

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 564 431**

51 Int. Cl.:

H02M 7/5387 (2007.01)

G05F 1/625 (2006.01)

G05F 1/10 (2006.01)

H02M 1/00 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.11.2012 E 12783602 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.10.2015 EP 2780771**

54 Título: **Procedimiento y sistema de control para corregir las tensiones a aplicar a una carga eléctrica**

30 Prioridad:

15.11.2011 FR 1160381

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

22.03.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LE GOUALEC, PHILIPPE;
MALRAIT, FRANÇOIS y
RUAULT, PATRICE**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 564 431 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 sistema de control para corregir las tensiones a aplicar a una carga eléctrica

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y a un sistema de control para corregir las tensiones de control que hay que aplicar a una carga eléctrica.

Estado de la técnica

10 De manera conocida, un convertidor de potencia consta de un módulo ondulator dotado de varios brazos de conmutación (por ejemplo tres brazos de conmutación) conectados cada uno a una carga eléctrica que hay que controlar. Los brazos de conmutación están conectados en paralelo entre dos líneas de alimentación conectadas a una fuente de tensión. Cada brazo consta, por ejemplo, de al menos dos interruptores conectados en serie entre las

15 En un brazo de conmutación de un módulo ondulator clásico, los dos interruptores están controlados por unas señales MLI complementarias, es decir que cuando uno de los interruptores está en el estado cerrado, el otro interruptor está en el estado abierto y a la inversa. Además, para evitar que los dos interruptores se encuentren en el estado cerrado al mismo tiempo, se inserta un tiempo muerto entre los tiempos de conmutación en el estado cerrado de los dos interruptores. Durante este tiempo muerto, los dos interruptores están, por lo tanto, en el estado abierto. De este modo, se evita a ciencia cierta el cortocircuito entre las dos líneas de alimentación y los picos de corriente que podrían ocasionar este cortocircuito.

20 Como ejemplos de la técnica anterior, véanse los documentos WO 2004006421, EP 2362515, EP 0595319 o WO 2009138808.

25 En función de una tensión deseada que hay que aplicar a la carga eléctrica, cada brazo de conmutación se controla para obtener una tensión de salida. A causa de la caída de tensión intrínseca de cada interruptor, de la resistencia de cada interruptor y de la inserción de los tiempos muertos en el control MLI, resulta que la tensión de salida realmente aplicada es siempre diferente de la tensión deseada. Por consiguiente, es necesario establecer una compensación de tensión para que cada tensión realmente aplicada a la carga eléctrica sea igual a la tensión deseada. Para responder a este problema, la mayoría de los métodos conocidos en el estado de la técnica se implementan por medio de una instrumentación compleja.

30 El objetivo de la invención es ofrecer un procedimiento de control que permita compensar las no linealidades del módulo ondulator de un convertidor de potencia, siendo dicho procedimiento de control simple, más barato y fácil de implementar.

Descripción de la invención

35 Este objetivo se alcanza mediante un procedimiento de control implementado en un convertidor de potencia, constando dicho convertidor de potencia de un módulo ondulator controlado por una ley de control que permite determinar una tensión de control que hay que aplicar a una carga eléctrica en función de una tensión de control de referencia, constando el procedimiento de control:

- de una etapa de medición de una tensión real aplicada a la carga eléctrica;
- de una primera etapa de filtrado de una tensión representativa de la tensión real aplicada a la carga eléctrica para obtener una primera tensión filtrada;
- de una segunda etapa de filtrado de una tensión representativa de la tensión de control de referencia para obtener una segunda tensión filtrada;
- de una etapa de determinación de un valor de corrección que hay que aplicar a la tensión de control de referencia, determinándose dicho valor de corrección a partir de la primera tensión filtrada y de la segunda tensión filtrada.

45 De acuerdo con una particularidad, la primera etapa de filtrado se implementa por medio de un filtro de paso bajo de tipo electrónico.

De acuerdo con otra particularidad, la segunda etapa de filtrado se implementa por medio de un filtro de paso bajo de tipo programa informático.

50 De acuerdo con otra particularidad, el valor de corrección se determina empleando un corrector de acción proporcional-integral.

