

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 649 531**

51 Int. Cl.:

**H02M 3/156** (2006.01)

**H02M 1/14** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.09.2008** **PCT/JP2008/067025**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.03.2010** **WO10032316**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.09.2008** **E 08811042 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.10.2017** **EP 2348622**

54 Título: **Convertidor de CC-CC**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la  
traducción de la patente:  
**12.01.2018**

73 Titular/es:  
**MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION (100.0%)**  
**7-3 Marunouchi 2-Chome, Chiyoda-ku**  
**Tokyo 100-8310, JP**

72 Inventor/es:  
**KITANAKA, HIDETOSHI**

74 Agente/Representante:  
**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 649 531 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**

Convertidor de CC-CC

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a un convertidor de CC-CC adecuado para su aplicación a, por ejemplo, un coche de motor eléctrico.

**Técnica anterior**

En general, para el coche de motor eléctrico, se adopta una configuración para la toma de potencia eléctrica de un cable tendido sobre el suelo, un tercer raíl o elemento similar mediante un colector de corriente, y el accionamiento de un motor utilizando la potencia recogida.

10 En los últimos años, como consecuencia de la mejora del rendimiento de elementos de almacenamiento de energía tales como una batería secundaria y un condensador eléctrico de doble capa, está en progreso el desarrollo de un sistema en el que los elementos de almacenamiento de energía se montan en un coche de motor eléctrico, la energía eléctrica recogida se almacena en los elementos de almacenamiento de energía, y se acciona un motor utilizando tanto la energía eléctrica almacenada en los elementos de almacenamiento de energía como la potencia eléctrica recogida por un colector de corriente.

15 Existe, como tal sistema, por ejemplo, un aparato de control de un coche de motor eléctrico divulgado en el Documento de Patente 1 que se describe más adelante. En este aparato de control de coche de motor eléctrico, a fin de controlar el flujo de potencia entre un cable tendido sobre el suelo y un elemento de almacenamiento de energía, se proporciona un convertidor de CC-CC [corriente continua a corriente continua –“DCDC (direct current to direct current)”–] entre el colector de corriente y el elemento de almacenamiento de energía.

20 Si bien no se ha proporcionado en el aparato de control de coche de motor eléctrico divulgado en el Documento de Patente 1, en el sistema de este tipo, se ha proporcionado una reactancia entre el convertidor de CC-CC y el cable tendido sobre el suelo, de manera que se lleva a cabo una atenuación de los armónicos de corriente suministrados como salida desde el convertidor de CC-CC hacia el lado del cable tendido sobre el suelo, por parte de un circuito de filtro de LC que incluye esta reactancia y un condensador de entrada.

Documento de Patente: Solicitud de Patente japonesa divulgada al público con el N° 2007-274756

30 En la publicación “A Novel Feedforward Compensation Cancelling Input Filter-Regulation Interaction” (Una nueva interacción de regulación-filtro de entrada para cancelación de compensación de realimentación hacia delante), por S.S. Keltar et al., IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems [Transacciones del IEEE sobre sistemas aeroespaciales y electrónicos], Vol. AES-19, N° 2, marzo de 1983, la Figura 14 muestra un convertidor de CC-CC que comprende un controlador que compensa activamente la resonancia perturbadora del filtro de entrada.

**Descripción de la invención**

Problema que ha de ser resuelto por la invención

35 Sin embargo, el inventor encontró que, cuando se acciona el convertidor de CC-CC, debido, por ejemplo, a que se produce una oscilación eléctrica en el circuito de filtro de LC y el condensador de entrada es sometido a sobretensión, en algunos casos, no puede tener lugar un funcionamiento normal del convertidor de CC-CC.

La presente invención se ha concebido a la vista de los conocimientos del inventor, y constituye un propósito de la presente invención proporcionar un convertidor de CC-CC que suprima la oscilación eléctrica que se produce en un circuito de filtro de LC y permita un funcionamiento estable.

40 Medios para resolver el problema

A fin de resolver los problemas antes mencionados y alcanzar el propósito antes referido, se construye un convertidor de CC-CC de acuerdo con un aspecto de la presente invención, de tal manera que tiene un circuito de filtro de entrada, que incluye una reactancia de entrada, conectada a una fuente de suministro de energía de CC y a un condensador de entrada, y que convierte una tensión de CC del condensador de entrada en una tensión de CC arbitraria para suministrar como salida la tensión de CC, e incluye, adicionalmente: un circuito de conmutación, a un terminal de entrada del cual se conecta el circuito de filtro de entrada, de tal modo que el circuito de conmutación incluye un elemento de conmutación del lado de la rama superior y un elemento de conmutación del lado de la rama inferior; un circuito de filtro de suavización, conectado a un terminal de salida del circuito de conmutación; y una unidad de control, que realimenta una magnitud de estado del circuito de filtro de suavización y controla el encendido y apagado del circuito de conmutación, de tal manera que la unidad de control incluye una unidad de control de amortiguación que calcula, de acuerdo con la reivindicación 1, basándose en una tensión del condensador de entrada, una magnitud operativa de amortiguación para ajustar una magnitud de estado del circuito de filtro de

suavización.

Efecto de la invención

De acuerdo con la presente invención, el circuito de conmutación se controla basándose en una magnitud operativa de amortiguación óptima para controlar la oscilación eléctrica que se produce en el circuito de filtro de entrada. Por lo tanto, existe el efecto de que es posible suprimir la oscilación eléctrica que se produce en el circuito de filtro de entrada de LC y llevar a efecto un funcionamiento estable del convertidor de CC-CC.

#### Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama de un ejemplo de configuración de un convertidor de CC-CC de una primera realización.

La Figura 2 es un diagrama de bloques de circuito en el cual se ha simplificado la unidad de circuito principal mostrada en la Figura 1.

La Figura 3 es un diagrama de bloques de una función de transferencia de un circuito mostrado en la Figura 2.

La Figura 4 es un diagrama de bloques de circuito en el que una carga de potencia constante del circuito mostrado en la Figura 2 ha sido reemplazada por una resistencia.

La Figura 5 es un diagrama de bloques de una función de transferencia de un circuito mostrado en la Figura 4.

La Figura 6 es un diagrama de los cambios en las magnitudes de estado en el lado de una unidad de control de amortiguación, así como de las formas de onda de señal, en la primera realización.

La Figura 7 es un diagrama de un ejemplo de configuración de un convertidor de CC-CC de una segunda realización.

La Figura 8 es un diagrama de otro ejemplo de configuración del convertidor de CC-CC de la segunda realización.

#### Explicación de las letras y números de referencia

- 1 Cable tendido sobre el suelo
- 2 Colector de corriente
- 3 Rueda
- 4 Raíl
- 5 Reactancia
- 6 Condensador
- 7 Detector de tensión
- 8 Circuito de filtro de entrada
- 10 Circuito de conmutación
- 11 Elemento de conmutación del lado de la rama superior
- 12 Elemento de conmutación del lado de la rama inferior
- 20 Reactancia de suavización
- 21 Detector de corriente
- 22 Condensador de suavización
- 23 Detector de tensión
- 24 Carga
- 25 Detector de corriente
- 26 Elemento de almacenamiento de energía
- 27, 27a Circuitos de filtro de suavización

- 30 Multiplicador
- 31 Restador
- 32 Controlador de tensión
- 33 Sumador
- 5 34 Multiplicador
- 35 Restador
- 36 Controlador de corriente
- 37 Circuito de modulación
- 40 Unidad de control de amortiguación
- 10 41 HPF (filtro de paso alto –“high-pass filter”–)
- 42, 43 LPFs (filtros de paso bajo –“low-pass filters”–)
- 44 Sumador
- 45 Divisor
- 46 Restador
- 15 47 Conmutador
- 48 Operador cuadrático
- 49 Limitador
- 50, 50a Unidades de generación de señal de control
- 60 Resistencia
- 20 70 Fuente de suministro de energía de CC
- 80 Carga de potencia constante
- 100, 100a, 100b Convertidores de CC-CC
- 200, 200a Unidades de circuito principales
- 300, 300a, 300b Unidades de control

25 **Mejor(es) modo(s) de llevar a cabo la invención**

Se explican en detalle, en lo que sigue, realizaciones de un convertidor de CC-CC de acuerdo con la presente invención, basándose en los dibujos. La presente invención no está limitada por las realizaciones que se explican en lo que sigue.

Primera realización

- 30 La Figura 1 es un diagrama de un ejemplo de configuración de un convertidor CC-CC [corriente continua a corriente continua –“DCDC (direct current to direct current)”–] de una primera realización de la presente invención. Tal como se muestra en la Figura 1, un convertidor de CC-CC 100 está conectado eléctricamente a un cable 1 tendido sobre el suelo, el cual está conectado a una subestación (no mostrada) que sirve como fuente de suministro de energía de CC, a través de un colector de corriente 2. El convertidor de CC-CC 100 está también eléctricamente conectado a un raíl 4, el cual está conectado a la subestación a través de una rueda 3 que sirve como circuito de retorno para una corriente de retorno.
- 35

El convertidor de CC-CC 100 incluye una unidad de circuito principal 200 y una unidad de control 300 que controla el flujo de potencia en la unidad de circuito principal 200.

