 2} = K_2 \times (i_{\sigma 2} - i_{\sigma 1}) \\ \vdots \\ V_{E\sigma n} = K_n \times (i_{\sigma n} - i_{\sigma n-1}) \end{cases}$$

Esto requiere entonces que la corriente del variador  $i-1$  sea compartida con el variador  $i$  (para  $i$  entre 2 y  $n$ ).

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema de control de una carga eléctrica, comprendiendo dicho sistema:

- 5
- Un primer convertidor de potencia ( $VV_1$ ) y un segundo convertidor de potencia ( $VV_2$ ) conectados en paralelo, cada uno de los cuales comprende una etapa inversora ( $INV_1$ ,  $INV_2$ ) que tiene una salida conectada a la carga eléctrica,
  - Una primera unidad de control ( $UC_1$ ) asignada para controlar la etapa inversora ( $INV_1$ ) del primer convertidor de potencia y una segunda unidad de control ( $UC_2$ ) asignada para controlar la etapa inversora ( $INV_2$ ) del segundo convertidor de potencia,

**caracterizado porque:**

- 10
- La primera unidad de control ( $UC_1$ ) comprende un módulo de control principal ( $M_{1,1}$ ) dispuesto para determinar una primera tensión de salida ( $v_{\sigma 1}$ ) a aplicar a la carga eléctrica, determinándose dicha primera tensión de salida ( $v_{\sigma 1}$ ) en función de la corriente de salida ( $i_{\sigma 1}$ ) del primer convertidor de potencia,
  - La segunda unidad de control ( $UC_2$ ) comprende un módulo de control principal ( $M_{1,2}$ ) dispuesto para determinar una segunda tensión de salida ( $v_{\sigma 2}$ ) a aplicar a la carga eléctrica, determinándose dicha
- 15
- segunda tensión de salida ( $v_{\sigma 2}$ ) a partir de la corriente de salida ( $i_{\sigma 2}$ ) del segundo convertidor de potencia, y un módulo de control secundario ( $M_{2,2}$ ) dispuesto para determinar una tensión de corrección ( $\Delta v_{\sigma k}$ ) a aplicar a dicha segunda tensión de salida ( $v_{\sigma 2}$ ), determinándose dicha tensión de corrección a partir de la diferencia entre la corriente de salida ( $i_{\sigma 2}$ ) del segundo convertidor de potencia y la corriente de salida ( $i_{\sigma 1}$ ) del primer convertidor de potencia.

20

2. Sistema de control según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el primer convertidor de potencia ( $VV_1$ ) y el segundo convertidor de potencia ( $VV_2$ ) comprenden cada uno un bus de alimentación de corriente continua (CC) que aplica una tensión de CC a su etapa inversora ( $INV_1$ ,  $INV_2$ ) y **porque** el primer convertidor de potencia ( $VV_1$ ) y el segundo convertidor de potencia ( $VV_2$ ) están conectados entre sí a través de su bus de alimentación de CC.

25

3. Sistema de control según la reivindicación 2, **caracterizado porque** el bus de alimentación de CC del primer convertidor de potencia ( $VV_1$ ) y el bus de alimentación de CC del segundo convertidor de potencia ( $VV_2$ ) comprenden cada uno una línea de alimentación con potencial eléctrico positivo y una línea de alimentación con potencial eléctrico negativo.

4. Sistema de control según la reivindicación 2, **caracterizado porque** la salida del primer convertidor de potencia ( $VV_1$ ) está conectada a la salida del segundo convertidor de potencia ( $VV_2$ ).

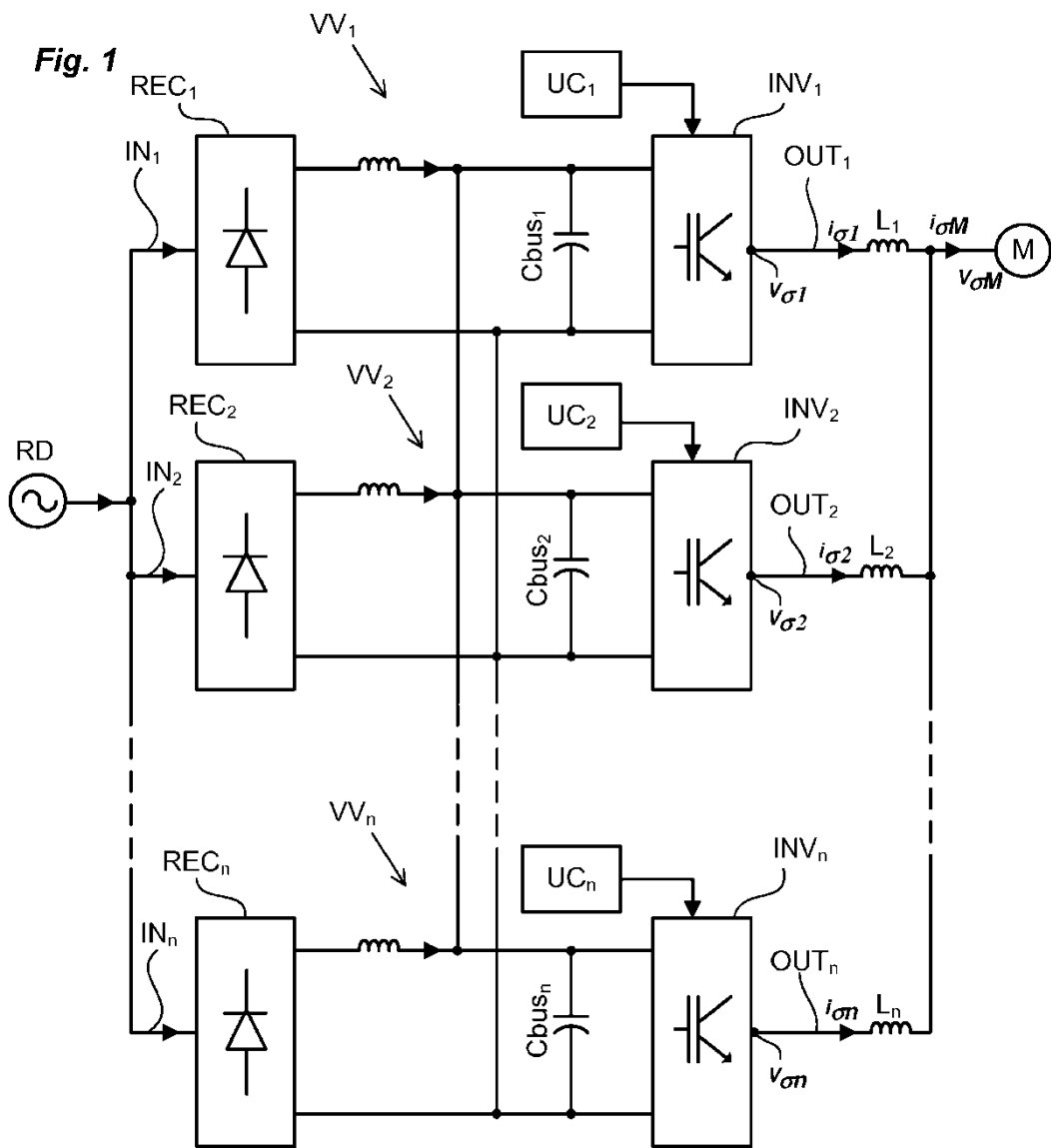


Fig. 2

