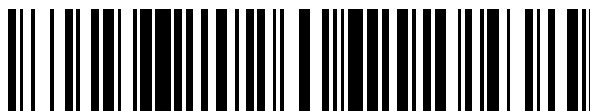


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 676 596**

51 Int. Cl.:

B60L 7/06 (2006.01)

H02M 1/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.03.2001 PCT/BE2001/00044**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.11.2017 WO01069765**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.03.2001 E 01914849 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.05.2018 EP 1266441**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento de reducción de armónicos en convertidores de potencia**

30 Prioridad:

13.03.2000 EP 00870042

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

23.07.2018

73 Titular/es:

ALSTOM BELGIUM S.A. (100.0%)

50-52 Rue Cambier Dupret

6001 Charleroi, BE

72 Inventor/es:

BOU SAADA, JOHNNY

74 Agente/Representante:

SALVA FERRER, Joan

ES 2 676 596 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

Dispositivo y procedimiento de reducción de armónicos en convertidores de potencia

5 Objeto de la invención

[0001] La presente invención se refiere a un dispositivo y un procedimiento de reducción de armónicos molestos generados en un convertidor de potencia.

10 Estado de la técnica

[0002] La electrónica de potencia generalmente funciona en conmutaciones, lo que provoca la creación de armónicos. Además, un sistema de potencia está constituido por subsistemas, que trabajan, cada uno, a una frecuencia propia. La combinación de estas diferentes frecuencias es la fuente de armónicos por fenómeno de latido.

15

[0003] Un latido es la variación periódica de la amplitud de una oscilación que resulta de la superposición de dos frecuencias cercanas.

[0004] Generalmente, se intenta desacoplar estos subsistemas mediante utilización de filtros que constan de bobinas de autoinducción (L) y condensadores (C).

[0005] En el caso de los onduladores trifásicos para motores de propulsión en aplicaciones ferroviarias, por ejemplo, se ha propuesto, por otro lado, un tratamiento de las ondas PWM mediante corrección de consigna en un discriminador (publicación WO96/33548). Este procedimiento permite anular los tiempos muertos a nivel de las consignas de conmutación y, por lo tanto, reducir significativamente los armónicos indeseables, en particular, los armónicos de orden 5 y 7 que aparecen en las corrientes del motor y el armónico de orden 6 que aparecen en el lado de alimentación y en el lado de par motor.

[0006] Sin embargo, la modificación de configuración del sistema a menudo está limitada por las pérdidas de los semiconductores o también por la física del sistema.

[0007] Un gran número de documentos, y entre ellos los documentos US-A-4638417, DE-A-19651281, DE-A-3912706, GB-A-2232835 y US-A-4339697, han propuesto aplicar una consigna variable, y en ciertos casos de frecuencia aleatoria, a las ondas PWM destinadas a controlar el ondulator, y esto esencialmente con el objetivo de reducir el ruido.

Objetivos de la invención

[0008] La presente invención pretende proponer un dispositivo simple que permite reducir, incluso anular, los armónicos que provienen de la composición de las diferentes frecuencias de conmutación en los convertidores de potencia de varias etapas.

[0009] La presente invención pretende, en particular, proponer un dispositivo y un procedimiento que pueden aplicarse a un sistema que consta de al menos dos de los subsistemas funcionales siguientes: interruptor periódico de frenado reostático, ondulator/rectificador.

Principales elementos característicos de la invención

[0010] La presente invención se refiere a un dispositivo y un procedimiento de reducción de las amplitudes de los armónicos indeseables en los convertidores de potencia de varias etapas de conmutación, en el que el o los conmutadores de al menos una de dichas etapas están controlados por pulsos de frecuencia aleatoria variable.

[0011] De acuerdo con la invención, se entiende por "convertidor de potencia" un dispositivo de conmutación de potencia constituido por varios subsistemas funcionales que comprenden un filtro de entrada, un interruptor periódico de frenado reostático, un ondulator o rectificador multinivel.

[0012] De manera clásica, el interruptor periódico está constituido por al menos dos conmutadores preferentemente de tipo IGBT y dispuestos en serie, estando cada uno dispuesto en paralelo con un diodo dispuesto en sentido inverso, estando el conjunto conmutador/diodo en sentido inverso en serie con una resistencia.

