

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 623 752**

51 Int. Cl.:

B60L 3/00 (2006.01)
H02P 21/00 (2006.01)
H02P 27/04 (2006.01)
H02P 1/02 (2006.01)
B60L 7/16 (2006.01)
H02P 27/06 (2006.01)
H02P 29/02 (2006.01)
H02P 21/06 (2006.01)
B60L 15/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.08.2009 PCT/JP2009/003670**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **11.03.2010 WO2010026699**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.08.2009 E 09811229 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.03.2017 EP 2322374**

54 Título: **Dispositivo de conversión de potencia**

30 Prioridad:

05.09.2008 JP 2008227789

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.07.2017

73 Titular/es:

**mitsubishi electric corporation (100.0%)
7-3, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku
Tokyo 100-8310, JP**

72 Inventor/es:

**KONO, MASAKI y
KATO, SHO**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 623 752 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 de conversión de potencia

Campo técnico

5 La presente invención está relacionada con un dispositivo de conversión de potencia para impulsar máquinas sincrónicas usadas para vehículos eléctricos, tales como vehículos de ferrocarril y vehículos de motor eléctrico, por ejemplo, y particularmente está relacionada con un dispositivo de conversión de potencia que es adaptable a una tensión inducida de una máquina sincrónica durante un funcionamiento a alta velocidad.

Antecedentes de la técnica

10 Convencionalmente, en un dispositivo de conversión de potencia usado para vehículos eléctricos, la energía de CA recogida de cables aéreos por medio de pantógrafos es convertida por un convertidor en energía de CC. Como alternativa, la energía de CC es recogida directamente de los pantógrafos. La energía de CC se introduce a un inversor a través de un condensador, que se usa para almacenamiento de energía y suprime la fluctuación en la tensión de suministro de energía.

15 La energía de CC introducida al inversor se convierte en energía de CA que tiene una tensión variable y una frecuencia variable, y la energía de CA convertida se suministra a una máquina sincrónica de tipo imán permanente.

Aquí, como la máquina sincrónica tiene montado en la misma un imán permanente, la máquina sincrónica induce constantemente fuerza electromotriz incluso durante su rotación. La tensión inducida se hace grande en proporción a la velocidad, y cuando un vehículo de motor eléctrico marcha a alta velocidad, se generará la tensión inducida que supera la tensión de suministro de energía.

20 Así, durante un funcionamiento de marcha con alimentación, el par de impulsión de la máquina sincrónica es controlado por el denominado control de campo débil, es decir, controlando la tensión inducida así como la corriente de la máquina sincrónica por medio del inversor, y durante un funcionamiento regenerativo, se controla el par de frenado de la máquina sincrónica.

25 Mientras tanto, en el caso de controlar los vehículos de motor eléctrico que usan una máquina sincrónica de tipo imán permanente, un inversor usualmente se para durante el movimiento por inercia. Sin embargo, cuando el inversor se para, la máquina sincrónica trabaja como generador, y la energía regenerada fluye al lado de suministro de energía a través de un diodo en el inversor, y como resultado, el vehículo de motor eléctrico realiza un funcionamiento de frenado en lugar de un funcionamiento por inercia.

30 Con el fin de impedir un fenómeno de este tipo, en la tecnología convencional, se dispone un contactor de carga entre una máquina sincrónica y un inversor, y durante el funcionamiento por inercia, el contactor de carga dispuesto entre la máquina sincrónica y el inversor se abre (estado apagado) y la línea de suministro de energía es bloqueada para impedir que la energía regenerada de la máquina sincrónica fluya al inversor.

35 Adicionalmente, en el momento de la reactivación, es decir, al cambiar desde el funcionamiento por inercia al funcionamiento de marcha con alimentación, con el fin de impedir un flujo innecesario de energía regenerada al inversor y los consecuentes daños de elementos de conmutación del inversor, el convertidor es controlado antes de que el contactor de carga sea encendido de modo que la tensión de un circuito de lado de corriente continua del inversor es potenciada para que sea igual o mayor que el valor pico de la tensión inducida entre terminales de la máquina sincrónica, y entonces el contactor de carga se enciende (p. ej., véase el documento de patente 1 enumerado a continuación).

40 **Lista de citas**

Documentos de patente

- Documento de patente 1 solicitud de patente japonesa abierta a la inspección pública JP-A-2007-28852 (página 68, figura 63)
- 45 Documento de patente 2 EP 1 950 878 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 30 de julio de 2008 (2008-07-30) se considera la técnica anterior más cercana y describe un dispositivo de conversión de potencia según el preámbulo de la reivindicación 1.

Descripción de la invención

Problemas a resolver por la invención

50 En dispositivos de conversión de potencia convencionales, en el momento de cambiar de un funcionamiento de marcha con alimentación o funcionamiento regenerativo a un funcionamiento por inercia, un contactor de carga, que está conectado entre la máquina sincrónica y el inversor, bloquea un recorrido entre los mismos. Adicionalmente, en

el momento de reactivación, esto es, al cambiar del funcionamiento por inercia al funcionamiento de marcha con alimentación o funcionamiento regenerativo, se enciende el contactor de carga conectado entre la máquina sincrónica y el inversor.

5 Por lo tanto, convencionalmente, cuando ocurre frecuentemente el cambio entre los modos de funcionamiento, esto es, el cambio desde el funcionamiento de marcha con alimentación o funcionamiento regenerativo al funcionamiento por inercia, y el cambio desde el funcionamiento por inercia al funcionamiento de marchar con alimentación o funcionamiento regenerativo, el número de veces de operaciones de apertura/cierre del contactor de carga aumenta en consecuencia, con el resultado de acortar la vida de trabajo del contactor de carga.

10 Adicionalmente, el contactor de carga dispuesto entre la máquina sincrónica y el inversor es de gran tamaño, dado que tiene que poder cortar una gran corriente. Este hecho impide la reducción de tamaño y la reducción de peso, y, adicionalmente, esto es costoso.

15 Adicionalmente, de manera convencional, en el momento de cambiar desde el funcionamiento por inercia al funcionamiento de marcha con alimentación, con el fin de impedir que fluya corriente desde la máquina sincrónica al inversor, la tensión del circuito de lado de corriente continua del inversor tiene que ser potenciada suficientemente antes de la activación del inversor, lo que provoca un problema de aumento de un retardo entre cuando se da una orden de inicio de funcionamiento al inversor y cuando el inversor se reactiva realmente.

20 La presente invención se ha hecho para resolver los problemas anteriores, y se dirige para proporcionar un dispositivo de conversión de potencia que no requiere un contactor de carga convencionalmente dispuesto entre la máquina sincrónica y el inversor, y que facilita reducción de tamaño, reducción de peso y reducción de coste incluso cuando el modo de funcionamiento cambia frecuentemente.

Solución a los problemas

La presente invención proporciona un dispositivo de conversión de potencia según la reivindicación independiente 1. Realizaciones adicionales de la invención se realizan según las reivindicaciones dependientes correspondientes.

Efecto de la invención

25 Según el dispositivo de conversión de potencia de la presente invención, incluso en el caso de cambio frecuente entre los modos de funcionamiento, tales como cambiar desde el funcionamiento de marcha con alimentación o funcionamiento regenerativo al funcionamiento por inercia, y cambiar desde el funcionamiento por inercia al funcionamiento de marcha con alimentación o funcionamiento regenerativo, es posible impedir de manera fiable un flujo hacia atrás innecesario de energía eléctrica desde la máquina sincrónica al lado de suministro de energía, y también es posible impedir la generación de par de frenado innecesario.

30 Por lo tanto, se puede eliminar un contactor de carga que convencionalmente se ha dispuesto entre una máquina sincrónica y un segundo convertidor de potencia, y se pueden lograr efectos significativos de reducción de tamaño, reducción de peso y reducción de coste del dispositivo de conversión de potencia.

Breve descripción de los dibujos

35 La figura 1 es un diagrama de configuración que ilustra un dispositivo de conversión de potencia según la realización 1 de la presente invención.

La figura 2 es un diagrama de configuración que ilustra en detalle medios de cálculo de orden de tensión del dispositivo de conversión de potencia.

40 La figura 3 es una gráfica de temporización para ilustrar un funcionamiento según la realización 1 de la presente invención.

La figura 4 es un diagrama característico que muestra un resultado de simulación para comprobar un funcionamiento del dispositivo de conversión de potencia según la realización 1 de la presente invención.

La figura 5 es un diagrama de configuración que ilustra un dispositivo de conversión de potencia según la realización 2 de la presente invención.

45 La figura 6 es un diagrama de configuración que ilustra un dispositivo de conversión de potencia según la realización 3 de la presente invención.

La figura 7 es un diagrama que muestra la relación de órdenes de tensión trifásica de un modo de tres impulsos sincrónicos, una frecuencia de portador y una tensión de línea en la realización 3 de la presente invención.

50 La figura 8 es un diagrama de configuración que ilustra un dispositivo de conversión de potencia según la realización 4 de la presente invención.

La figura 9 es un diagrama de configuración que ilustra un dispositivo de conversión de potencia según la realización 5 de la presente invención.

La figura 10 es un diagrama que muestra la relación entre un sistema de coordenadas de CA trifásica y un sistema de coordenadas de CA bifásica.

5 La figura 11 es un diagrama de configuración que ilustra en detalle medios de cálculo de orden de tensión según la realización 5 de la presente invención.

La figura 12 es un diagrama de configuración que ilustra un dispositivo de conversión de potencia según la realización 6 de la presente invención.

10 La figura 13 es una gráfica de temporización para ilustrar un funcionamiento según la realización 6 de la presente invención.

La figura 14 es una gráfica de temporización para ilustrar un funcionamiento según la realización 6 de la presente invención.

Mejor manera de llevar a cabo la invención

Realización 1

15 La figura 1 es un diagrama de configuración que ilustra un dispositivo de conversión de potencia según la realización 1 de la presente invención.

El dispositivo de conversión de potencia según esta realización incluye: un convertidor tipo CC/CC 2 que es un primer convertidor de potencia para obtener una tensión de CC de un valor de tensión predeterminado desde un suministro de energía de CC 1; un condensador 3 que se conecta al convertidor 2 en su lado de salida y se usa para almacenamiento de energía; un inversor 4 que es un segundo convertidor de potencia para convertir la tensión de CC del condensador 3 en una tensión de CA para sacar de ese modo la tensión de CA a una máquina sincrónica 5; medios de detección de información de rotación 6 que detectan información de rotación (en este caso, velocidad rotacional ω) de la máquina sincrónica 5; medios de detección de tensión de CC 8 que detectan una tensión de suministro de CC Vdc del suministro de energía de CC 1; y medios de control 7 que controlan el convertidor 2 y el inversor 4, sobre la base de la velocidad rotacional de la máquina sincrónica 5 detectada por los medios de detección de información de rotación 6 y de la tensión de suministro de CC Vdc detectada por los medios de detección de tensión de CC 8.

El convertidor descrito anteriormente 2 es un circuito interruptor periódico potenciador, e incluye: primeros medios de conmutación 21 que están constituidos por una conexión inversa en paralelo de un elemento de conmutación Q1 tal como un IGBT, y un diodo D1; y segundos medios de conmutación 22 que están constituidos por una conexión inversa en paralelo de un elemento de conmutación Q2 tal como un IGBT, y un diodo D2; y un reactor 23.

Además, la máquina sincrónica 5 es una máquina sincrónica tipo imán permanente (más adelante en esta memoria simplemente se le hace referencia como máquina sincrónica) que crea un campo magnético por medio de un imán permanente fijado a un rotor.

35 Los medios de control descritos anteriormente 7 están constituidos, por ejemplo, por un microordenador, y están provistos, al instalar un programa de cálculo predeterminado, con medios de cálculo de orden de tensión 71, medios de control de tensión 72, medios de cálculo de orden de corriente en eje d 73, medios de cálculo de orden de tensión en eje dq 74, medios de integración 75, medios de cálculo de orden de tensión trifásica 76, y medios de cálculo de impulso de compuerta 77.

40 Los medios de cálculo de orden de tensión 71 de los medios de control 7 calculan y sacan una orden de tensión de carga V_c^* para controlar la tensión de carga V_c del condensador 3, y una orden de tensión (V_m^*/ω^2) para controlar una tensión (en este caso, un valor pico de tensión de línea) V_m generada por la máquina sincrónica 5, basándose en la velocidad rotacional ω de la máquina sincrónica 5 detectada por los medios de detección de información de rotación 6.

45 Los medios de control de tensión 72 controlan el convertidor 2 sobre la base de la orden de tensión de carga V_c^* sacada por los medios de cálculo de orden de tensión 71 y de la tensión de suministro de CC Vdc detectada por los medios de detección de tensión de CC 8.

Los medios de cálculo de orden de corriente en eje d 73 calculan y sacan una orden de corriente en eje d i_d^* , sobre la base de la orden de tensión (V_m^*/ω^2) dada desde los medios de cálculo de orden de tensión 71 y de la velocidad rotacional ω de la máquina sincrónica 5.

50 Los medios de cálculo de orden de tensión en eje dq 74 calculan y sacan una orden de tensión en eje d v_d^* y una orden de tensión en eje q v_q^* , sobre la base de la orden de corriente en eje d i_d^* dada desde los medios de cálculo de orden de corriente en eje d 73 y de la orden de corriente en eje-q i_q^* , respectivamente.

Los medios de integración 75 calculan y sacan una fase θ al integrar la velocidad rotacional ω detectada por los medios de detección de información de rotación 6. Los medios de cálculo de orden de tensión trifásica 76 calculan y sacan órdenes de tensión trifásica Vu^* , Vv^* y Vw^* , sobre la base de la orden de tensión en eje d vd^* y la orden de tensión en eje q vq^* dada desde los medios de cálculo de orden de tensión en eje dq 74, y de la fase θ .

- 5 Los medios de cálculo de impulso de compuerta 77 calculan y sacan señales de impulso de compuerta Gu , Gv , Gw , Gx , Gy , Gz para controlar elementos de conmutación del inversor 4, sobre la base de las órdenes de tensión trifásica Vu^* , Vv^* y Vw^* dadas desde los medios de cálculo de orden de tensión trifásica 76.

La figura 2 es un diagrama de configuración que ilustra en detalle los medios de cálculo de orden de tensión 71.

- 10 Los medios de cálculo de orden de tensión 71 incluyen una tabla de cálculo de incremento de tensión de condensador 711, una tabla de cálculo de orden de valor pico de tensión de línea 712, un sumador 713, medios limitadores 714, un multiplicador 715, medios de prevención de división por cero 716, y un divisor 717.

Cabe señalar que la configuración y el funcionamiento de los medios de control 7 que incluyen los medios de cálculo de orden de tensión 71 se describirán más adelante en detalle.

