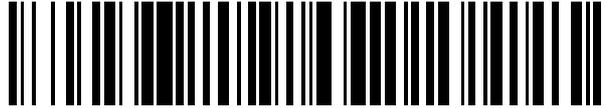


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 624 929**

51 Int. Cl.:

**H02M 7/5387** (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.08.2005 PCT/JP2005/014658**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.03.2006 WO06022142**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.08.2005 E 05770448 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.04.2017 EP 1672775**

54 Título: **Generador de señal PWM de tres fases**

30 Prioridad:

**27.08.2004 JP 2004248891**

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

**18.07.2017**

73 Titular/es:

**MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA (100.0%)  
7-3, Marunouchi 2-chome  
Chiyoda-ku, Tokyo 100-8310, JP**

72 Inventor/es:

**ARISAWA, K.;  
SAKANOBÉ, K.;  
SHINOMOTO, Y. y  
YABE, MASAOKI.**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 624 929 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

Generador de señal PWM de tres fases

**Sector técnico**

5 La presente invención se refiere a un aparato de generación de señal de modulación por ancho de pulsos (PWM, pulse-width-modulation) de tres fases, que genera una señal PWM de tres fases para definir un conjunto de modos de conmutación mediante un elemento de conmutación de semiconductor en un inversor de tensión de tres fases.

**Antecedentes de la técnica**

10 Un inversor de tensión de tres fases se utiliza para un inversor, por ejemplo, para un inversor que controla el accionamiento de un motor de un aparato de acondicionamiento de aire para refrigeración. Para facilitar la comprensión de la presente invención, a continuación se explica la estructura y el funcionamiento de un inversor convencional, haciendo referencia a las figuras 36 a 42.

15 La figura 36 es un diagrama de bloques de un ejemplo del inversor convencional. El inversor convencional mostrado en la figura 36 incluye un circuito principal 1 del inversor y una unidad de control del inversor 2 que genera una señal PWM de tres fases que es una señal de accionamiento para un elemento de conmutación de semiconductor incluido en el circuito principal 1 del inversor. En otras palabras, la presente invención se refiere a una mejora de una unidad de control del inversor 2.

20 El circuito principal 1 del inversor es un circuito bien conocido que incluye una fuente de alimentación de DC 3 que proporciona una tensión de bus Vdc, tres conjuntos de elementos de conmutación de semiconductor (5a, 5b), (5c, 5d) y (5e, 5f) que están conectados en serie entre un bus de DC 4a conectado a un polo positivo de la fuente de alimentación de DC 3 y un bus de DC 4b conectado a un polo negativo de la fuente de alimentación de DC 3, y diodos en volante 6a a 6f que están conectados en serie a los respectivos elementos de conmutación de semiconductor. Un motor 7 está conectado a respectivos terminales de conexión de DC de los tres conjuntos de elementos de conmutación de semiconductor (5a, 5b), (5c, 5d), y (5e, 5f).

25 Una unidad 9 de detección de corriente de DC, que detecta una corriente del bus de DC I<sub>dc</sub> utilizada en la unidad de control del inversor 2, está dispuesta, por ejemplo, en el bus de DC 4b. La unidad 9 de detección de corriente de DC incluye un elemento de detección (una resistencia, un transformador de corriente, etc.) insertado en el bus de DC 4b y un amplificador que amplifica la tensión de ambos extremos del elemento de detección (la resistencia) o una tensión de salida del elemento de detección (el transformador de corriente). La unidad 9 de detección de corriente DC convierte una tensión de entrada de este amplificador en una corriente eléctrica para obtener una corriente del bus de DC I<sub>dc</sub>.

30 La unidad de control del inversor 2 incluye una unidad 11 de discriminación de corrientes de fase que discrimina las corrientes de fase I<sub>u</sub>, I<sub>v</sub>, y I<sub>w</sub> de la corriente del bus de DC I<sub>dc</sub> introducida desde la unidad 9 de detección de la corriente de DC, una unidad 12 que calcula una corriente de excitación y una corriente de par motor para calcular una corriente de excitación I<sub>γ</sub> (un eje de corriente γ) y una corriente del par motor I<sub>δ</sub> (un eje de corriente δ) a partir de las corrientes de fase I<sub>u</sub>, I<sub>v</sub>, y I<sub>w</sub>, una unidad 13 de cálculo del vector de comando de tensión que calcula un vector de comando de tensión V\* utilizado en el siguiente control a partir de la corriente de excitación I<sub>γ</sub> y la corriente del par motor I<sub>δ</sub>, una unidad 14 de creación de señales PWM, que produce señales de tiempos de conducción T<sub>up</sub>, T<sub>un</sub>, T<sub>vp</sub>, T<sub>vn</sub>, T<sub>wp</sub> y T<sub>wn</sub>, que son señales PWM de tres fases durante un periodo de la portadora, a partir del vector de comando de tensión V\*, y una unidad 15 de generación de señales PWM que genera las señales de accionamiento U<sub>p</sub>, U<sub>n</sub>, V<sub>p</sub>, V<sub>n</sub>, W<sub>p</sub> y W<sub>n</sub>, que son señales PWM de tres fases aplicadas a los elementos de conmutación de semiconductor 5a a 5f, a partir de las señales de tiempos de conducción T<sub>up</sub>, T<sub>un</sub>, T<sub>vp</sub>, T<sub>vn</sub>, T<sub>wp</sub> y T<sub>wn</sub>. Se debe observar que un subíndice "p" significa un lado del polo positivo y un subíndice "n" significa un lado del polo negativo.

45 Se explica una operación de la unidad de control del inversor 2. Entre los elementos de conmutación de semiconductor 5a a 5f del circuito principal 1 del inversor, los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c, y 5e conectados al bus de DC 4a en el lado del polo positivo llevan a cabo una operación de ENCENDIDO, o los elementos de conmutación de semiconductor 5b, 5d y 5f conectados al bus de DC 4b en el lado del polo negativo llevan a cabo una operación de ENCENDIDO. Dado que hay elementos de conmutación de semiconductor para tres fases, se presentan en total ocho ( $2^3=8$ ) clases de patrones de conmutación o modos de conmutación. Estos son estados de salida del motor 7.

50 Como representación de los estados de los elementos de conmutación de semiconductor, un estado de funcionamiento ENCENDIDO de los elementos de conmutación de semiconductor se representa como un valor lógico 1 y un estado de funcionamiento APAGADO de los elementos de conmutación de semiconductor se representa como un valor lógico 0. Tal como se describe a continuación, se asocian ocho clases de estados de salida del motor 7 con ocho clases de vectores de tensión (vectores de tensión básicos) de V0 a V7. Entre estas ocho clases de vectores de tensión, V1 a V6 son vectores de tensión correspondientes a seis modos de conmutación que tienen longitudes de vector, y los restantes V0 y V7 son vectores de tensión correspondientes a

dos modos de conmutación que no tienen longitudes de vector. Los vectores de tensión V0 y V7 se denominan específicamente "vectores nulos". Los vectores de tensión V1 a V6 se denominan a menudo "vectores de tensión básicos" para distinguirlos de los "vectores nulos".

5 Se representa una relación de correspondencia entre los vectores de tensión V1 a V6 mediante estados lógicos de los elementos de conmutación conectados al bus de DC 4a, es decir, un estado lógico de los elementos de conmutación del lado del polo positivo de fase W, un estado lógico de los elementos de conmutación del lado del polo positivo de fase V y un estado lógico de los elementos de conmutación del lado del polo positivo de fase U. Los estados lógicos (0, 0, 1) corresponden al vector de tensión V1, los estados lógicos (0, 1, 0) corresponden al vector de tensión V2, los estados lógicos (0, 1, 1) corresponden al vector de tensión V3, los estados lógicos (1, 0, 0) corresponden al vector de tensión V4, los estados lógicos (1, 0, 1) corresponden al vector de tensión V5 y los estados lógicos (1, 1, 0) corresponden al vector de tensión V6.

15 La relación de correspondencia entre dos vectores nulos V0 y V7 se representa mediante estados lógicos de los elementos de conmutación conectados al bus de DC 4a, es decir, el estado lógico de los elementos de conmutación del lado del polo positivo de fase W, el estado lógico de los elementos de conmutación del lado del polo positivo de fase V y el estado lógico de los elementos de conmutación del lado del polo positivo de fase U. El estado lógico (0, 0, 0) corresponde al vector nulo V0 y el estado lógico (1, 1, 1) corresponde al vector nulo V7.

20 Mientras se producen seis vectores de tensión V1 a V6, una corriente eléctrica que fluye a un bobinado del motor 7 fluye a los buses de DC 4a y 4b. Por lo tanto, es posible detectar la corriente eléctrica con la unidad 9 de detección de corriente de DC y observar la corriente eléctrica como la corriente del bus de DC I<sub>dc</sub>. Por otra parte, mientras se producen los vectores nulos V0 y V7, es imposible observar la corriente eléctrica como la corriente del bus de DC I<sub>dc</sub>.

25 La figura 37 es una tabla de la relación entre ocho clases de vectores de tensión básicos, los modos de conmutación correspondientes a los vectores de tensión básicos y las corrientes de fase que se pueden observar como corriente de bus de DC I<sub>dc</sub>. Tal como se muestra en la figura 37, es imposible observar una corriente de fase en los vectores nulos V0 y V7. Sin embargo, la corriente de fase se observa como "I<sub>u</sub> (corriente de fase U)" en el vector de tensión V1, se observa como "I<sub>v</sub> (corriente de fase V)" en el vector de tensión V2, se observa como "-I<sub>w</sub> (corriente de fase W)" en el vector de tensión V3, se observa como "I<sub>w</sub>" en el vector de tensión V4, se observa como "-I<sub>v</sub>" en el vector de tensión V5 y se observa como "-I<sub>u</sub>" en el vector de tensión V6.

30 Para hacer girar suavemente el motor 7, es necesario obtener un flujo magnético correspondiente a una tensión deseada y una frecuencia deseada. Esto se puede conseguir combinando apropiadamente las ocho clases de vectores de tensión. La figura 38 es un diagrama para explicar la relación de fase entre los vectores de tensión básicos, y la relación entre el ángulo de rotación del inversor y un vector de comando de tensión. En la figura 38, cuando el sentido de rotación del inversor es horario, los seis vectores de tensión V1 a V6 están dispuestos en un plano de fases en el orden horario de V1, V3, V2, V6, V4, y V5, a una diferencia de fase de 60 grados. Los dos vectores nulos V0 y V7 se muestran en la posición del origen.

35 En la figura 38, el ángulo θ de rotación del inversor que tiene la dirección del vector de tensión V1 (fase U) como fase inicial, proporciona la fase de un vector de comando de tensión V\*. El ángulo de fase entre uno de los seis vectores de tensión, que se produce en el sentido de rotación del inversor, y el vector de comando de tensión V\* se denomina el ángulo θ\* de rotación de vector espacial. Se debe observar que el intervalo angular del ángulo θ\* de rotación del vector espacial es 0 grados ≤ θ\* < 60 grados.

40 Las relaciones de producción de los respectivos vectores de tensión dependen de una modulación porcentual, que es la relación entre la tensión de salida y la tensión de bus. Los tiempos de producción de los respectivos vectores de tensión dependen del vector de comando de tensión V\* y del ángulo θ\* de rotación del vector espacial. Por lo tanto, la unidad 11 de discriminación de corrientes de fase calcula las corrientes de fase I<sub>u</sub>, I<sub>v</sub> e I<sub>w</sub> a partir de la corriente de bus de DC I<sub>dc</sub>, de acuerdo con la tabla mostrada en la figura 37, mientras se producen los respectivos vectores de tensión.

45 A continuación, la unidad 12 para calcular una corriente de excitación y una corriente de par motor convierte las corrientes de fase I<sub>u</sub>, I<sub>v</sub> e I<sub>w</sub> calculadas por la unidad 11 de discriminación de corrientes de fase en una corriente de excitación I<sub>y</sub> (una corriente en el eje y) y una corriente del par motor I<sub>δ</sub> (una corriente en el eje δ) utilizando, por ejemplo, una matriz de conversión de tres fases a dos fases [C<sub>1</sub>] indicada mediante la ecuación (1) y una matriz de rotación [C<sub>2</sub>] indicada mediante la ecuación (2). Se debe observar que, en la ecuación (2), θ indica un ángulo de rotación del inversor, y el sentido de rotación es horario.

$$[C_1] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[C_2] = \begin{bmatrix} \cos \theta & \text{sen } \theta \\ -\text{sen } \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

El sistema de coordenadas, en el que se basa la unidad 12 para calcular una corriente de excitación y una corriente de par motor, es de ejes  $\gamma$ - $\delta$  en lugar de ser de ejes d-q. Este aspecto se explica a continuación. El lado del polo N de un rotor del motor 7 se establece como el eje d y una fase avanzada 90 grados (un ángulo eléctrico) en el sentido de rotación se establece como el eje q. Cuando no se utiliza un sensor para detectar la posición de un rotor, tal como un codificador de pulsos, para accionar un motor asíncrono, la unidad de control del inversor 2 no puede obtener con precisión la coordenada de los ejes d-q del rotor. De hecho, la unidad de control del inversor 2 lleva a cabo un control con un sistema de coordenadas desplazado mediante una diferencia de fase  $\Delta\theta$  respecto del sistema de coordenadas de ejes d-q. Este sistema de coordenadas desplazado mediante la diferencia de fase  $\Delta\theta$  se denomina generalmente coordenadas de ejes  $\gamma$ - $\delta$ . Es habitual utilizar estas coordenadas de ejes  $\gamma$ - $\delta$ . Esto aplica asimismo a esta memoria descriptiva.

La unidad 13 de cálculo del vector de comando de tensión lleva a cabo varias clases de operación de control vectorial que incluyen control de velocidad en base a la corriente de excitación  $I_\gamma$  (la corriente del eje  $\gamma$ ) y a la corriente del par motor  $I_\delta$  (la corriente del eje  $\delta$ ) calculadas por la unidad 12 para calcular la corriente de excitación y la corriente del par motor. La unidad 13 de cálculo del vector de comando de tensión calcula la magnitud y la fase del vector de comando de tensión  $V^*$  utilizado para el siguiente control. Este ángulo de fase es el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor, tal como se ha descrito anteriormente.