[0013] Clásicamente, una rama de un ondulator multinivel, por ejemplo, de un ondulator de tres niveles, está constituida por al menos cuatro conmutadores, preferentemente de tipo IGBT, acoplados dos a dos. Cada conmutador está en paralelo con un diodo dispuesto en sentido inverso.

[0014] De acuerdo con la invención, serán solamente los conmutadores del interruptor periódico los que estarán controlados por pulsos de frecuencia aleatoria variable.

[0015] De este modo, el dispositivo de acuerdo con la presente invención comprende un generador de ondas constituidas por pulsos de frecuencia aleatoria variable destinadas a controlar los conmutadores del interruptor periódico.

[0016] Preferentemente, la frecuencia obedece a una distribución de Gauss cuya desviación típica está comprendida entre el 15 y 35 % de la media.

[0017] Ventajosamente, la media corresponde a la frecuencia fija utilizada habitualmente para controlar los conmutadores considerados.

[0018] De acuerdo con un ejemplo particular, la frecuencia media de control del interruptor periódico está comprendida entre 600 y 900 Hz y la desviación típica está comprendida entre 150 y 250 Hz.

[0019] De acuerdo con una característica importante de la presente invención, el ondulator multinivel está unido directamente al interruptor periódico, es decir que el interruptor periódico estará conectado al ondulator por su punto medio.

[0020] Esto significa que se puede evitar de este modo la presencia de un divisor capacitivo intermedio separado para el interruptor periódico.

Breve descripción de los dibujos

[0021]

La figura 1 representa el diagrama de flujo de un convertidor de dos etapas de acuerdo con el estado de la técnica.

La figura 2 representa el diagrama de flujo de un convertidor que utiliza el dispositivo y el procedimiento de reducción de armónicos de acuerdo con la presente invención.

La figura 3 representa una forma de onda aplicada al control de un ondulator, con tres ángulos de conmutación α_1 , α_2 , α_3 .

La figura 4 representa la señal de control, con su señal de consigna, aplicada al interruptor periódico de frenado reostático de acuerdo con la invención.

Descripción del estado de la técnica

[0022] La figura 1 representa un convertidor de dos etapas de acuerdo con el estado de la técnica. Está constituido de manera clásica por varios subconjuntos: filtro de entrada 1, interruptor periódico de frenado 2 y ondulator 4. Una sola rama de un ondulator de tres niveles se ha representado en el presente caso.

[0023] De manera clásica, el filtro de entrada está constituido por una bobina de autoinducción L y por uno o varios condensadores C3 y C4.

[0024] El interruptor periódico de frenado 2 está constituido por dos conmutadores Fr1 y Fr2, preferentemente de tipo IGBT y dispuestos en serie, estando cada uno de estos conmutadores en paralelo con un diodo dispuesto en sentido inverso Dr1 y Dr2, estando el conjunto conmutador/diodo inverso en serie con una resistencia R1 y R2 que permite disipar la energía que no es consumida por la carga M1.

[0025] Además, para garantizar la consistencia en tensión, está previsto un divisor capacitivo 1 para el interruptor periódico constituido por los dos condensadores C3 y C4.

[0026] Una rama de un ondulator de tres niveles se representa de manera clásica en la figura 1. Está constituida por cuatro conmutadores, preferentemente de tipo IGBT, acoplados dos a dos (T1 y T2, T3 y T4). En

cada conmutador está dispuesto en paralelo un diodo inverso D1 a D4. Un divisor capacitivo 3 constituido por los dos condensadores C1 y C2 también está dispuesto en paralelo en el ondulator 4.

5 **[0027]** Como se observará en la figura 1, habitualmente, los puntos medios del interruptor periódico X' y X no están, de acuerdo con el estado de la técnica, conectados.

Descripción de una forma de ejecución preferida de la invención

10 **[0028]** De acuerdo con la presente invención, como se representa en la figura 2, se propone conectar los puntos medios respectivamente del interruptor periódico y del ondulator (X y X'), dispuestos debido a esto entre los dos condensadores. Esto permite de manera particularmente ventajosa no tener ya que prever un puente divisor capacitivo propio de cada uno de los subsistemas interruptor periódico 2/ondulator 4.