A continuación, se describirá el principio del control de campo débil para la máquina sincrónica 5 en la realización 1.

- 15 La ecuación de tensión representada en las coordenadas dq en la máquina sincrónica 5, y el par T se calculan a partir de las Expresiones (1) y (2) definidas a continuación.

Expresión 1

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + pL_d & -\omega L_q \\ \omega L_d & R + pL_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \cdot \phi_a \end{bmatrix} \quad (1)$$

- 20 Expresión 2

$$T = P_n \cdot \phi_a \cdot i_q + P_n \cdot (L_d - L_q) \cdot i_d \cdot i_q \quad (2)$$

- 25 Aquí, i_d e i_q representan respectivamente componentes en eje d y eje q de una corriente de armadura; v_d y v_q representan respectivamente componentes en eje d y eje q de una tensión de armadura; $\phi_a = \sqrt{\frac{3}{2}} \phi_f$; ϕ_f representa un valor máximo de un vínculo de flujo de armadura provocado por el imán permanente; R representa una resistencia de armadura; L_d y L_q representan respectivamente inductancias en eje d y eje q; $p = d/dt$; P_n representa el número de parejas de polos; y ω representa una velocidad rotacional (velocidad angular eléctrica).

- 30 En una región de alta velocidad, cuando el inversor 4 se va a reactivar para cambiar de un funcionamiento por inercia a un funcionamiento en marcha con alimentación, el control de campo débil se tiene que realizar inmediatamente después de que el inversor 4 se haya reactivado. Esto es, la tensión inducida de la máquina sincrónica 5 es una función de la velocidad rotacional ω , y aumenta en proporción a la velocidad rotacional ω .

- 35 Por consiguiente, durante una marcha a alta velocidad, se genera una tensión inducida que supera la tensión de suministro. Por lo tanto, cuando el inversor 4 se va a reactivar, en particular en el caso de estar en una región de alta velocidad, se tiene que realizar el control de campo débil, que utiliza desmagnetización provocada por la reacción de armadura en eje d, para impedir un flujo hacia atrás de la energía regenerada desde la máquina sincrónica 5 al inversor 4.

- 40 Una tensión de terminal $|V_m|$ suministrada a la máquina sincrónica 5 se representa como $|V_m| = \sqrt{v_d^2 + v_q^2}$. En este caso, $|V_m|$ corresponde al valor pico de tensión de línea. Cuando la tensión de carga del condensador 3 en el lado de entrada del inversor 4 es V_c , con el fin de impedir que fluya una corriente desde la máquina sincrónica 5 al inversor 4 en el momento de reactivar el inversor 4, el valor pico de tensión de línea V_m se restringe para que satisfaga la Expresión (3) siguiente, en la que la tensión de carga del condensador 3 es V_c .

Expresión 3

$$|V_m| = \sqrt{v_d^2 + v_q^2} \leq \frac{V_c}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

Por consiguiente, a continuación se calcula el valor de la corriente en eje d i_d para satisfacer la condición de restricción de tensión de la Expresión (3) descrita anteriormente. Para este propósito, en primer lugar, si se simplifica la Expresión (3), se obtendrá la Expresión 4 como se describe a continuación.

5 Expresión 4

$$\sqrt{v_{d0}^2 + v_{q0}^2} \leq \frac{V_c}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

Aquí, v_{d0} y v_{q0} son valores que ignoran términos diferenciales.

10 A continuación, cuando se realiza el control de campo débil en el momento de reactivar el inversor 4, la máquina sincrónica 5 está en una región de alta velocidad, y así se considera que ωL es suficientemente grande. Cuando se ignora la cantidad de caída en la resistencia de armadura, la Expresión (1) se puede simplificar a la Expresión (5) siguiente.

Expresión 5

$$\begin{bmatrix} v_{d0} \\ v_{q0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega L_q \\ \omega L_d & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \cdot \phi_a \end{bmatrix} \quad (5)$$

15

Sobre la base de las Expresiones (4) y (5) descritas anteriormente, la condición de la corriente en eje d para control de campo débil se expresa mediante la Expresión (6) siguiente.

Expresión 6

$$i_d = -\frac{\phi_a}{L_d} + \frac{1}{L_d} \sqrt{\left(\frac{V_c / \sqrt{2}}{\omega^2}\right)^2 - (L_d \cdot i_q)^2} \quad (6)$$

20

Con el fin de impedir la generación de par para no provocar una descarga eléctrica innecesaria a un vehículo o algo semejante en el momento de reactivar el inversor 4, el par $T = 0$ se tiene que satisfacer en la Expresión (2). Para ese caso, se tiene que satisfacer $i_q = 0$, y así cuando $i_q = 0$ se asigna en la Expresión (6), se obtendrá la Expresión (7) como se describe a continuación.

25 Expresión 7

$$i_d = -\frac{\phi_a}{L_d} + \frac{1}{L_d} \frac{V_c / \sqrt{2}}{\omega^2} \quad (7)$$

30

Si se determina la corriente en eje d i_d para control de campo débil para que satisfaga esta Expresión (7), es posible satisfacer la condición de restricción de tensión en el valor pico de tensión de línea V_m mostrado en la Expresión (3), y también es posible impedir la generación de par ($T = 0$) en el momento de reactivar el inversor 4.

Como está claro a partir de la Expresión (7), L_d representa una inductancia en eje d, ϕ_f representa un valor máximo del vínculo de flujo de armadura provocado por el imán permanente, y ambos son valores constantes determinados dependiendo de las características de la máquina sincrónica. Así, la corriente en eje d i_d en la Expresión (7) es una función de la tensión de carga V_c del condensador 3 y de la velocidad rotacional ω de la máquina sincrónica 5. Por

consiguiente, cuando la tensión de carga V_c del condensador 3 y la velocidad rotacional ω de la máquina sincrónica 5 se dan en la Expresión (7), es posible obtener una corriente en eje d i_d que puede controlar el valor pico de tensión de línea V_m para que sea menor o igual que la tensión de carga V_c del condensador 3 ($V_m \leq V_c$), y que es necesaria para impedir la generación de par.

- 5 Mientras tanto, en el caso en el que se realiza el control de campo débil para la máquina sincrónica 5 en el momento de reactivar el inversor 4, la condición de frontera necesaria para impedir que fluya una corriente desde la máquina sincrónica 5 al inversor 4 es que el valor pico de tensión de línea V_m sea igual al valor efectivo de la tensión de carga ($V_c/\sqrt{2}$) del condensador 3.

- 10 Así, en la Expresión (7), si se usa una orden de valor pico de tensión de línea V_m^* (más adelante en esta memoria, la adición de * indica un valor de orden) en lugar del valor efectivo de la tensión de carga ($V_c/\sqrt{2}$) del condensador 3, y si se da información de la velocidad rotacional ω , es posible calcular la orden de corriente en eje d i_d^* que puede impedir que fluya una corriente desde la máquina sincrónica 5 al inversor 4, y que satisfaga la condición necesaria para impedir la generación de par ($T = 0$).

- 15 Por consiguiente, cuando la orden de tensión de carga V_c^* al condensador 3 se establece más alta en un incremento constante ΔV_c^* que la orden de valor pico de tensión de línea V_m^* en un estado crítico que satisface la Expresión (7) ($V_c^* = V_m^* + \Delta V_c^*$), $V_m^* \leq V_c^*$ se satisface constantemente, y por consiguiente es posible impedir de manera fiable que fluya una corriente desde la máquina sincrónica 5 al inversor 4 en el momento de reactivar el inversor 4.

- 20 Así, en esta realización 1, la velocidad rotacional ω , la orden de valor pico de tensión de línea V_m^* y la orden de tensión de carga V_c^* se obtienen de la siguiente manera.

Primero, la velocidad rotacional ω de la máquina sincrónica 5 es detectada por los medios de detección de información de rotación 6. La velocidad rotacional ω detectada se introduce a los medios de cálculo de orden de tensión 71 y a los medios de integración 75 de los medios de control 7.

- 25 Como se ilustra en la figura 2, la tabla de cálculo de incremento de tensión de condensador 711 de los medios de cálculo de orden de tensión 71 tabula la relación del incremento de tensión ΔV_c^* (eje vertical) respecto a la velocidad rotacional ω (eje horizontal). En este caso, cuando la velocidad rotacional ω va de cero a ω_1 , el incremento de tensión se establece a cero, y cuando la velocidad rotacional ω es ω_1 , el incremento de tensión se establece a ΔV_1 .

- 30 ΔV_1 se establece considerando una tensión de encendido basándose en una resistencia de encendido de cada uno de los elementos de conmutación incluidos en el inversor 4, con el fin de establecer la tensión de carga V_c del condensador 3 para que sea constantemente más alta que el valor pico de tensión de línea V_m de la máquina sincrónica 6 para impedir un flujo hacia atrás de la energía regenerada.

- 35 Esto es, normalmente, cada elemento de conmutación incluido en el inversor 4 se selecciona y diseña sobre la base de la tensión de suministro de CC V_{dc} , y en ese momento, los inventores de la presente invención han encontrado que la tensión de encendido sobre la base de la resistencia de encendido de cada elemento de conmutación del inversor 4 es un 1 % o más y un 5 % o menos de la tensión V_{dc} del suministro de energía de CC.

Por lo tanto, la ΔV_1 se establece para que sea un 1 % o más y un 5 % o menos de la tensión V_{dc} del suministro de energía de CC. Adicionalmente, ΔV_2 se establece de modo que el gradiente entre ω_1 y ω_2 sea igual que el gradiente entre ω_1 y ω_2 en la tabla de cálculo de orden de valor pico de tensión de línea 712.

- 40 Para una velocidad que sea igual o mayor que ω_2 , ΔV_2 se establece para que sea un valor constante dado que el establecimiento es innecesario para un valor mayor que ω_2 en términos de prestaciones de la máquina sincrónica 5.

Adicionalmente, la tabla de cálculo de orden de valor pico de tensión de línea 712 tabula la relación de la orden de valor pico de tensión de línea V_m^* (eje vertical) a la máquina sincrónica 5 respecto a la velocidad rotacional ω (eje horizontal). En este caso, cuando la velocidad rotacional ω va de cero a ω_1 , la orden de valor pico de tensión de línea se establece a V_{m1} . Aquí, V_{m1} tiene el mismo valor que la tensión de suministro de CC V_{dc} .

- 45 Adicionalmente, cuando la velocidad rotacional ω es ω_2 o más, la orden de valor pico de tensión de línea se establece a V_{m2} . La V_{m2} se establece para que sea el mismo valor que la tensión inducida en el momento que la máquina sincrónica 5 está a la velocidad máxima. El gradiente entre ω_1 y ω_2 se establece para que cambie linealmente desde ΔV_{m1} a ΔV_{m2} .

- 50 Por lo tanto, cuando la velocidad rotacional es ω_1 o más, la tensión inducida generada por la máquina sincrónica 5 será igual o mayor que tensión de suministro de CC V_{dc} . Para una velocidad igual o mayor que ω_2 , V_{m2} se establece para que sea un valor constante ya que el establecimiento es innecesario desde el punto de vista de las prestaciones de la máquina sincrónica 5.

El sumador 713 añade el incremento de tensión ΔV_c^* sacado de la tabla de cálculo de incremento de tensión de condensador 711 y el valor pico de tensión de línea V_m^* sacado de la tabla de cálculo de orden de valor pico de

tensión de línea 712, que se basan en la velocidad rotacional ω de la máquina sincrónica 5 detectada por los medios de detección de información de rotación 6, y saca el valor añadido V_{c1}^* . Esto es, $V_{c1}^* = V_{m^*} + \Delta V_c$.

A continuación, los medios limitadores 714 tienen una función de impedir que el valor V_{c1}^* calculado por el sumador 713 sea inesperadamente menor o mayor. Esto es, los medios limitadores 714 procesan la señal V_{c1}^* de la siguiente manera y sacan la orden de tensión de carga V_c^* .

Ecuación 8

$$\begin{aligned} V_{c1}^* < V_{min} & : V_c^* = V_{min} \\ V_{min} \leq V_{c1}^* \leq V_{max} & : V_c^* = V_{c1}^* (= V_{m^*} + \Delta V_c) \\ V_{c1}^* > V_{max} & : V_c^* = V_{max} \end{aligned} \quad (8)$$

Cabe señalar que V_{min} se establece para que sea el mismo valor que el valor de tensión de CC mínima que permite impulsar el inversor 4, y V_{max} se establece para que sea igual que un valor establecido para proteger el inversor 4 contra sobretensión. De esta manera, los medios limitadores 714 sacan la orden de tensión de carga V_c^* al condensador 3.

Adicionalmente, la velocidad rotacional ω de la máquina sincrónica 5 detectada por los medios de detección de información de rotación 6 se pone al cuadrado por el multiplicador 715, y se saca ω^2 . El divisor 717 divide, por ω^2 , la orden de valor pico de tensión de línea V_{m^*} sacada de la tabla de cálculo de orden de valor pico de tensión de línea 712.

En ese momento, los medios de prevención de división por cero 716 en la etapa anterior al divisor 717 realizan el siguiente procesamiento con el fin de impedir la división por cero. Esto es, cuando ω^2 es cero, los medios de prevención de división por cero 716 sacan un valor pequeño tal como 0,0001, en lugar de cero. Por consiguiente, se puede impedir la división por cero.

El divisor 717 saca (V_{m^*}/ω^2) , y la salida se da a los medios de cálculo de orden de corriente en eje d 73 en la etapa subsiguiente. El valor de (V_{m^*}/ω^2) se usa para el cálculo de la orden de corriente en eje d i_d^* basándose en la Expresión (9) siguiente.

Los medios de control de tensión 72 reciben la orden de tensión de carga V_c^* de los medios de cálculo de orden de tensión 71 y también reciben la tensión de suministro de CC V_{dc} detectada por los medios de detección de tensión de CC 8. Los medios de control de tensión 72 comparan ambas V_c^* y V_{dc} , y sobre la base del resultado de comparación, sacan señales de conmutación S1 y S2, respectivamente, a los medios de conmutación primero y segundo 21 y 22 del convertidor 2, controlando de ese modo la operación de conmutación. El funcionamiento de este caso se describirá más adelante más en detalle con referencia a la gráfica de temporización mostrada en la figura 3.

Mientras tanto, los medios de cálculo de orden de corriente en eje d 73 reciben (V_{m^*}/ω^2) de los medios de cálculo de orden de tensión 71, y calculan la orden de corriente en eje d i_d^* , usando la Expresión (9) siguiente.

Expresión 9

$$i_d^* = - \frac{\phi_a}{L_d} + \frac{I}{L_d} \left(\frac{V_{m^*}}{\omega^2} \right) \quad (9).$$

Aquí, L_d representa una inductancia en eje d, $\phi_a = V\{(3/2)\phi_f\}$, y ϕ_f representa un valor máximo del vínculo de flujo de armadura provocado por el imán permanente.