- 40 En primer lugar, se explica la configuración de la unidad de circuito principal 200. En la Figura 1, la unidad de circuito principal 200 incluye, como componentes principales, un circuito de filtro de entrada 8, un detector de tensión 7, un circuito de conmutación 10, un circuito de filtro de suavización 27, un detector de tensión 23, un detector de corriente 21 y un elemento de almacenamiento de energía 26. El circuito de conmutación 10 incluye un elemento de

conmutación 11 de lado de rama superior y un elemento de conmutación 12 de lado de rama inferior. El circuito de filtro de entrada 8 incluye una reactancia 5, en la forma de una reactancia de entrada, y un condensador 6, en la forma de un condensador de salida. El circuito de filtro de suavización 27 incluye un reactor de suavización 20.

- 5 Se pasan a explicar las funciones esquemáticas de las unidades incluidas en la unidad de circuito principal 200. El circuito de conmutación 10 funciona como circuito de conversión de potencia en dos direcciones, desde el cable 1 tendido sobre el suelo hasta el elemento de almacenamiento de energía 26 y desde el elemento de almacenamiento de energía 26 hasta el cable 1 tendido sobre el suelo. El circuito de filtro de entrada 8 impide que unos armónicos de corriente generados desde el circuito de conmutación 10 fluyan al exterior, hacia el lado de la subestación, a través del colector de corriente 2. El detector de tensión 7 detecta una tensión EFC en ambos terminales del condensador 6. El elemento de almacenamiento de energía 26 acumula la energía eléctrica requerida. El detector de tensión 23 detecta una tensión de terminal BFC del elemento de almacenamiento de energía 26. El circuito de filtro de suavización 27 lleva a cabo la filtración de un rizo de corriente generado desde el circuito de conmutación 10. El detector de corriente 21 detecta una corriente eléctrica que fluye hacia la reactancia de suavización 20 (a la que se hace referencia en lo que sigue de esta memoria como «corriente de reactancia de suavización») ISL.
- 10
- 15 Se explica una configuración de conexión de la unidad de circuito principal 200. Un lado de salida del circuito de conmutación 10 se conecta al elemento de almacenamiento de energía 26 a través de la reactancia de suavización 20 y del detector de corriente 21, de manera que se utiliza como terminal de salida un terminal de conexión entre el elemento de conmutación 11 del lado de rama superior y el elemento de conmutación 12 del lado de rama inferior (uno de los terminales del elemento de conmutación 11 del lado de rama superior). Un lado de entrada del circuito de conmutación 10 se conecta al cable 1 tendido sobre el suelo a través del circuito de filtro de entrada 8 y el colector de corriente 2, de tal modo que el otro terminal del elemento de conmutación 11 del lado de rama superior se utiliza como terminal de entrada.
- 20

- Como elemento de almacenamiento de energía 26, resulta adecuada una batería secundaria de hidrógeno y níquel, una batería secundaria de iones de litio, un condensador eléctrico de doble capa u otros elementos similares. Pueden utilizarse, no obstante, otros elementos de almacenamiento de energía. Como fuente de suministro de energía de CC, que suministra energía eléctrica al cable 1 tendido sobre el suelo, se explica la subestación a modo de un ejemplo. Sin embargo, la fuente de suministro de energía de CC puede ser otra fuente de suministro de energía de CC.
- 25

- Se pasan a explicar la configuración y la función de la unidad de control 300. La unidad de control 300 incluye una unidad de generación de señal de control 50 y una unidad de control de amortiguación 40. La unidad de generación de señal de control 50 incluye un multiplicador 34, un restador 35, un controlador de corriente 36 y un circuito de modulación 37.
- 30

- El multiplicador 34 lleva a cabo la multiplicación de una orden de corriente de reactancia de suavización, ISL\*, suministrada como entrada desde un sistema de control anfitrión (no mostrado) y una magnitud operativa de amortiguación, DAMPCN, que se explica más adelante. La orden de corriente de reactancia de suavización ISL\* es un valor de orden de la corriente de reactancia de suavización ISL.
- 35

El restador 35 resta la corriente de reactancia de suavización ISL de una salida (ISL\*\*) del multiplicador 34.

- El controlador de corriente 36 se suministra como entrada con una salida del restador 35 y lleva a cabo un control proporcional integral. Como sistema de control del controlador de corriente 36, resulta adecuado el control proporcional integral. Sin embargo, el sistema de control puede ser un control proporcional. El controlador de corriente 36 puede estar configurado por una tecnología conocida por el público, independientemente de cuál de los sistemas de control se haya adoptado. Se omite aquí, en consecuencia, la explicación del sistema de control.
- 40

- El circuito de modulación 37 suministra como salida, basándose en una salida del controlador de corriente 36, la tensión EFC del condensador 6 y la tensión de terminal BFC del elemento de almacenamiento de energía 26, una señal de control al circuito de conmutación 10 (a la que se hace referencia, en lo que sigue de esta memoria, como «señal de conmutación») GSC.
- 45

Se suministra como entrada a la unidad de control de amortiguación 40 la tensión EFC del condensador 6, y esta suministra como salida la magnitud operativa de amortiguación DAMPCN. La configuración de la unidad de control de amortiguación 40 se explica más adelante, conjuntamente con el funcionamiento de la misma.

- Se explica ahora el control del flujo de potencia de la unidad de circuito principal 200 por parte de la unidad de control 300, configurada como anteriormente.
- 50

- La orden de corriente de reactancia de suavización ISL\* es el valor de orden de la corriente de la reactancia de suavización ISL suministrado como salida desde el sistema de control anfitrión (no mostrado), tal como se ha explicado anteriormente. Cuando no son necesarias la carga y la descarga del elemento de almacenamiento de energía 26, la ISL\* se establece en 0 y la unidad de control 300 controla el circuito de conmutación 10 de la unidad de circuito principal 200 de tal manera que la corriente de reactancia de suavización ISL no fluye.
- 55

Quando es necesaria la carga del elemento de almacenamiento de potencia 26, la ISL\* se establece en un valor positivo y la unidad de control 300 controla el circuito de conmutación 10 de la unidad de circuito principal 200 para que lleve a cabo una operación de carga de manera tal, que la corriente de reactancia de suavización ISL cambia a un flujo de potencia desde el lado del cable 1 tendido sobre el suelo hasta el lado del elemento de almacenamiento de energía 26.

Quando es necesaria la descarga del elemento de almacenamiento de energía 26, ISL\* se ajusta en un valor negativo y la unidad de control 300 controla el circuito de conmutación 10 de la unidad de circuito principal 200 para que lleve a cabo una operación de descarga tal, que la corriente de reactancia de suavización ISL cambie a un flujo de potencia desde el lado del elemento de almacenamiento de energía 26 hasta el lado del cable 1 tendido sobre el suelo.

Brevemente, el convertidor de CC-CC 100 funciona como una fuente de corriente de control que controla, de acuerdo con la orden ISL\* de corriente de reactancia de suavización suministrada como salida desde el sistema de control anfitrión, la corriente de reactancia de suavización ISL de manera que sea un valor predeterminado, y es capaz de llevar a efecto un flujo de potencia arbitrario con arreglo a las necesidades.

Se explica ahora la unidad de control de amortiguación 40 como parte principal de esta realización.

Antes de la explicación específica de la unidad de control de amortiguación 40 mostrada en la Figura 1, se explican brevemente con referencia a los dibujos de las Figuras 1 a 5 la causa de que se produzcan oscilaciones eléctricas en un filtro de LC que incluye el circuito de filtro de entrada 8 (la reactancia 5 y el condensador 6) de la unidad de circuito principal 200 mostrada en la Figura 1, y el principio de supresión de la oscilación eléctrica, como fundamento para la configuración de la unidad de control de amortiguación 40.

Se explicará, en primer lugar, la causa de que se produzcan oscilaciones eléctricas en el filtro de LC de la unidad de circuito principal 200 mostrada en la Figura 1. La Figura 2 es un diagrama de bloques de circuito en el que la unidad de circuito principal 200 mostrada en la Figura 1 se ha simplificado. En la Figura 2, el cable 1 tendido sobre el suelo, el colector de corriente 2, la rueda 3 y el raíl 4 de la Figura 1 no se han mostrado, y la subestación se ha reemplazado por una fuente de suministro de energía de CC 70. La reactancia 5 incluye un componente de inductancia L y un componente de resistencia R. La capacidad del condensador 6 se ha representado como C.

El circuito de conmutación 10 se controla de tal manera que la corriente de reactancia de suavización ISL se mantiene constante incluso cuando la tensión EFC del condensador 6 fluctúa. En otras palabras, incluso si la tensión EFC del condensador 6 fluctúa, debido a que la potencia de entrada PDC del circuito de conmutación 10 se controla de manera que no cambie, el circuito de conmutación 10 tiene una característica de potencia constante con respecto a la fluctuación en la tensión EFC del condensador 6. En consecuencia, se han recogido los bloques, incluyendo el circuito de conmutación 10, la reactancia de suavización 20 y el elemento de almacenamiento de energía 26, como una única carga, vista desde el lado del filtro de LC, y se ajusta como una carga 80 de potencia constante.

En la Figura 2, la carga 80 de potencia constante tiene una característica de resistencia negativa según la cual, si la tensión EFC del condensador 6 asciende, una corriente de entrada IDC del circuito de conmutación 10 disminuye, y, si la tensión EFC del condensador 6 cae, la corriente de entrada IDC del circuito de conmutación 10 se incrementa. Una resistencia normal (una resistencia positiva) tiene una característica de resistencia positiva según la cual, si una tensión se incrementa, una corriente eléctrica se incrementa, y, si la tensión cae, la corriente eléctrica se reduce. En otras palabras, la carga 80 de potencia constante tiene una característica opuesta a la de la resistencia normal en lo que se refiere a un cambio de una corriente eléctrica con respecto a un cambio en una tensión.