15 **[0029]** El modo de funcionamiento del ondulator de tres niveles 4 es totalmente clásico y permite distribuir la tensión continua HT de la catenaria en dos conmutadores IGBT haciéndoles conducir por partes, primero los dos superiores (IGBT1, IGBT2), a continuación, los dos intermedios (IGBT2, IGBT3) y finalmente los dos inferiores (IGBT3, IGBT4).

20 **[0030]** Se procede de este modo a la aproximación de una curva sinusoidal con tres niveles de tensión: HT, HT/2 y 0.

25 **[0031]** Un segundo divisor capacitivo ya no es, por lo tanto, necesario para la fijación del potencial intermedio y, por lo tanto, para el buen funcionamiento del ondulator, ya que la conexión entre los puntos medios X, X' permite una buena distribución de la alta tensión.

[0032] Con respecto a un ondulator de dos niveles, el sistema de tres niveles permite ya reducir la tasa de armónicos, debido a una mejor aproximación de la curva sinusoidal.

30 **[0033]** Como la tensión proporcionada por el ondulator a la carga es simétrica con respecto al eje Oy, el desarrollo en serie de Fourier solamente consta de la fundamental y de armónicos impares (orden 3, 5, 7, 9, etc.):

$$HT(t) = a_1 \sin(\omega t + \phi_1) + a_3 \sin(3\omega t + \phi_3) + a_5 \sin(5\omega t + \phi_5) + \dots$$

35 donde t es el tiempo, ω la frecuencia angular fundamental y ϕ_{2i-1} la fase que corresponde a la frecuencia $(2i-1)\omega$, i = 1, 2, 3, ...

40 **[0034]** Se puede mostrar que es posible obtener un sistema de n ecuaciones lineales con n incógnitas donde los coeficientes $a_3, a_5, a_7, \dots$ se expresan en función de los ángulos de conmutación $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$. En la figura 3, se ha representado una forma de onda que corresponde a tres ángulos de conmutación $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$.

[0035] Revertiendo el sistema de ecuaciones, se pueden expresar entonces los ángulos de conmutación $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$ en función de los coeficientes del desarrollo en serie de Fourier $a_3, a_5, a_7, \dots$

45 **[0036]** Es posible, por lo tanto, calcular los ángulos de conmutación requeridos para anular ciertos armónicos, seleccionados al inicio. En otras palabras, la elección juiciosa de la forma de onda aplicada al subsistema ondulator permite eliminar, en el lado del motor, ciertos armónicos, y en particular los más indeseables tales como los armónicos de orden 5 y 7. Los armónicos de orden 3 y múltiplos de 3 no son molestos en el lado del motor ya que, en este contexto, se trata de un sistema trifásico con neutro aislado.

50 **[0037]** Habitualmente, se intenta no incorporar el puente capacitivo 3 (C1, C2) y, en la medida de lo posible, tener el interruptor periódico de frenado directamente conectado al ondulator (X = X'). En este caso particular, el latido es inevitable y solamente se suprimirá si se prevé un control del interruptor periódico como se describe a continuación.

55 **[0038]** En funcionamiento normal, el ondulator genera, por lo tanto, en el punto medio X, X' armónicos cuyas frecuencias son múltiplos de 3 de la frecuencia de trabajo. Por ejemplo, si el ondulator funciona a 50 Hz, se encuentran en el punto medio las frecuencias 150, 300, 450 Hz, etc.

[0039] En el ejemplo recuperado en la figura 2, el interruptor periódico de frenado, unido directamente al ondulator, funciona a su propia frecuencia (por ejemplo 800 Hz). Esta frecuencia es susceptible de combinarse con todos los armónicos presentes en el punto medio para formar un latido. Este latido es, por supuesto, tanto más
5 intenso cuanto más cercanas sean las frecuencias.

[0040] En efecto, si f_1 es la frecuencia armónica del ondulator y f_2 la frecuencia del interruptor periódico, se obtienen dos latidos de frecuencia $(f_1+f_2)/2$ y $(f_1-f_2)/2$.