La unidad de creación de señales PWM 14 produce señales de tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{un}$ ,  $T_{vp}$ ,  $T_{vn}$ ,  $T_{wp}$  y  $T_{wn}$  en base al vector de comando de tensión  $V^*$ , según varios sistemas descritos más adelante. Por consiguiente, la unidad 15 de generación de señales PWM genera señales PWM de tres fases  $U_p$ ,  $U_n$ ,  $V_p$ ,  $V_n$ ,  $W_p$ ,  $W_n$ , que son señales de accionamiento aplicadas a los elementos de conmutación de semiconductor 5a a 5f, a partir de las señales de tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{un}$ ,  $T_{vp}$ ,  $T_{vn}$ ,  $T_{wp}$  y  $T_{wn}$  y controla los elementos de conmutación de semiconductor 5a a 5f. Como resultado, se acciona el motor 7.

Convencionalmente, como sistema para generar una señal PWM en la unidad de creación de señales PWM 14, se han utilizado principalmente dos sistemas. Un sistema es el sistema para generar una señal PWM utilizando en total cuatro clases de vectores de tensión básicos, es decir, dos clases de vectores de tensión básicos con una diferencia de fase de 60 grados y dos clases de vectores nulos que no tienen magnitud, que se obtienen conmutando solamente una fase de los estados de conmutación de las dos clases de vectores de tensión básicos (en adelante, denominado "sistema de modulación de tres fases"). El otro sistema es un sistema para generar una señal PWM utilizando en total tres clases de vectores de tensión básicos, es decir, dos clases de vectores de tensión básicos con una diferencia de fase de 60 grados y una de las dos clases de vectores nulos que no tienen magnitud (en adelante, denominado "sistema de modulación de dos fases").

Específicamente, éste es un procedimiento para generar, descomponiendo el vector de comando de tensión  $V^*$  procedente de la unidad 13 de cálculo del vector de comando de tensión en las direcciones de dos vectores de tensión básicos correspondientes al mismo, relaciones de tiempos de producción de los respectivos vectores de tensión básicos y calcular tiempos de conducción (o tiempos de no conducción) de los respectivos elementos de conmutación de semiconductor durante un periodo de la portadora. Este sistema tiene problemas que se describen a continuación.

La relación de la tensión de salida frente a la tensión del bus de DC se denomina modulación porcentual. En el sistema de modulación de tres fases o en el sistema de modulación de dos fases, cuando la modulación porcentual es baja, las relaciones de tiempos de producción de las dos clases de vectores de tensión básicos que tienen magnitud y una diferencia de fase de 60 grados disminuye, y la anchura del tiempo de mantenimiento de un modo de conmutación se reduce. Incluso si la modulación porcentual es alta en alguna medida, cuando el vector de comando de tensión  $V^*$  está cerca de uno de los vectores de tensión básicos, disminuye la relación de tiempos de producción del otro vector de tensión básico distante del vector de comando de tensión  $V^*$  y se reduce la anchura del tiempo de retención de un modo de conmutación.

En estos dos casos, existe el problema de que, en una sección de producción de un vector de tensión básico con una anchura corta del tiempo de mantenimiento de un modo de conmutación, dado que no se puede garantizar un tiempo suficiente de detección de la corriente de DC y no se puede llevar a cabo correctamente la detección de la corriente, la controlabilidad se deteriora significativamente.

Por lo tanto, en los últimos años, para garantizar una anchura del tiempo de mantenimiento de un modo de conmutación en los casos descritos anteriormente, se ha propuesto (por ejemplo, documento de patente 1) un sistema para generar una señal PWM con un patrón de conmutación diferente al sistema de tres fases y al sistema de dos fases (en adelante, denominado "sistema PWM extendido").

El documento de patente 1 da a conocer un circuito de generación de tensión PWM de tres fases que genera una señal de tensión PWM de tres fases utilizando en total tres clases de vectores de tensión básicos, es decir, dos clases de vectores de tensión básicos con una diferencia de fase de 120 grados y un vector nulo que no tiene

magnitud, que se obtiene conmutando solamente una fase de los estados de conmutación de estos vectores de tensión básicos. El documento de patente 1 da a conocer asimismo un circuito de generación de tensión PWM de tres fases, que genera una señal de tensión PWM de tres fases utilizando tres clases de vector de tensión básico con diferencias de fase de 60 grados, respectivamente.

5 En este sistema PWM extendido, las señales de tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{un}$ ,  $T_{vp}$ ,  $T_{vn}$ ,  $T_{wp}$  y  $T_{wn}$  se generan mediante dos procedimientos descritos a continuación.

(1) Como un modo de conmutación durante un periodo de la portadora, las señales de tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{un}$ ,  $T_{vp}$ ,  $T_{vn}$ ,  $T_{wp}$  y  $T_{wn}$  se generan según un control de relaciones de tiempo para tres clases de vectores en total, es decir, dos clases de vectores de tensión básicos con una diferencia de fase de 120 grados y un vector nulo obtenido conmutando solamente una fase de un estado de conmutación de una de las dos clases de vectores de tensión básicos (esto se denomina "primera combinación").

(2) Como un modo de conmutación durante un periodo de la portadora, las señales de tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{un}$ ,  $T_{vp}$ ,  $T_{vn}$ ,  $T_{wp}$  y  $T_{wn}$  se generan según un control de relaciones de tiempo para tres clases de vectores de tensión básicos con diferencias de fase de 60 grados, respectivamente (esto se denomina "segunda combinación"). Estos procedimientos se explican a continuación haciendo referencia a las figuras 39A a 42.

Las figuras 39A y 39B son diagramas de la relación entre los vectores de tensión básicos utilizados para una primera combinación en la unidad de creación de señales PWM mostrada en la figura 36, en un plano de fases, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos, respectivamente. La figura 40 es un diagrama de temporización de un ejemplo de un estado lógico (un patrón de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlado mediante la primera combinación.

En el caso de la primera combinación, por ejemplo, cuando se considera de manera limitada un área en la que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor es de 30 a 90 grados, es posible generar las señales de tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{un}$ ,  $T_{vp}$ ,  $T_{vn}$ ,  $T_{wp}$  y  $T_{wn}$  utilizando los vectores de tensión básicos  $V_1$  (0, 0, 1) y  $V_2$  (0, 1, 0) con una diferencia de fase de 120 grados y el vector nulo  $V_0$  (0, 0, 0), tal como se muestra en la figura 39A, y conmutando los vectores en el orden de  $V_0$ ,  $V_2$ ,  $V_0$ ,  $V_1$  y  $V_0$ , tal como se muestra en la figura 39B. En este caso, el estado lógico (patrón de conmutación) de los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e en el lado del polo positivo del bus de DC es tal como se muestra en la figura 40. Se observa que el estado de salida del motor 7 mediante las señales de accionamiento  $W_p$ ,  $V_p$  y  $U_p$ , que se proporcionan a los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e mediante la unidad 15 de generación de señales PWM, cambia en el orden de conmutación mostrado en la figura 39B.

Las figuras 41A y 41B son diagramas de la relación entre los vectores de tensión básicos utilizados para una segunda combinación en la unidad de creación de señales PWM mostrada en la figura 36, en un plano de fases, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos, respectivamente. La figura 42 es un diagrama de temporización de un ejemplo de un estado lógico (un patrón de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlado mediante la segunda combinación.

En el caso de la segunda combinación, por ejemplo, cuando se considera limitadamente un área en la que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor es de 30 a 90 grados, es posible generar las señales de tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{un}$ ,  $T_{vp}$ ,  $T_{vn}$ ,  $T_{wp}$  y  $T_{wn}$  utilizando los vectores de tensión básicos  $V_1$  (0, 0, 1),  $V_3$  (0, 1, 1) y  $V_2$  (0, 1, 0) que tienen diferencias de fase de 60 grados y conmutando los vectores en el orden de  $V_3$ ,  $V_1$ ,  $V_3$ ,  $V_2$  y  $V_3$ , tal como se muestra en la figura 41B. En este caso, el estado lógico (patrón de conmutación) de los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e en el lado del polo positivo del bus de DC es tal como se muestra en la figura 42. Se observa que el estado de salida del motor 7 accionando las señales  $W_p$ ,  $V_p$  y  $U_p$ , que son proporcionadas a los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e mediante la unidad 15 de generación de señales PWM, cambia en el orden de conmutación mostrado en la figura 41B.

Cabe señalar que, por ejemplo, el documento de patente 2 da a conocer un circuito de generación de tensión de PWM de tres fases que obtiene un ancho de los pulsos suficiente consiguiendo una modulación del ancho de los pulsos cuando es difícil detectar la tensión del bus de DC. El documento de patente 3 da a conocer un inversor o similar, que hace posible detectar una corriente eléctrica introduciendo una onda portadora durante un periodo cuando es necesario para detectar la tensión del bus de DC. El documento de patente 4 da a conocer un inversor de PWM o similar, que hace posible detectar una corriente eléctrica preparando previamente una tabla de conversión y configurando un ancho de los pulsos con una corriente de bus de DC, a un valor predeterminado o más. El documento de patente 5 da a conocer un inversor o similar, que hace posible realizar el muestreo de una corriente de bus de DC incluso en un microordenador económico, consiguiendo una temporización de detección de la corriente del bus de DC.

El documento WO 03/105329 A1 describe un sistema de accionamiento para un motor de AC sin escobillas, de tres fases, que está dispuesto para optimizar el patrón de conmutación del transistor con el fin de mejorar la salida de potencia mediante permitir la medición de la corriente en todas las fases, utilizando el único sensor. Esto se consigue definiendo vectores de demanda de tensión en los que se requieren más de dos estados para satisfacer un

requisito mínimo del tiempo de los estados, determinado mediante el procedimiento de un solo sensor, y calculando tres o más vectores de estado que producen el vector demandado, mientras se sigue permitiendo una única detección de corriente.

5 El documento de Prasad V.H. et al., "Analysis and comparison of space vector modulation schemes for a four-leg voltage source inverter", Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1997, APEC '97 Conference Proceedings 1997, Twelfth Annual Atlanta, GA, USA, 23 a 27 de febrero de 1997, Nueva York, NY, USA, IEEE, US, volumen 2, 23 de febrero de 1997 (23/02/1997), páginas 893 a 871, ISBN: 978-0-7803-3704-6. analiza esquemas de modulación por vectores espaciales de tres niveles para un inversor de fuente de tensión de cuatro patas. El análisis se lleva a cabo con respecto a pérdidas de conmutación y distorsión armónica total bajo condiciones de carga tanto  
10 equilibradas como no equilibradas sobre todo el intervalo de valores de índices de modulación y sobre un ángulo del factor de potencia de carga variable.

El documento de Blaabjerg F. et al., "Single current sensor technique in the DC-link of three-phase PWM-VS inverters. A review and the ultimate solution" Industry Applications Conference, 1996, Thirty-first IAS Annual Meeting, IAS '96, Conference Record of the 1996 IEEE San Diego, CA, USA 6 a 10 de octubre de 1996, Nueva York, NY, USA, IEEE, US, volumen 2, 6 de octubre de 1996 (06/10/1996), páginas 1192 a 1202, ISBN: 978-0-7803-3544-8, propone una solución para la reconstrucción de corrientes de tres fases en un inversor PWM-VS mediante un sensor de corriente en el enlace de DC. La solución ofrece una protección del inversor que incluye disparos a través del enlace de DC, un cortocircuito de las fases de salida y derivaciones a tierra tanto para baja como para alta impedancia.

20 Documento de patente 1: solicitud de patente japonesa a inspección pública número 7-298631.

Documento de patente 2: patente japonesa número 3447366.

Documento de patente 3: solicitud de patente japonesa a inspección pública número 2003-224982.

Documento de patente 4: solicitud de patente japonesa a inspección pública número 2003-209976.

Documento de patente 5: solicitud de patente japonesa a inspección pública número 2002-95263.

## 25 **Descripción de la invención**

Problema a resolver mediante la invención

Sin embargo, el sistema PWM extendido convencional tiene los problemas descritos a continuación. En el sistema para generar una señal PWM de tres fases utilizando tres clases de vectores de tensión básicos en total, es decir, dos clases de vectores de tensión básicos con una diferencia de fase de 120 grados y un vector nulo sin magnitud  
30 que se obtiene conmutando solamente una fase de los estados de conmutación de los vectores de tensión básicos, hay una limitación sobre la magnitud de la señal de tiempo de conducción a generar. En otras palabras, hay una limitación sobre la magnitud del vector de comando de tensión utilizado para el siguiente control que se puede producir. El vector de comando de tensión se puede aplicar solamente a un intervalo con una modulación porcentual baja. Por lo tanto, hay una limitación significativa de utilización del sistema.

35 En este sistema, dado que no se utilizan vectores de tensión básicos con una diferencia de fase de 60 grados, la eficiencia del inversor se deteriora como resultado de la alimentación de una corriente eficaz mayor de lo necesario. Existe una tendencia a que aumenten los armónicos superiores en la corriente del motor, y aumenten el ruido y las vibraciones. Además, en este sistema, existe asimismo el problema de que, cuando se reduce la anchura del tiempo de mantenimiento de un vector nulo, se genera un área cerca de la conmutación simultánea de dos fases que hace  
40 la propia conmutación inestable.

Por otra parte, en el sistema para generar una señal PWM de tres fases utilizando tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 60 grados, respectivamente, dado que no se utiliza un vector nulo, la eficiencia se deteriora significativamente. En este sistema, cuando se reduce la anchura de un vector de tensión básico, se genera un área cerca de la conmutación simultánea de dos fases que hace inestable la propia  
45 conmutación. Por lo tanto, la limitación sobre el intervalo de utilización del sistema es importante. Además en este sistema, en la práctica, dado que existen muchas limitaciones de una modulación porcentual o de un ángulo de rotación de los vectores espaciales, existe el problema de que pueden aumentar las cargas sobre el software y, como resultado, se requiere un hardware con alto rendimiento.

50 La presente invención se ha concebido en vista de las circunstancias descritas anteriormente, y un objetivo de la presente invención es obtener un aparato de generación de señal PWM de tres fases que aumente la anchura del tiempo de mantenimiento de un modo de conmutación con un procedimiento simple que tenga una limitación menor del intervalo de tensiones de salida, y que pueda reducir el intervalo limitado de detección de corriente de un bus de DC, sin añadir un nuevo dispositivo en el inversor de tensión de tres fases.