Por lo tanto, si la tensión EFC del condensador 6 asciende y la corriente de entrada IDC del circuito de conmutación 10 se reduce, el circuito mostrado en la Figura 2 funciona facilitando el ascenso de la tensión EFC del condensador 6. Y a la inversa, si la tensión EFC del condensador 6 cae y la corriente de entrada IDC del circuito de conmutación 10 se incrementa, el circuito funciona facilitando la caída de la tensión EFC del condensador 6. Por lo tanto, en el circuito mostrado en la Figura 2, la amortiguación no es eficaz sobre la fluctuación de la tensión EFC del condensador 6, de manera que las oscilaciones eléctricas de la tensión EFC del condensador 6 se producen a la frecuencia de resonancia del filtro de LC, la amplitud de las oscilaciones eléctricas que se producen se expande, y la tensión EFC continúa oscilando. La anterior es una explicación cualitativa de la causa de que se produzcan las oscilaciones eléctricas en los filtros de LC de la unidad de circuito principal 200 mostrada en la Figura 1, y en el circuito mostrado en la Figura 2.

Se calcula y evalúa una función de transferencia del circuito mostrado en la Figura 2, y se lleva a cabo una explicación cuantitativa del fenómeno cualitativamente explicado en lo anterior.

En primer lugar, una expresión relacional de la potencia de entrada PDC del circuito de conmutación 10, la corriente de entrada IDC del circuito de conmutación 10, y la tensión EFC del condensador 6, es la siguiente Fórmula (1):

$$EFC \times IDC = PDC (= \text{constante}) \quad (1)$$

Debido a que la Fórmula (1) no es lineal, la Fórmula (1) se hace lineal. Cuando una tensión y una corriente eléctrica en un punto de funcionamiento son representadas, respectivamente, como EFC0 e IDC0, la Fórmula (2) se mantiene cerca del punto de funcionamiento:

$$IDC = -\frac{PDC(EFC-EFC0)}{EFC0^2} + IDC0 \quad (2)$$

Por lo tanto, el circuito mostrado en la Figura 2 se representa por un diagrama de bloques que se muestra en la Figura 3. La Figura 3 es un diagrama de bloques de una función de transferencia del circuito mostrado en la Figura 2. En el diagrama de bloques de la función de transferencia mostrado en la Figura 3, una función de transferencia de bucle cerrado G(s) de una tensión de entrada ES a la tensión EFC del condensador 6, se representa por la siguiente Fórmula (3):

$$G(s) = \frac{\frac{1}{C \cdot L}}{s^2 + \left(\frac{R}{L} - \frac{PDC}{C \cdot EFC0^2}\right) \cdot s - \frac{1}{C \cdot L} \left(\frac{R \cdot PDC}{EFC0^2} - 1\right)} \quad (3)$$

Una condición para estabilizar un sistema de bucle cerrado mostrado en la función de transferencia de bucle cerrado G(s) de la Fórmula (3), es que todos los polos de G(s) sean negativos. En otras palabras, todas las soluciones de una ecuación característica indicadas por la Fórmula (4) que sigue, que es el denominador de G(s), tienen que ser negativas.

$$s^2 + \left(\frac{R}{L} - \frac{PDC}{C \cdot EFC0^2}\right) \cdot s - \frac{1}{C \cdot L} \left(\frac{R \cdot PDC}{EFC0^2} - 1\right) = 0 \quad (4)$$

Cuando las soluciones de la Fórmula (4) se representan como  $\alpha$  y  $\beta$ , las expresiones condicionales para hacer que tanto  $\alpha$  como  $\beta$  sean negativas son las siguientes Fórmulas (5) y (6), a partir de una relación entre las soluciones y coeficientes:

$$\alpha + \beta = -\left(\frac{R}{L} - \frac{PDC}{C \cdot EFC0^2}\right) < 0 \quad (5)$$

$$\alpha \cdot \beta = -\frac{1}{C \cdot L} \left(\frac{R \cdot PDC}{EFC0^2} - 1\right) > 0 \quad (6)$$

Se calcula una expresión condicional del componente de resistencia R de la reactancia 5 para estabilizar el sistema de bucle cerrado indicado por la función de transferencia G(s) de la Fórmula (3). Se dirige la atención a la Fórmula (5) debido a que la Fórmula (6) no incluye información de utilidad. Si se modifica la Fórmula (5), se obtiene la siguiente Fórmula (7) como expresión condicional de la componente de resistencia R de la reactancia 5.

$$R > \frac{L}{C} \cdot \frac{PDC}{EFC0^2} \quad (7)$$

De acuerdo con la Fórmula (7), la R necesaria para estabilizar el sistema puede ser más pequeña, puesto que L es menor, C es más grande, PCD es más pequeño y EFC0 es más grande. Como ejemplo, cuando se substituyen en la Fórmula (7) las condiciones L = 12 mH, C = 6.600  $\mu$ F, PDC = 1.000 kW y EFC0 = 1.500 V, que son valores numéricos generales, el valor de la componente de resistencia R de la reactancia 5 que es capaz de estabilizar el

sistema de bucle cerrado indicado por la función de transferencia  $G(s)$  de la Fórmula (3) es  $R > 0,8 (\Omega)$ .

En general, la componente de resistencia que está incluida en una reactancia es muy pequeña, de aproximadamente varias decenas de  $m\Omega$ , y resulta imposible satisfacer la Fórmula (7). Por lo tanto, el sistema de bucle cerrado del circuito mostrado en la Figura 2 es inestable y se producen oscilaciones eléctricas a la frecuencia de resonancia del filtro de LC.

En otras palabras, puede comprenderse que, a menos que se añada una resistencia que satisfaga la Fórmula (7) al circuito mostrado en la Figura 2 o realice una estabilización del sistema de bucle cerrado en términos de control, la tensión EFC del condensador 6 oscila y diverge. En realidad, la adición de la resistencia aumenta el tamaño de un aparato y provoca un aumento de las pérdidas. Se necesita, por lo tanto, otro método para llevar a cabo la estabilización en términos de control.

La anterior es una explicación cuantitativa de la causa de que se produzcan las oscilaciones eléctricas a la frecuencia de los filtros de LC de la unidad de circuito principal 200 que se ha mostrado en la Figura 1 y del circuito mostrado en la Figura 2.

Se pasa a explicar el principio de supresión de las oscilaciones eléctricas, como fundamento técnico para la configuración de la unidad de control de amortiguación 40 de acuerdo con esta realización.

Como se ha explicado anteriormente, la carga 80 de potencia constante del circuito mostrado en la Figura 2 tiene la característica de resistencia negativa. En el caso de que esta carga de potencia constante tenga una característica de resistencia positiva, es posible estabilizar el bucle cerrado. Se realiza, por lo tanto, la misma explicación cuantitativa que anteriormente utilizando un diagrama de circuito en el que la carga 80 de potencia constante del circuito mostrado en la Figura 2 se ha reemplazado por una resistencia.

La Figura 4 es un diagrama de bloques de circuito en el que la carga 80 de potencia constante del circuito mostrado en la Figura 2 ha sido reemplazada por una resistencia 60. Como se muestra en la Figura 4, como carga vista desde el lado del filtro de LC, se ha conectado la resistencia 60 que tiene un valor de resistencia  $R_0$  en la Figura 4.

La Figura 5 es un diagrama de bloques de una función de transferencia del circuito mostrado en la Figura 4. De acuerdo con el diagrama de bloques de la función de transferencia que se muestra en la Figura 5, la función de transferencia de bucle cerrado  $Gp(s)$  de la tensión de entrada ES a la tensión EFC del condensador, se representa por la siguiente Fórmula (8):

$$Gp(s) = \frac{\frac{1}{L \cdot C}}{s^2 + \left(\frac{1}{C \cdot R_0} + \frac{R}{L}\right) \cdot s + \frac{1}{C \cdot L} \cdot \left(\frac{R}{R_0} + 1\right)} \quad (8)$$

Una ecuación característica de la función de transferencia de bucle cerrado  $Gp(s)$  indicada por la Expresión (8) es la siguiente Fórmula (9):

$$s^2 + \left(\frac{1}{C \cdot R_0} + \frac{R}{L}\right) \cdot s + \frac{1}{C \cdot L} \cdot \left(\frac{R}{R_0} + 1\right) = 0 \quad (9)$$

Cuando se calcula una condición para hacer que todas las soluciones de la ecuación característica indicada por la Fórmula (9) sean negativas, el valor de la componente de resistencia  $R$  de la reactancia 5 es  $R \geq 0$ , y esta condición siempre se satisface. En otras palabras, se observa que, tal como se muestra en la Figura 4, cuando la carga vista desde el lado del filtro de LC incluye la resistencia 60, el sistema de bucle cerrado siempre es estable.

Como se ha explicado anteriormente, se observa que el circuito en el que se conecta la resistencia 60 al filtro de LC, conectado a la fuente de suministro de energía de CC 70, es siempre estable. El circuito de control explicado en esta realización se ha ideado con la atención dirigida a este principio. Específicamente, el circuito de control controla el circuito de conmutación 10 de tal manera que la carga 80 de potencia constante del circuito mostrado en la Figura 2 tiene una característica equivalente a la característica de resistencia positiva con respecto a una componente de oscilación de la tensión EFC del condensador 6.