La invención se refiere también a un sistema de control empleado en un convertidor de potencia, constando dicho convertidor de potencia de un módulo ondulator controlado por una ley de control que permite determinar una

tensión de control que hay que aplicar a una carga eléctrica en función de una tensión de control de referencia, constando el sistema de control:

- de unos medios de medición de una tensión real aplicada a la carga eléctrica;
 - de unos primeros medios de filtrado de una tensión representativa de la tensión real aplicada a la carga eléctrica para obtener una primera tensión filtrada;
 - de unos segundos medios de filtrado de una tensión representativa de la tensión de control de referencia para obtener una segunda tensión filtrada;
 - de unos medios de determinación de un valor de corrección que hay que aplicar a la tensión de control de referencia en función de la primera tensión filtrada y de la segunda tensión filtrada.
- De acuerdo con una particularidad, los primeros medios de filtrado constan de un filtro de paso bajo de tipo electrónico.

De acuerdo con otra particularidad, los segundos medios de filtrado constan de un filtro de paso bajo de tipo programa informático.

- De acuerdo con otra particularidad, la constante de tiempo de los primeros medios de filtrado y la constante de tiempo de los segundos medios de filtrado son sustancialmente idénticas.

De acuerdo con otra particularidad, el valor de corrección se determina empleando un corrector de acción proporcional-integral.

- De acuerdo con la invención, utilizar un filtro de paso bajo de tipo electrónico para filtrar la tensión real medida permite funcionar en una dinámica de tiempo lento que corresponde a la dinámica de tiempo de la corriente presente en la fase de salida, correspondiendo esta corriente a la magnitud final que hay que controlar.

Breve descripción de las figuras

Se mostrarán otras características y ventajas en la descripción detallada que viene a continuación que hace referencia a una forma de realización dada a título de ejemplo y representada por los dibujos adjuntos en los que:

- La figura 1 representa la etapa de salida de un convertidor de potencia de tipo variador de velocidad.
- La figura 2 representa un cuadro sinóptico de control de un convertidor de potencia, ilustrando dicho sinóptico el procedimiento de control de la invención.

Descripción detallada de al menos una forma de realización

La invención se aplica al control de un convertidor de potencia y de manera más precisa a la determinación de una corrección de tensión que hay que aplicar a una carga C eléctrica conectada al convertidor de potencia.

- En referencia a la figura 1, un convertidor de potencia consta de un módulo INV ondulator con fuente de tensión. Por ondulator INV con fuente de tensión, se entienden todos los onduladores clásicos de dos niveles o más que constan de un bus continuo de alimentación, al igual que los onduladores denominados de condensador flotante ("flying capacitor") y los onduladores de tipo convertidor matricial ("matrix converter"). A continuación en la descripción, nos centramos de manera más particular en un ondulator clásico de dos niveles, pero hay que entender que la invención se aplica a todo tipo de convertidor de potencia que conste al menos de un brazo de conmutación al que pueda modelar un interruptor.

- De manera conocida, un módulo INV ondulator clásico como el representado en la figura 1 consta de dos líneas de alimentación, de una línea de alimentación positiva y de una línea de alimentación negativa, entre las cuales están conectados un condensador C_{bus} de bus y varios brazos 1, 2, 3 de conmutación (tres brazos de conmutación en la figura 1). Tradicionalmente, cada brazo 1, 2, 3 de conmutación consta al menos de dos interruptores de conmutación (T₁₁, T₂₁, T₁₂, T₂₂, T₁₃, T₂₃) conectados entre las dos líneas de alimentación. En cada brazo, un punto medio de conexión (designado también 1, 2, 3) situado entre los dos interruptores está conectado a la carga C eléctrica. Cada interruptor consta de un transistor de tipo IGBT, JFET... Si el transistor es de tipo IGBT, este se asocia sistemáticamente a un diodo.

- A continuación en la descripción, se considera que cada interruptor (T₁₁, T₂₁, T₁₂, T₂₂, T₁₃, T₂₃) está compuesto por un transistor IGBT y por un diodo.