## Medios para resolver el problema

Un aparato para generar una señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases para un inversor de tensión de tres fases utilizando un elemento de conmutación de semiconductor, según la presente invención, incluye una unidad de generación que está adaptada para generar la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases en base a un vector de comando de tensión que se descompone en una combinación de tres vectores de tensión básicos y un primer vector nulo, en el que los vectores de tensión básicos tienen una diferencia de fase de 60 grados, y la unidad de generación incluye una unidad de creación que está adaptada para descomponer el vector de comando de tensión en una combinación de dos vectores de tensión básicos entre los tres vectores de tensión básicos, de tal modo que el vector de comando de tensión está presente entre los dos vectores de tensión básicos, asignando de ese modo primeras relaciones de tiempos de producción para el vector de comando de tensión a los dos vectores de tensión básicos con el fin de obtener dos vectores de tensión básicos asignados, y asignando una primera relación de tiempos de producción al primer vector nulo; y una unidad de distribución que está adaptada para crear un conjunto de tres vectores de tensión virtuales que se suman para producir un segundo vector nulo, teniendo los tres vectores de tensión virtuales longitudes iguales y una misma diferencia de fase de 120 grados, y para superponer los dos vectores de tensión básicos asignados sobre los tres vectores de tensión virtuales con el fin de obtener vectores de tensión virtuales superpuestos, asignando de ese modo segundas relaciones de tiempos de producción a los vectores de tensión virtuales superpuestos, y para asignar una segunda relación de tiempos de producción al primer vector nulo, y la unidad de generación está adaptada para generar la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases en base a las segundas relaciones de tiempos de producción de los vectores de tensión virtuales superpuestos y a la segunda relación de tiempos de producción del primer vector nulo.

Según la presente invención, es posible generar una señal PWM con un alto grado de libertad de una modulación porcentual e impidiendo un deterioro excesivo de la eficiencia, con un procedimiento simple de utilización de tres clases de vectores de tensión básicos y por lo menos una clase de vector nulo, sin añadir un dispositivo especial.

## Resultado de la invención

Según la presente invención, se obtiene el resultado de que es posible aumentar la anchura del tiempo de mantenimiento de un modo de conmutación con un procedimiento simple que tiene una menor limitación del intervalo de tensiones de salida, sin añadir un nuevo dispositivo, y de que es posible generar una señal PWM de tres fases de forma que se reduce el intervalo limitado de detección de corriente de un bus de DC.

**Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 es un diagrama de bloques de un inversor que incluye un aparato de generación de señal PWM de tres fases, de acuerdo con una primera realización de la presente invención;

las figuras 2A a 2C son gráficos para explicar el funcionamiento para generar una señal PWM utilizando tres vectores de tensión básicos y una clase de vector nulo, en una unidad de generación de señales PWM mostrada en la figura 1;

las figuras 3A y 3B son diagramas de la relación entre los vectores de tensión básicos y el vector nulo en un plano de fases cuando el ángulo de rotación del inversor está cerca de 60 grados, en la generación de una señal PWM, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos y el vector nulo, respectivamente;

la figura 4 es un diagrama de temporización de un ejemplo de un estado lógico (un patrón de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlado conmutando los vectores de tensión básicos y el vector nulo mostrados en la figura 3B (patrón #1);

las figuras 5A y 5B son diagramas de la relación entre los vectores de tensión básicos y el vector nulo en un plano de fases cuando el ángulo de rotación del inversor está cerca de 120 grados, en la generación de una señal PWM, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos y el vector nulo, respectivamente.

la figura 6 es un diagrama de temporización de un ejemplo de un estado lógico (un patrón de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlado conmutando los vectores de tensión básicos y el vector nulo mostrados en la figura 5B (patrón #2);

las figuras 7A y 7B son diagramas de la relación entre los vectores de tensión básicos y el vector nulo en un plano de fases cuando el ángulo de rotación del inversor está cerca de 180 grados en la generación de una señal PWM, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos y el vector nulo, respectivamente.

la figura 8 es un diagrama de temporización de un ejemplo de un estado lógico (un patrón de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlado conmutando los vectores de tensión básicos y el vector nulo mostrados en la figura 7B (patrón #3);

las figuras 9A y 9B son diagramas de la relación entre los vectores de tensión básicos y el vector nulo en un plano de fases cuando el ángulo de rotación del inversor está cerca de 240 grados en la generación de una señal PWM, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos y el vector nulo, respectivamente.

- la figura 10 es un diagrama de temporización de un ejemplo de un estado lógico (un patrón de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlado conmutando los vectores de tensión básicos y el vector nulo mostrados en la figura 9B (patrón #4);
- 5 las figuras 11A y 11B son diagramas de la relación entre los vectores de tensión básicos y el vector nulo en un plano de fases cuando el ángulo de rotación del inversor está cerca de 300 grados, en la generación de una señal PWM, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos y el vector nulo, respectivamente.
- la figura 12 es un diagrama de temporización de un ejemplo de un estado lógico (un patrón de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlado conmutando los vectores de tensión básicos y el vector nulo mostrados en la figura 11B (patrón #5);
- 10 las figuras 13A y 13B son diagramas de la relación entre los vectores de tensión básicos y el vector nulo en un plano de fases cuando el ángulo de rotación del inversor está cerca de 0 grados, en la generación de una señal PWM, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos y el vector nulo, respectivamente.
- la figura 14 es un diagrama de temporización de un ejemplo de un estado lógico (un patrón de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlado conmutando los vectores de tensión básicos y el vector nulo mostrados en la figura 13B (patrón #6);
- 15 la figura 15A es una tabla de relaciones entre el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor y los patrones #1 a #6;
- la figura 15B es un diagrama de la relación entre el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor y los patrones #1 a #6 mostrados en la figura 15A, en un plano de fases;
- 20 las figuras 16A y 16B son diagramas de la relación entre tres vectores de tensión básicos y dos vectores nulos en un plano de fases, cuando el ángulo de rotación del inversor está cerca de 60 grados, en la generación de una señal PWM utilizando los vectores de tensión básicos y los vectores nulos, de acuerdo con una segunda realización de la presente invención, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos y los vectores nulos, respectivamente;
- 25 las figuras 17A a 17D son diagramas de temporización de estados lógicos (patrones de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo de un bus de DC, controlados mediante cuatro maneras de conmutar los vectores de tensión básicos y el vector nulo mostrados en la figura 16B (patrón #21);
- 30 las figuras 18A y 18B son diagramas de la relación entre tres vectores de tensión básicos y dos vectores nulos en un plano de fases, cuando el ángulo de rotación del inversor está cerca de 120 grados, en la generación de una señal PWM utilizando los vectores de tensión básicos y los vectores nulos, de acuerdo con una segunda realización de la presente invención, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos y los vectores nulos, respectivamente;
- 35 las figuras 19A a 19D son diagramas de temporización de estados lógicos (patrones de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo de un bus de DC, controlados mediante cuatro maneras de conmutar los vectores de tensión básicos y el vector nulo mostrados en la figura 18B (patrón #22);
- 40 las figuras 20A y 20B son diagramas de la relación entre tres vectores de tensión básicos y dos vectores nulos en un plano de fases, cuando el ángulo de rotación del inversor está cerca de 180 grados, en la generación de una señal PWM utilizando los vectores de tensión básicos y los vectores nulos, de acuerdo con una segunda realización de la presente invención, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos y los vectores nulos, respectivamente;
- 45 las figuras 21A a 21D son diagramas de temporización de estados lógicos (patrones de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo de un bus de DC, controlados mediante cuatro maneras de conmutar los vectores de tensión básicos y el vector nulo mostrados en la figura 20B (patrón #23);
- 50 las figuras 22A y 22B son diagramas de la relación entre tres vectores de tensión básicos y dos vectores nulos en un plano de fases, cuando el ángulo de rotación del inversor está cerca de 240 grados, en la generación de una señal PWM utilizando los vectores de tensión básicos y los vectores nulos, de acuerdo con una segunda realización de la presente invención, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos y los vectores nulos, respectivamente;
- las figuras 23A a 23D son diagramas de temporización de estados lógicos (patrones de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo de un bus de DC, controlados mediante cuatro maneras de conmutar los vectores de tensión básicos y los vectores nulos mostrados en la figura 22B (patrón #24);

- 5 las figuras 24A y 24B son diagramas de la relación entre tres vectores de tensión básicos y dos vectores nulos en un plano de fases, cuando el ángulo de rotación del inversor está cerca de 300 grados, en la generación de una señal PWM utilizando los vectores de tensión básicos y los vectores nulos, de acuerdo con una segunda realización de la presente invención, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos y los vectores nulos, respectivamente;
- las figuras 25A a 25D son diagramas de temporización de estados lógicos (patrones de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo de un bus de DC, controlados mediante cuatro maneras de conmutar los vectores de tensión básicos y el vector nulo mostrados en la figura 24B (patrón #25);
- 10 las figuras 26A y 26B son diagramas de la relación entre tres vectores de tensión básicos y dos vectores nulos en un plano de fases, cuando el ángulo de rotación del inversor está cerca de 0 grados, en la generación de una señal PWM utilizando los vectores de tensión básicos y los vectores nulos, de acuerdo con una segunda realización de la presente invención, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos y los vectores nulos, respectivamente;
- 15 las figuras 27A a 27D son diagramas de temporización de estados lógicos (patrones de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo de un bus de DC, controlados mediante cuatro maneras de conmutar los vectores de tensión básicos y el vector nulo mostrados en la figura 26B (patrón #26);
- 20 las figuras 28A a 28C son gráficos para explicar una operación de una unidad de creación de señales PWM en un aparato de generación de señal PWM de tres fases, de acuerdo con una tercera realización de la presente invención;
- la figura 29A es un gráfico de relaciones de tiempos de ocurrencia de dos vectores de tensión básicos y un vector nulo en un sistema de modulación de tres fases o un sistema de modulación de dos fases, convencionales;
- 25 la figura 29B es un gráfico de relaciones de tiempos de ocurrencia de los tres vectores de tensión básicos y un vector nulo, de acuerdo con la tercera realización;
- las figuras 30A a 30C son gráficos para explicar una operación de una unidad de creación de señales PWM en un aparato de generación de señal PWM de tres fases, de acuerdo con una cuarta realización de la presente invención;
- 30 las figuras 31A y 31B son diagramas de la relación entre tres vectores de tensión básicos que tienen una diferencia de fase de 120 grados y un vector nulo, en un plano de fases, cuando el ángulo de rotación del inversor está próximo a 60 grados, en la generación de una señal PWM, de acuerdo con la cuarta realización, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos y el vector nulo, respectivamente;
- las figuras 32A y 32B son diagramas de temporización de un estado lógico (un patrón de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlados mediante dos maneras de conmutar los vectores de tensión básicos y el vector nulo, mostradas en la figura 31B (patrón #31);
- 35 las figuras 33A y 33B son diagramas de la relación entre tres vectores de tensión básicos que tienen una diferencia de fase de 120 grados y un vector nulo, en un plano de fases, cuando el ángulo de rotación del inversor está próximo a 120 grados, en la generación de una señal PWM, de acuerdo con la cuarta realización, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos y el vector nulo, respectivamente;
- 40 las figuras 34A y 34B son diagramas de temporización de un estado lógico (un patrón de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlados mediante dos maneras de conmutar los vectores de tensión básicos y el vector nulo, mostradas en la figura 32B (patrón #32);
- 45 las figuras 35A a 35C son gráficos para explicar un procedimiento de constitución de una unidad de generación de señales PWM, de acuerdo con una quinta realización de la presente invención, cuando se utilizan tanto los procedimientos de generación de una señal PWM según la primera a cuarta realizaciones como el procedimiento de generación de una señal PWM según el sistema de modulación de tres fases o el sistema de modulación de dos fases, convencionales;
- la figura 36 es un diagrama de bloques de un ejemplo de un inversor convencional;
- 50 la figura 37 es una tabla de la relación entre ocho clases de vectores de tensión básicos, modos de conmutación correspondientes a los vectores de tensión básicos y corrientes de fase que se pueden observar como corriente de bus de DC  $I_{dc}$ .
- la figura 38 es un diagrama para explicar la relación de fase entre los vectores de tensión básicos, y la relación entre el ángulo de rotación del inversor y un vector de comando de tensión;

las figuras 39A y 39B son diagramas de la relación entre los vectores de tensión básicos utilizados para una primera combinación en la unidad de creación de señales PWM mostrada en la figura 36, en un plano de fases, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos, respectivamente;

5 la figura 40 es un diagrama de temporización de un ejemplo de un estado lógico (un patrón de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlado mediante la primera combinación.

las figuras 41A y 41B son diagramas de la relación entre los vectores de tensión básicos utilizados para una segunda combinación en la unidad de creación de señales PWM mostrada en la figura 36, en un plano de fases, y un ejemplo de un orden de conmutación de los vectores de tensión básicos, respectivamente; y

10 la figura 42 es un diagrama de temporización de un ejemplo de un estado lógico (un patrón de conmutación) de un elemento de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlado mediante la segunda combinación.

**Explicaciones de letras o numerales**

- 1 circuito principal del inversor
- 15 3 fuente de alimentación de DC
- 4a, 4b buses de DC
- 5a, 5b, 5c, 5d, 5e, 5f elementos de conmutación de semiconductor
- 6a, 6b, 6c, 6d, 6e, 6f diodos en volante
- 7 motor
- 20 9 unidad de detección de la corriente de DC
- 11 unidad de discriminación de la corriente de fase
- 12 unidad para calcular una corriente de excitación y una corriente de par motor
- 13 unidad de cálculo del vector de comando de tensión
- 15 unidad de generación de señales PWM
- 25 20 unidad de control del inversor
- 21 unidad de generación de señales PWM
- 22 unidad de creación del régimen de señales PWM
- 23 unidad de redistribución del régimen de señales PWM
- 25, 26, 27 vectores de tensión virtuales
- 30 31, 32, 33 vectores de tensión virtuales
- 35C6, 37 vectores de tensión virtuales
- 41, 42 puntos de conmutación

**Mejor modo o modos de llevar a cabo la invención**

35 A continuación se explican en detalle realizaciones a modo de ejemplo de un aparato de generación de señal PWM de tres fases acorde con la presente invención, haciendo referencia a los dibujos.