Como se describe con referencia a la Expresión (7), la Expresión (9) usa la orden de valor pico de tensión de línea V_{m^*} en lugar del valor efectivo ($V_c/\sqrt{2}$) de la tensión de carga del condensador 3, y de ese modo calcular la orden de corriente en eje d i_d^* que impide que fluya una corriente desde la máquina sincrónica 5 al inversor 4, y que satisface la condición necesaria para impedir la generación de par ($T = 0$).

A continuación, los medios de cálculo de orden de tensión en eje dq 74 calculan la orden de tensión en eje d v_d^* y la orden de tensión en eje q v_q^* , sobre la base de la Expresión (10) siguiente, mientras usan la orden de corriente en

eje d i_d^* calculada por los medios de cálculo de orden de corriente en eje d 73 y la orden de corriente en eje-q $i_q^* = 0$.

Expresión 10

$$\begin{bmatrix} v_d^* \\ v_q^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R^* & -\omega \cdot L_q^* \\ \omega \cdot L_d^* & R^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d^* \\ i_q^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \cdot \phi_a^* \end{bmatrix} \quad (10)$$

5 En esta Expresión (10), como la orden de corriente en eje q i_q^* se establece a cero, como está claro a partir de la Expresión (2) descrita anteriormente, es posible impedir la generación de un par innecesario en el momento de reactivar el inversor 4. La orden de tensión en eje d v_d^* y la orden de tensión en eje q v_q^* que son calculadas por los medios de cálculo de orden de tensión en eje dq 74 se dan a los medios de cálculo de orden de tensión trifásica 76 en la etapa subsiguiente.

10 Como se conoce generalmente, cuando se van a transformar tensiones trifásicas o corrientes trifásicas a un sistema de coordenadas de dos ejes ortogonales rotatorios, se requiere una fase θ de los ejes de coordenadas de control. Así, los medios de integración 75 calculan la fase θ de los ejes de coordenadas de control en coordenadas de dos ejes rotatorios, basándose en la velocidad rotacional ω , usando la Expresión (11) siguiente.

15 Expresión 11

$$\theta = \int \omega \cdot dt \quad (11)$$

20 A continuación, los medios de cálculo de orden de tensión trifásica 76 calculan una fase de tensión θ_v de las órdenes de tensión trifásica, basándose en la orden de tensión en eje d v_d^* y en la orden de tensión en eje q v_q^* que son dadas por los medios de cálculo de orden de tensión en eje dq 74, y en la fase θ dada por los medios de integración 75, usando la Expresión (12) siguiente.

Expresión 12

$$\theta_v = \theta + \tan^{-1} \left(\frac{v_q^*}{v_d^*} \right) \quad (12)$$

25 Adicionalmente, los medios de cálculo de orden de tensión trifásica 76 calculan un factor de modulación, usando la Expresión (13) siguiente.

Expresión 13

$$PMF = \frac{\sqrt{(v_d^*)^2 + (v_q^*)^2}}{\frac{\sqrt{6}}{\pi} V_c^*} \quad (13)$$

30 A continuación, los medios de cálculo de orden de tensión trifásica 76 calculan las órdenes de tensión trifásica V_u^* , V_v^* y V_w^* , usando las Expresiones (11), (12) y (13) descritas anteriormente y usando la Expresión (14) siguiente.

Expresión 14

$$\begin{bmatrix} V_u^* \\ V_v^* \\ V_w^* \end{bmatrix} = PMF \times \begin{bmatrix} \cos \theta_v \\ \cos(\theta_v - \frac{2}{3}\pi) \\ \cos(\theta_v - \frac{4}{3}\pi) \end{bmatrix} \quad (14)$$

5 Las órdenes de tensión trifásica V_u^* , V_v^* y V_w^* calculadas por los medios de cálculo de orden de tensión trifásica 76 se introducen a los medios de cálculo de impulso de compuerta 77. Los medios de cálculo de impulso de compuerta 77 generan impulsos de compuerta G_u a G_z , sobre la base de las órdenes de tensión trifásica V_u^* , V_v^* y V_w^* para controlar de ese modo los elementos de conmutación del inversor 4 usando control PWM (modulación de ancho de pulsos).

10 A continuación, como para el funcionamiento de control entero del dispositivo de conversión de potencia que tiene la configuración descrita anteriormente, se describirá un caso de cambiar desde el funcionamiento de marcha con alimentación al funcionamiento por inercia y entonces cambiar desde el funcionamiento por inercia al funcionamiento de marcha con alimentación con referencia a la gráfica de temporización mostrada en la figura 3.

15 Cuando está en curso el funcionamiento de marcha con alimentación, tal como aceleración de un vehículo, los medios de control 7 establecen la orden de tensión de carga V_c^* para el condensador 3 para que sea sustancialmente igual que la tensión de suministro de CC V_{dc} .

Así, la señal de conmutación S_1 no se saca de los medios de control de tensión 72 al convertidor 2, y los primeros medios de conmutación 21 se apagan. Por otro lado, se saca la señal de conmutación S_2 , y los segundos medios de conmutación 22 se encienden.

20 Por consiguiente, se suministra energía de CC desde el suministro de energía de CC 1 al inversor 4 por medio del convertidor 2, y el inversor 4 convierte la energía de CC en energía de CA que tiene una frecuencia predeterminada para suministrar de ese modo la energía de CA a la máquina síncrona 5.

25 En este momento, como los primeros medios de conmutación 21 no están encendidos, la tensión de carga V_c del condensador 3 es sustancialmente igual que la tensión de suministro de CC V_{dc} . Adicionalmente, debido al control de campo débil basado en la Expresión descrita anteriormente (10) realizado por los medios de control 7, el valor pico de tensión de línea V_m de la máquina síncrona 5 es menor que la tensión de carga V_c del condensador 3.

A continuación, cuando el funcionamiento en marcha con alimentación se cambia al funcionamiento por inercia en el momento t_1 , se apaga una orden de funcionamiento. En ese momento, la orden de tensión de carga V_c^* al condensador 3 desde el circuito de control 7 es mayor que la tensión de suministro de CC V_{dc} .

30 En este caso, es necesario aumentar la tensión de carga V_c del condensador 3. Así, los medios de control de tensión 72 paran la salida de la señal de conmutación S_2 al convertidor 2, y los segundos medios de conmutación 22 se apagan.

35 Los medios de control de tensión 72, por otro lado, sacan la señal de conmutación S_1 , y se realiza la operación de conmutación para conmutación en los primeros medios de conmutación 21. Debido a la operación de conmutación para los primeros medios de conmutación 21, el condensador 3 se carga, y en un momento t_2 , la tensión del condensador 3 es potenciada a un valor predeterminado correspondiente a la orden de tensión de carga V_c^* .

Durante el periodo T_a entre el momento t_1 y el momento t_2 , la máquina síncrona 5 está sometida continuamente al control de campo débil por los medios de control 7, sobre la base de la Expresión (10), y así, el valor pico de tensión de línea V_m no cambia y mantiene el mismo valor que en el momento del funcionamiento de marcha con alimentación.

40 En el momento t_2 , la tensión de carga del condensador 3 es potenciada a un valor correspondiente a la orden de tensión de carga V_c^* , y así se para el funcionamiento del inversor 4. Por consiguiente, la máquina síncrona 5 ya no está sometida al control de campo débil, y así el valor pico de tensión de línea V_m es una tensión inducida determinada dependiendo de la velocidad rotacional ω de la máquina síncrona 5.

45 Adicionalmente, durante un periodo T_b entre el momento t_2 y el momento t_3 , los medios de control de tensión 72 paran la salida de la señal de conmutación S_2 al convertidor 2, pero sacan la señal de conmutación S_1 . Por

consiguiente, en el convertidor 2, los primeros medios de conmutación 21 continúan para encenderse mientras los segundos medios de conmutación 22 están en estado apagado.

5 Así, durante el periodo T_b , la tensión de carga V_c del condensador 3 se mantiene en un valor igual o mayor que la tensión inducida V_m generada por la máquina sincrónica 5. Esto es, la tensión de carga V_c del condensador 3 se establece mayor que la tensión inducida V_m generada por la máquina sincrónica 5, en una cantidad correspondiente al incremento de tensión ΔV_c^* calculado por los medios de cálculo de orden de tensión 71 de los medios de control 7.

10 Por consiguiente, es posible impedir que fluya una corriente desde la máquina sincrónica 5 al inversor 4 durante el funcionamiento por inercia, y como resultado, es posible impedir la generación de un par de frenado innecesario durante el funcionamiento por inercia.

Cuando el funcionamiento por inercia se cambia al funcionamiento de marcha con alimentación en el momento t_3 , los medios de control 7 reactivan el inversor 4 en consecuencia. Los medios de control 7 realizan entonces el control de campo débil sobre la base de la Expresión (10) descrita anteriormente para el inversor 4, y así el valor pico de tensión de línea V_m de la máquina sincrónica 5 baja al nivel antes del momento t_2 .

15 Por otro lado, durante un periodo T_c entre el momento t_3 y el momento t_4 , debido al control por parte de los medios de control de tensión 72, los primeros medios de conmutación 21 continúan para encenderse mientras los segundos medios de conmutación 22 están en estado apagado en el convertidor 2. Así, la tensión de carga V_c del condensador 3 se mantiene en un valor igual al valor durante el periodo T_b del funcionamiento por inercia.

20 En un momento t_4 después de que ha pasado un tiempo predeterminado T_c desde que se introdujo una orden de funcionamiento, la orden de tensión de carga V_c^* al condensador 3 se establece sustancialmente igual a la tensión de suministro de CC V_{dc} .

25 En este momento, no es necesario que los medios de control de tensión 72 carguen el condensador 3 para potenciar la tensión de carga V_c , y así los primeros medios de conmutación 21 en el convertidor 2 se apagan, y los segundos medios de conmutación 22 se encienden. Por consiguiente, la carga del condensador 3 se para y la tensión de carga V_c baja gradualmente.

A continuación, en un momento t_5 , la tensión de carga V_c del condensador 3 se vuelve sustancialmente igual a la tensión de suministro de CC V_{dc} . Sin embargo, el valor pico de tensión de línea V_m de la máquina sincrónica 5 es menor que la tensión de carga V_c del condensador 3 debido al control de campo débil por parte de los medios de control 7.

30 Por lo tanto, incluso si el funcionamiento por inercia se cambia al funcionamiento de marcha con alimentación debido a la orden de funcionamiento dada en el momento t_3 , es posible impedir que fluya una corriente desde la máquina sincrónica 5 al inversor 4, y también es posible impedir de manera fiable la aparición de fallos tales como daños en los elementos de conmutación del inversor 4.

35 Adicionalmente, en el momento de reactivar el inversor 4, no es necesario que la tensión de carga V_c del condensador 3 sea potenciada de nuevo, a diferencia de las técnicas convencionales. Así, no se provoca retardo entre el momento en que se da una orden de funcionamiento al inversor 4 y el momento en que el inversor 4 se reactiva realmente, lo que indica una buena capacidad de respuesta.

40 Como se ha descrito anteriormente, en la realización 1, los medios de control 7 controlan el convertidor 2 durante el funcionamiento por inercia de manera que la tensión de carga V_c del condensador 3 es igual o mayor que la tensión V_m generada por la máquina sincrónica 5.

45 Adicionalmente, los medios de control 7 controlan el convertidor 2 y el inversor 4 también en la reactivación del inversor 4 desde el funcionamiento por inercia, de manera que la tensión de carga V_c del condensador 3 se mantiene constantemente en un valor igual o mayor que el valor pico de tensión de línea V_m de la máquina sincrónica 5. Por consiguiente, incluso en el caso de cambio frecuente entre los modos de funcionamiento, tales como cambiar desde el funcionamiento de marcha con alimentación o funcionamiento regenerativo al funcionamiento por inercia, y cambiar desde el funcionamiento por inercia al funcionamiento de marcha con alimentación o funcionamiento regenerativo, es posible impedir de manera fiable un flujo hacia atrás innecesario de energía eléctrica desde la máquina sincrónica al lado de suministro de energía, y también es posible impedir la generación de par de frenado innecesario.

50 Por lo tanto, se puede eliminar un contactor de carga que convencionalmente se ha dispuesto entre la máquina sincrónica 5 y el inversor 4, y por consiguiente se puede mejorar la reducción de tamaño, la reducción de peso y la reducción de coste.

55 La figura 4 muestra resultados de simulación de reactivación, en un dispositivo de conversión de potencia que tiene una configuración descrita en la realización 1, desde un estado en el que una velocidad rotacional de un motor es 270 Hz, sobre la base de una constante de motor para vagones eléctricos.

5 Aquí, el eje vertical en la figura 4(a) representa una tensión de CC de condensador [V], el eje vertical en la figura 4(b) representa una tensión de línea [V], el eje vertical en la figura 4(c) representa una corriente de fase U [A], el eje vertical en la figura 4(d) representa un par generado [Nm], el eje vertical en la figura 4(e) representa corrientes d y q [A], y el eje vertical en la figura 4(f) representa un factor de modulación [%]. Los ejes horizontales en las figuras 4(a) a (f) representan el tiempo [s].

Según los resultados de la simulación mostrada en la figura 4, el inversor 4 se activó a 0,1 s en el eje horizontal (correspondiente al momento t3 en la figura 3).

10 La figura 4(a) muestra la tensión de condensador V_c . Desde 0 s a 0,3 s, los primeros medios de conmutación 21 del convertidor 2 estaban encendidos para mantener la tensión de carga V_c del condensador 3 a 3900 V. En 0,3 s (correspondiente al momento t4 en la figura 3), los primeros medios de conmutación 21 del convertidor 2 estaban apagados, y los segundos medios de conmutación 22 estaban encendidos, y por consiguiente, la tensión de carga V_c del condensador 3 bajó gradualmente a 3000 V, que era sustancialmente igual que la tensión V_{dc} del suministro de energía de CC 1.

15 La figura 4(b) muestra el valor pico de tensión de línea V_m de la máquina sincrónica 5. Desde 0 s a 0,1 s, el valor pico de tensión de línea V_m correspondía a una tensión inducida generada por la inducción de la fuerza electromotriz de la máquina sincrónica 5, y el valor pico de la forma de onda de tensión fue de aproximadamente 3850 V. En 0,1 s (correspondiente a el momento t3 en la figura 3), el inversor 4 se activó, e inmediatamente después de eso se inició el control de campo débil por parte de los medios de control 7.

20 Por consiguiente, el valor pico de tensión de línea V_m fue controlado en una tensión predeterminada, es decir, 3000 V. Además, la figura 4(d) muestra un par generado inmediatamente después de que se activara el inversor 4. Se confirmó que aunque temporalmente se generó un par en un periodo transitorio, el valor del mismo era sustancialmente cero.