10 **[0041]** Para contrarrestar este fenómeno, basta prever utilizar una frecuencia aleatoria para el control del interruptor periódico. La distribución de esta frecuencia es, por ejemplo, una distribución gaussiana de valor medio igual a la frecuencia habitual de trabajo $f_0 = 800$ Hz y que presenta una desviación típica del orden de $\Delta f = 200$ Hz. La figura 3 da un ejemplo de señal de control 6 de los IGBT de interrupción periódica (IGBT Fr1, IGBT Fr2), de frecuencia aleatoria. La consigna 5 da el nivel de la tasa de modulación aplicada al interruptor periódico.

15

[0042] Una forma de ejecución preferida de la invención consiste en generar una señal de entrada que es un muestreo de una función seno en un intervalo de tiempo finito (por ejemplo 1 muestra cada 10 ms en un intervalo de un segundo) y cuya frecuencia cambia a lo largo del tiempo utilizando un generador de números aleatorios.

20 **[0043]** Con respecto a la frecuencia única, las pérdidas de conmutación en los componentes de potencia son las mismas.

[0044] La solución recomendada por la invención presenta, sin embargo, varias ventajas importantes:

- 25
- reducción de los latidos tanto más marcada cuanto mayor es la desviación típica;
 - disminución del ruido del sistema;
 - supresión posible del divisor capacitivo entre el interruptor periódico y el ondulator.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo electrónico de conmutación de potencia de varias etapas que permite reducir las amplitudes de los armónicos indeseables generados en dicho dispositivo, en particular en forma de latido, que
5 comprende al menos un filtro de entrada (1), un interruptor periódico de frenado reostático (2) que comprende al menos dos conmutadores (Fr1, Fr2) y un ondulator multinivel (4) que comprende al menos cuatro conmutadores en serie (T1, T2, T3, T4), **caracterizado porque** el ondulator (4) está unido directamente al interruptor periódico (2) previendo una conexión por su punto medio ($X = X'$) y **porque** comprende un generador de pulsos de frecuencia aleatoria variable que controlan los conmutadores de dicho interruptor periódico (2) solamente.
10
2. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la frecuencia aleatoria obedece a una distribución de Gauss de frecuencia media igual a la frecuencia utilizada para un dispositivo equivalente a frecuencia fija.
- 15 3. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la frecuencia aleatoria obedece a una distribución no gaussiana.
4. Dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la desviación típica de la distribución está comprendida entre el 15 y el 35 % de la frecuencia media.
20
5. Dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los conmutadores del ondulator (4) están controlados por pulsos de una onda PWM que corresponden a ángulos de conmutación ($\alpha_1, 2, 3, \dots$) calculados para reducir o anular la amplitud de al menos un armónico impar de la forma de onda de tensión proporcionada por dicho ondulator (4) a una carga (M1).
25
6. Procedimiento de reducción de las amplitudes de los armónicos indeseables generados en un dispositivo de conmutación de potencia de varias etapas que comprende al menos un filtro de entrada (1), un interruptor periódico de frenado reostático (2) que comprende al menos dos conmutadores (Fr1, Fr2) y un ondulator multinivel (4) que comprende al menos cuatro conmutadores (T1, T2, T3, T4), estando el ondulator (4) unido
30 directamente al interruptor periódico (2) mediante una conexión que conecta el punto medio (X) del ondulator (4) al punto medio (X') del interruptor periódico (2), **caracterizado porque** solamente los conmutadores (Fr1, Fr2) del interruptor periódico (2) están controlados por pulsos de frecuencia aleatoria variable.