Primera realización

40 La figura 1 es un diagrama de bloques de un inversor que incluye un aparato de generación de señal PWM de tres fases, de acuerdo con una primera realización de la presente invención. Se debe observar que, en la figura 1, los componentes idénticos o equivalentes a los componentes mostrados en la figura 36 (el ejemplo convencional) se indican mediante signos y numerales de referencia idénticos. Las acciones relacionadas con la primera realización se explican principalmente en este caso.

Tal como se muestra en la figura 1, en la primera realización, está dispuesta una unidad 20 de control del inversor en lugar de la unidad de control del inversor 2 de la estructura mostrada en la figura 36 (el ejemplo convencional). En

la unidad 20 de control del inversor, está dispuesta una unidad 21 de creación de señales PWM en lugar de la unidad de creación de señales PWM 14 mostrada en la figura 36 (el ejemplo convencional).

La unidad 21 de creación de señales PWM incluye una unidad 22 de creación del régimen de señales PWM, que recibe un vector de comando de tensión  $V^*$  de la unidad 13 de cálculo del vector de comando de tensión, y una unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM, que recibe una salida de la unidad 22 de creación del régimen de señales PWM y entrega señales de tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{un}$ ,  $T_{vp}$ ,  $T_{vn}$ ,  $T_{wp}$  y  $T_{wn}$  a la unidad 15 de generación de señales PWM.

Se explica en este caso el funcionamiento de la unidad 21 de creación de señales PWM según la primera realización. Las figuras 2A a 2C son gráficos para explicar el funcionamiento de la unidad 21 de creación de señales PWM. La figura 2A es un diagrama para explicar el funcionamiento de la unidad 22 de creación del régimen de señales PWM. La figura 2B es un diagrama para explicar un vector de tensión virtual utilizado en la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM. La figura 2C es un diagrama para explicar el funcionamiento de la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM.

La unidad 22 de creación del régimen de señales PWM descompone el vector de comando de tensión  $V^*$  procedente de la unidad 13 de cálculo del vector de comando de tensión en las direcciones de dos vectores de tensión básicos a ambos lados del vector de comando de tensión  $V^*$ , para generar de ese modo relaciones de tiempos de producción de los respectivos vectores de tensión básicos. En otras palabras, la unidad 22 de creación del régimen de señales PWM produce dos clases de vectores de tensión básicos con una diferencia de fase de 60 grados que tienen las relaciones de tiempos de producción como longitudes de vector, y por lo menos una clase de vector nulo. Este sistema es igual que el sistema de modulación de tres fases o el sistema de modulación de dos fases, convencionales. Esto se explica específicamente haciendo referencia a la figura 2A.

En la figura 2A, los vectores de tensión básicos  $V_3$  y  $V_2$  están dispuestos en un intervalo de 60 grados en sentido horario, en un plano de fases que tiene la dirección del vector de tensión básico  $V_1$  como fase inicial. Cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 60 grados, es decir, cuando el vector de comando de tensión  $V^*$  está presente entre el vector de tensión básico  $V_1$  y el vector de tensión básico  $V_3$  (en la figura 2A, el vector de comando de tensión  $V^*$  está cerca del vector de tensión básico  $V_3$ ). El estado de generación de relaciones de tiempos de producción en este caso se muestra en la figura 2A. Tal como se muestra en la figura 2A, cuando el vector de comando de tensión  $V^*$  está presente entre el vector de tensión básico  $V_1$  y el vector de tensión básico  $V_3$ , la unidad 22 de creación del régimen de señales PWM descompone el vector de comando de tensión  $V^*$  en las dos direcciones del vector de tensión básico  $V_1$  y el vector de tensión básico  $V_3$  para generar de ese modo una relación de tiempos de producción  $d_1$  del vector de tensión básico  $V_1$  y una relación de tiempos de producción  $d_3$  del vector de tensión básico  $V_3$ . Aunque no se muestra en la figura, se produce asimismo simultáneamente un vector nulo correspondiente al vector de comando de tensión  $V^*$ .

Tal como se muestra en la figura 2A, cuando el vector de comando de tensión  $V^*$  está cerca del vector de tensión básico  $V_3$ , la relación de tiempos de producción  $d_3$  del vector de tensión básico  $V_3$  es larga pero la relación de tiempos de producción  $d_1$  del vector de tensión básico  $V_1$  es corta. Por lo tanto, en el sistema de modulación de tres fases o el sistema de modulación de dos fases, convencionales, existe el problema de que es difícil detectar una corriente eléctrica en el momento en el que se produce el vector de tensión básico  $V_1$ .

En relación con este problema, por ejemplo, si se lleva a cabo la generación de señales PWM con una combinación de los vectores de tensión básicos  $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_3$ , y el vector nulo  $V_0$ , durante un periodo de control de la portadora, es posible realizar fácilmente la detección de corriente incluso si la modulación porcentual es baja y aplicar la detección de corriente a un intervalo en el que la modulación porcentual es igual o mayor que 0,5. Además, es posible impedir un excesivo deterioro de la eficiencia.

En otras palabras, si es posible generar una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 60 grados y una clase de vector nulo, la unidad 13 de cálculo del vector de comando de tensión puede producir el vector de comando de tensión  $V^*$  con un alto grado de libertad que facilita detectar una corriente eléctrica y tiene una menor limitación de la modulación porcentual y un menor deterioro de la eficiencia.

Sin embargo, para un vector de comando de tensión producido mediante una señal PWM según una simple combinación de tres clases de vectores de tensión básicos con diferencias de fase de 60 grados y una clase de vector nulo, es difícil establecer reglas para la producción de vectores mediante la simple descomposición en dos direcciones mostrada en la figura 2A. Por lo tanto, no se puede realizar de manera simple la generación de señales PWM. En este caso, se requiere una nueva regla para la descomposición de un vector de comando de tensión en tres direcciones.

Por lo tanto, en la primera realización, después de la producción de vectores mediante la descomposición en dos direcciones mostrada en la figura 2A, el vector de comando de tensión se descompone además en tres vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 60 grados y un vector nulo, utilizando un vector nulo tal que se puedan establecer reglas para la producción de vectores. La unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM lleva a cabo esta operación. Esto se explica específicamente a continuación.

El vector nulo es un vector que originalmente carece de longitud. Se puede considerar que el vector nulo puede ser sustituido virtualmente por una suma de tres vectores de tensión con diferencias de fase de 120 grados que tienen relaciones de tiempos de producción iguales, siempre que el tiempo de producción lo permita. Tres vectores de tensión con diferencias de fase de 120 grados con las mismas longitudes vectoriales se denominan en lo que sigue  
 5 vectores de tensión virtuales. En la figura 2B, tres vectores de tensión virtuales 25, 26 y 27 con diferencias de fase de 120 grados que tienen las mismas relaciones de tiempos de producción  $d'$  se superponen sobre los tres vectores de tensión básicos  $V_1$ ,  $V_3$  y  $V_2$  que tienen diferencias de fase de 60 grados mostrados en la figura 2A. Tal como se muestra en la figura 2B, el vector de tensión virtual 25 está en fase con el vector de tensión básico  $V_1$ , el vector de tensión virtual 26 está en oposición de fase con el vector de tensión básico  $V_3$  y el vector de tensión virtual 27 está en fase con el vector de tensión de base  $V_2$ .

La unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM superpone tres vectores de tensión virtuales en las direcciones de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 120 grados, respectivamente, para sumar las relaciones de tiempos de producción tanto de los vectores de tensión virtuales como de los vectores de tensión básicos, de tal modo que se incluye la dirección de un vector de tensión básico, que tiene una relación de  
 15 tiempos de producción corta y con la que es difícil la detección actual, de las dos clases de vectores de tensión básicos producidos por el sistema de modulación de dos fases o el sistema de modulación de tres fases, convencionales, mostrados en la figura 2A. En el ejemplo mostrado en la figura 2A, dado que la relación de tiempos de producción  $d_1$  del vector de tensión básico  $V_1$  es corta, tal como se muestra en la figura 2C, la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM superpone los tres vectores de tensión virtuales con relaciones de  
 20 tiempos de producción iguales  $d'$  sobre el vector de tensión básico  $V_1$ , el vector de tensión básico  $V_2$  y el vector de tensión básico  $V_4$  ( $-V_3$ ) para sumar las relaciones de tiempos de producción de los mismos.

Como resultado, las relaciones de tiempos de producción  $d_1'$ ,  $d_2'$  y  $d_3'$  en las direcciones de los vectores de tensión básicos  $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_3$  son las siguientes  $d_1'=d_1+d'$ ,  $d_2'=d'$  y  $d_3'=d_3-d'$ . El resultado de la suma no supera el valor 1. En otras palabras,  $d_1'+d_2'+d_3' \leq 1$  es una limitación de la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM.  
 25 Según un proceso simple, es posible aumentar la relación de tiempos de producción del vector de tensión básico  $V_1$ , que es corta en el sistema convencional mostrado en la figura 2A, mediante la magnitud del vector de tensión virtual. Esto facilita realizar la detección de corriente. La unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM redistribuye una relación de tiempos de producción de un vector de comando de tensión a tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 60 grados y un vector nulo, utilizando un vector nulo con la  
 30 condición de que el resultado de la suma sea menor o igual que el valor 1.

Haciendo referencia a las figuras 3A a 14, se explica específicamente una señal PWM de tres fases producida mediante el procedimiento simple descrito anteriormente. Las figuras 3A y 3B son diagramas de la relación en un plano de fases en el momento en que el ángulo de rotación del inversor está cerca de 60 grados en la generación de una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos y una clase de vector nulo, y un ejemplo de un  
 35 orden de conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos y la clase de vector nulo. La figura 4 es un diagrama de temporización de un ejemplo de un estado lógico (un patrón de conmutación) de elementos de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlado de acuerdo con la conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos y la clase de vector nulo mostrada en la figura 3B.

En la figura 3A, se muestra el vector de tensión básico  $V_3$  (0, 1, 1), el vector de tensión básico  $V_2$  (0, 1, 0) y el vector nulo  $V_0$  (0, 0, 0), relacionados entre sí cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está cerca de 60 grados con el vector de tensión básico  $V_1$  (0, 0, 1) como fase inicial. Cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 60 grados, tal como se muestra en la figura 3B, es posible generar las señales de tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{un}$ ,  $T_{vp}$ ,  $T_{vn}$ ,  $T_{wp}$  y  $T_{wn}$  mediante conmutar los vectores de tensión básicos y el vector nulo en el orden de  $V_0$ ,  $V_1$ ,  $V_3$ ,  $V_2$ ,  $V_0$  y  $V_1$ . Se debe observar que, a diferencia de la figura 3B, los vectores de tensión básicos y el vector nulo se  
 40 pueden conmutar en el orden de  $V_0$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ,  $V_1$ ,  $V_0$  y  $V_2$ .

El estado lógico (patrón de conmutación) durante un periodo de control de la portadora de los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e en el lado del polo positivo del bus de DC, en el momento en que los vectores de tensión básicos y el vector nulo se conmutan según se muestra en la figura 3B, es tal como se muestran en la figura 4. Esto se establece como el patrón #1. Se observa que el estado de salida del motor 7 mediante las  
 45 señales de accionamiento  $W_p$ ,  $V_p$  y  $U_p$ , proporcionadas a los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e mediante la unidad 15 de generación de señales PWM, cambia en el orden de conmutación mostrado en la figura 3B.

Cuando se aplica el ejemplo de la figura 2C a la figura 4, la relación de los tiempos de conducción de un elemento de conmutación del lado del polo positivo en fase U es  $d_1'+d_3'$ . La relación de los tiempos de conducción de un elemento de conmutación del lado del polo positivo en fase V es  $d_2'+d_3'$ . La relación de los tiempos de conducción de un elemento de conmutación del lado del polo positivo en fase W es 0. En otras palabras, el elemento de conmutación del lado del polo positivo en fase W está siempre en un estado de funcionamiento APAGADO. Las relaciones de los tiempos de conducción de los elementos de conmutación 5b, 5d y 5f del lado del polo negativo en las fases respectivas se calculan restando las relaciones de los tiempos de conducción de los elementos de  
 50 conmutación 5a, 5c y 5e del lado del polo positivo, respecto del valor 1. Los tiempos de conducción durante un

periodo de control de la portadora de los respectivos elementos de conmutación se establecen multiplicando estos valores por un periodo de control de la portadora.

De este modo, la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM obtiene los tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{vp}$  y  $T_{wp}$  durante un periodo de control de la portadora de los elementos de conmutación 5a, 5c y 5e del lado del polo positivo de fase U, fase V y fase W, y los tiempos de conducción  $T_{un}$ ,  $T_{vn}$  y  $T_{wn}$  durante un periodo de control de la portadora de los elementos de conmutación 5b, 5d y 5f del lado del polo negativo. En base a los tiempos de conducción, la unidad 15 de generación de señales PWM emite señales de accionamiento  $U_p$ ,  $V_p$ ,  $W_p$ ,  $U_n$ ,  $V_n$  y  $W_n$  para los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c, 5e, 5b, 5d y 5f con el fin de hacer posible accionar el motor 7.

Análogamente, es posible asimismo mostrar el estado de generación de una señal PWM, con el vector de tensión básico V1 como una fase inicial, en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 120 grados (en la dirección del vector de tensión básico V2) (figuras 5A a 6), en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 180 grados (en la dirección del vector de tensión básico V6) (figuras 7A a 8), en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 240 grados (en la dirección del vector de tensión básico V4) (figuras 9A a 10), en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 300 grados (en la dirección del vector de tensión básico V5) (figuras 11A a 12) y en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 0 grados (en la dirección del vector de tensión básico V1) (figuras 13A a 14).

Las figuras 5A y 5B son diagramas de una relación de un plano de fases en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 120 grados en la generación de una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos y una clase de vector nulo, y un ejemplo de un orden de conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos. La figura 6 es un diagrama de temporización de un ejemplo de un estado lógico (un patrón de conmutación) de los elementos de conmutación de semiconductor del lado del polo positivo de un bus de DC, controlado de acuerdo con la conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos mostradas en la figura 5B.