25 Además, el tiempo (correspondiente al tiempo T_c en la figura 3) después de que se activó el inversor 4 hasta que se paró la operación de conmutación de los primeros medios de conmutación 21 del convertidor 2 está preferiblemente en un intervalo de 5 ms a 500 ms. Esto se basa en el siguiente hallazgo por parte de los inventores de la presente invención. Esto es, la razón para 5 ms se determina sobre la base de las prestaciones de control de la tensión de CC por parte del convertidor 2.

30 En otras palabras, se requieren al menos 5 ms de tiempo para que el convertidor 2 baje la tensión de CC. Adicionalmente, la razón para 500 ms es que al considerar las prestaciones y la vida de los elementos de conmutación incluidos en el inversor 4, un periodo de tiempo de la operación de conmutación tras potenciar la tensión de CC debe ser de 500 ms o menos.

Realización 2

35 La figura 5 es un diagrama de configuración que ilustra un dispositivo de conversión de potencia según la realización 2 de la presente invención, y se usan numerales de referencia comunes para componentes que corresponden a los de la Realización 1 mostrada en la figura 1.

40 En la Realización 2, se usa un suministro de energía de CA 1 como entrada, y por consiguiente, un convertidor 9 es un convertidor CA/CC que realiza control PWM (modulación de ancho de pulsos) para convertir una tensión de CA a una tensión de CC. Este convertidor 9 realiza control de retroalimentación sobre la base de una diferencia ΔV_c entre la tensión de carga V_c del condensador 3 y la orden de tensión de carga V_c^* al mismo, y así se proporcionan unos medios de detección de tensión de condensador 10 para detectar la tensión de carga V_c del condensador 3.

Adicionalmente, los medios de control 7 incluyen un sustractor 78 que sustrae la tensión de carga V_c detectada por los medios de detección de tensión de condensador 10 de la orden de tensión de carga V_c^* al condensador 3 calculada por los medios de cálculo de orden de tensión 71.

45 Además, en la realización 2, los medios de cálculo de orden de tensión en eje dq 74 de los medios de control 7 calculan la orden de tensión en eje d v_d^* y la orden de tensión en eje q v_q^* , sobre la base de la diferencia entre la orden de corriente en eje d i_d^* y un valor detectado de corriente en eje d i_d y la diferencia entre la orden de corriente en eje-q i_q^* y un valor detectado de corriente en eje-q i_q . Así, se proporcionan medios de detección de corriente 11a, 11b y 11c para detectar corrientes que fluyen a la máquina sincrónica 5.

50 Además, los medios de control 7 incluyen unos medios de conversión trifásica/dq 79 que realizan transformación de coordenadas desde corrientes de fase i_u , i_v e i_w , que han sido detectadas por los respectivos medios de detección de corriente 11a, y 11b y 11c, al valor detectado de corriente en eje d i_d y al valor detectado de corriente en eje-q i_q en dos ejes ortogonales rotatorios (d-q ejes) que tienen una fase θ .

55 Cabe señalar que, en la realización 2, como medios de detección de corriente 11a a 11c en el lado de CA, se usa un transformador de corriente o algo semejante para detectar corrientes que fluyen a través de líneas de conexión que conectan entre el inversor 4 y la máquina sincrónica 5.

Sin embargo, sin limitarse a esto, se pueden detectar corrientes de fase a partir de corrientes, tales como una corriente en bus, que fluyen dentro del inversor 4, por medio de un método generalmente conocido. Cabe señalar que como se satisface la relación de $i_u + i_v + i_w = 0$, se pueden detectar corrientes de dos fases, y entonces la corriente de la fase restante se puede calcular sobre la base de las corrientes detectadas de las dos fases.

- 5 Como las configuraciones restantes son iguales que las de la realización 1 mostrada en la figura 1, no se hará una descripción detallada adicional de las mismas.

En el dispositivo de conversión de potencia que tiene la configuración descrita anteriormente, la orden de tensión de carga V_c^* calculada por los medios de cálculo de orden de tensión 71 de la misma manera que la Realización 1, y el valor de la tensión de carga V_c del condensador 3 detectada por los medios de detección de tensión de condensador 10 se introducen al sustractor 78.

Por consiguiente, el sustractor 78 obtiene la diferencia entre V_c^* y V_c , e introduce un valor ΔV_c obtenido a través de la sustracción a los medios de control de tensión 72. Los medios de control de tensión 72 controlan el convertidor 9 de modo que la tensión de carga V_c del condensador 3 corresponda a la orden de tensión de carga V_c^* . Por consiguiente, la tensión de carga V_c del condensador 3 se vuelve igual que la orden de tensión de carga V_c^* .

- 15 Mientras tanto, los medios de detección de corriente 11a a 11c en el lado de máquina sincrónica 5 detectan respectivamente las corrientes de fase i_u , i_v e i_w generadas por la máquina sincrónica 5, y las corrientes de fase se introducen a los medios de control 7.

Posteriormente, los medios de conversión trifásica/dq 79 realizan la transformación de coordenadas desde las corrientes trifásicas a las corrientes en los dos ejes ortogonales rotatorios. En este momento, se necesitan ejes de coordenadas de control, y así se incorpora la fase θ de los ejes del coordenadas de control obtenida de la integración por los medios de integración 75 sobre la base de la Expresión (11).

Los medios de conversión trifásica/dq 79 realizan transformación de coordenadas de las corrientes de fase i_u , i_v , i_w , que son obtenidas por los medios de detección de corriente 11a a 11c, al valor detectado de corriente en eje d i_d y el valor detectado de corriente en eje-q i_q en las coordenadas de dos ejes ortogonales rotatorios (d-q ejes) que tienen la fase θ , y sacan los resultados de transformación a los medios de cálculo de orden de tensión en eje dq 74 en la etapa subsiguiente.

Los medios de cálculo de orden de tensión en eje dq 74 calculan la orden de tensión en eje d v_d^* y la orden de tensión en eje q v_q^* , sobre la base de la orden de corriente en eje d i_d^* calculada por los medios de cálculo de orden de corriente en eje d 73, la orden de corriente en eje-q $i_q^* = 0$, y el valor detectado de corriente en eje d i_d y el valor detectado de corriente en eje-q i_q que se dan desde los medios de conversión trifásica/dq 79, usando las Expresiones (15) y (16) siguientes. Cabe señalar que, en el caso de $i_q^* = 0$, como se ha descrito anteriormente, existe la ventaja de que se puede impedir la generación de par, sobre la base de la relación mostrada en la Expresión (2).

Expresión 15

$$v_d^* = k_{cpd} \left(1 + \frac{\omega_{cpi}}{s} \right) (i_d^* - i_d) \quad (15)$$

35

Expresión 16

$$v_q^* = k_{cpq} \left(1 + \frac{\omega_{cpi}}{s} \right) (0 - i_q) \quad (16)$$

Cabe señalar que se pueden dar ganancias proporcionales k_{cpd} , k_{cpq} y ω_{cpi} sobre la base de la Expresión (17) siguiente al establecer un valor objetivo de respuesta de corriente ω_{cc} . Adicionalmente, el valor objetivo de respuesta de corriente ω_{cc} se tiene que establecer a un valor suficientemente mayor que la velocidad máxima en la reactivación.

40

Expresión 17

$$\left. \begin{aligned} k_{cpd} &= \omega_{cc} \times L_d \\ k_{cpd} &= \omega_{cc} \times L_q \\ \omega_{cpi} &= \frac{\omega_{cc}}{10} \end{aligned} \right\} (17)$$

5 A continuación, de la misma manera que en la realización 1, los medios de cálculo de orden de tensión trifásica 76 calculan la fase de tensión θ_v de las órdenes de tensión trifásica, sobre la base de la orden de tensión en eje d v_d^* y la orden de tensión en eje q v_q^* introducida desde los medios de cálculo de orden de tensión en eje dq 74, usando la Expresión (12) descrita anteriormente.

Adicionalmente, los medios de cálculo de orden de tensión trifásica 76 calculan un factor de modulación PMF sobre la base de la tensión de carga V_c detectada por los medios de detección de tensión de condensador 10, usando la Expresión (18) siguiente.

10 Expresión 18

$$PMF = \frac{\sqrt{(v_d^*)^2 + (v_q^*)^2}}{\frac{\sqrt{6}}{\pi} V_c} \quad (18)$$

15 Además, los medios de cálculo de orden de tensión trifásica 76 calculan las órdenes de tensión trifásica v_u^* , v_v^* y v_w^* usando las Expresiones (15), (16) y (17) descritas anteriormente, sobre la base de la Expresión (14) también descrita anteriormente.

De esta manera, las órdenes de tensión trifásica v_u^* , v_v^* y v_w^* calculadas por los medios de cálculo de orden de tensión trifásica 76 se dan a los medios de cálculo de impulso de compuerta 77. Los medios de cálculo de impulso de compuerta 77 generan impulsos de compuerta G_u a G_z , sobre la base de las órdenes de tensión trifásica v_u^* , v_v^* y v_w^* , de ese modo controlar los elementos de conmutación del inversor 4 usando el control PWM (modulación de ancho de pulsos).

20 Como se ha descrito anteriormente, en la realización 2, se usa un convertidor CA/CC como convertidor 9, y se obtienen los mismos efectos que en la realización 1. Adicionalmente, con los medios de detección de corriente 11a a 11c, el cálculo de la orden de tensión en eje d v_d^* y la orden de tensión en eje q v_q^* por parte de los medios de cálculo de orden de tensión en eje dq 74 en los medios de control 7 se vuelve más fácil, y la carga de cálculo se reduce comparada con el caso de la realización 1. Así, existe la ventaja de que se puede usar un microordenador barato para realizar los medios de control 7.

Realización 3

30 La figura 6 es un diagrama de configuración que ilustra un dispositivo de conversión de potencia según la realización 3 de la presente invención, y se usan numerales de referencia comunes para componentes que corresponden a los de la Realización 2 mostrada en la figura 5.

La característica específica de la Realización 3 es que las configuraciones de los medios de cálculo de orden de tensión en eje dq 74 y los medios de cálculo de impulso de compuerta 77 son diferentes de las de la Realización 2.

35 Esto es, en esta realización 3, los medios de cálculo de orden de tensión en eje dq 74 reciben la orden de corriente en eje d i_d^* calculada por los medios de cálculo de orden de corriente en eje d 73, la orden de corriente en eje-q $i_q^* = 0$, y el valor detectado de corriente en eje d i_d y el valor detectado de corriente en eje-q i_q que se dan desde los medios de conversión trifásica/dq 79, y entonces calculan la orden de tensión en eje d v_d^* y la orden de tensión en eje q v_q^* , usando la Expresión (19) siguiente.

Expresión 19

$$\begin{bmatrix} v_d^* \\ v_q^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R^* & -\omega \cdot L_q^* \\ \omega \cdot L_d^* & R^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d^* \\ i_q^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \cdot \phi_a^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{cpd} \left(1 + \frac{\omega_{cpi}}{s} \right) (i_d^* - i_d) \\ k_{cpq} \left(1 + \frac{\omega_{cpi}}{s} \right) (0 - i_q) \end{bmatrix} \quad (19)$$

La expresión (19) es una combinación de la primera expresión y la segunda expresión, que corresponde a la Expresión (10) descrita en la realización 1, y la tercera expresión que corresponde a las Expresiones (15) y (16) descrita en la realización 2. Por consiguiente, se puede realizar control de altas prestaciones, y además es posible impedir una generación transitoria de par en el momento de reactivación.

La orden de tensión en eje d v_d^* y la orden de tensión en eje q v_q^* , que son calculadas por los medios de cálculo de orden de tensión en eje dq 74, se introducen a los medios de cálculo de orden de tensión trifásica 76 en la etapa subsiguiente. Por consiguiente, los medios de cálculo de orden de tensión trifásica 76 calculan las órdenes de tensión trifásica V_u^* , V_v^* y V_w^* , y las órdenes calculadas de tensión trifásica V_u^* , V_v^* y V_w^* se introducen a los medios de cálculo de impulso de compuerta 77. Este proceso es igual en las realizaciones 1 y 2.

Los medios de cálculo de impulso de compuerta 77 sacan los impulsos de compuerta G_u a G_z , que están en un modo de tres impulsos sincrónicos, sobre la base de las órdenes de tensión trifásica V_u^* , V_v^* y V_w^* , para controlar de ese modo los elementos de conmutación incluidos en el inversor 4 usando el control PWM.

Esto es, como se muestra en la figura 7(a), cuando se van a generar los impulsos de compuerta G_u a G_z para el control PWM, en el caso en el que la frecuencia de las órdenes de tensión trifásica (onda sinusoidal) correspondiente a la velocidad rotacional de la máquina sincrónica 5 se representa como f_{sin} , y la frecuencia de portador de un onda triangular se representa como f_c , se satisface la relación $3f_{sin} = f_c$. Así, como se muestra en la figura 7(b), se pueden asegurar de manera fiable tres impulsos para cada uno de los impulsos de compuerta G_u a G_z por medio ciclo de la velocidad rotacional.

Aquí, cuando el inversor 4 se va a reactivar desde una región de alta velocidad mientras los elementos de conmutación incluidos en el inversor 4 no pueden aumentar la frecuencia de portador suficientemente debido al calor, no se puede asegurar un número suficiente de impulsos para lograr suficientes prestaciones de control para cada impulso de compuerta del inversor 4.

Por ejemplo, el inversor 4 se reactiva mientras la frecuencia de portador es 600 Hz y la máquina sincrónica 5 tiene la velocidad rotacional (frecuencia) de 300 Hz, el número de impulsos que puede asegurar cada elemento de conmutación del inversor 4 es dos impulsos por medio ciclo de la velocidad rotacional de 300 Hz, que puede ser un número insuficiente de impulsos para asegurar suficientes prestaciones de control.

Por otro lado, como esta Realización 3 emplea un modo de tres impulsos sincrónicos, se aseguran de manera fiable tres impulsos por medio ciclo de la velocidad rotacional de la máquina sincrónica 5. Por consiguiente, incluso en el caso de reactivación desde una región de alta velocidad, se puede asegurar el número de impulsos, y se pueden mejorar las prestaciones de control.

Además, el empleo del modo de impulso sincrónico mejora el factor de utilización de tensión. Por consiguiente, se puede disminuir una corriente que fluye a la máquina sincrónica 5, y se puede realizar la reducción de tamaño y el ahorro de energía del inversor 4.

Cabe señalar que, en la realización 3, únicamente se ha descrito el modo de tres impulsos sincrónicos. Sin embargo, se entiende que un modo de cinco impulsos sincrónicos o un modo de nueve impulsos sincrónicos ejercerán un efecto similar. Como otras configuraciones y efectos operacionales son iguales que los de la realización 2, no se hará una descripción detallada de los mismos.