De forma subsiguiente, se deduce una condición de control para que la carga 80 de potencia constante del circuito mostrado en la Figura 2 tenga la característica equivalente a la característica de resistencia positiva con respecto a las oscilaciones eléctricas de la tensión EFC del condensador 6 que se producen a la frecuencia de resonancia del

filtro de LC.

En la Figura 4, cuando la tensión del condensador 6 es EFC y la corriente eléctrica que fluye a la resistencia 60 es IDC, la potencia eléctrica PR en la resistencia 60 viene representada por la siguiente Fórmula (10):

$$PR = EFC \cdot IDC \quad (10)$$

Cuando la tensión EFC del condensador 6 fluctúa y aumenta hasta n veces la tensión inicial, la corriente eléctrica IDC que fluye a la resistencia 60 también se incrementa hasta n veces una corriente eléctrica inicial. Por lo tanto, la potencia eléctrica PRn en la resistencia 60, llegados a este punto, se representa por la siguiente Fórmula (11):

$$PRn = n \cdot EFC \cdot n \cdot IDC = n^2 \cdot EFC \cdot IDC = n^2 \cdot PR \quad (11)$$

En otras palabras, la potencia eléctrica PRn en la resistencia 60 es proporcional al cuadrado de la velocidad de cambio de la tensión EFC del condensador 6. Por lo tanto, la carga 80 de potencia constante se controla de tal manera que la relación de la Fórmula (11) se mantiene. Esto permite la posibilidad de hacer que la carga 80 de potencia constante funcione de manera que tenga la característica de resistencia positiva con respecto a la fluctuación en la tensión EFC del condensador 6.

Por otra parte, en la Figura 2, cuando se desprecian las pérdidas de circuito del circuito de conmutación 10, la potencia de salida del circuito de conmutación 10 es igual a la potencia de entrada PDC del circuito de conmutación 10. Por lo tanto, se cumple la siguiente Fórmula (12) con respecto a la corriente de reactancia de suavización ISL que fluye por el elemento de almacenamiento de energía 26, y a la tensión de terminal BFC del elemento de almacenamiento de energía 26:

$$PDC = ISL \cdot BFC \quad (12)$$

La tensión de terminal BFC del elemento de almacenamiento de energía 26 es un valor que cambia de acuerdo con la energía almacenada del elemento de almacenamiento de energía 26.

A fin de hacer que la carga 80 de potencia constante funcione de modo que tenga la característica de resistencia positiva con respecto a la fluctuación en la tensión EFC del condensador 6, la potencia eléctrica PDCn en el momento en que la tensión EFC del condensador 6 se incrementa hasta n veces, únicamente tiene que satisfacer una relación expresada por la siguiente Fórmula (13), de la misma manera que la potencia eléctrica PRn satisface la Fórmula (11):

$$PDCn = n^2 \cdot PDC = n^2 \cdot ISL \cdot BFC \quad (13)$$

La frecuencia de resonancia del filtro de LC es habitualmente de 10 hercios a 20 hercios, lo que es equivalente a un tiempo de entre 50 milisegundos y 100 milisegundos en términos de periodo. Por otra parte, la tensión de terminal BFC del elemento de almacenamiento de energía 26 puede ser considerada como fija en la unidad de tiempo de varias decenas de segundos. En otras palabras, a la hora de considerar las oscilaciones eléctricas a la frecuencia de resonancia del filtro de LC, puede suponerse que la tensión de terminal BFC del elemento de almacenamiento de energía 26 es fija.

En consecuencia, cuando la tensión EFC del condensador 6 se incrementa hasta n veces, si el circuito de conmutación 10 es controlado para multiplicar la corriente de reactancia de suavización ISL por  $n^2$ , la potencia de entrada PDC del circuito de conmutación 10 puede ser modificada de forma proporcional al cuadrado de la velocidad de cambio de la tensión EFC del condensador 6. La carga 80 de potencia constante del circuito mostrado en la Figura 2 tiene una característica equivalente a la característica de resistencia positiva por lo que respecta a las oscilaciones eléctricas de la tensión EFC del condensador 6 que se producen a la frecuencia de resonancia del filtro de LC.

Por lo tanto, en la unidad de control 300 mostrada en la Figura 1, un valor obtenido haciendo aumentar la velocidad de fluctuación de la tensión EFC del condensador 6 con la segunda potencia, es integrado con la orden de corriente de reactancia de suavización ISL\*. Esto hace posible suprimir las oscilaciones eléctricas de la tensión EFC del condensador 6 que se producen a la frecuencia de resonancia del filtro de LC y estabilizar la tensión EFC.

- 5 Se pasa a exponer una configuración específica para materializar el método de control explicado anteriormente, con referencia a las Figuras 1 y 6. La Figura 6 es un diagrama de los cambios en las magnitudes de estado en el interior de la unidad de control de amortiguación 40 y de las formas de onda de señal en la primera realización.

- 10 En primer lugar, se explica con referencia a la Figura 1 la configuración de la unidad de control de amortiguación 40. La unidad de control de amortiguación 40 incluye un filtro de paso alto (al que se hace referencia en lo que sigue de esta memoria como «HPF» –“high-pass filter”–) 41, filtros de paso bajo (a los que se hace referencia en lo sucesivo de esta memoria como «LPFs» –“low-pass filters”–) 42 y 43, un sumador 44, un divisor 45, un restador 46, un conmutador 47, un operador cuadrático 48 y un limitador 49.

La tensión EFC del condensador 6 se suministra como entrada a la unidad de control de amortiguación 40 y se divide en dos sistemas.

- 15 El HPF 41 y el LPF 43 se conectan a uno de los sistemas en serie. Se suministra como salida una componente de frecuencia de resonancia EFCa, obtenida suprimiendo, con el HPF 41 y el LPF 43, una componente de baja innecesaria y una componente de alta frecuencia innecesaria, incluyendo una componente de CC de la tensión EFC del condensador 6, y extrayendo únicamente una componente de frecuencia próxima a la frecuencia de resonancia del filtro de LC. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 6, cuando la tensión EFC del condensador 6 oscila hasta  
20 entre 1.650 voltios y 1.350 voltios, con un valor medio de 1.500 voltios, la EFCa es una señal que fluctúa en fase con una componente de frecuencia de resonancia de EFC dentro de un intervalo entre +150 voltios y -150 voltios.

El LPF 42 está conectado con el otro sistema. Se suministra como salida una componente de CC EFCd obtenida extrayendo únicamente una componente de CC de la tensión EFC del condensador 6 con el LPF 42.

- 25 El HPF 41, el LPF 42 y el LPF 43 son filtros de primer orden que incluyen elementos de retardo de primer orden. Se ha omitido la explicación de la configuración del HPF 41, del LPF 42 y del LPF 43 debido a que la configuración es conocida por el público. No es necesario decir que el HPF 41, el LPF 42 y el LPF 43 pueden incluir filtros de segundo o tercer orden. Sin embargo, es desventajoso que la configuración de los filtros se haga complicada.

Se pasa a explicar con mayor detalle el modo de funcionamiento del HPF 41 y del LPF 43.

- 30 El LPF 43 es necesario para eliminar una componente de alta frecuencia, que es perturbadora para el sistema de control, incluida en la tensión EFC del condensador. Sin embargo, el límite inferior de la componente de alta frecuencia que se desea eliminar es de varios cientos de hercios y cercano a una banda de frecuencias de resonancia (por lo común, entre aproximadamente 10 hercios y 20 hercios) del filtro de LC, que es el objetivo del control de amortiguación. Por lo tanto, es deseable eliminar la componente de alta frecuencia utilizando solo el LPF 43, debido a que se provoca un retardo de fase de la componente de frecuencia de resonancia del filtro de LC. Por  
35 lo tanto, se añade en serie el HPF 41 y se combina con el LPF 43 para compensar el retardo de fase de la banda de frecuencias de resonancia del filtro de LC, al tiempo que se asegura una característica de supresión de componente de alta frecuencia, que es la misma que la que se obtiene cuando se utiliza el LPF 43 independientemente. Por lo que respecta a las características del HPF 41 y del LPF 43, es deseable ajustar una frecuencia con una ganancia de 1 a la frecuencia de resonancia (de 10 hercios a 20 hercios) del filtro de LC.

- 40 El sumador 44 añade la componente de CC EFCd a la componente de oscilación EFCa de la banda de frecuencias de resonancia del filtro LC, calculada como se ha explicado en lo anterior, y suministra como salida EFCad.

- 45 El divisor 45 divide EFCad por la componente de CC EFCd para calcular, con ello, la velocidad de fluctuación de la componente de oscilación de la banda de frecuencias de resonancia del filtro de LC incluida en la tensión EFC del condensador 6 (a la que se hace referencia simplemente en lo que sigue de esta memoria como «velocidad de fluctuación») EFCfp.

- La velocidad de fluctuación EFCfp se divide en dos sistemas. Uno de los sistemas es suministrado como salida directamente al conmutador 47, y el otro sistema es suministrado como salida al restador 46. El restador 46 resta la velocidad de fluctuación EFCfp de un valor predeterminado (en el ejemplo de esta realización, el valor «2») y suministra como salida la EFCfn obtenida invirtiendo la fase de una componente de oscilación de la velocidad de  
50 fluctuación EFCfp enviada al conmutador 47.

Cuando el flujo de energía es en una dirección que va del lado del cable 1 tendido sobre el suelo al lado del elemento de almacenamiento de energía 26, se selecciona un contacto en un lado superior (un lado de carga) del conmutador 47 y la velocidad de fluctuación EFCfp es suministrada como entrada al operador cuadrático 48.