En la figura 5A, se muestra el vector de tensión básico V3 (0, 1, 1), el vector de tensión básico V2 (0, 1, 0), el vector de tensión básico V6 (1, 1, 0) y el vector nulo V7 (1, 1, 1), relacionados entre sí cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 120 grados. Cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 120 grados, tal como se muestra en la figura 5B, es posible generar las señales de tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{un}$ ,  $T_{vp}$ ,  $T_{vn}$ ,  $T_{wp}$  y  $T_{wn}$  mediante conmutar los vectores de tensión básicos y el vector nulo en el orden de V7, V3, V2, V6, V7 y V3. Se debe observar que, a diferencia de la figura 5B, los vectores de tensión básicos y el vector nulo se pueden conmutar en el orden de V7, V6, V2, V3, V7 y V6.

El estado lógico (patrón de conmutación) durante un periodo de control de la portadora de los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e en el lado del polo positivo del bus de DC, en el momento en que los vectores de tensión básicos y el vector nulo se conmutan según se muestra en la figura 5B, es tal como se muestra en la figura 6. Esto se establece como el patrón #2. Se observa que el estado de salida del motor 7 mediante las señales de accionamiento  $W_p$ ,  $V_p$  y  $U_p$  proporcionadas a los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e mediante la unidad 15 de generación de señales PWM, cambia en el orden de conmutación mostrado en la figura 5B. En este caso, el elemento de conmutación de semiconductor del lado del polo positivo en fase V está siempre en un estado de funcionamiento ENCENDIDO.

Las figuras 7A y 7B son diagramas de una relación de un plano de fases en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 180 grados en la generación de una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos y una clase de vector nulo, y un ejemplo de un orden de conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos. La figura 8 es un diagrama de temporización de un ejemplo de un estado lógico (un patrón de conmutación) de los elementos de conmutación de semiconductor del lado del polo positivo de un bus de DC, controlado de acuerdo con la conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos mostradas en la figura 7B.

En la figura 7A, se muestra el vector de tensión básico V2 (0, 1, 0), el vector de tensión básico V6 (1, 1, 0), el vector de tensión básico V4 (1, 0, 0) y el vector nulo V0 (0, 0, 0), relacionados entre sí cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 180 grados. Cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 180 grados, tal como se muestra en la figura 7B, es posible generar las señales de tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{un}$ ,  $T_{vp}$ ,  $T_{vn}$ ,  $T_{wp}$  y  $T_{wn}$  mediante conmutar los vectores de tensión básicos y el vector nulo en el orden de V0, V2, V6, V4, V0 y V2. Se debe observar que, a diferencia de la figura 7B, los vectores de tensión básicos y el vector nulo se pueden conmutar en el orden de V0, V4, V6, V2, V0 y V4.

El estado lógico (patrón de conmutación) durante un periodo de control de la portadora de los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e en el lado del polo positivo del bus de DC, en el momento en que los vectores de tensión básicos y el vector nulo se conmutan según se muestra en la figura 7B, es tal como se muestra en la figura 8. Esto se establece como el patrón #3. Se observa que el estado de salida del motor 7 mediante las señales de accionamiento  $W_p$ ,  $V_p$  y  $U_p$  proporcionadas a los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e mediante la unidad 15 de generación de señales PWM, cambia en el orden de conmutación mostrado en la figura

7B. En este caso, el elemento de conmutación de semiconductor del lado del polo positivo en fase U está siempre en un estado de funcionamiento APAGADO.

Las figuras 9A y 9B son diagramas de una relación de un plano de fases en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 240 grados en la generación de una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos y una clase de vector nulo, y un ejemplo de un orden de conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos. La figura 10 es un diagrama de temporización de un ejemplo de un estado lógico (un patrón de conmutación) de los elementos de conmutación de semiconductor del lado del polo positivo de un bus de DC, controlado de acuerdo con la conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos mostradas en la figura 9B.

En la figura 9A, se muestra el vector de tensión básico V6 (1, 1, 0), el vector de tensión básico V4 (1, 0, 0), el vector de tensión básico V5 (1, 0, 1) y el vector nulo V7 (1, 1, 1), relacionados entre sí cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 240 grados. Cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 240 grados, tal como se muestra en la figura 9B, es posible generar las señales de tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{un}$ ,  $T_{vp}$ ,  $T_{vn}$ ,  $T_{wp}$  y  $T_{wn}$  mediante conmutar los vectores de tensión básicos y el vector nulo en el orden de V7, V6, V4, V5, V7 y V6. Se debe observar que, a diferencia de la figura 9B, los vectores de tensión básicos y el vector nulo se pueden conmutar en el orden de V7, V5, V4, V6, V7 y V5.

El estado lógico (patrón de conmutación) durante un periodo de control de la portadora de los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e en el lado del polo positivo del bus de DC, en el momento en que los vectores de tensión básicos y el vector nulo se conmutan según se muestra en la figura 9B, es tal como se muestra en la figura 10. Esto se establece como el patrón #4. Se observa que el estado de salida del motor 7 mediante las señales de accionamiento  $W_p$ ,  $V_p$  y  $U_p$  proporcionadas a los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e mediante la unidad 15 de generación de señales PWM, cambia en el orden de conmutación mostrado en la figura 9B. En este caso, el elemento de conmutación de semiconductor del lado del polo positivo en fase W está siempre en un estado de funcionamiento ENCENDIDO.

Las figuras 11A y 11B son diagramas de una relación de un plano de fases en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 300 grados en la generación de una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos y una clase de vector nulo, y un ejemplo de un orden de conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos. La figura 12 es un diagrama de temporización de un ejemplo de un estado lógico (un patrón de conmutación) de los elementos de conmutación de semiconductor del lado del polo positivo de un bus de DC, controlado de acuerdo con la conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos mostradas en la figura 11B.

En la figura 11A, se muestra el vector de tensión básico V4 (1, 0, 0), el vector de tensión básico V5 (1, 0, 1), el vector de tensión básico V1 (0, 0, 1) y el vector nulo V0 (0, 0, 0), relacionados entre sí cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 300 grados. Cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 300 grados, tal como se muestra en la figura 11B, es posible generar las señales de tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{un}$ ,  $T_{vp}$ ,  $T_{vn}$ ,  $T_{wp}$  y  $T_{wn}$  mediante conmutar los vectores de tensión básicos y el vector nulo en el orden de V0, V4, V5, V1, V0 y V4. Se debe observar que, a diferencia de la figura 11B, los vectores de tensión básicos y el vector nulo se pueden conmutar en el orden de V0, V1, V5, V4, V0 y V1.

El estado lógico (patrón de conmutación) durante un periodo de control de la portadora de los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e en el lado del polo positivo del bus de DC, en el momento en que los vectores de tensión básicos y el vector nulo se conmutan según se muestra en la figura 11B, es tal como se muestra en la figura 12. Esto se establece como el patrón #5. Se observa que el estado de salida del motor 7 mediante las señales de accionamiento  $W_p$ ,  $V_p$  y  $U_p$  proporcionadas a los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e mediante la unidad 15 de generación de señales PWM, cambia en el orden de conmutación mostrado en la figura 11B. En este caso, el elemento de conmutación de semiconductor del lado del polo positivo en fase V está siempre en un estado de funcionamiento APAGADO.

Las figuras 13A y 13B son diagramas de una relación de un plano de fases en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 0 grados en la generación de una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos y una clase de vector nulo, y un ejemplo de un orden de conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos. La figura 14 es un diagrama de temporización de un ejemplo de un estado lógico (un patrón de conmutación) de los elementos de conmutación de semiconductor del lado del polo positivo de un bus de DC, controlado de acuerdo con la conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos mostradas en la figura 13B.

En la figura 13A, se muestra el vector de tensión básico V5 (1, 0, 1), el vector de tensión básico V1 (0, 0, 1), el vector de tensión básico V3 (0, 1, 1) y el vector nulo V7 (1, 1, 1), relacionados entre sí cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 0 grados. Cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 0 grados, tal como se muestra en la figura 13B, es posible generar las señales de tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{un}$ ,  $T_{vp}$ ,  $T_{vn}$ ,  $T_{wp}$  y  $T_{wn}$  mediante conmutar los vectores de tensión básicos y el vector nulo en el orden de V7, V5, V1, V3, V7 y V5. Se debe observar que, a diferencia de la figura 13B, los vectores de tensión básicos y el vector nulo se pueden conmutar en el orden de V7, V3, V1, V5, V7 y V3.

El estado lógico (patrón de conmutación) durante un periodo de control de la portadora de los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e en el lado del polo positivo del bus de DC, en el momento en que los vectores de tensión básicos y el vector nulo se conmutan según se muestra en la figura 13B, es tal como se muestra en la figura 14. Esto se establece como el patrón #6. Se observa que el estado de salida del motor 7 mediante las señales de accionamiento  $W_p$ ,  $V_p$  y  $U_p$  proporcionadas a los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e mediante la unidad 15 de generación de señales PWM, cambia en el orden de conmutación mostrado en la figura 13B. En este caso, el elemento de conmutación de semiconductor del lado del polo positivo en fase U está siempre en un estado de funcionamiento ENCENDIDO.

El procedimiento de generación de una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 60 grados y una clase de vector nulo es particularmente eficaz cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a múltiplos enteros de 60 grados, es decir, próximo a los vectores de tensión básicos V1 a V6. Es decir, es conveniente llevar a cabo la conmutación de los patrones #1 a #6 cerca del punto intermedio de los dos vectores de tensión básicos que tienen una diferencia de fase de 60 grados. Esto se representa como una ecuación general, como sigue.

Cuando se supone que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor situado en el punto intermedio de los dos vectores de tensión básicos que tienen una diferencia de fase de 60 grados está en un ángulo de fase de conmutación  $\theta\alpha$  con respecto al ángulo  $\theta$  de rotación del inversor, con la dirección del vector de tensión básico V1 como fase inicial, el ángulo de fase de conmutación se puede representar como  $\theta\alpha=30+60\times n$  utilizando un entero n.

La figura 15A es una tabla de la relación entre el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor y los patrones #1 a #6. La figura 15B es un diagrama de la relación entre el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor y los patrones #1 a #6 en un plano de fases. Tal como se muestra en las figuras 15A y 15B, el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor con la dirección del vector de tensión básico V1 como fase inicial es el patrón #6 mostrado en la figura 14 a  $0^\circ\leq\theta<30^\circ$ , el patrón #1 mostrado en la figura 4 a  $30^\circ\leq\theta<90^\circ$ , el patrón #2 mostrado en la figura 6 a  $90^\circ\leq\theta<150^\circ$ , el patrón #3 mostrado en la figura 8 a  $150^\circ\leq\theta<210^\circ$ , el patrón #4 mostrado en la figura 10 a  $210^\circ\leq\theta<270^\circ$ , el patrón #5 mostrado en la figura 12 a  $270^\circ\leq\theta<330^\circ$  y el patrón #6 mostrado en la figura 14 a  $330^\circ\leq\theta<360^\circ$ . Se debe observar que, en la figura 15A, los intervalos de los respectivos patrones se representan como "A grados o más y B grados o menos". Sin embargo, se puede incluir a cada lado el punto extremo de un intervalo.

De este modo, según la primera realización, es posible generar una señal PWM con un alto grado de libertad de una modulación porcentual e impedir el excesivo deterioro de la eficiencia, con el procedimiento simple de utilizar tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 60 grados y una clase de vector nulo, sin añadir un dispositivo especial.

En la explicación anterior, una señal PWM se genera como una combinación de tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 60 grados y una clase de vector nulo. Sin embargo, es posible generar una señal PWM según la misma idea cuando se utilizan dos clases de vectores nulos. Esto se explica específicamente como una segunda realización.

#### Segunda realización

En un inversor que incluye un aparato de generación de señal PWM de tres fases de acuerdo con una segunda realización de la presente invención, una unidad de generación de señales PWM en el aparato de generación de señal PWM de tres fases corresponde a la unidad 21 de creación de señales PWM en la estructura mostrada en la figura 1 (la primera realización). En primer lugar se explica brevemente el funcionamiento de la unidad 22 de creación del régimen de señales PWM, haciendo referencia a las figuras 1 y 2A, aunque la explicación es redundante.

Tal como se explica en la primera realización, la unidad 22 de creación del régimen de señales PWM descompone el vector de comando de tensión  $V^*$  procedente de la unidad 13 de cálculo del vector de comando de tensión en las direcciones de dos vectores de tensión básicos a ambos lados del vector de comando de tensión  $V^*$ , para generar de ese modo relaciones de tiempos de producción de los respectivos vectores de tensión básicos. En otras palabras, la unidad 22 de creación del régimen de señales PWM produce dos clases de vectores de tensión básicos con una diferencia de fase de 60 grados que tienen las relaciones de tiempos de producción como longitudes de vector, y por lo menos una clase de vector nulo.

En el ejemplo mostrado en la figura 2A, en un plano de fases con la dirección del vector de tensión básico V1 como fase inicial, cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 60 grados, es decir, cuando el vector de comando de tensión  $V^*$  está presente entre el vector de tensión básico V1 y el vector de tensión básico V3 (en la figura 2A, el vector de comando de tensión  $V^*$  está próximo al vector de tensión básico V3), la unidad 22 de creación del régimen de señales PWM descompone el vector de comando de tensión  $V^*$  en dos direcciones del vector de tensión básico V1 y el vector de tensión básico V3 para generar una relación de tiempos de producción d1 del vector de tensión básico V1, una relación de tiempos de producción d3 del vector de tensión básico V3 y una relación de tiempos de producción dzero de un vector nulo correspondiente al vector de comando de tensión  $V^*$ , aunque la relación de tiempos de producción dzero no se puede mostrar en la figura. Esta relación de tiempos de producción dzero del vector nulo se produce en una relación de  $dzero=1-d1-d3$ .