Realización 4

La figura 8 es un diagrama de configuración que ilustra un dispositivo de conversión de potencia según la realización 4 de la presente invención, y se usan numerales de referencia comunes para componentes que corresponden a los de la Realización 3 mostrada en la figura 6.

La característica específica de la Realización 4 es que la configuración de los medios de cálculo de impulso de compuerta 77 es diferente de la de la Realización 3.

Esto es, en la realización 4, los medios de cálculo de impulso de compuerta 77 sacan los impulsos de compuerta G_u a G_z , que están en un modo de un impulso sincrónico, sobre la base de las órdenes de tensión trifásica V_u^* , V_v^* y V_w^*

Vw*, para controlar de ese modo los elementos de conmutación incluidos en el inversor 4 usando el control PWM.

5 Esto es, cuando se van a generar los impulsos de compuerta Gu a Gz para el control PWM, en el caso en el que la frecuencia de las órdenes de tensión trifásica (onda sinusoidal) correspondiente a la velocidad rotacional de la máquina sincrónica 5 se representa como fsin, y la frecuencia de portador de un onda triangular se representa como fc, se satisface la relación fsin = fc.

De esta manera, en la realización 4, los medios de cálculo de impulso de compuerta 77 sacan los impulsos de compuerta Gu a Gz, que están en un modo de un impulso sincrónico. Por consiguiente, en esta realización, aunque las prestaciones de control son menores que en la realización 3, se puede mejorar el factor de utilización de tensión del inversor 4. Además, en comparación con la Realización 3, se puede disminuir aún más una corriente que fluye a la máquina sincrónica 5, y se puede realizar la reducción de tamaño y el ahorro de energía del inversor 4.

Como otras configuraciones y efectos operacionales son iguales que los de la realización 3, no se hará una descripción aún más detallada de los mismos.

Realización 5

15 La figura 9 es un diagrama de configuración que ilustra un dispositivo de conversión de potencia según la realización 5 de la presente invención, y se usan numerales de referencia comunes para componentes que corresponden a los de la Realización 1 mostrada en la figura 1.

La característica específica de la Realización 5 es que, además de la configuración de la Realización 1 (figura 1), se proporcionan medios de detección de tensión de línea 12a y 12b. Adicionalmente, se cambian las configuraciones de los medios de cálculo de orden de tensión 71 y los medios de cálculo de orden de corriente en eje d 73 incluidos en los medios de control 7.

Además, en los medios de control 7 se proporcionan medios de conversión trifásica/αβ 80 y medios de cálculo de valor efectivo de tensión 81.

25 Esto es, los medios de detección de tensión de línea 12a y 12b detectan respectivamente la tensión de línea Vuv entre UV y la tensión de línea Vvw entre VW de la máquina sincrónica 5. Las tensiones de línea detectadas Vuv y Vvw se introducen a los medios de conversión trifásica/αβ 80. Los medios de conversión trifásica/αβ 80 calculan tensiones de CA bifásica Vα y Vβ basándose en Vuv y Vvw introducidos, usando la Expresión (20) siguiente.

Expresión 20

$$\begin{bmatrix} V\alpha \\ V\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{uv} \\ V_{vw} \end{bmatrix} \quad (20)$$

30 Cabe señalar que cuando las tensiones de CA trifásica Vuv y Vvw (o Vu, Vv y Vw) se van a transformar en las tensiones de CA bifásica Vα y Vβ usando la Expresión (20), la transformación se realiza usando la relación entre el sistema de coordenadas de CA trifásica (u-v-w) y el sistema de coordenadas de CA bifásica (α-β) ilustrados en la figura 10.

35 Los subsiguientes medios de cálculo de valor efectivo de tensión 81 calculan el valor pico de tensión de línea Vm de la máquina sincrónica 5, sobre la base de la tensiones de CA bifásica Vα y Vβ que son transformadas por los medios de conversión trifásica/αβ 80, usando la Expresión (21) siguiente.

Expresión 21

$$V_m = \sqrt{2} \sqrt{V\alpha^2 + V\beta^2} \quad (21)$$

40 Entonces, el valor pico de tensión de línea Vm de la máquina sincrónica 5 calculado por los medios de cálculo de valor efectivo de tensión 81 se da a los medios de cálculo de orden de corriente en eje d 73.

Mientras tanto, los medios de cálculo de orden de tensión 71 se configuran, a diferencia de los medios de cálculo de

orden de tensión 71 proporcionados en la realización 1 (figura 2), para sacar la orden de tensión de carga V_c^* al condensador 3 y la orden de valor pico de tensión de línea V_m^* , como se muestra en la figura 11.

5 Por lo tanto, los medios de cálculo de orden de corriente en eje d 73 calculan la orden de corriente en eje d i_d^* , sobre la base del valor pico de tensión de línea V_m de la máquina sincrónica 5 y la orden de valor pico de tensión de línea V_m^* , de modo que el valor pico de tensión de línea V_m aplicado a la máquina sincrónica 5 en el momento de reactivar el inversor 4 no supera la tensión de carga V_c del condensador 3. Esto es, se calcula la orden de corriente en eje d i_d^* , usando la Expresión (22) siguiente.

Expresión 22

$$i_d^* = k_p \left(1 + \frac{\omega_p}{s} \right) (V_m^* - V_m) \quad (22)$$

10 Aquí, k_p y ω_p se expresan como la Expresión (23) siguiente, donde la velocidad rotacional máxima de la máquina sincrónica 5 se representa como ω_{max} .

Expresión 23

$$\left. \begin{aligned} k_p &= \omega_{max} \times 10 \\ \omega_p &= \frac{k_p}{10} = \omega_{max} \end{aligned} \right\} (23)$$

15 Como se ha descrito anteriormente, en la realización 5, además de los efectos descritos en la Realización 1 anterior, como se proporcionan los medios de detección de tensión de línea 12a y 12b, se pueden eliminar cálculos complicados de raíz cuadrada. Como resultado, existe la ventaja de que se puede usar un microordenador barato para realizar los medios de control 7.

20 Como otras configuraciones y efectos operacionales son iguales que los de la realización 1, no se hará una descripción aún más detallada de los mismos.

Realización 6

25 La figura 12 es un diagrama de configuración que ilustra un dispositivo de conversión de potencia según la realización 6 de la presente invención, y se usan numerales de referencia comunes para componentes que corresponden a los de la Realización 2 mostrada en la figura 5.

La característica específica de la Realización 6 es que, a partir del momento puntual en que se apaga una orden de funcionamiento, la orden de corriente en eje-q i_q^* dada a los medios de cálculo de orden de tensión en eje dq 74 se disminuye gradualmente, y junto con esto, la orden de tensión de carga V_c^* sacada de los medios de cálculo de orden de tensión 71 se aumenta para aumentar gradualmente la tensión de carga V_c del condensador 3.

30 Por consiguiente, se puede disminuir aún más una corriente que fluye a la máquina sincrónica 5 cuando el inversor 4 se va a parar. Esto es, debido a la disminución de corriente, se puede realizar un ahorro de energía.

La figura 13 es una gráfica de temporización para ilustrar un funcionamiento del dispositivo de conversión de potencia de esta Realización 6.

35 Como se ilustra en el diagrama, durante un periodo desde el momento t1 cuando la orden de funcionamiento se apaga al momento t2, la orden de corriente en eje-q i_q^* se disminuye gradualmente a cero, y junto con este funcionamiento, la orden de tensión de carga V_c^* se aumenta gradualmente hasta que la tensión de carga V_c del condensador 3 alcanza un valor predeterminado.

40 Por consiguiente, es posible disminuir eficazmente la corriente que fluye a la máquina sincrónica 5 en comparación con el caso en que la orden de corriente en eje-q i_q^* se establece a cero inmediatamente en el momento que la orden de funcionamiento se apaga, y entonces la tensión de carga V_c del condensador 3 se aumenta a un valor

predeterminado.

Adicionalmente, como se muestra en la figura 14, desde el momento t_1 en que la orden de funcionamiento está apagada al momento t_2 , la tensión de carga V_c del condensador 3 se puede aumentar primero al valor predeterminado, y entonces la orden de corriente en eje-q i_q se puede disminuir gradualmente a cero.

- 5 En este caso, la tensión de carga V_c del condensador 3 se puede aumentar rápidamente (o paso a paso) como se muestra en el diagrama, o se puede aumentar moderadamente como retardo de primer orden. Esto es eficaz para la prevención de un cambio en la corriente, la sobretensión de la tensión de carga V_c del condensador 3, o algo semejante.

- 10 Como se ha descrito anteriormente, en la realización 6, además de los efectos de la Realización 2 anterior, la orden de corriente en eje-q i_q^* y la tensión de carga V_c del condensador 3 funcionan concurrentemente cuando se apaga una orden de funcionamiento. Como resultado, existe la ventaja de se puede disminuir la corriente que fluye a la máquina sincrónica 5, y se puede realizar el ahorro de energía.

Como otras configuraciones y efectos operacionales son iguales que los de la realización 2, no se hará una descripción aún más detallada de los mismos.

15 **Aplicabilidad industrial**

La presente invención es ampliamente aplicable como dispositivo de conversión de potencia que se monta en vehículos de ferrocarril y vehículos eléctricos, por ejemplo, y que controla la máquina sincrónica impulsada por suministro de energía.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de conversión de potencia, que comprende:
 - un primer convertidor de potencia (2) que obtiene una tensión de CC de un suministro de energía (1);
 - un condensador (3) que se conecta a un lado de salida del primer convertidor de potencia (2);
- 5 - un segundo convertidor de potencia (4) que convierte la tensión de CC del condensador (3) en una tensión de CA y saca la tensión de CA a una máquina sincrónica (5);
- medios de detección de información de rotación (6) que detectan velocidad rotacional de la máquina sincrónica (5); y
- 10 - medios de control (7) que controlan el primer convertidor de potencia (2) y el segundo convertidor de potencia (4), sobre la base de la velocidad rotacional detectada por los medios de detección de información de rotación (6), en donde
- sobre la base de la velocidad rotacional de la máquina sincrónica (5) detectada por los medios de detección de información de rotación (6), los medios de control (7) controlan el segundo convertidor de potencia (4) de modo que una tensión generada por la máquina sincrónica (5) es menor o igual a $1/\sqrt{2}$ de una tensión de carga del condensador (3) en el momento de activación del segundo convertidor de potencia (4) desde un modo de funcionamiento por inercia, y dichos medios de control (7) controlan el primer convertidor de potencia (2) de modo que $1/\sqrt{2}$ de la tensión de carga del condensador (3) es igual o mayor que la tensión generada por la máquina sincrónica (5),
- 15 - caracterizado por que:
- 20 - dicha tensión generada por la máquina sincrónica se da como la tensión generada a través de un devanado de dicha máquina y la tensión a través del condensador es V_c
- en donde los medios de control (7) controlan, durante el modo de funcionamiento por inercia, el primer convertidor de potencia (2) de modo que $1/\sqrt{2}$ de la tensión de carga del condensador (3) es mayor que la tensión generada por la máquina sincrónica (5).
- 25 2. El dispositivo de conversión de potencia según la reivindicación 1,
- en donde los medios de control (7) controlan una corriente en eje-q, que fluye a la máquina sincrónica (5), para que sea cero.
- 30 3. El dispositivo de conversión de potencia según una cualquiera de las reivindicaciones 1 la reivindicación 2, en donde los medios de control (7) controlan el segundo convertidor de potencia (4) de modo que el segundo convertidor de potencia (4) realice la conmutación en un modo de impulso sincrónico.
4. El dispositivo de conversión de potencia según la reivindicación 3,
- en donde los medios de control (7) controlan el segundo convertidor de potencia (4) de modo que el segundo convertidor de potencia (4) realice la conmutación en un modo de un impulso sincrónico.