- En referencia a la figura 2, los interruptores del módulo INV ondulator están controlados por una ley LC de control ejecutada por unos medios de tratamiento del convertidor de potencia. De manera conocida, una ley de control recibe, en la entrada, una referencia de flujo φ_{ref} y una referencia de velocidad ω_{ref} que hay que aplicar a la carga C eléctrica y permite determinar las tensiones u_{ref} de control de referencia que hay que aplicar (u_{app}) en cada fase de salida U, V, W del convertidor de potencia que está conectada a la carga C eléctrica, en función de esta referencia φ_{ref} de flujo y de esta referencia ω_{ref} de velocidad.

En la ley LC de control, se sabe que las tensiones u_{app} de control que hay que aplicar en cada fase de salida U, V, W del convertidor de potencia se determinan a partir de las tensiones u_{ref} de control de referencia representativas de la referencia φ_{ref} de flujo y de la referencia ω_{ref} de velocidad aplicadas en la entrada de un generador de tensión UREF de referencia.

5 En esta configuración, se sabe que las tensiones u_{real} reales que se miden en las fases de salida no corresponden a las tensiones u_{ref} de control de referencia determinadas. Esto se debe en particular a las no linealidades del módulo ondulator, estando causadas estas no linealidades por los tiempos muertos insertados entre las conmutaciones de los interruptores, por los tiempos de conmutación de los interruptores y por la pérdida de tensión intrínseca de cada interruptor.

10 El procedimiento de control de la invención permite compensar la pérdida de tensión y obtener unas tensiones u_{real} reales medidas en las fases de salida que sean iguales a las tensiones u_{ref} de control de referencia deseadas. El sistema de control de la invención consta de los medios materiales y programas informáticos que permiten implementar este procedimiento.

15 El procedimiento de control de la invención consiste en determinar, por medio de los medios de cálculo, unos valores u_{cor} de corrección que hay que aplicar a cada tensión u_{ref} de control de referencia de tal modo que se corrija la tensión u_{app} de control correspondiente que hay que aplicar a la carga C eléctrica.

20 En referencia a la figura 2, el procedimiento consiste en medir las tensiones u_{real} reales aplicadas en las fases de salida conectadas a la carga C eléctrica. Estas tensiones u_{real} reales se recuperan, por ejemplo, en forma de al menos dos tensiones u_{real_comp} compuestas (tensión compuesta = tensión medida entre dos fases de salida). Las tensiones compuestas reales se filtran a continuación, por ejemplo, mediante un filtro F_Hw de paso bajo de tipo electrónico (por oposición a programa informático) para obtener unas tensiones $u_{real_comp}^F$ compuestas reales filtradas.

25 De manera correspondiente, el procedimiento de control consiste en filtrar, con la misma constante de tiempo que el filtro electrónico descrito con anterioridad, mediante un filtro F_Sw de paso bajo de tipo programa informático, las tensiones u_{ref} de control de referencia, también recuperadas en forma de tensiones u_{ref_comp} compuestas, de tal modo que se obtengan unas tensiones $u_{ref_com}^F$ compuestas de referencia filtradas.

30 Para la implementación de la invención, hemos empleado las tensiones compuestas puesto que dos mediciones de tensión bastan para determinar todas las tensiones simples reales. Sin embargo, hubiera sido posible partir directamente de las tensiones simples reales medidas en cada fase de salida. Las tensiones simples de referencia correspondientes se recuperarían por tanto para implementar el procedimiento.

Las tensiones $u_{ref_comp}^F$ compuestas de referencia filtradas y las tensiones $u_{real_comp}^F$ compuestas reales filtradas se aplican en la entrada de un bloque de corrección que permite determinar unos valores de corrección u_{cor} .

La demostración que viene a continuación permite, a partir de las siguientes variables, explicar el principio de la corrección que hay que aplicar:

- 35
- i_s corresponde a la corriente que circula en una fase de salida del convertidor de potencia;
 - u_{app} corresponde a la tensión de control que hay que aplicar a la carga eléctrica;
 - u_{real} corresponde a la tensión real que se aplica a la carga eléctrica;
 - u_{ref} corresponde a la tensión de control de referencia que permite determinar la tensión de control que hay que aplicar a la carga eléctrica;
- 40
- u_{cor} corresponde al valor de corrección calculado que permite alinear la tensión real con la tensión de control de referencia.