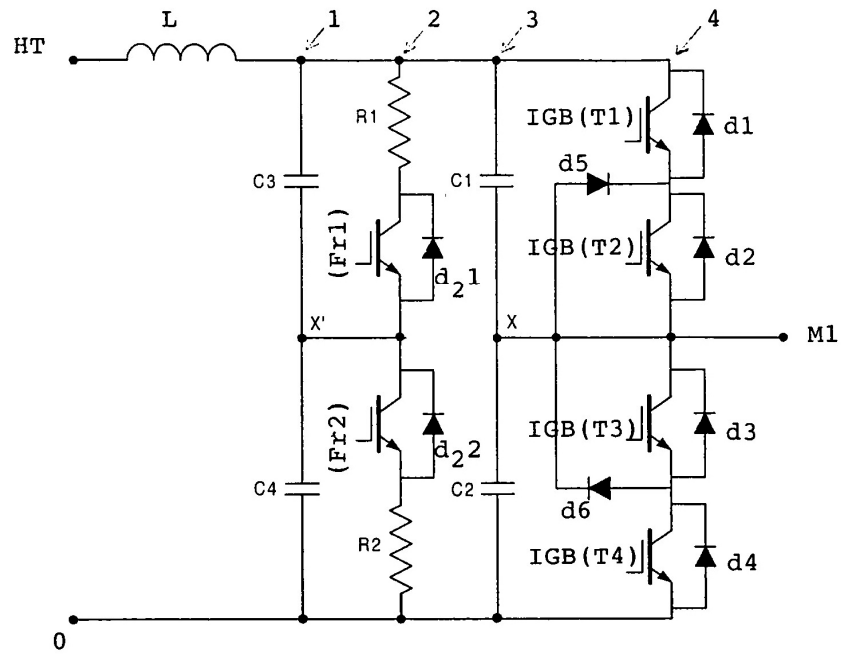


FIG. 1

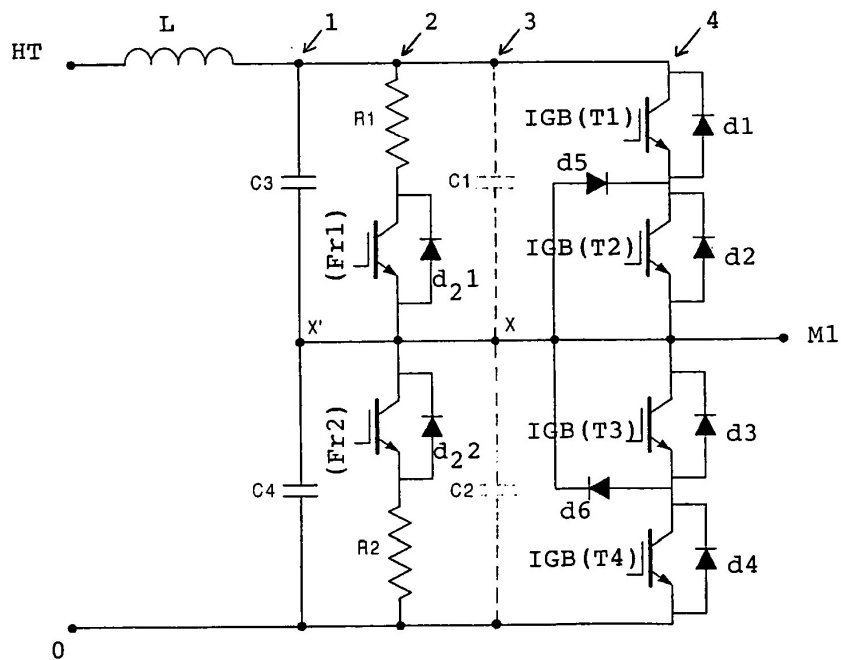


FIG. 2

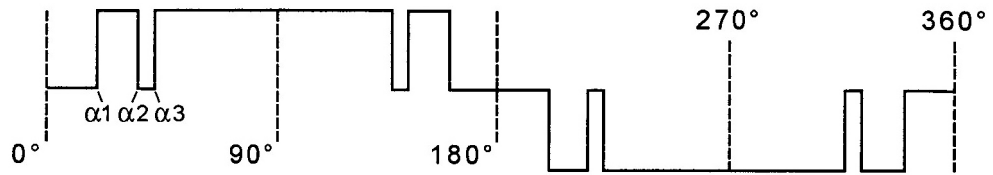


FIG. 3

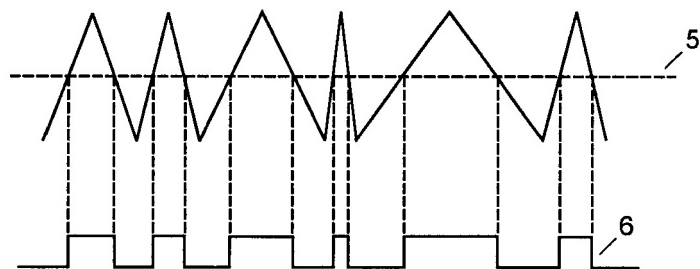


FIG. 4