- 55 Por otra parte, cuando el flujo de energía es en una dirección del lado del elemento de almacenamiento de energía 26 al lado del cable 1 tendido sobre el suelo, se selecciona un contacto en un lado inferior (un lado de descarga) del

conmutador 47 y la velocidad de fluctuación EFCfn es suministrada como entrada al operador cuadrático 48

Cuando el flujo de energía es en la dirección que va del elemento de almacenamiento de energía 26 al lado del cable 1 tendido sobre el suelo (del lado de salida al lado de entrada), se utiliza EFCfn debido a que la dirección del flujo de energía es opuesta a la dirección que va del cable 1 tendido sobre el suelo al elemento de almacenamiento de energía 26 (del lado de entrada al lado de salida). En este caso, es necesario el funcionamiento en una dirección encaminada a reducir la magnitud de la potencia eléctrica si la tensión EFC del condensador 6 aumenta, e incrementar la magnitud de la potencia eléctrica si la tensión EFC del condensador 6 disminuye. En consecuencia, es necesario obtener EFCfn invirtiendo la fase de EFCfp.

El operador cuadrático 48 eleva EFCfp o EFCfn a la segunda potencia y suministra como salida EFCfp o EFCfn al limitador 49. El limitador 49 suministra como salida, tras limitar un límite superior y un límite inferior de una señal suministrada como salida desde el operador cuadrático 48 a valores arbitrarios de acuerdo con las necesidades, la señal al multiplicador 34, como magnitud operativa de amortiguación DAMPCN. En otras palabras, cuando se desea limitar una magnitud de fluctuación transitoria de la corriente de reactancia de suavización ISL, implicada, por ejemplo, en el control de amortiguación, el limitador 49 solo tiene que ajustar un límite superior y un límite inferior para la limitación de la amplitud.

Por último, el multiplicador 34 integra la magnitud operativa de amortiguación DAMPCN con la orden de corriente de reactancia de suavización ISL\* y genera una orden de corriente de reactancia de suavización ISL\*\*.

El control de la corriente de reactancia de suavización se lleva a cabo de acuerdo con la orden de corriente de reactancia de suavización ISL\*\* obtenida como se ha explicado en lo anterior. Esto hace posible suprimir las oscilaciones de la tensión EFC del condensador 6 y llevar a cabo un funcionamiento estable del convertidor de CC-CC 100.

Como se ha explicado anteriormente, el convertidor de CC-CC de acuerdo con la primera realización incluye la unidad de amortiguación, que calcula automáticamente, sin ajuste de ganancia ni operaciones similares, una magnitud operativa de amortiguación óptima para suprimir las oscilaciones eléctricas que tienen lugar en el circuito de filtro de entrada. El convertidor de CC-CC controla el circuito de conmutación basándose en la magnitud operativa de amortiguación obtenida. Esto hace posible suprimir las oscilaciones eléctricas que se producen en el circuito de filtro de entrada de LC y llevar a cabo un funcionamiento estable del convertidor de CC-CC, que funciona como fuente de corriente de control.

El convertidor de CC-CC genera una orden de corriente de reactancia de suavización que incluye la magnitud operativa de amortiguación y controla el circuito de conmutación basándose en la orden de corriente de reactancia de suavización obtenida. Por lo tanto, una corriente eléctrica que fluye hacia el reactor de suavización es óptimamente controlada para suprimir las oscilaciones eléctricas del circuito de filtro de entrada, y es posible llevar a efecto un funcionamiento estable.

En la configuración de la unidad de control de amortiguación, se calcula una velocidad de fluctuación de la tensión del condensador de entrada dividiendo la tensión del condensador de entrada por una componente de CC del condensador de entrada. Esto permite la posibilidad de llevar a cabo un control correspondiente a la velocidad de fluctuación de la tensión del condensador de entrada.

En la configuración de la unidad de control de amortiguación, se permite el paso de las bandas iguales o mayores que una frecuencia próxima a la frecuencia de resonancia del filtro de LC, por parte del filtro de paso alto, y se permite el paso de las bandas iguales o menores que una frecuencia próxima a la frecuencia de resonancia del filtro de LC, por parte del filtro de paso bajo. Esto hace posible cortar una componente de alta frecuencia innecesaria, que constituye una perturbación del sistema de control, sin provocar un retardo de fase cerca de la frecuencia de resonancia del filtro de LC.

En la configuración de la unidad de control de amortiguación, la velocidad de fluctuación de la tensión del condensador de entrada es elevada a la segunda potencia para calcular una magnitud operativa de amortiguación. Esto hace posible llevar a cabo un control de una corriente de reactancia de suavización en coincidencia con el grado de oscilación eléctrica de la tensión del condensador de entrada.

En la configuración de la unidad de control de amortiguación, un límite superior y un límite inferior de una magnitud operativa de amortiguación son limitados en la etapa final. Esto hace posible limitar una magnitud de fluctuación transitoria de una corriente de reactancia de suavización implicada en, por ejemplo, el control de amortiguación.

Por otra parte, no se utiliza una constante de un elemento de circuito del convertidor de CC-CC para el cálculo de la magnitud operativa de amortiguación DAMPCN. En consecuencia, se da también la ventaja de que, incluso cuando la constante del elemento de circuito se cambia, no es necesario un ajuste del sistema de control.

Segunda realización

En la primera realización, en el convertidor de CC-CC configurado para funcionar como fuente de corriente de control que controla la corriente de reactancia de suavización ISL que fluye en el elemento de almacenamiento de energía de manera que sea un valor predeterminado, se configura el sistema de control que suprime las oscilaciones eléctricas que se producen a la frecuencia de resonancia del filtro de LC y permite un funcionamiento estable. Sin embargo, en una segunda realización, en un convertidor de CC-CC configurado para reemplazar el elemento de almacenamiento de energía por una carga y funcionar como una fuente de tensión de control que controla la tensión de la carga de manera que se encuentre en un valor predeterminado, se configura un sistema de control que suprime las oscilaciones eléctricas que se producen a la frecuencia de resonancia del filtro de LC y permite un funcionamiento estable.

La Figura 7 es un diagrama de un ejemplo de configuración del convertidor de CC-CC en la segunda realización de la presente invención. Como se muestra en la Figura 7, un convertidor de CC-CC 100a de la segunda realización incluye una unidad de circuito principal 200a y una unidad de control 300a que controla el flujo de potencia en la unidad de circuito principal 200a. Componentes que son iguales o equivalentes a los de la primera realización se han denotado con los mismos números y signos de referencia, y se ha omitido una descripción detallada de los componentes.

En la unidad de circuito principal 200a, el elemento de almacenamiento de energía 26 de la primera realización se ha reemplazado por una carga 24, y se han proporcionado un condensador de suavización 22, combinado con la reactancia de suavización 20 para configurar un circuito de filtro de suavización 27a, y un detector de corriente 25 que detecta una corriente eléctrica que fluye hacia la carga 24, en una etapa posterior del detector de corriente 21 en el lado de la carga 24 del circuito de conmutación 10. La tensión de la carga 24 es suavizada por un filtro de suavización que incluye el reactor de suavización 20 y el condensador de suavización 22.

Una unidad de generación de señal de control 50a incluye, además de los componentes de una primera realización, un restador 31, un controlador de tensión 32 y un sumador 33, en una etapa previa al multiplicador 34. Una orden de tensión de condensador de suavización BFC\*, como valor de orden para la tensión del condensador de suavización 22, es suministrada como entrada a la unidad de generación de señal de control 50a desde un sistema de control anfitrión (no mostrado). En otras palabras, el convertidor de CC-CC 100a de la segunda realización funciona como una fuente de tensión de control que controla la tensión de la carga 24 de manera que sea un valor predeterminado de acuerdo con la orden de tensión de condensador de suavización BFC\* suministrada como salida desde el sistema de control anfitrión.

El restador 31 resta una tensión BFC del condensador de suavización 22, de la BFC\*, y suministra como salida la BFC\*. El controlador de tensión 32 es alimentado con la salida del restador 31 y lleva a cabo un control proporcional integral. Como sistema de control del controlador de tensión 32, es adecuado el control proporcional integral o un control proporcional. Debido a que el controlador de tensión 32 puede estar configurado por una tecnología conocida por el público, con independencia de cuál de los sistemas de control se adopte, se omite aquí una explicación del sistema de control.

El sumador 33 suma una salida del controlador de tensión 32 y una corriente de carga ILD, y suministra como salida la suma de la salida y la corriente de carga ILD al multiplicador 34, como orden de corriente de reactancia de suavización ISL\*.

El multiplicador 34 integra la magnitud operativa de amortiguación DAMPCN con la orden de corriente de reactancia de suavización ISL\* suministrada como salida desde el sumador 33, y genera la orden de corriente de reactancia de suavización ISL\*\*.

El control de corriente de reactancia de suavización se lleva a cabo con arreglo a la orden de corriente de reactancia de suavización ISL\*\* obtenida como se ha explicado en lo anterior. En consecuencia, se suprimen las oscilaciones de la tensión EFC del condensador 6 y es posible llevar a efecto un funcionamiento estable del convertidor de CC-CC 100a.

Incluso cuando el convertidor de CC-CC se ha configurado como se muestra en la Figura 8, es posible llevar a cabo un control igual al realizado por la configuración mostrada en la Figura 7. La Figura 8 es un diagrama de otro ejemplo de configuración del convertidor de CC-CC de la segunda realización de la presente invención.