El modelo de tensión en la salida del módulo ondulator se puede expresar mediante la siguiente relación:

$$u_{real} = u_{app} + perturbations$$

45 en la que el término *perturbations* se debe eliminar para que la tensión real aplicada a la carga eléctrica corresponda a la tensión de control que hay que aplicar a la carga eléctrica. Como se ha descrito con anterioridad, el término *perturbations* corresponde en particular a las pérdidas de tensión en cada interruptor del modulo ondulator, a la resistencia intrínseca de cada interruptor y está vinculado al signo de corriente que circula en cada fase.

De acuerdo con la invención, la tensión de control que hay que aplicar a la carga eléctrica corresponde a la suma de la tensión de control de referencia y del valor de corrección de acuerdo con la siguiente expresión:

$$u_{app} = u_{ref} + u_{cor}$$

Un filtrado electrónico de la tensión real se expresa mediante la siguiente relación:

$$T \cdot \frac{d}{dt} u_{real}^F = u_{real} - u_{real}^F$$

en la que:

- 5
- T representa la constante de tiempo del filtro electrónico;
 - u_{real}^F corresponde a la tensión de control real filtrada.

Un filtrado mediante un programa informático de la tensión de control de referencia se expresa mediante la siguiente relación:

$$T \cdot \frac{d}{dt} u_{ref}^F = u_{ref} - u_{ref}^F$$

10 en la que:

- T representa la constante de tiempo del filtro del programa informático, idéntica a la del filtrado electrónico;
- u_{ref}^F corresponde a la tensión de control de referencia filtrada.

Al definir $\Delta u = u^F - u_{ref}^F$,

se obtiene la definición del error:

$$T \cdot \frac{d}{dt} \Delta u = u_{real} - u_{ref} - \Delta u$$

15

$$T \cdot \frac{d}{dt} \Delta u = -\Delta u + u_{app} + perturbations - u_{ref}$$

$$T \cdot \frac{d}{dt} \Delta u = -\Delta u + u_{cor} + perturbations$$

Para rechazar el término *perturbations*, se puede emplear un corrector PI con acción proporcional-integral en las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} u_{cor} &= -K_P \cdot \Delta u - u_I \\ \frac{d}{dt} u_I &= K_I \cdot \Delta u \end{aligned}$$

20

en las que K_P y K_I corresponden a las ganancias del corrector PI con acción proporcional-integral.

Por otra parte, también se puede añadir un término con acción anticipativa ("feedforward") para determinar el valor de corrección. Las relaciones de corrección son por tanto las siguientes:

$$\begin{aligned} u_{cor} &= -perturbations_{EST} - K_P \cdot \Delta u - u_I \\ \frac{d}{dt} u_I &= K_I \cdot \Delta u \end{aligned}$$

25 En las que el término $perturbations_{EST}$, que corresponde al término con acción anticipativa por ejemplo igual a $V_{comp} \cdot sign(i_s)$, representa una imagen de la función de perturbación. V_{comp} corresponde a una tensión de compensación que provoca las no linealidades del módulo ondulador.

5 Al inyectar en el corrector PI con acción proporcional-integral las tensiones de control de referencia filtradas, consideradas por ejemplo en la forma de tensiones compuestas, y las tensiones reales filtradas medidas en las fases de salida, consideradas por ejemplo en forma de tensiones compuestas, entonces se pueden determinar los valores u_{cor} de corrección. Estos valores u_{cor} de corrección se añaden a las tensiones u_{ref} de control de referencia de tal modo que se obtengan unas tensiones u_{app} de control que hay que aplicar a la carga C eléctrica que tienen en cuenta perturbaciones diversas, en particular las no linealidades (*perturbations*) en las conmutaciones de los interruptores.