Tal como se ha explicado en la primera realización, el sistema de modulación de tres fases o el sistema de modulación de dos fases, convencionales, mostrados en la figura 2A, tienen el problema de que es difícil detectar la corriente eléctrica en el momento en que se produce el vector de tensión básico V1. En la primera realización que trata este problema, hay una situación en la que en solamente un conjunto de los elementos de conmutación de semiconductor de tres fases (5a, 5b), (5c, 5d) y (5e, 5f) no lleva a cabo conmutación (ver las figuras 3, 6, 8, 10, 12 y 14), no se puede mantener un equilibrio de conmutación de tres fases, y existe un problema de vibración y ruido.

Por lo tanto, en esta segunda realización, para tratar ambos problemas, la generación de señales PWM se lleva a cabo, por ejemplo, con una combinación de los vectores de tensión básicos V1, V2 y V3 y los vectores nulos V0 y V7 durante un periodo de control de la portadora. Por consiguiente, la unidad 13 de cálculo del vector de comando de tensión puede producir el vector de comando de tensión V\* con un alto grado de libertad que facilita detectar la corriente eléctrica, tiene una menor limitación de la modulación porcentual y un menor deterioro de la eficiencia, y tiene un efecto de reducción de vibración/ruido.

Cuando la generación de señales PWM se lleva a cabo con dicha combinación de tres clases de vectores de tensión básicos y dos clases de vectores nulos, es posible asimismo utilizar el procedimiento de producción de vectores según una descomposición en dos direcciones, y a continuación realizar además una distribución vectorial mediante un vector nulo mostrada en la figura 2A. En otras palabras, la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM acorde con la segunda realización lleva a cabo una operación para la redistribución de una relación de tiempos de producción del vector de comando de tensión V\* a tres clases de vectores de tensión básicos y dos clases de vectores nulos, según la misma idea explicada en la primera realización. Esto se explica en detalle a continuación utilizando tres clases de vectores de tensión básicos V1, V2 y V3 mostrados en la figura 2A.

Cuando las relaciones de tiempos de producción de las tres clases de vectores de tensión básicos V1, V2 y V3 son d1', d2' y d3', la relación de tiempos de producción total dcero' de las dos clases de vectores nulos después de la redistribución se representa como sigue.

$$D_{cero'} = 1 - d1' - d2' - d3' \quad (3)$$

La relación entre la relación de tiempos de producción total dcero', la relación de tiempos de producción d0' de un vector nulo V0 y la relación de tiempos de producción d7' del otro vector nulo V7 se representa como sigue, suponiendo que k es un valor arbitrario dentro del intervalo de 0 a 1.

$$d0' = k \cdot dcero' \quad (4)$$

$$d7' = (1 - k) \cdot dcero' \quad (5)$$

A partir de las ecuaciones (4) y (5), en relación con las respectivas relaciones de tiempos de producción de las dos clases de vectores nulos, es posible dividir la relación de tiempos de producción total dcero' en una proporción arbitraria, establecer una relación de tiempos de producción dividida como la relación de tiempos de producción d0' del vector nulo V0, y establecer la otra relación de tiempos de producción dividida como la relación de tiempos de producción d7' del vector nulo V7. De este modo, es posible asimismo cumplir la ecuación (3) asignando la relación de tiempos de producción total dcero' a las respectivas relaciones de tiempos de producción de las dos clases de vectores nulos.

Por consiguiente, se elimina la situación en la que solamente un conjunto de elementos de conmutación de semiconductor de tres fases (5a, 5b), (5c, 5d) y (5e, 5f) no lleva a cabo conmutación (ver las figuras 17, 19, 21, 23, 25 y 27). Como resultado, dado que se mantiene un equilibrio de conmutación de las tres fases, es posible reducir la vibración y el ruido. Si además se cambia en todo momento la relación según la cual se dividen los vectores nulos, es posible dispersar los picos de sonido cerca de una frecuencia portadora en comparación con cuando la relación no se cambia. Se obtiene un efecto de reducción de ruido acústico.

Haciendo referencia a las figuras 16A a 27D, se explica específicamente una señal PWM de tres fases generada mediante un procedimiento según la segunda realización. Las figuras 16A y 16B son diagramas de una relación en un plano de fases en el momento en que el ángulo de rotación del inversor está próximo a 60 grados en la generación de una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos y dos clases de vectores nulos de acuerdo con una segunda realización de la presente invención, y un ejemplo de un orden de conmutación de tres clases de vectores de tensión básicos y dos clases de vectores nulos. Las figuras 17A a 17D son diagramas de temporización de estados lógicos (patrones de conmutación) de elementos de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlado de acuerdo con cuatro modos de conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos y las dos clases de vectores nulos mostradas en la figura 16B.

En la figura 16A, con el vector de tensión básico V1 (0, 0, 1) como fase inicial, se muestra el vector de tensión básico V3 (0, 1, 1), el vector de tensión básico V2 (0, 1, 0), el vector nulo V0 (0, 0, 0) y el vector nulo V7 (1, 1, 1), relacionados entre sí cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 60 grados. Es posible generar las señales de tiempos de conducción Tup, Tun, Tvp, Tvn, Twp y Twn adoptando, tal como se muestra en la figura 16B, por ejemplo, cualquiera de (a) V7, V3, V1, V0 y V2, (b) V7, V3, V1, V0, V2 y V3, (c) V7, V3, V2, V0 y V1 y (d) V7, V3,

V2, V0, V1 y V3 como un orden de conmutación en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 60 grados. Esto se establece como el patrón #21.

Las figuras 17A a 17D son diagramas de temporización de estados lógicos (patrones de conmutación) durante un periodo de control de la portadora de los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e en el lado del polo positivo de un bus de DC en los órdenes de conmutación (a), (b), (c) y (d) mostrados en la figura 16B. Tal como se muestra en las figuras 17A a 17D, es posible accionar los elementos de conmutación de semiconductor de tres fases (5a, 5b), (5c, 5d) y (5e, 5f) a ENCENDIDO y APAGADO sin una situación en la que un conjunto de los elementos de conmutación de semiconductor de tres fases no está realizando conmutación.

Se debe observar que los órdenes de conmutación en (a) a (d) se pueden invertir. Específicamente, en el ejemplo del orden de conmutación (a), el orden de conmutación puede ser de V2, V0, V1, V3 y V7. Además, el sentido de conmutación del orden de conmutación se puede invertir para cada periodo de la portadora. En el ejemplo del orden de conmutación (a), es posible que el orden de conmutación sea de V7, V3, V1, V0 y V2 en un cierto periodo de la portadora y sea de V2, V0, V1, V3 y V7 en el siguiente periodo de control de la portadora. Lo mismo aplica a las figuras 18B, 20B, 22B, 24B y 26B descritas a continuación.

Cuando el ejemplo de la figura 2C se aplica la figura 17A, la relación de los tiempos de conducción del elemento de conmutación del lado del polo positivo de fase U es de  $d1'+d3'+d7'$ . La relación de los tiempos de conducción del elemento de conmutación del lado del polo positivo en fase V es  $d2'+d3'+d7'$ . La relación de los tiempos de conducción del elemento de conmutación del lado del polo positivo de fase W es de  $d7'$ . Las relaciones de los tiempos de conducción de los elementos de conmutación del lado del polo negativo en las fases respectivas se calculan restando las relaciones de los tiempos de conducción de los elementos de conmutación del lado del polo positivo respecto del valor 1. Los tiempos de conducción durante un periodo de control de la portadora de los respectivos elementos de conmutación se establecen multiplicando estos valores por un periodo de control de la portadora. En el momento de la emisión real de la señal PWM, se genera una señal PWM teniendo en cuenta un tiempo de prevención de cortocircuito de un elemento de conmutación.

De este modo, la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM mostrada en la figura 1 obtiene los tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{vp}$  y  $T_{wp}$  durante un periodo de control de la portadora de los elementos de conmutación del lado del polo positivo de fase U, fase V y fase W, y los tiempos de conducción  $T_{un}$ ,  $T_{vn}$  y  $T_{wn}$  durante un periodo de control de la portadora de los elementos de conmutación del lado del polo negativo. En base a los tiempos de conducción, la unidad 15 de generación de señales PWM emite señales de accionamiento  $U_p$ ,  $V_p$ ,  $W_p$ ,  $U_n$ ,  $V_n$  y  $W_n$  para los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c, 5e, 5b, 5d y 5f con el fin de hacer posible accionar el motor 7.

Análogamente, es posible asimismo mostrar el estado de generación de una señal PWM, con el vector de tensión básico V1 como una fase inicial, en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 120 grados (en la dirección del vector de tensión básico V2) (figuras 18A a 19D), en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 180 grados (en la dirección del vector de tensión básico V6) (figuras 20A a 21D), en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 240 grados (en la dirección del vector de tensión básico V4) (figuras 22A a 23D), en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 300 grados (en la dirección del vector de tensión básico V5) (figuras 24A a 25D) y en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 0 grados (en la dirección del vector de tensión básico V1) (figuras 26A a 27D). Dado que la generación de una señal de accionamiento se lleva a cabo según la misma idea que el patrón #21 descrito anteriormente, se omite la explicación de la generación de una señal de accionamiento pero se describe a continuación un esquema de la misma.

En la figura 18A, se muestra el vector de tensión básico V3 (0, 1, 1), el vector de tensión básico V2 (0, 1, 0), el vector de tensión básico V6 (1, 1, 0), el vector nulo V0 (0, 0, 0) y el vector nulo V7 (1, 1, 1), que están relacionados entre sí en un plano de fases en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor con el vector de tensión básico V1 como fase inicial está próximo a 120 grados en la generación de una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos y dos clases de vectores nulos, según una segunda realización de la presente invención. En la figura 18B, como ejemplos de un orden de conmutación de tres clases de vectores de tensión básicos y dos clases de vectores nulos, se muestran cuatro modos de órdenes de conmutación, (a) V7, V3, V0, V2 y V6, (b) V7, V3, V2, V0, V2 y V6, (c) V7, V6, V0, V2 y V3 y (d) V7, V6, V2, V0, V2 y V3. En las figuras 19A a 19D, se muestran estados lógicos (patrones de conmutación) de elementos de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlados de acuerdo con la conmutación de cuatro modos de tres clases de vectores de tensión básicos y dos clases de vectores nulos mostrados en la figura 18B. Esto se establece como el patrón #22.

En la figura 20A, se muestra el vector de tensión básico V2 (0, 1, 0), el vector de tensión básico V6 (1, 1, 0), el vector de tensión básico V4 (1, 0, 0), el vector nulo V0 (0, 0, 0) y el vector nulo V7 (1, 1, 1), que están relacionados entre sí en un plano de fases en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor con el vector de tensión básico V1 como fase inicial está próximo a 180 grados en la generación de una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos y dos clases de vectores nulos, según la segunda realización de la presente invención. En la figura 20B, se muestran como ejemplos de un orden de conmutación de tres clases de vectores de tensión básicos y dos clases de vectores nulos, cuatro modos de órdenes de conmutación (a) V7, V6, V2, V0 y V4, (b) V7, V6, V2, V0,

V4 y V6, (c) V7, V6, V4, V0 y V2 y (d) V7, V6, V4, V0, V2 y V6. En las figuras 21A a 21D, se muestra un estado lógico (un patrón de conmutación) de elementos de conmutación de semiconductor en el lado del polo positivo de un bus de DC, controlado según la conmutación de cuatro modos de tres clases de vectores de tensión básicos y dos clases de vectores nulos mostrados en la figura 20B. Esto se establece como el patrón #23.

5 En la figura 22A, se muestra el vector de tensión básico V6 (1, 1, 0), el vector de tensión básico V4 (1, 0, 0), el vector de tensión básico V5 (1, 0, 1), el vector nulo V0 (0, 0, 0) y el vector nulo V7 (1, 1, 1), que están relacionados entre sí en un plano de fases en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor con el vector de tensión básico V1 como fase inicial está próximo a 240 grados en la generación de una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos y dos clases de vectores nulos, según la segunda realización de la presente invención. En la  
10 figura 22B, se muestran como ejemplos de un orden de conmutación de tres clases de vectores de tensión básicos y dos clases de vectores nulos, cuatro modos de órdenes de conmutación, (a) V7, V6, V0, V4 y V5, (b) V7, V6, V4, V0, V4 y V5, (c) V7, V5, V0, V4 y V6 y (d) V7, V5, V4, V0, V4 y V6. En las figuras 23A a 23D, se muestran estados lógicos (patrones de conmutación) de elementos de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlados de acuerdo con la conmutación de cuatro modos de tres clases de vectores de tensión  
15 básicos y dos clases de vectores nulos mostrados en la figura 22B. Esto se establece como el patrón #24.

En la figura 24A, se muestra el vector de tensión básico V4 (1, 0, 0), el vector de tensión básico V5 (1, 0, 1), el vector de tensión básico V1 (0, 0, 1), el vector nulo V0 (0, 0, 0) y el vector nulo V7 (1, 1, 1), que están relacionados entre sí en un plano de fases en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor con el vector de tensión básico V1 como fase inicial está próximo a 300 grados en la generación de una señal PWM utilizando tres clases de vectores  
20 de tensión básicos y dos clases de vectores nulos, según la segunda realización de la presente invención. En la figura 24B, como ejemplos de un orden de conmutación de tres clases de vectores de tensión básicos y dos clases de vectores nulos, se muestran cuatro modos de órdenes de conmutación, (a) V7, V5, V4, V0 y V1, (b) V7, V5, V4, V0, V1 y V5, (c) V7, V5, V1, V0 y V4 y (d) V7, V5, V1, V0, V4 y V5. En las figuras 25A a 25D, se muestran estados lógicos (patrones de conmutación) de elementos de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlados de acuerdo con la conmutación de cuatro modos de tres clases de vectores de tensión  
25 básicos y dos clases de vectores nulos mostrados en la figura 24B. Esto se establece como el patrón #25.

En la figura 26A, se muestra el vector de tensión básico V5 (1, 0, 1), el vector de tensión básico V1 (0, 0, 1), el vector de tensión básico V3 (0, 1, 1), el vector nulo V0 (0, 0, 0) y el vector nulo V7 (1, 1, 1), que están relacionados entre sí en un plano de fases en el momento en que el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor con el vector de tensión básico V1 como fase inicial está próximo a 0 grados en la generación de una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos y dos clases de vectores nulos, según la segunda realización de la presente invención. En la figura  
30 26B, como ejemplos de un orden de conmutación de tres clases de vectores de tensión básicos y dos clases de vectores nulos, se muestran cuatro modos de órdenes de conmutación, (a) V7, V5, V0, V1 y V3, (b) V7, V5, V1, V0, V1 y V3, (c) V7, V3, V0, V1 y V5 y (d) V7, V3, V1, V0, V1 y V5. En las figuras 27A a 27D, se muestran estados lógicos (patrones de conmutación) de elementos de conmutación de semiconductor en un lado del polo positivo del bus de DC, controlados de acuerdo con la conmutación de cuatro modos de tres clases de vectores de tensión  
35 básicos y dos clases de vectores nulos mostrados en la figura 26B. Esto se establece como el patrón #26.