FIG. 1

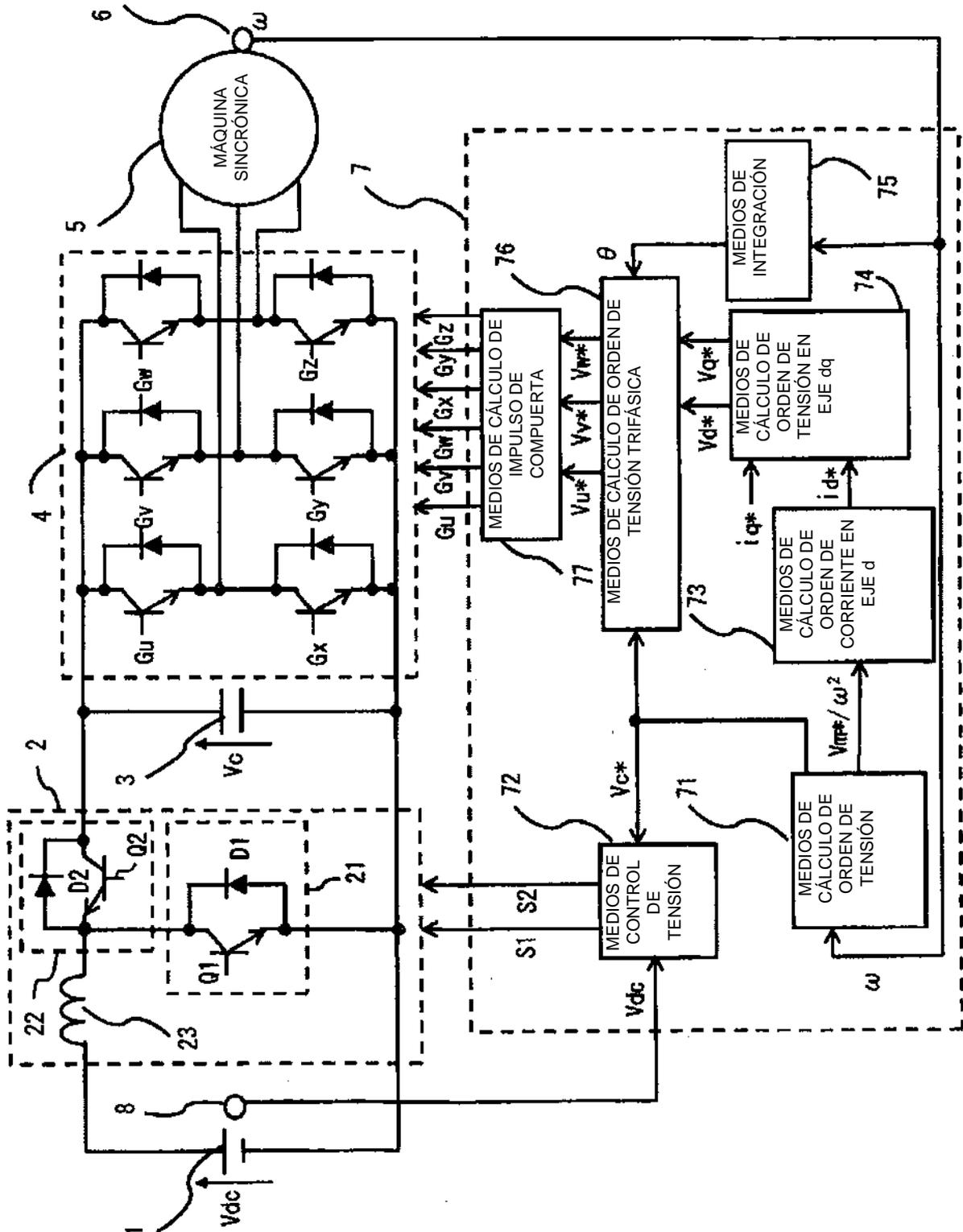


FIG. 2

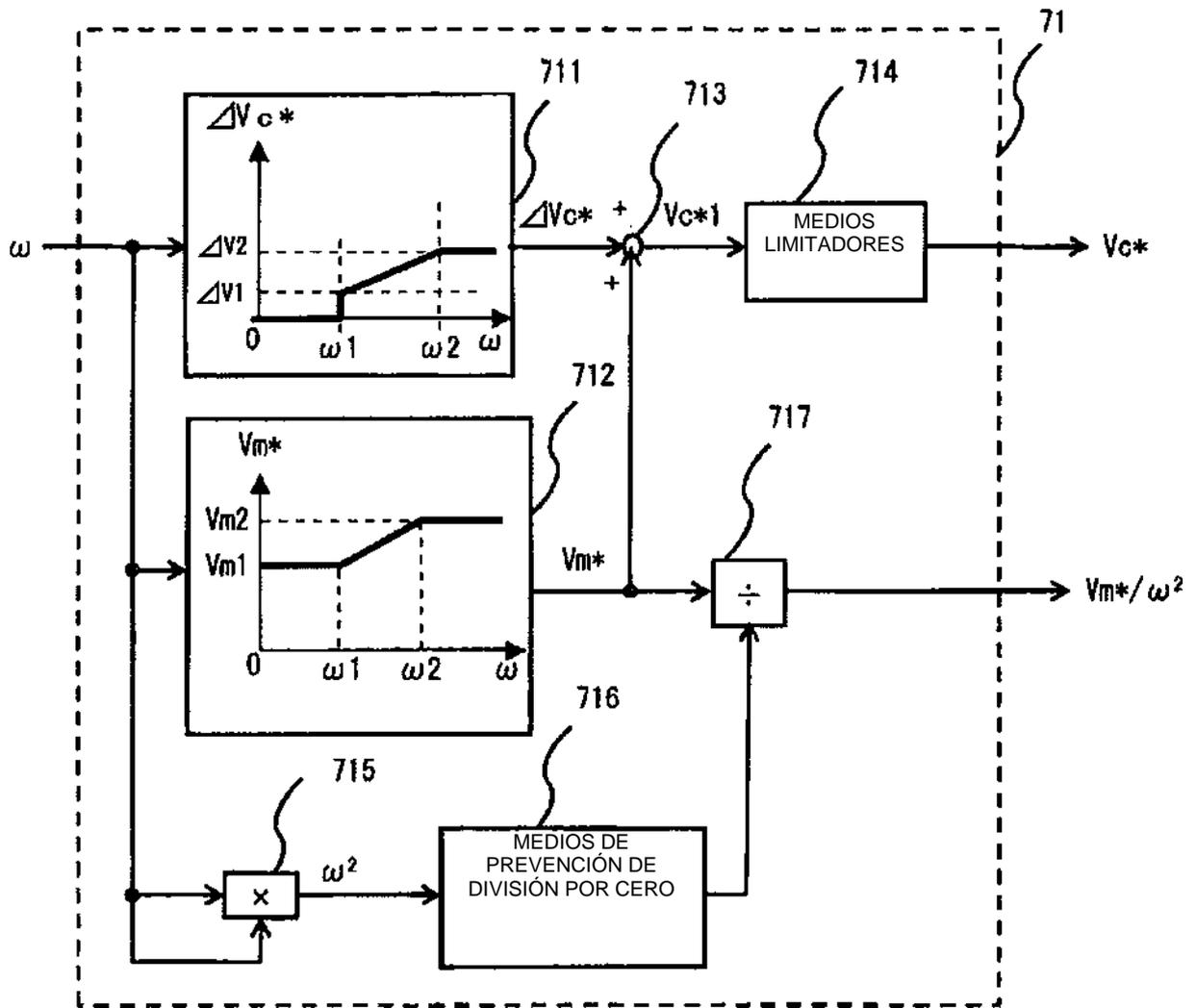


FIG. 3

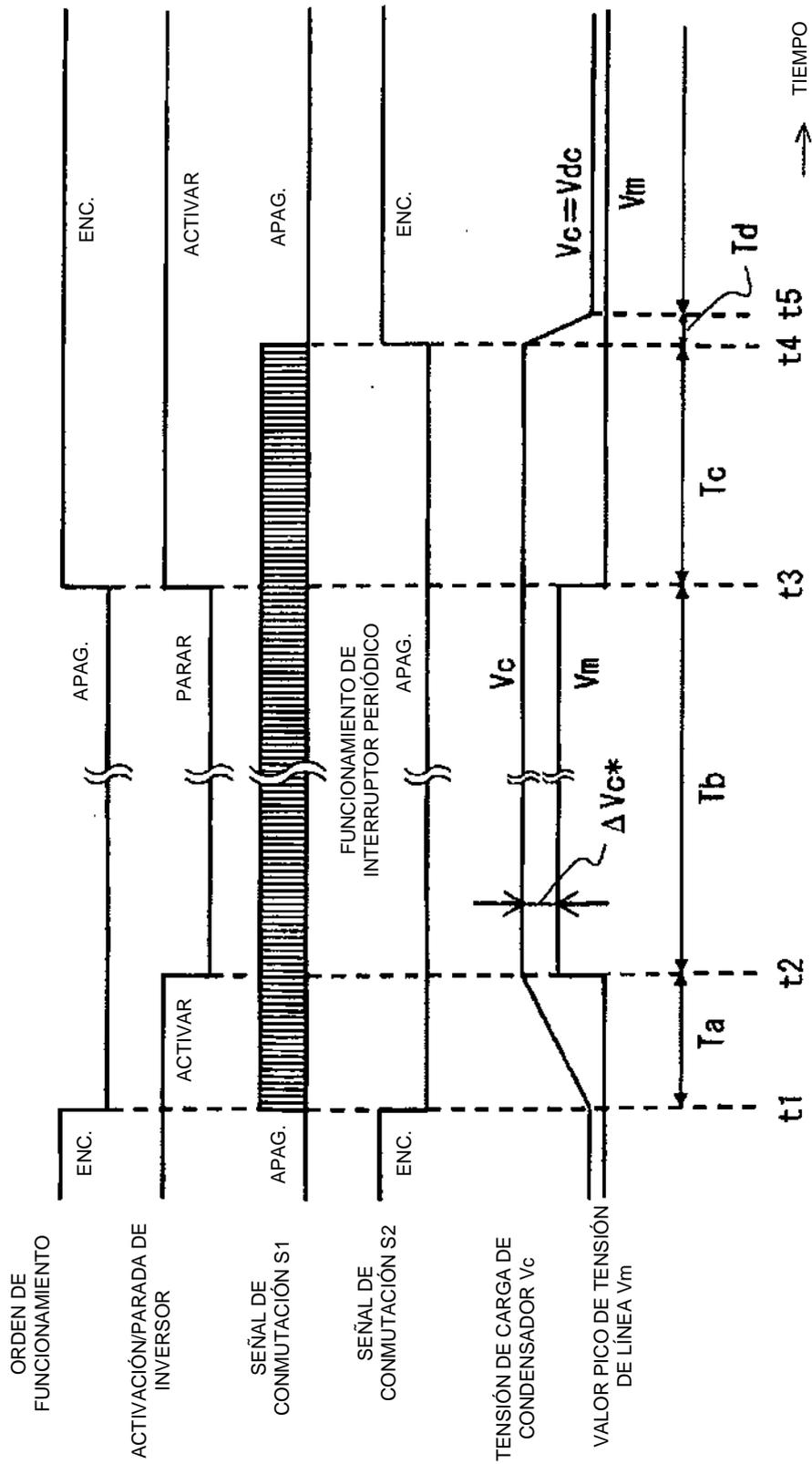


FIG. 4

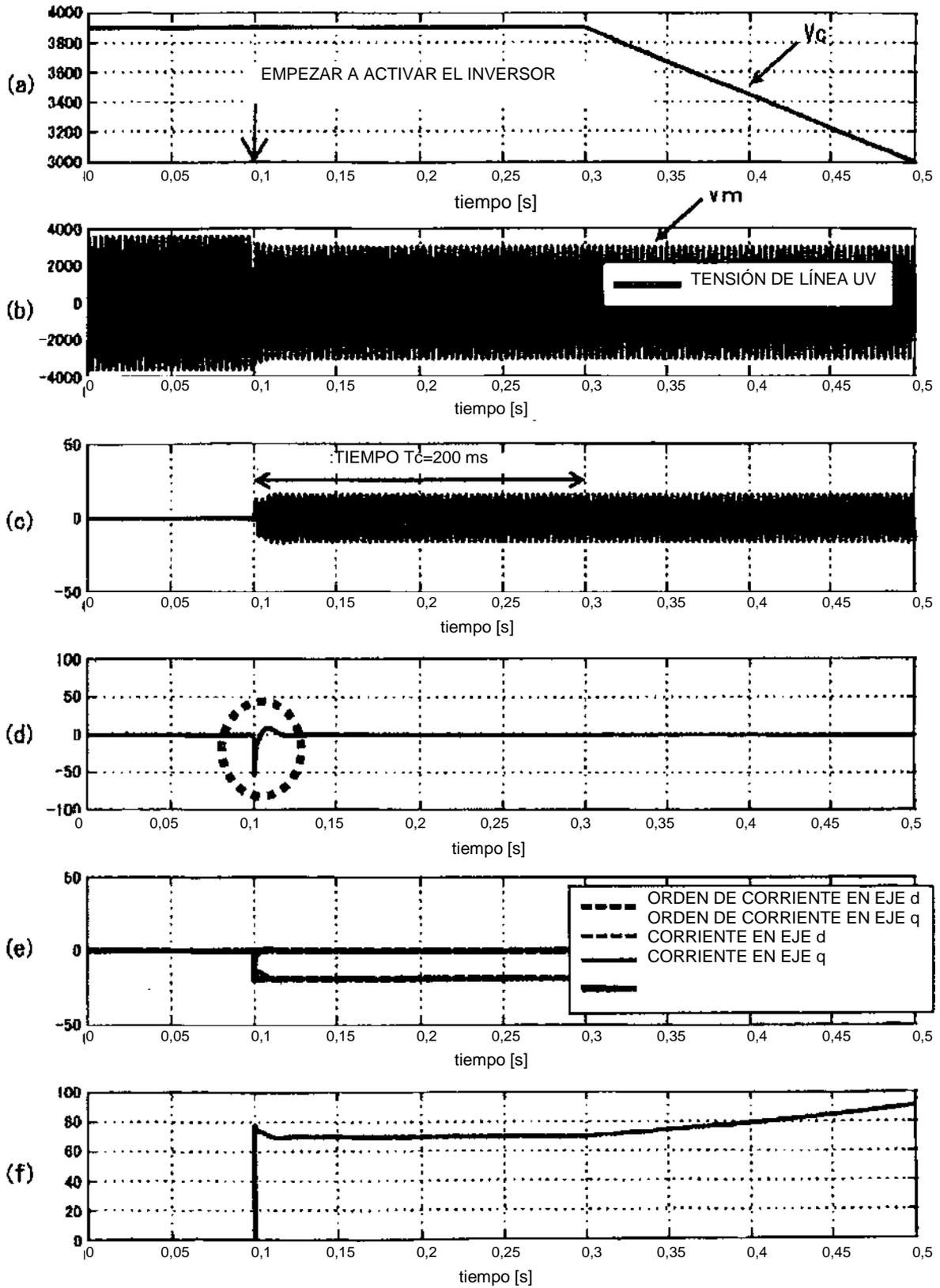