Como se muestra en la Figura 8, la configuración de la unidad de circuito principal 200a de un convertidor de CC-CC 100b es la misma que la mostrada en la Figura 7. Se añade una unidad de generación de señal de control 50b de una unidad de control 300b junto con un multiplicador 30, en una etapa previa del restador 31, en lugar del multiplicador 34 como etapa ulterior del sumador 33, mostrado en la Figura 7, que se ha configurado para multiplicar uno por otra un valor de orden BFC\* de la tensión del condensador de suavización 22 y la magnitud operativa de amortiguación DAMPCN, generar una orden de tensión de condensador de suavización BFC\*\*, y añadir la orden de tensión de condensador de suavización BFC\*\* a la corriente de carga ILD mediante el sumador 33, a fin de generar con ello la orden de corriente de reactancia de suavización ISL\*\*. Los componentes distintos de los explicados en lo

anterior son los mismos que los componentes mostrados en la Figura 7. Al igual que en la Figura 7, se da el efecto de que las oscilaciones de la tensión EFC del condensador 6 son suprimidas y es posible llevar a cabo un funcionamiento estable del convertidor de CC-CC 100b.

5 En las configuraciones mostradas en las Figuras 7 y 8, la orden de corriente de reactancia de suavización ISL\*\* se genera mediante el uso de la corriente de carga ILD que fluye hacia la carga 24. Esto hace posible suprimir también la fluctuación en la tensión BFC del condensador de suavización 22.

10 Como se ha explicado anteriormente, el convertidor de CC-CC de acuerdo con la segunda realización incluye la unidad de control de suavización, la cual calcula automáticamente, sin ajuste de ganancia ni operaciones similares, una magnitud operativa de amortiguación óptima para suprimir las oscilaciones eléctricas que se producen en el circuito de filtro de entrada. El convertidor de CC-CC genera una orden de corriente de reactancia de suavización que incluye la magnitud operativa de amortiguación y controla el circuito de conmutación basándose en la orden de corriente de reactancia de suavización obtenida. Esto hace posible suprimir las oscilaciones eléctricas que se producen en el circuito de filtro de entrada de LC y llevar a efecto un funcionamiento estable del convertidor de CC-CC, que funciona como fuente de tensión de control.

15 No se utiliza ninguna constante de un elemento de circuito del convertidor de CC-CC para el cálculo de la magnitud operativa de amortiguación DAMPCN. Por lo tanto, existe la ventaja de que, incluso cuando se cambia la constante del elemento de circuito, no es necesario un ajuste del sistema de control.

20 Las configuraciones explicadas en las primera y segunda realizaciones son ejemplos de la configuración de la presente invención. No es necesario decir que las configuraciones pueden ser combinadas con otra tecnología conocida por el público o pueden modificarse de manera tal, que, por ejemplo, se omite una parte de las configuraciones sin apartarse del espíritu de la presente invención.

25 Por otra parte, en las realizaciones, la explicación del contenido de la invención se ha llevado a cabo suponiendo que el convertidor de CC-CC se aplica teniendo como objetivo el campo de los ferrocarriles eléctricos. Sin embargo, el campo de aplicación no se limita a esto. No es necesario decir que el convertidor de CC-CC puede aplicarse a diversos campos de aplicación industrial.

#### **Aplicabilidad industrial**

Como se ha explicado anteriormente, el convertidor de CC-CC de acuerdo con la presente invención se emplea como una invención que suprime las oscilaciones eléctricas que se producen en un circuito de filtro de entrada y permite un funcionamiento estable.

30

## REIVINDICACIONES

- 1.- Un convertidor de CC-CC que tiene un circuito de filtro de entrada (8) que incluye una reactancia de entrada (5), conectada a una fuente de suministro de energía de CC (70), y un condensador de entrada (6), y convierte una tensión de CC del condensador de entrada en una tensión de CC arbitraria para suministrar como salida la tensión de CC, de tal modo que el convertidor de CC-CC comprende:
  - 5 un circuito de conmutación (10), a un terminal de entrada del cual se conecta el circuito de filtro de entrada (8), de tal modo que el circuito de conmutación incluye un elemento de conmutación (11) de lado de rama superior y un elemento de conmutación (12) de lado de rama inferior;
  - 10 un circuito de filtro de suavización (27, 27a), que comprende una reactancia de suavización (20) que tiene: uno de sus terminales conectado al terminal de salida del circuito de conmutación (10),
  - una unidad de control (300, 300a), que realimenta una corriente eléctrica del circuito de filtro de suavización (27, 27a), que fluye a través de la reactancia de suavización (20) y controla el encendido y el apagado de los elementos de conmutación del circuito de conmutación (10),
  - 15 de tal manera que la unidad de control (300, 300a) incluye una unidad de control de amortiguación (40) que suprime las oscilaciones eléctricas que se producen en el circuito de filtro de entrada (8), que calcula, basándose en una tensión del condensador de entrada (6), una magnitud operativa de amortiguación (DAMPCN) para ajustar la corriente eléctrica del circuito de filtro de suavización (27, 27a),
  - 20 de tal modo que la unidad de control (300, 300a) genera una orden de corriente de reactancia de suavización ISL\*\*que refleja la magnitud operativa de amortiguación (DAMPCN) y controla el encendido y el apagado de los elementos de conmutación del circuito de conmutación (10) basándose en la orden de corriente de reactancia de suavización, de manera que la unidad de control de suavización (40) divide la tensión del condensador de entrada (6) por una componente de CC de la tensión del condensador de entrada para, con ello, calcular una velocidad de fluctuación (EFCfp) de la tensión (EFC) del condensador de entrada, y calcular la magnitud operativa de amortiguación (DAMPCN) correspondiente a la velocidad de fluctuación.
- 25 2.- El convertidor de CC-CC de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual la unidad de control de amortiguación (40) divide una señal suma (EFCad) de una señal (EFCa) obtenida eliminando una componente de alta frecuencia innecesaria incluida en la tensión del condensador de entrada, de la tensión (EFC) del condensador de entrada, y una componente de CC (EFCd) de la tensión del condensador de entrada, por la componente de CC, para calcular, con ello, una velocidad de fluctuación (EFCfp) de la tensión del condensador de entrada, y calcular una magnitud operativa de amortiguación (DAMPCN) correspondiente a la velocidad de fluctuación.
- 30 3.- El convertidor de CC-CC de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual la magnitud operativa de amortiguación se calcula elevando a la segunda potencia una velocidad de fluctuación (EFCfp) de la tensión del condensador de entrada.
- 4.- El convertidor de CC-CC de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual, cuando el flujo de energía es en una dirección que va de un lado de entrada a un lado de salida del circuito de conmutación (10), la unidad de control de amortiguación (40) calcula, como magnitud operativa de amortiguación, una señal obtenida elevando a la segunda potencia una velocidad de fluctuación de la tensión del condensador de entrada, y,
- 35 cuando el flujo de energía es en una dirección que va del lado de salida al lado de entrada del circuito de conmutación (10), la unidad de control de amortiguación (40) calcula, como magnitud operativa de amortiguación, una señal obtenida invirtiendo una fase de la señal que se obtiene elevando a la segunda potencia la velocidad de fluctuación de la tensión del condensador de entrada.
- 40 5.- El convertidor de CC-CC de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el cual la unidad de control de amortiguación (40) establece los límites superior e inferior de la magnitud operativa de amortiguación mediante un limitador (4), y suministra como salida la magnitud operativa de amortiguación.
- 45 6.- El convertidor de CC-CC de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual, cuando el convertidor de CC-CC tiene, como circuito de filtro de suavización (27, 27a), una reactancia de suavización (20), uno de cuyos terminales está conectado al terminal de salida del circuito de conmutación (10), y un condensador de suavización (22), conectado al otro terminal del reactor de suavización, de manera que una corriente eléctrica del circuito de filtro de suavización (27, 27a) es una corriente eléctrica de la reactancia de suavización.
- 50 7.- El convertidor de CC-CC de acuerdo con la reivindicación 6, en el cual la unidad de control (300, 300a) recibe una orden de tensión de condensador de suavización (BFC\*), genera una orden de corriente de reactancia de suavización ISL\* basándose en la orden de tensión de condensador de suavización (BFC\*), y controla el encendido y el apagado del circuito de conmutación basándose en la orden de corriente de reactancia de suavización ISL\*\*.