El procedimiento de generación de una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos y dos clases de vectores nulos es asimismo particularmente efectivo cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a múltiplos enteros de 60 grados (próximo a los vectores de tensión básicos). Por lo tanto, es conveniente llevar a cabo la conmutación de los respectivos patrones cerca del punto intermedio de dos vectores de tensión básicos que tienen una diferencia de fase de 60 grados, tal como en la primera realización.

Tal como se ha explicado en la primera realización, por ejemplo, un ángulo de fase conmutación  $\theta\alpha$  se define como  $\theta\alpha=30+60\times n$  (n: entero) y un intervalo de ángulos de rotación del inversor correspondiente a seis patrones, los patrones #21 a #26, se determina tal como se muestra en las figuras 15A y 15B. Por consiguiente, es posible generar una señal PWM con un alto grado de libertad de una modulación porcentual, impidiendo el excesivo deterioro de la eficiencia, y con un efecto de reducción de ruido utilizando tres clases de vector de tensión básico y dos clases de vectores nulos.

50 Cuando además de dicho efecto se desea mejorar el grado de libertad de la generación de señales PWM, esto se puede conseguir estableciendo el ángulo de fase de conmutación  $\theta\alpha$  como  $\theta\alpha=30\times n$  (n: entero) y conmutando los órdenes de conmutación (los patrones de conmutación) mostrados en las figuras 16B, 18B, 20B, 22B, 24B y 26B para cada sección de 30 grados.

Específicamente, los patrones de conmutación de (c) y (d) mostrados en la figura 16B se utilizan en una sección de 30 grados a 60 grados, y los patrones de conmutación de (a) y (b) mostrados en la figura 16B se utilizan en una sección de 60 grados a 90 grados. Análogamente, los patrones de conmutación de (a) y (b) mostrados en la figura 18B se utilizan en una sección de 90 grados a 120 grados, y los patrones de conmutación de (c) y (d) mostrados en la figura 18B se utilizan en una sección de 120 grados a 150 grados. Los patrones de conmutación de (c) y (d) mostrados en la figura 20B se utilizan en una sección de 150 grados a 180 grados, y los patrones de conmutación de (a) y (b) mostrados en la figura 20B se utilizan en una sección de 180 grados a 210 grados. Los patrones de conmutación de (a) y (b) mostrados en la figura 22B se utilizan en una sección de 210 grados a 240 grados, y los  
60

patrones de conmutación de (c) y (d) mostrados en la figura 22B se utilizan en una sección de 240 grados a 270 grados. Los patrones de conmutación de (c) y (d) mostrados en la figura 24B se utilizan en una sección de 270 grados a 300 grados, y los patrones de conmutación de (a) y (b) mostrados en la figura 24B se utilizan en una sección de 300 grados a 330 grados. Los patrones de conmutación de (a) y (b) mostrados en la figura 26B se utilizan en una sección de 330 grados y 360 grados, y los patrones de conmutación de (c) y (d) mostrados en la figura 26B se utilizan en una sección de 0 grados a 30 grados.

De este modo, según la segunda realización, tal como en la primera realización, es posible generar una señal PWM con un alto grado de libertad de modulación porcentual e impedir el excesivo deterioro de la eficiencia con el procedimiento simple de utilizar tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 60 grados y dos clases de vectores nulos, sin añadir un dispositivo especial. Es posible asimismo generar una señal PWM que tiene también un efecto de reducción de ruido además del efecto de la primera realización.

Cabe señalar que es posible conmutar y utilizar el sistema de generación de señales PWM acorde con la primera realización que utiliza una clase de vector nulo y el sistema de generación de señales PWM acorde con la segunda realización que utiliza dos clases de vectores nulos B, según se requiera. Es posible conseguir esto, por ejemplo, seleccionando los sistemas para cada sección arbitraria de un ángulo de rotación del inversor, o cambiando los sistemas en una temporización arbitraria en el momento de la generación de una señal PWM.

#### Tercera realización

Las figuras 28A a 28C son gráficos para explicar, en un inversor que incluye un aparato de generación de señal PWM de tres fases según una tercera realización de la presente invención, el funcionamiento de una unidad de generación de señales PWM en el aparato de generación de señal PWM de tres fases. En la tercera realización, se genera una señal PWM mediante el mismo procedimiento que en la primera y la segunda realizaciones. Sin embargo, en la tercera realización se muestra un ejemplo de una estructura para asegurar un intervalo de funcionamiento en un lado de baja velocidad de un motor. Para facilitar la comprensión, en la explicación de la segunda realización se genera una señal PWM mediante el procedimiento acorde con la primera realización.

En la tercera realización, en la unidad 21 de creación de señales PWM en la estructura mostrada en la figura 1 (la primera realización), la unidad 22 de creación del régimen de señales PWM presenta el mismo funcionamiento que la primera realización. Sin embargo, la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM lleva a cabo un funcionamiento diferente al funcionamiento de la primera realización. La tercera realización se explica a continuación haciendo referencia a la figura 1.

Para asegurar un intervalo de funcionamiento en un lado de baja velocidad del motor 7, es necesario reducir adicionalmente la modulación porcentual, es decir, reducir adicionalmente la longitud  $|V^*|$  del vector de comando de tensión  $V^*$ . Para hacer posible dicho control, es necesario asegurar una relación de tiempos de producción de un vector de tensión básico para llevar a cabo una detección de corriente. Originalmente, una relación de tiempos de producción de un vector de tensión básico tiene un valor mínimo que depende de la magnitud de la tensión del bus  $V_{dc}$  y de una limitación sobre el lado del hardware del circuito principal 1 el inversor, y similares.

Por lo tanto, dado que la suma de tres corrientes de fase es cero, cuando se utiliza este hecho, se establece el control del motor 7 si se obtiene la información actual de por lo menos dos fases. Teniendo esto en cuenta, la tercera realización hace posible asegurar un intervalo de funcionamiento en el lado de baja velocidad del motor 7. Específicamente, si una relación de tiempos de producción, que se asigna a un vector de tensión en el punto intermedio entre tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 60 grados, se ajusta a un valor predeterminado tal como un valor mínimo, es posible garantizar relaciones de tiempos de producción, lo que hace posible detectar una corriente eléctrica, en dos vectores de tensión básicos que tienen una diferencia de fase de 120 grados a ambos lados del vector de tensión en el punto intermedio. Por lo tanto, incluso en dicho intervalo especial, es posible seguir controlando el motor 7. Se debe observar que, cuando se adopta el valor mínimo como valor predeterminado, el límite inferior del tiempo de mantenimiento de la generación de PWM depende de un elemento de conmutación de semiconductor o de una CPU para calcular el tiempo de mantenimiento de la generación. Por lo tanto, el valor mínimo de la relación de tiempos de producción se determina teniendo en cuenta un límite del hardware.

Esto se explica específicamente haciendo referencia a las figuras 28A a 28C. La figura 28A tiene el mismo contenido que la figura 2A, y es un diagrama para explicar el funcionamiento de la unidad 22 de creación del régimen de señales PWM. La figura 28B corresponde a la figura 2B, y es un diagrama para explicar un vector de tensión virtual utilizado en la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM, de acuerdo con la tercera realización. La figura 28C corresponde a la figura 2C, y es un diagrama para explicar el funcionamiento de la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM, de acuerdo con la tercera realización.

En la figura 28A, los vectores de tensión básicos  $V_3$  y  $V_2$  están dispuestos en un intervalo de 60 grados en sentido horario, en un plano de fases que tiene la dirección del vector de tensión básico  $V_1$  como fase inicial. Cuando un ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 60 grados, es decir, cuando el vector de comando de tensión  $V^*$  está próximo al vector de tensión básico  $V_3$  (en la figura 2A, el vector de comando de tensión  $V^*$  está próximo al vector de tensión básico  $V_3$ ). El estado de generación de relaciones de tiempos de producción en este caso se

muestra en la figura 28A. Tal como se muestra en la figura 28A, cuando el vector de comando de tensión  $V^*$  está presente entre el vector de tensión básico  $V1$  y el vector de tensión básico  $V3$ , la unidad 22 de creación del régimen de señales PWM descompone el vector de comando de tensión  $V^*$  en las dos direcciones del vector de tensión básico  $V1$  y el vector de tensión básico  $V3$  para generar de ese modo una relación de tiempos de producción  $d1$  del vector de tensión básico  $V1$  y una relación de tiempos de producción  $d3$  del vector de tensión básico  $V3$ .

En la figura 28B, tres vectores de tensión virtuales 30, 31 y 32 con diferencias de fase de 120 grados que tienen las mismas relaciones de tiempos de producción  $d'$  se superponen sobre tres vectores de tensión básicos  $V1$ ,  $V3$  y  $V2$  mostrados en la figura 28A. Tal como se muestra en la figura 28B, el vector de tensión virtual 30 está en fase con el vector de tensión básico  $V1$ , el vector de tensión virtual 31 está en oposición de fase con el vector de tensión básico  $V3$  y el vector de tensión virtual 32 está en fase con el vector de tensión de base  $V2$ .

La unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM acorde con la tercera realización superpone tres vectores de tensión virtuales en direcciones de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 120 grados, respectivamente, para sumar relaciones de tiempos de producción tanto de los vectores de tensión virtuales como de los vectores de tensión básicos, de tal modo que se incluye una dirección de un vector de tensión básico, que es una relación de tiempos de producción corta y con la que es difícil la detección de corriente. El valor mínimo  $d_{min}$  descrito anteriormente se proporciona como una relación de tiempos de producción del vector de tensión básico en el punto intermedio. En el ejemplo mostrado en la figura 28A, dado que los vectores de tensión básicos  $V1$  y  $V2$  son dos vectores de tensión básicos a ambos lados, y el vector de tensión básico  $V3$  es el vector de tensión básico en el punto intermedio, tal como se muestra en la figura 28C, la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM suma las relaciones de tiempos de producción del vector de tensión básico de  $V1$  y el vector de tensión básico  $V2$  y los vectores de tensión virtuales correspondientes a los vectores de tensión básicos entre los tres vectores de tensión virtuales con las mismas relaciones de tiempos de producción  $d'$ . Sin embargo, la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM proporciona el valor mínimo  $d_{min}$  como una relación de tiempos de producción del vector de tensión básico  $V3$  en el punto intermedio.

La relación entre el valor mínimo  $d_{min}$  y la relación de tiempos de producción  $d3$  del vector de tensión básico  $V3$  calculada en la figura 28A es  $d_{min}=d3-d'$ . Por lo tanto, las relaciones de tiempos de producción  $d'$  de los vectores de tensión virtuales, es decir, las longitudes de los vectores de tensión virtuales, solamente se tienen que ajustar como  $d'=d3-d_{min}$  para satisfacer esta ecuación. Se debe observar que las relaciones de tiempos de producción  $d1'$  y  $d2'$  en las direcciones de los vectores de tensión básicos  $V1$  y  $V2$  son  $d1' = d1+d'$  y  $d2' = d'$ , tal como se ha explicado haciendo referencia a la figura 2C.

Sin embargo, la relación de tiempos de producción proporcionada a un vector de tensión básico en el punto intermedio, en el momento en que los vectores de tensión básicos son redistribuidos, no siempre tiene el valor mínimo  $d_{min}$ . La relación de tiempos de producción solamente tiene que ser ajustada a un valor predeterminado de acuerdo con el tipo de motor 7 utilizado y con una condición en el lado de la carga. El valor predeterminado dado como la relación de tiempos de producción del vector de tensión básico en el punto intermedio se puede modificar en función de la frecuencia de funcionamiento o similar, según se requiera.

Se explica una relación de tiempos de producción según la tercera realización en comparación con el sistema convencional, para mostrar que la tercera realización es ventajosa. La figura 29A es un gráfico de relaciones de tiempos de producción de dos clases de vectores de tensión básicos y un vector nulo, a una modulación porcentual de 0,3 obtenida en el sistema de modulación de tres fases o el sistema de modulación de dos fases, convencionales. La figura 29B es un gráfico de relaciones de tiempos de producción de tres clases de vectores de tensión básicos y un vector nulo, a una modulación porcentual 0,3 obtenida en la tercera realización. Se debe observar que en la figura 29B el valor mínimo  $d_{min}$  se ajusta al 4 %. En las figuras 29A y 29B, los vectores de tensión básicos son un vector de tensión básico 1, un vector de tensión básico 2 y un vector de tensión básico 3, en orden de aparición en la dirección de rotación del inversor.

Tal como se puede comprender a partir de la comparación de las figuras 29A y 29B, en el procedimiento de generación de una señales PWM según la tercera realización, las relaciones de tiempos de producción de los dos vectores de tensión básicos en ambos lados se pueden garantizar de manera más independiente respecto del ángulo de rotación del inversor. En el procedimiento convencional mostrado en la figura 29A, la controlabilidad del motor 7 se deteriora cuando cae la modulación porcentual. Por lo tanto, a partir de la figura es evidente asimismo que el procedimiento mostrado en la tercera realización es eficaz.

La descripción anterior es acerca del procedimiento acorde con la primera realización, es decir, el procedimiento de utilizar una clase de vector nulo. En el procedimiento acorde con la segunda realización, es decir, el procedimiento de utilizar dos clases de vectores nulos, dado que las relaciones de tiempos de producción totales de los vectores nulos son iguales, el rendimiento del funcionamiento no se ve afectado y es posible generar una forma de onda PWM con un gran efecto de reducción de las vibraciones/del ruido.