FIG. 5

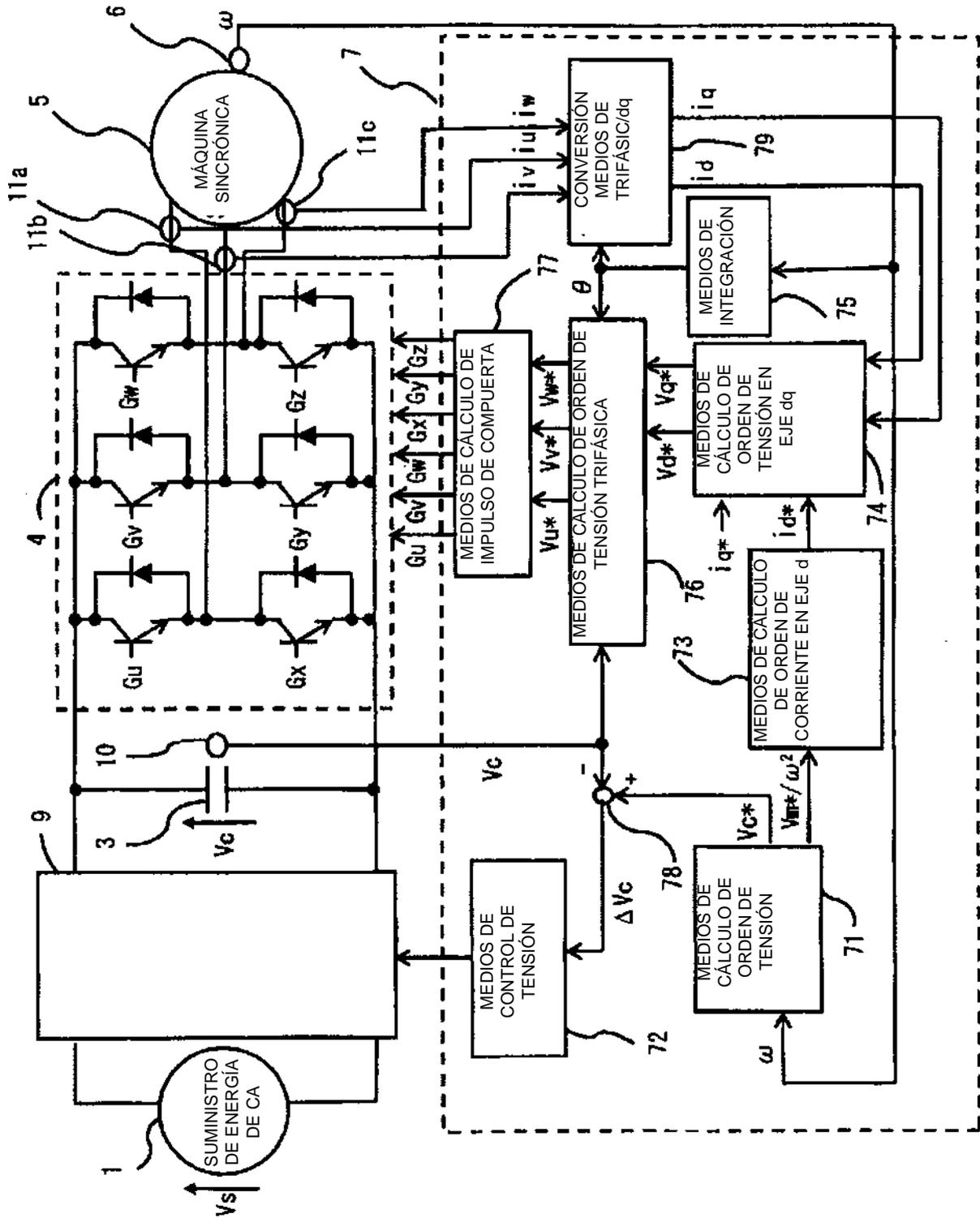


FIG. 6

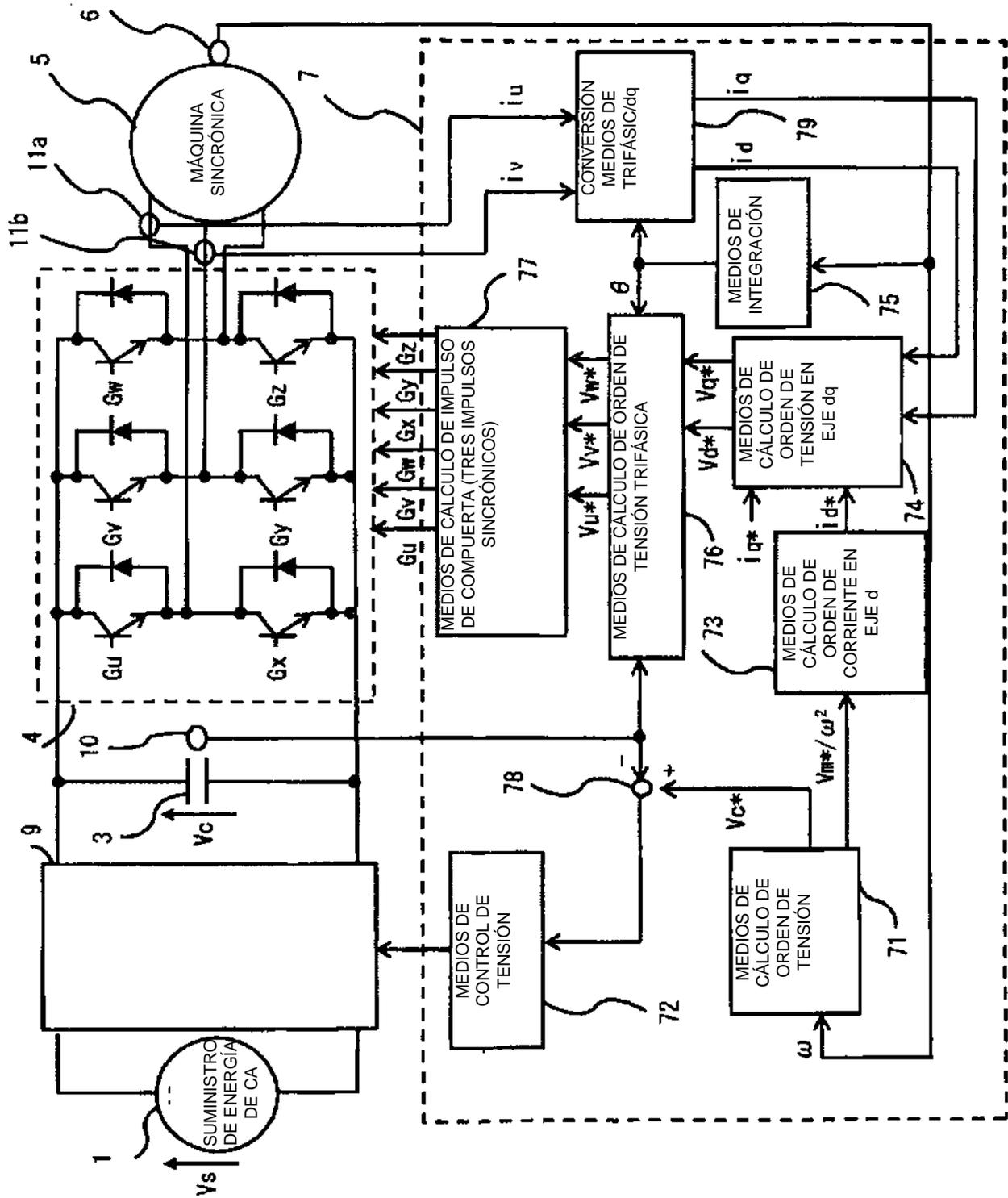


FIG. 7

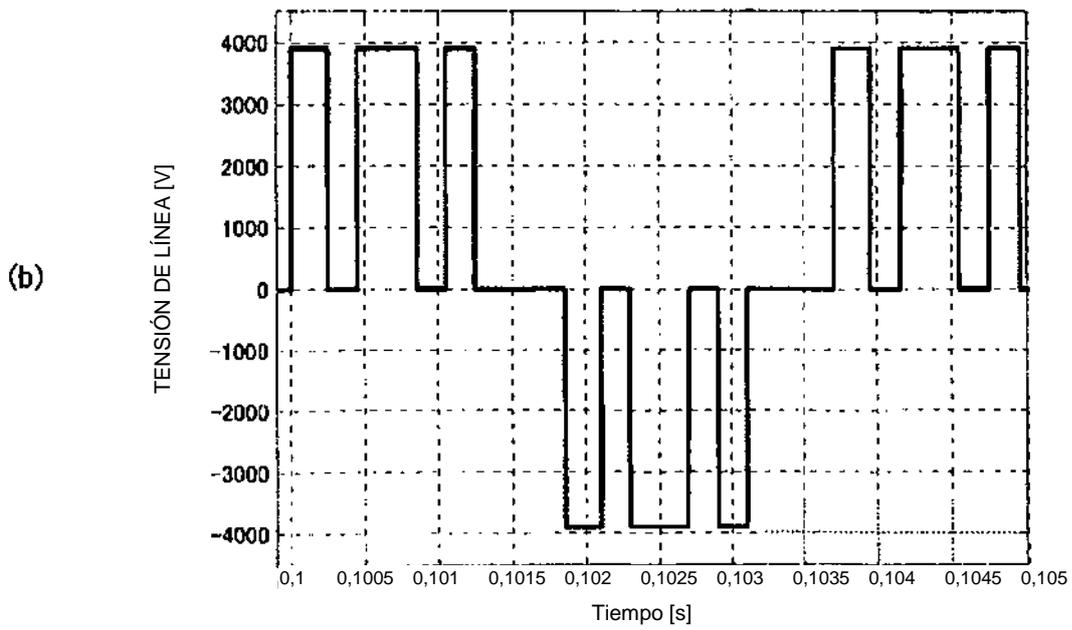
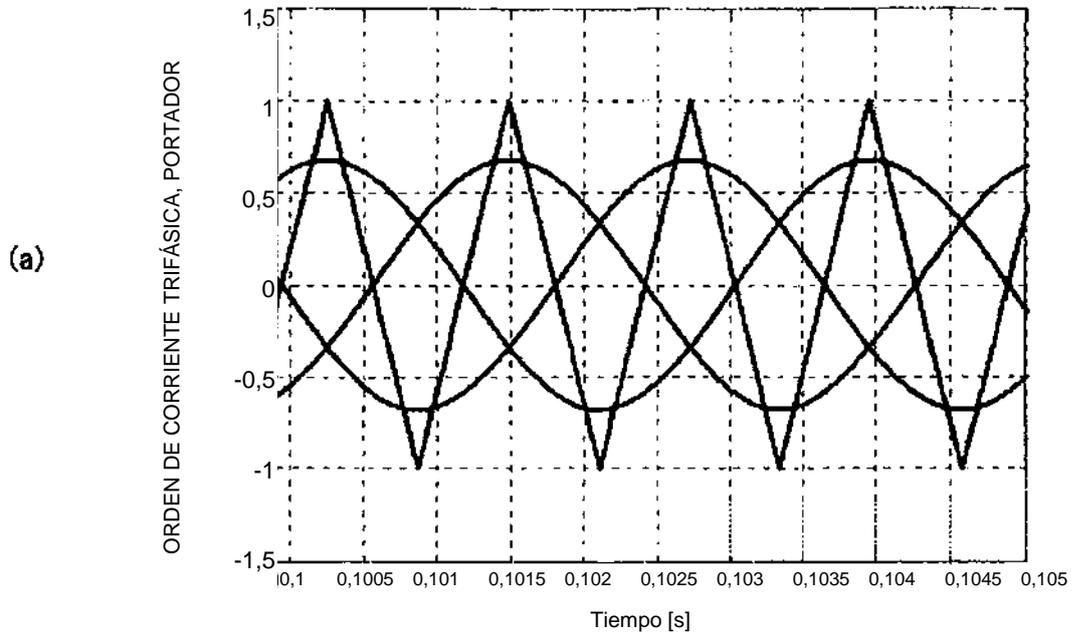