10 De acuerdo con la invención, el sistema de control puede constar de unos medios de desactivación del método de corrección descrito con anterioridad, cuando la velocidad del motor se vuelve demasiado alta. En efecto, a alta velocidad, los efectos en la tensión provocados por los tiempos muertos durante las conmutaciones de los interruptores se vuelven insignificantes, lo que hace que el método de corrección sea casi innecesario.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de control implementado en un convertidor de potencia, constando dicho convertidor de potencia de un módulo (INV) ondulator controlado por una ley de control que permite determinar una tensión (u_{app}) de control a aplicar a una carga (C) eléctrica en función de una tensión (u_{ref}) de control de referencia **caracterizado porque** el procedimiento de control consta:
- de una etapa de medición de una tensión (u_{real}) real aplicada a la carga (C) eléctrica;
 - de una primera etapa de filtrado de una tensión representativa de la tensión (u_{real}) real aplicada a la carga eléctrica para obtener una primera tensión filtrada;
 - 10 - de una segunda etapa de filtrado de una tensión representativa de la tensión (u_{ref}) de control de referencia para obtener una segunda tensión filtrada;
 - de una etapa de determinación de un valor (u_{cor}) de corrección a aplicar a la tensión (u_{ref}) de control de referencia, determinándose dicho valor (u_{cor}) de corrección a partir de la primera tensión filtrada y de la segunda tensión filtrada.
- 15 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la primera etapa de filtrado se implementa por medio de un filtro (F_Hw) de paso bajo de tipo electrónico.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** la segunda etapa de filtrado se implementa por medio de un filtro (F_Sw) de paso bajo de tipo programa informático.
4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** el valor de corrección (u_{cor}) se determina empleando un corrector (PI) con acción proporcional-integral.
- 20 5. Sistema de control empleado en un convertidor de potencia, constando dicho convertidor de potencia de un módulo (INV) ondulator controlado por una ley de control que permite determinar una tensión (u_{app}) de control a aplicar a una carga (C) eléctrica en función de una tensión (u_{ref}) de control de referencia, **caracterizado porque** el sistema de control consta:
- de medios de medición de una tensión (u_{real}) real aplicada a la carga (C) eléctrica;
 - 25 - de primeros medios de filtrado de una tensión representativa de la tensión (u_{real}) real aplicada a la carga eléctrica para obtener una primera tensión filtrada;
 - de segundos medios de filtrado de una tensión representativa de la tensión (u_{ref}) de control de referencia para obtener una segunda tensión filtrada;
 - 30 - de medios de determinación de un valor (u_{cor}) de corrección a aplicar a la tensión (u_{ref}) de control de referencia en función de la primera tensión filtrada y de la segunda tensión filtrada.
6. Sistema de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado porque** los primeros medios de filtrado constan de un filtro (F_Hw) de paso bajo de tipo electrónico.
7. Sistema de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, **caracterizado porque** los segundos medios de filtrado constan de un filtro (F_Sw) de paso bajo de tipo soporte lógico.
- 35 8. Sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 a 7, **caracterizado porque** la constante de tiempo de los primeros medios de filtrado y la constante de tiempo de los segundos medios de filtrado son sustancialmente idénticas.
9. Sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 a 8, **caracterizado porque** el valor (u_{cor}) de corrección se determina empleando un corrector (PI) con acción proporcional-integral.
- 40

Fig. 1

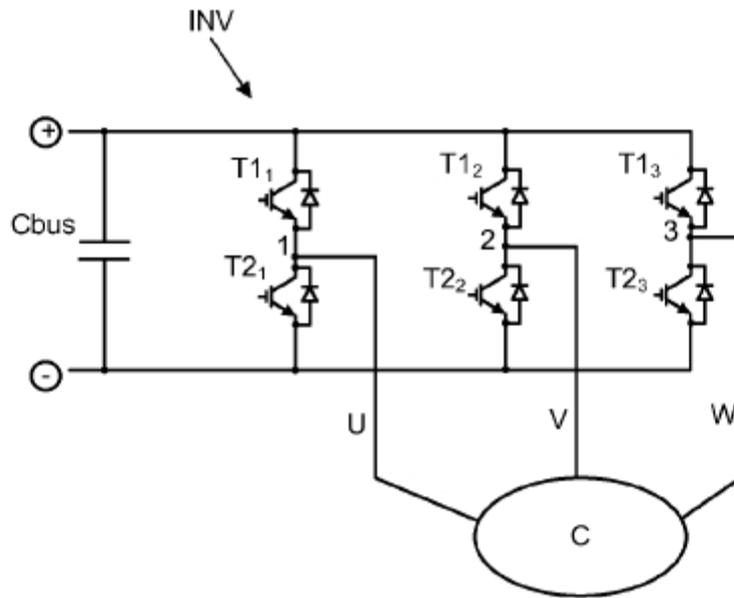


Fig. 2