- 5 8.- El convertidor de CC-CC de acuerdo con la reivindicación 6, en el cual la unidad de control de suavización (40) divide la tensión del condensador de entrada (6) por una componente de CC de la tensión del condensador de entrada para calcular, con ello, una velocidad de fluctuación (EFCfp) de la tensión (EFC) del condensador de entrada, y calcula una magnitud operativa de amortiguación (DAMPCN) correspondiente a la velocidad de fluctuación.
- 10 9.- El convertidor de CC-CC de acuerdo con la reivindicación 6, en el cual la unidad de control de amortiguación (40) divide una señal suma (EFCad) de una señal (EFCa) obtenida eliminando una componente de alta frecuencia innecesaria incluida en la tensión del condensador de entrada, de la tensión (EFC) del condensador de entrada, y una componente de CC (EFCd) de la tensión del condensador de entrada, por la componente de CC, a fin de calcular, con ello, una velocidad de fluctuación (EFCfp) de la tensión del condensador de entrada, y calcular una magnitud operativa de amortiguación (DAMPCN) correspondiente a la velocidad de fluctuación.
- 15 10.- El convertidor de CC-CC de acuerdo con la reivindicación 6, en el cual la magnitud operativa de amortiguación se calcula elevando a la segunda potencia una velocidad de fluctuación (EFCfp) de la tensión del condensador de entrada.
- 20 11.- El convertidor de CC-CC de acuerdo con la reivindicación 6, en el cual, cuando el flujo de potencia se da en una dirección que va de un lado de entrada a un lado de salida del circuito de conmutación (10), la unidad de control de amortiguación (40) calcula, como magnitud operativa de amortiguación, una señal obtenida elevando a la segunda potencia una velocidad de fluctuación de la tensión del condensador de entrada, y
- 25 cuando el flujo de energía se da en una dirección que va del lado de salida al lado de entrada del circuito de conmutación (10), la unidad de control de amortiguación (40) calcula, como magnitud operativa de amortiguación, una señal obtenida invirtiendo una fase de la señal obtenida elevando a la segunda potencia la velocidad de fluctuación de la tensión del condensador de entrada.
- 12.- El convertidor de CC-CC de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, que comprende adicionalmente una unidad de detección de corriente eléctrica que detecta una corriente de carga que fluye hacia una carga conectada al condensador de suavización, y la orden de corriente de reactancia de suavización (ISL\*) se calcula a la vista de la corriente de carga.