FIG. 8

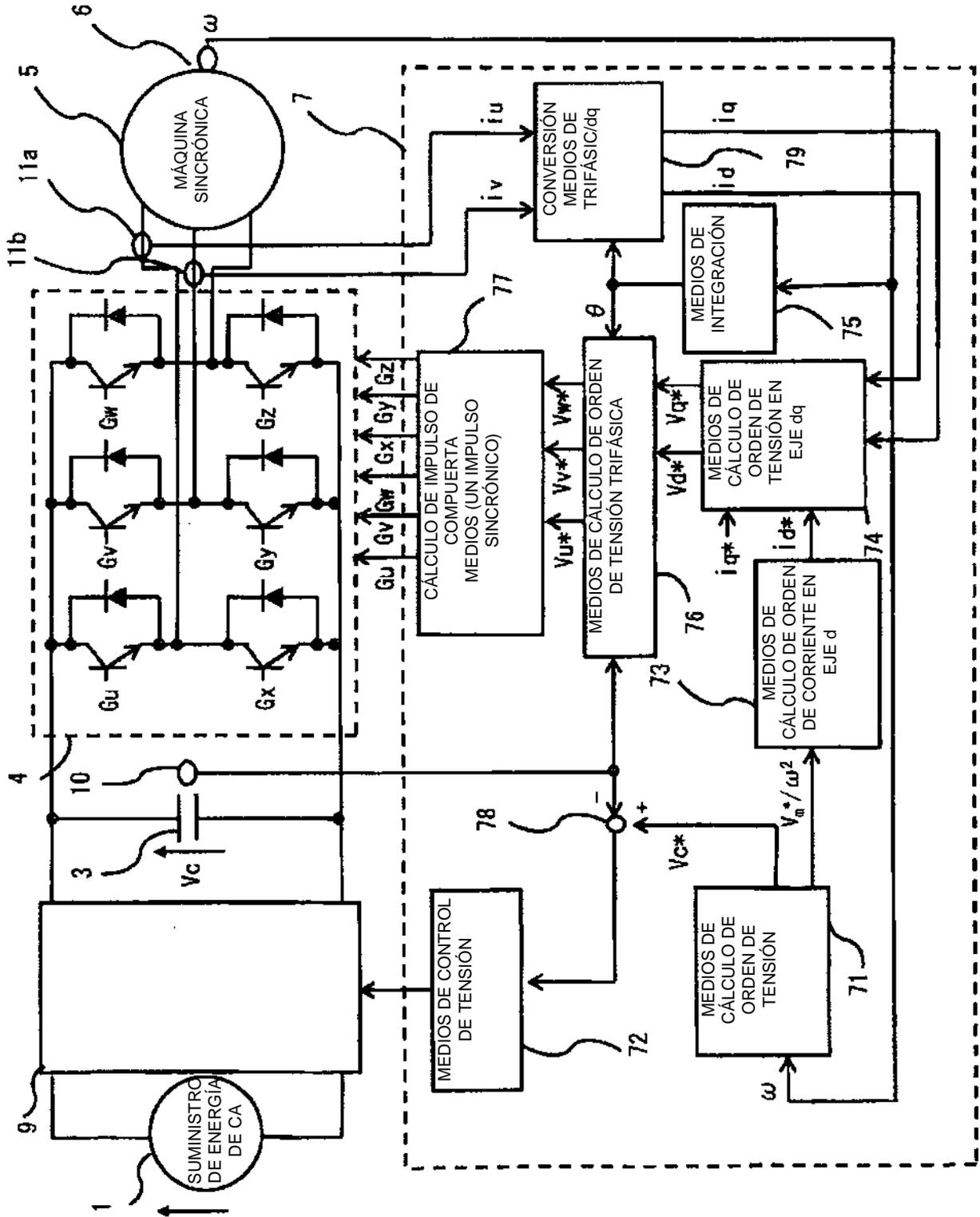


FIG. 9

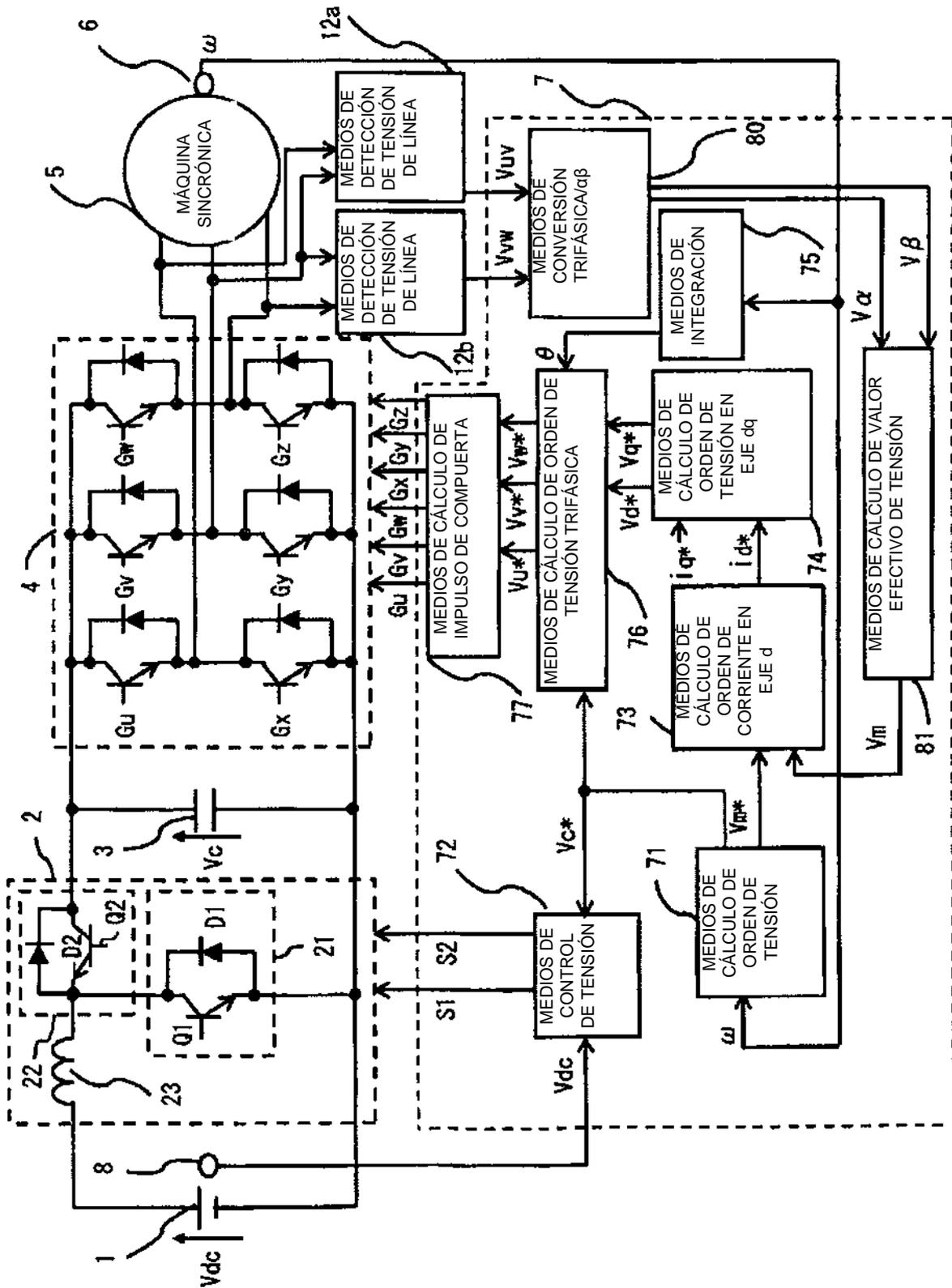


FIG. 10

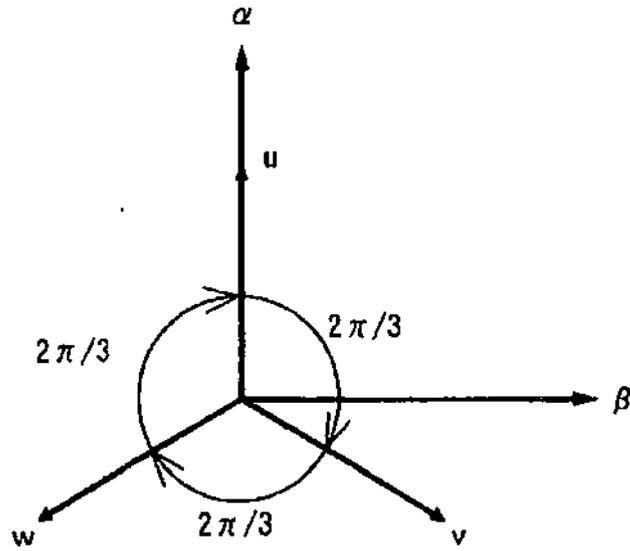


FIG. 11

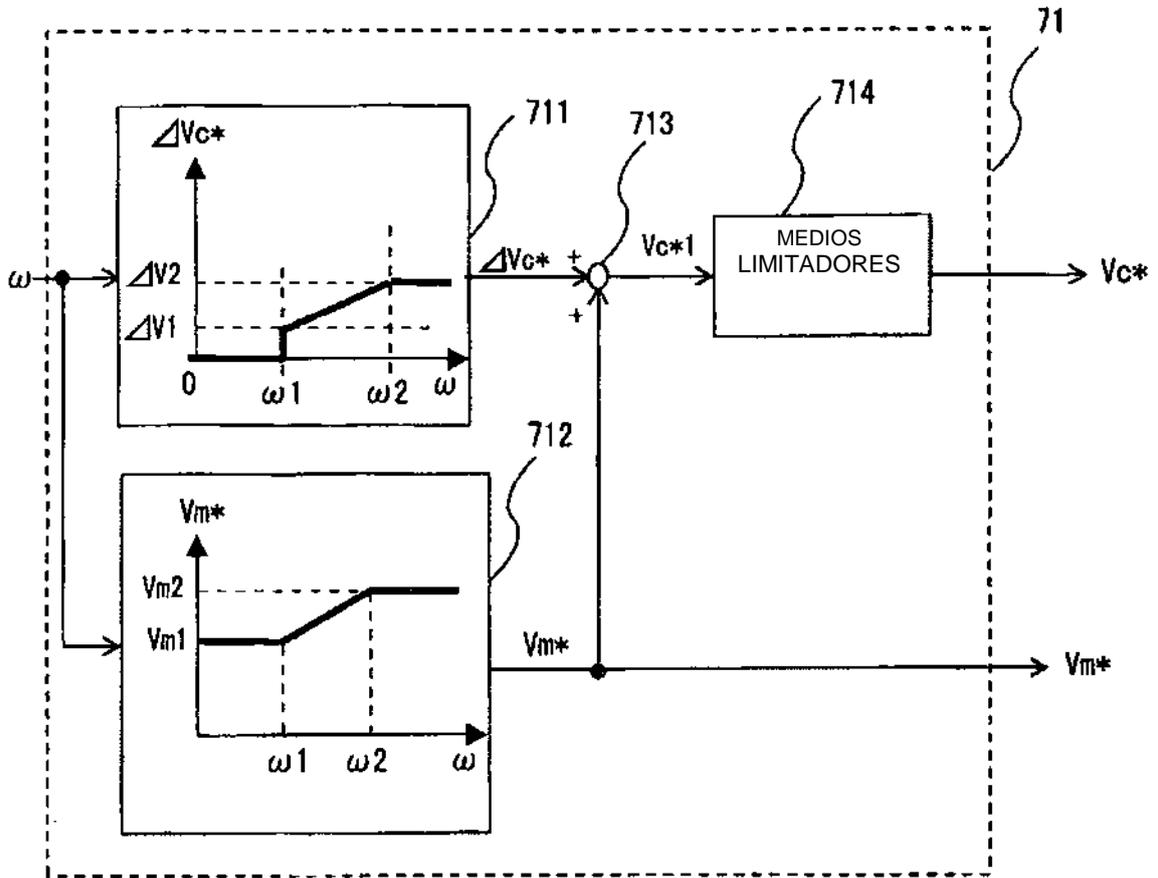


FIG. 12

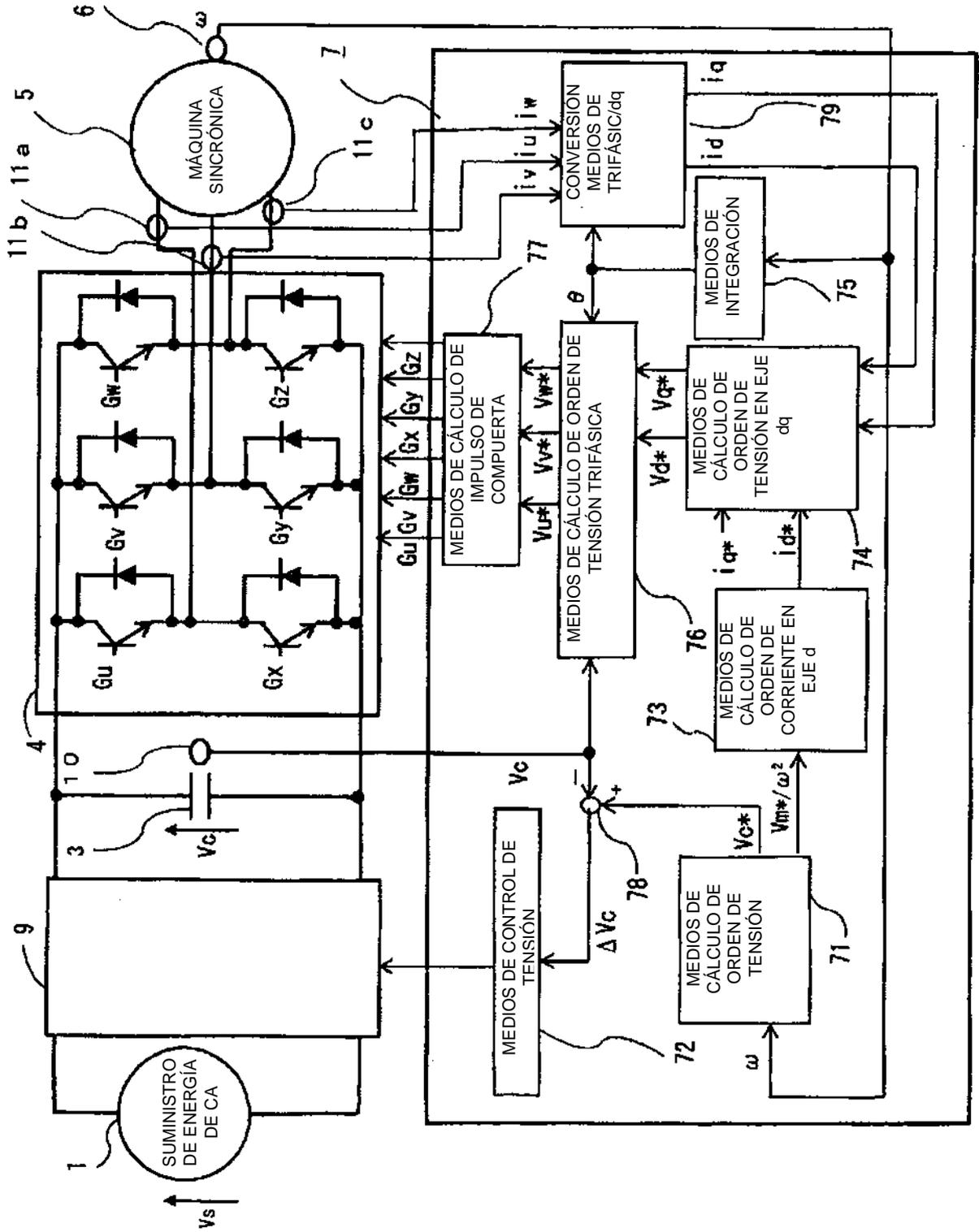


FIG. 13

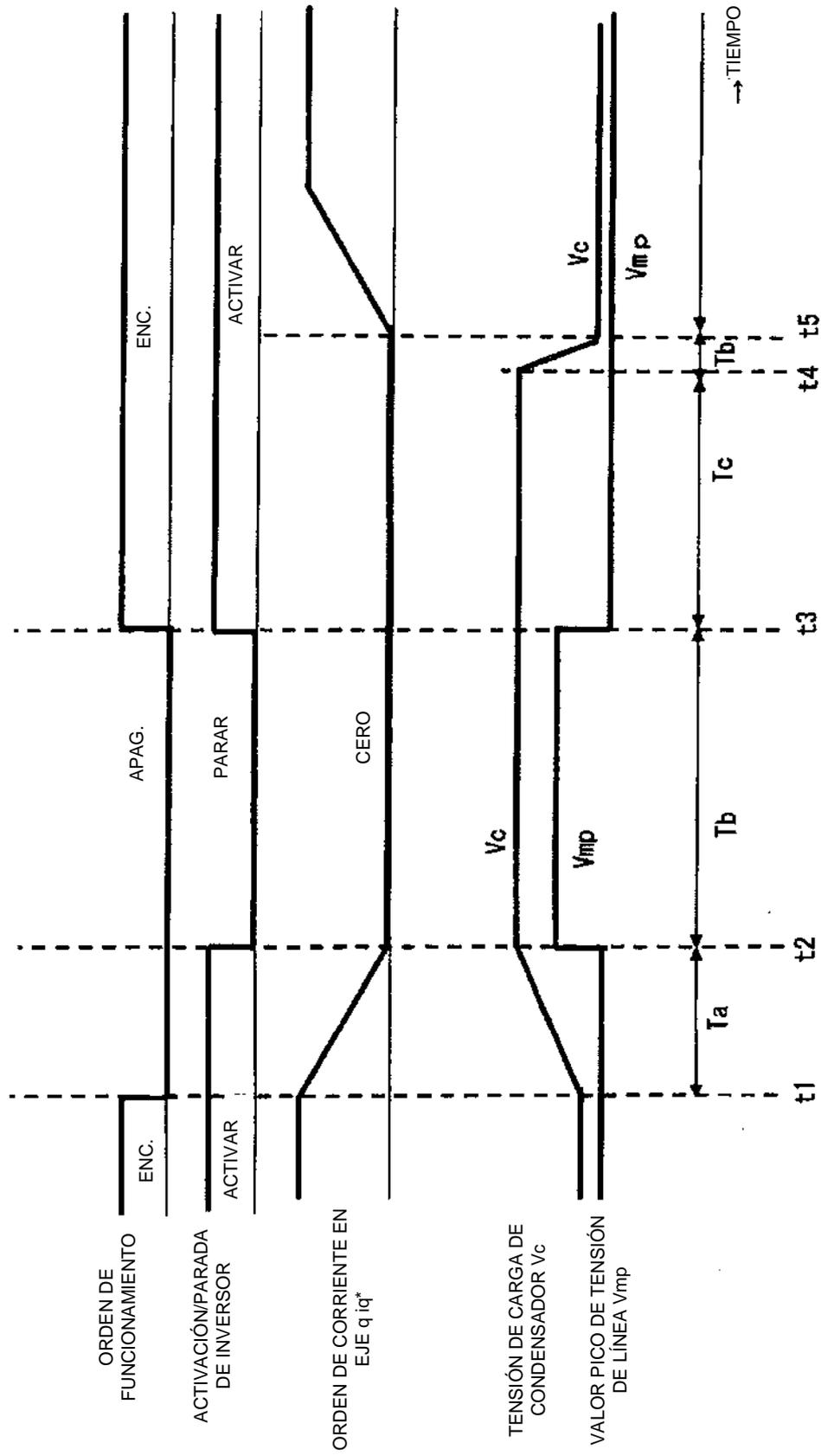


FIG. 14