FIG.1

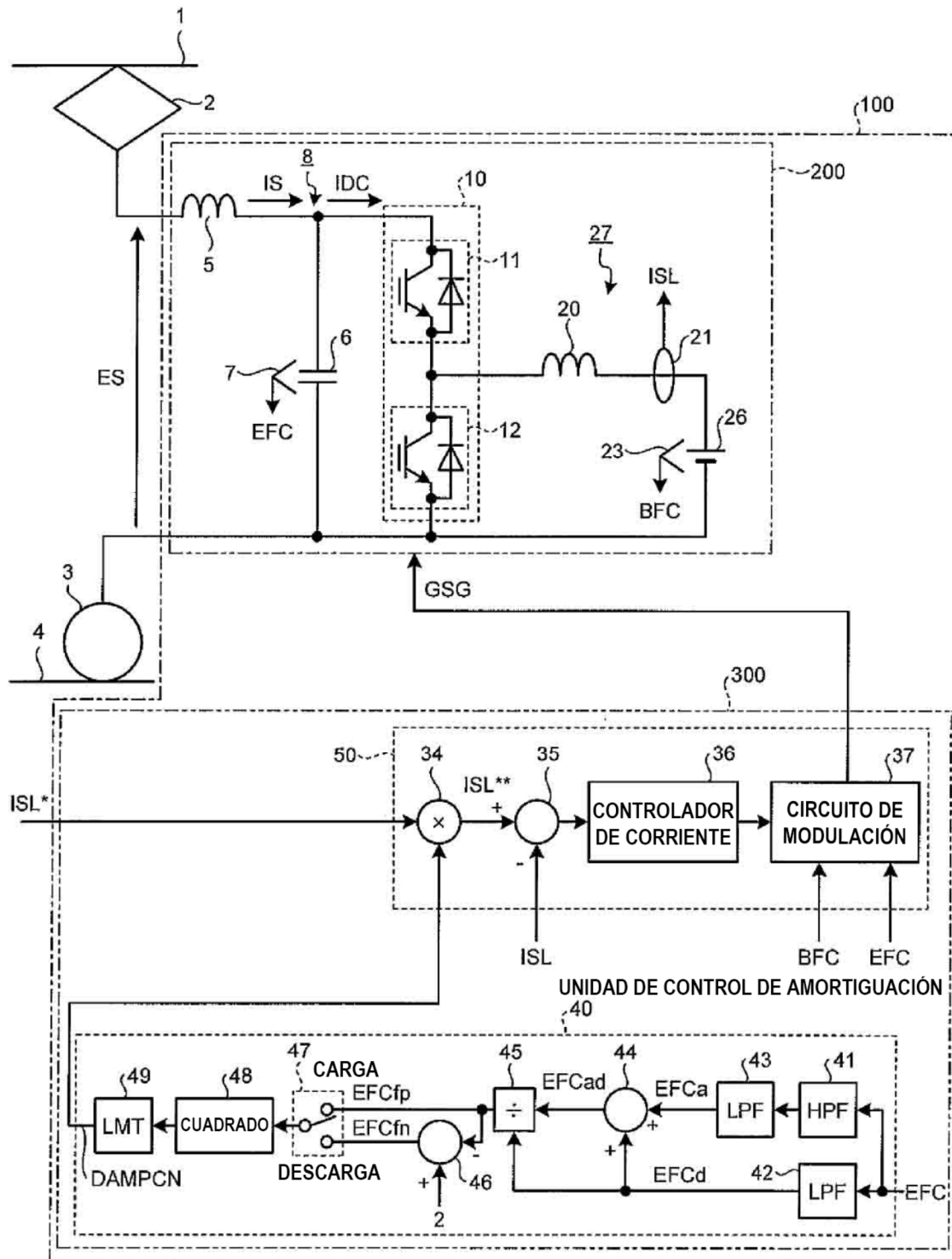


FIG.2

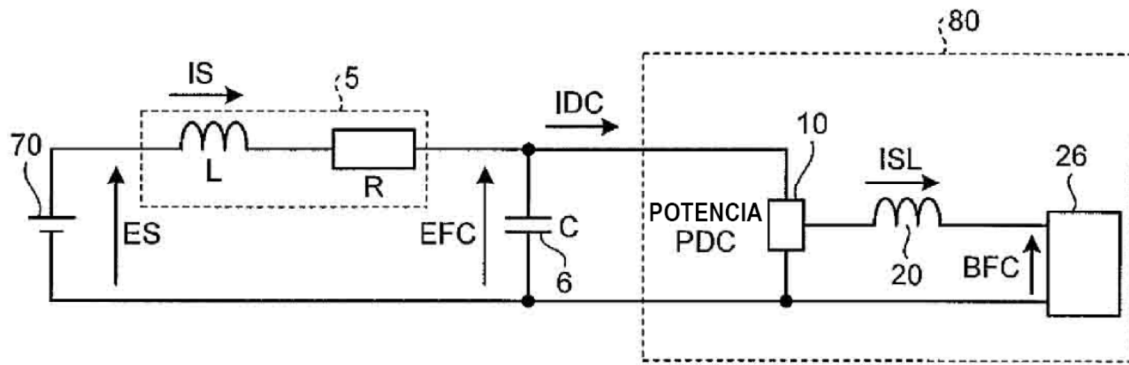


FIG.3

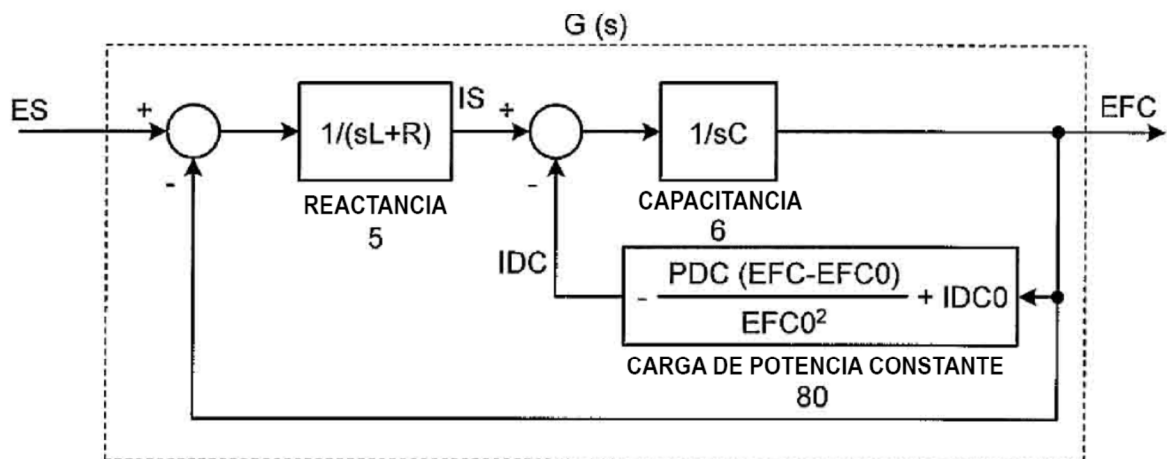


FIG.4

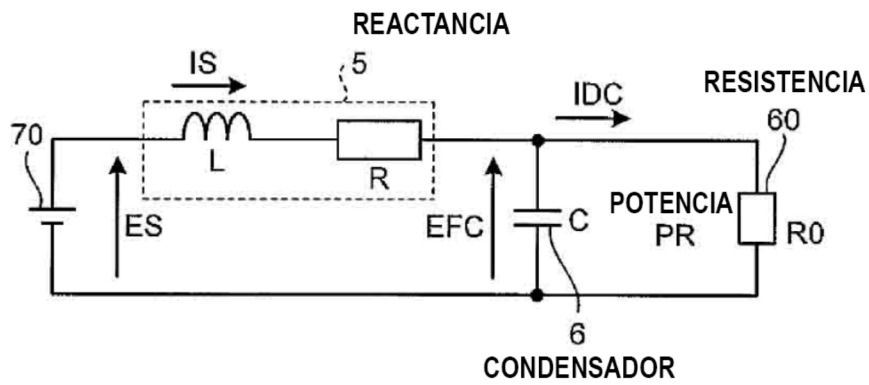


FIG.5

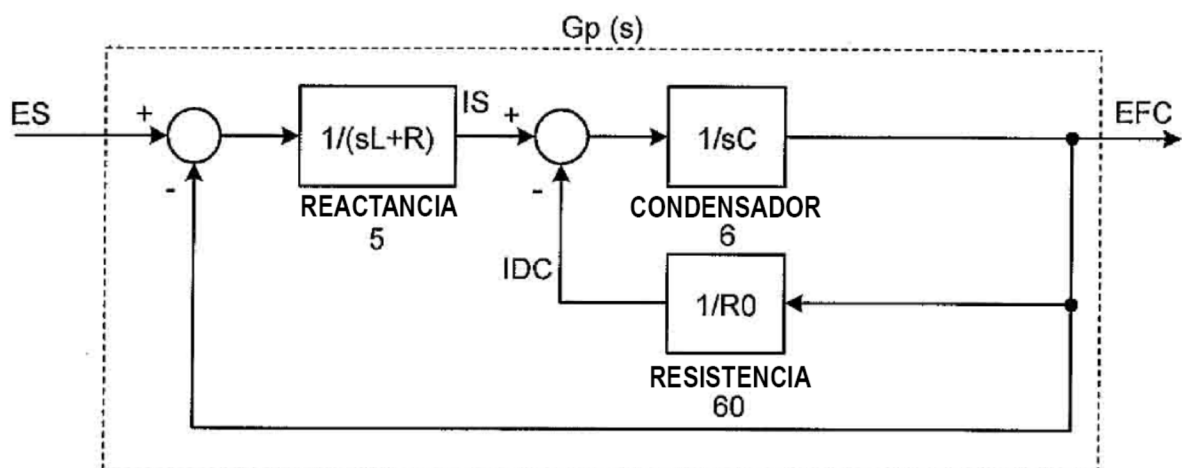


FIG.6

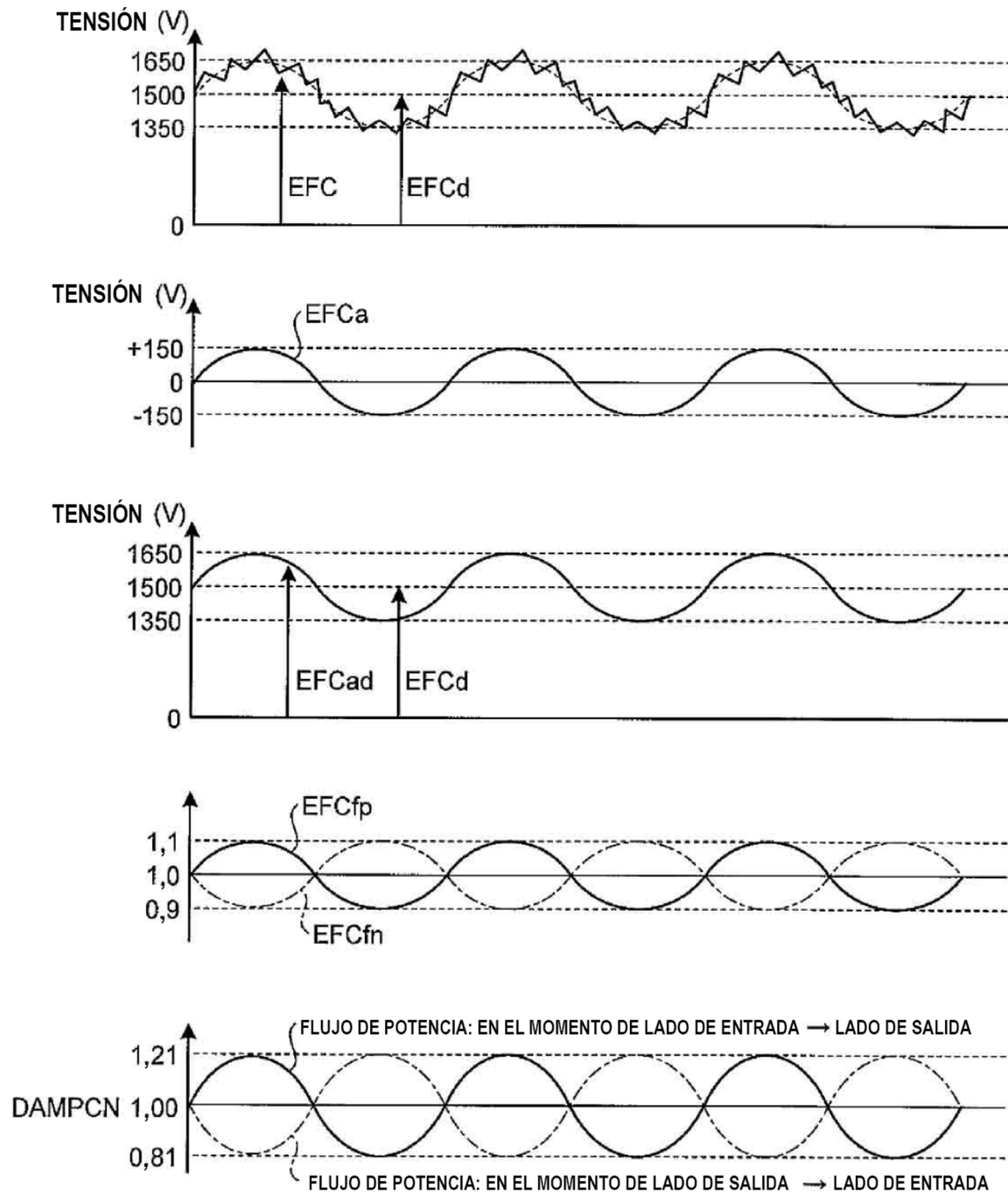


FIG.7

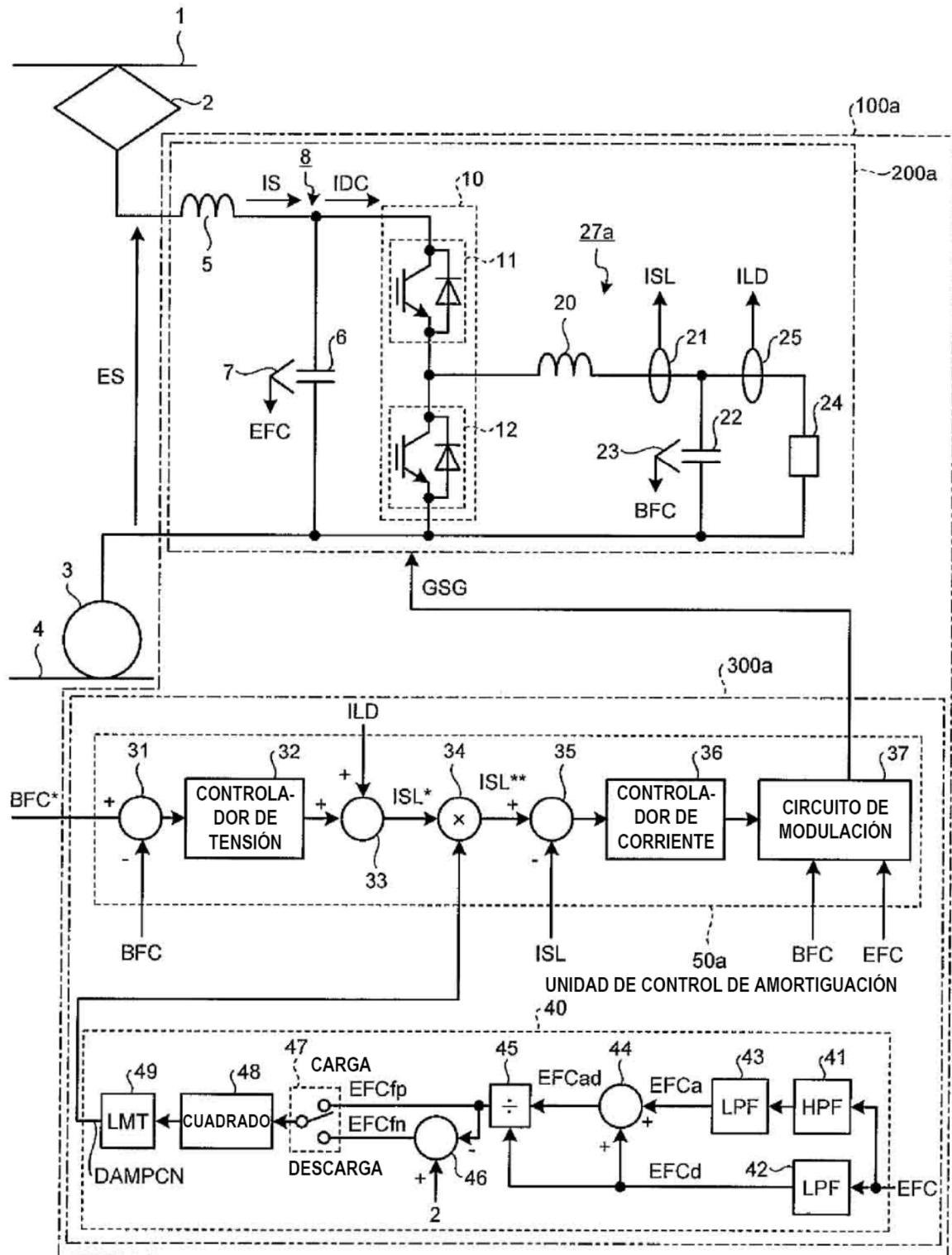


FIG.8