Cuando se utilizan dos clases de vectores nulos, para garantizar un intervalo de funcionamiento en el lado de baja velocidad de motor 7, si se desea hacer el motor 7 controlable incluso si la modulación porcentual se ajusta a un valor inferior, es decir, si se desea hacer el motor 7 controlable incluso si la longitud vectorial  $|V^*|$  del vector de comando de tensión  $V^*$  se hace más corta, tal como se ha descrito anteriormente, la relación de tiempos de

5 producción solamente tiene que ser ajustada al valor predeterminado (el valor mínimo  $d_{min}$ ) para un vector en el punto intermedio entre tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 60 grados. Por consiguiente, es posible garantizar una relación de tiempos de producción que posibilite detectar una corriente eléctrica con dos vectores de tensión básicos que tienen una diferencia de fase de 120 grados a ambos lados del vector de comando de tensión  $V^*$ . Esto hace posible seguir controlando el motor 7. La relación de tiempos de producción de un vector en el punto intermedio en la redistribución de vectores de tensión básicos no siempre tiene que adoptar el valor mínimo  $d_{min}$ , y solamente tiene que ser ajustada a un valor predeterminado en función del tipo del motor 7 utilizado y de una condición en el lado de la carga. El valor mínimo  $d_{min}$  se puede cambiar en función de la frecuencia de funcionamiento o similar, según se requiera.

10 Tal como se ha descrito anteriormente, de acuerdo con la tercera realización, la longitud de un vector de tensión básico en el punto intermedio entre tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 60 grados se ajusta a un valor predeterminado de tal modo que se pueden garantizar las relaciones de tiempos de producción de las dos clases de vectores de tensión básicos a ambos lados, independientemente del ángulo de rotación del inversor. Por lo tanto, es posible aumentar el intervalo de funcionamiento en un lado de baja velocidad de un motor.

#### Cuarta realización

20 Las figuras 30A a 30C son gráficos para explicar, en un inversor que incluye un aparato de generación de señal PWM de tres fases según una cuarta realización de la presente invención, el funcionamiento de una unidad de generación de señales PWM en el aparato de generación de señal PWM de tres fases. En la cuarta realización, el intervalo de demanda de funcionamiento en el lado de baja velocidad es más estricto que en la tercera realización. En otras palabras, la modulación porcentual es menor que la de la tercera realización y, cuando un vector de comando de tensión se descompone en vectores en dos direcciones, ambas relaciones de tiempos de producción de los vectores en las dos direcciones son bajas. Un ejemplo de la estructura explicada en la cuarta realización trata este caso.

25 De acuerdo con la cuarta realización, en la unidad 21 de creación de señales PWM en la estructura mostrada en la figura 1 (la primera realización), la unidad 22 de creación del régimen de señales PWM presenta el mismo funcionamiento que la primera realización. Sin embargo, la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM lleva a cabo un funcionamiento a partir del funcionamiento de la tercera realización. La cuarta realización se explica a continuación haciendo referencia a las figuras 30A a 30C

30 La figura 30A tiene el mismo contenido que las figuras 2A y 16A, y es un diagrama para explicar el funcionamiento de la unidad 22 de creación del régimen de señales PWM. La figura 30B corresponde a las figuras 2B y 16B, y es un diagrama para explicar los vectores de tensión virtuales utilizados en la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM, según la cuarta realización. La figura 30C corresponde a las figuras 2C y 16B, y es un diagrama para explicar el funcionamiento de la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM, según la cuarta realización.

35 En la figura 30A, los vectores de tensión básicos  $V_3$  y  $V_2$  están dispuestos en un intervalo de 60 grados en sentido horario, en un plano de fases que tiene la dirección del vector de tensión básico  $V_1$  como fase inicial. Cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está en un área de 30 a 60 grados en el plano de fases, la magnitud del vector de comando de tensión  $V^*$  presente entre los vectores de tensión básicos  $V_1$  y  $V_3$  es baja. El estado de generación de las relaciones de tiempos de producción en este caso se muestra en la figura 30A. En este caso, tal como en las figuras 2A y 16A, la unidad 22 de creación del régimen de señales PWM descompone el vector de comando de tensión  $V^*$  en dos direcciones del vector de tensión básico  $V_1$  y el vector de tensión básico  $V_3$ , para generar de ese modo una relación de tiempos de producción  $d_1$  del vector de tensión básico  $V_1$  y una relación de tiempos de producción  $d_3$  del vector de tensión básico  $V_3$ .

45 Sin embargo, en el ejemplo mostrado en la figura 30A, dado que tanto la relación de tiempos de producción  $d_1$  del vector de tensión básico  $V_1$  como la relación de tiempos de producción  $d_3$  del vector de tensión básico  $V_3$  son bajas, es difícil detectar una corriente eléctrica cuando se producen los vectores de tensión básicos  $V_1$  y  $V_3$ . Por lo tanto, igual que en la tercera realización, la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM lleva a cabo un proceso para añadir vectores de tensión virtuales (figuras 30B y 30C).

50 En la figura 30B, tres vectores de tensión virtuales 35C6 y 37 con diferencias de fase de 120 grados que tienen relaciones de tiempos de producción  $d'$  iguales, están superpuestos sobre tres vectores de tensión básicos  $V_1$ ,  $V_3$  y  $V_2$  que tienen las diferencias de fase de 60 grados mostradas en la figura 30A. Tal como se muestra en la figura 30B, el vector de tensión virtual 35 está en fase con el vector de tensión básico  $V_1$ , el vector de tensión virtual 36 está en oposición de fase con el vector de tensión básico  $V_3$  y el vector de tensión virtual 37 está en fase con el vector de tensión de base  $V_2$ .

55 En la tercera realización (figura 16C), las relaciones de tiempos de producción  $d_1'$ ,  $d_2'$  y  $d_3'$  de los vectores de tensión básicos  $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_3$  están representadas como  $d_1'=d_1+d'$ ,  $d_2'=d'$  y  $d_3'=d_3-d'$ . La relación de tiempos de producción  $d_3'$  tiene polaridad positiva. Por otra parte, en la cuarta realización, la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM superpone tres vectores de tensión virtuales que tienen las mismas relaciones de tiempos

de producción  $d'$  en las direcciones de los vectores de tensión básicos  $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_4$  ( $-V_3$ ) que tienen diferencias de fase de 120 grados, para sumar relaciones de tiempos de producción de los mismos, de tal modo que la relación de tiempos de producción  $d_3'$  tiene polaridad negativa. Las relaciones de tiempos de producción obtenidas como resultado de la suma son  $d_1'$ ,  $d_2'$  y  $d_4'$ , tal como se muestra en la figura 30C. En este caso, las relaciones de tiempos de producción  $d_1'$ ,  $d_2'$  y  $d_4'$  están representadas como  $d_1'=d_1+d'$ ,  $d_2'=d'$  y  $d_4'=d'-d_3$ .

Una limitación de este caso es que el resultado de la suma no supera el valor 1. En otras palabras,  $d_1'+d_2'+d_4' \leq 1$  es una limitación de la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM. Es posible llevar a cabo una redistribución vectorial dentro de este intervalo. En otras palabras, en el sistema de control acorde con la cuarta realización, a diferencia de la tercera realización, la relación de tiempos de producción del vector de comando de tensión  $V^*$  se redistribuye en tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 120 grados y una clase de vector nulo.

Dado que la modulación porcentual es una relación de la tensión de salida frente a la tensión del bus, la tensión del bus aumenta y la modulación porcentual cae cuando se reduce la velocidad de funcionamiento y la carga es más ligera. Por lo tanto, cuando las magnitudes  $d'$  de los vectores virtuales se establecen del mismo modo que en la tercera realización, las polaridades de las relaciones de tiempos de producción  $d_3'$  y  $d_4'$  obtenidas en el proceso para la suma con los vectores virtuales se establecen de acuerdo con el grado de reducción de la modulación porcentual. Por lo tanto, cuál del vector de tensión básico  $V_3$  y el vector de tensión básico  $V_4$  se utiliza, se establece monitorizando las polaridades de las relaciones de tiempos de producción  $d_3'$  y  $d_4'$ . En otras palabras, como resultado de la monitorización, si la relación de tiempos de producción en un valor positivo es  $d_3'$ , se utiliza el vector de tensión básico  $V_3$  y se adopta el sistema de control según la tercera realización. Si la relación de tiempos de producción en un valor positivo es  $d_4'$ , se utiliza el vector de tensión básico  $V_4$  y se adopta el sistema de control según la cuarta realización.

En otras palabras, es posible conmutar el sistema de control a adoptar, gestionando las magnitudes  $d'$  de los vectores virtuales. Cuando el intervalo de demanda de funcionamiento de baja velocidad no es severo, incluso si el grado de reducción de la modulación porcentual es "grande", se adopta el sistema de control según la tercera realización. Cuando el intervalo de demanda de funcionamiento de baja velocidad es severo, incluso si el grado de reducción de la modulación porcentual es "pequeño", se adopta el sistema de control según la cuarta realización.

Específicamente, cuando el intervalo de demanda de funcionamiento de baja velocidad no es severo, las magnitudes  $d'$  en los vectores virtuales se gestionan para establecer la relación de tiempos de producción  $d_3'$  a una polaridad positiva o para establecer la relación de tiempos de producción  $d_4'$  a una polaridad negativa, es decir, para no producir un vector de tensión básico en la dirección del vector de tensión básico  $V_4$ . Por otra parte, cuando el intervalo de demanda de funcionamiento de baja velocidad es severo, tal como se muestra en la figura 30C, las magnitudes  $d'$  de los vectores virtuales se gestionan para producir un vector de tensión básico en la dirección del vector de tensión básico  $V_4$ .

Haciendo referencia a las figuras 31A a 34B, se explica específicamente una señal PWM de tres fases, que se genera cuando la modulación porcentual acorde con la cuarta realización es extremadamente baja. Las figuras 31A y 31B son diagramas de la relación en el plano de fases en el momento en que el ángulo de rotación del inversor está próximo a 60 grados en la generación de una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 120 grados y una clase de vector nulo, y un ejemplo de un orden de conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 120 grados y la clase de vector nulo (un patrón #31). Las figuras 32A y 32B son diagramas de temporización de un estado lógico (un patrón de conmutación) de elementos de conmutación de semiconductor en el lado del polo positivo de un bus de DC, controlados en función de dos modos de conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 120 grados y la clase de vector nulo, mostradas en la figura 31B. Las figuras 33A y 33B son diagramas de la relación en el plano de fases en el momento en que el ángulo de rotación del inversor está próximo a 120 grados en la generación de una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 120 grados y una clase de vector nulo, y un ejemplo de un orden de conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 120 grados y la clase de vector nulo (un patrón #32). Las figuras 34A y 34B son diagramas de temporización de un estado lógico (un patrón de conmutación) de elementos de conmutación de semiconductor en el lado del polo positivo de un bus de DC, controlados en función de dos modos de conmutación de las tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 120 grados y la clase de vector nulo, mostradas en la figura 33B.

En la figura 31A, se muestra el vector de tensión básico  $V_1$  (0, 0, 1), el vector de tensión básico  $V_2$  (0, 1, 0), el vector de tensión básico  $V_4$  (1, 0, 0) y el vector nulo  $V_0$  (0, 0, 0), relacionados entre sí cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 60 grados (en la dirección del vector de tensión básico  $V_6$ ), con el vector de tensión básico  $V_1$  como fase inicial. En la figura 31B, como orden de conmutación para este caso (patrón #31), se muestran por ejemplo dos modos de conmutación, (a)  $V_0, V_1, V_0, V_2, V_0, V_4$  y (b)  $V_0, V_1, V_0, V_4, V_0, V_2$ . Se debe observar que los órdenes de conmutación (a) y (b) mostrados en la figura 31B se pueden invertir. Específicamente, en el ejemplo del orden de conmutación (a), el orden de conmutación puede ser  $V_4, V_0, V_2, V_0, V_1$  y  $V_0$ . Las figuras 32A y 32B muestran estados lógicos (patrones de conmutación) durante un periodo de control de la portadora de los

elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e en el lado del polo positivo de un bus de DC en los órdenes de conmutación (a) y (b) mostrados en la figura 31B.

El patrón #31 descrito anteriormente se aplica cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 100 grados (en la dirección del vector de tensión básico V2) y cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 300 grados (en la dirección del vector de tensión básico V5).

Cuando se aplica el ejemplo de la figura 30C a las figuras 32A y 32B, la relación de los tiempos de conducción del elemento de conmutación del lado del polo positivo de fase U es d1'. La relación de los tiempos de conducción del elemento de conmutación del lado del polo positivo de fase V es d2'. La relación de los tiempos de conducción del elemento de conmutación del lado del polo positivo de fase W es de d4'. Las relaciones de los tiempos de conducción de los elementos de conmutación del lado del polo negativo en las fases respectivas se calculan restando las relaciones de los tiempos de conducción de los elementos de conmutación del lado del polo positivo respecto del valor 1. Los tiempos de conducción durante un periodo de control de la portadora de los respectivos elementos de conmutación se establecen multiplicando estos valores por un periodo de control de la portadora. En el momento de la emisión real de la señal PWM, se genera una señal PWM teniendo en cuenta un tiempo de prevención de cortocircuito de un elemento de conmutación.

De este modo, la unidad 23 de redistribución del régimen de señales PWM mostrada en la figura 1 obtiene los tiempos de conducción  $T_{up}$ ,  $T_{vp}$  y  $T_{wp}$  durante un periodo de control de la portadora de los elementos de conmutación del lado del polo positivo de fase U, fase V y fase W y los tiempos de conducción  $T_{un}$ ,  $T_{vn}$  y  $T_{wn}$  durante un periodo de control de la portadora de los elementos de conmutación del lado del polo negativo. En base a los tiempos de conducción, la unidad 15 de generación de señales PWM emite señales de accionamiento  $U_p$ ,  $V_p$ ,  $W_p$ ,  $U_n$ ,  $V_n$  y  $W_n$  para los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c, 5e, 5b, 5d y 5f con el fin de hacer posible accionar el motor 7.

En la figura 33A, se muestra el vector de tensión básico V3 (0, 1, 1), el vector de tensión básico V6 (1, 1, 0), el vector de tensión básico V5 (1, 0, 1) y el vector nulo V7 (1, 1, 1), relacionados entre sí cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 120 grados (en la dirección del vector de tensión básico V2), con el vector de tensión básico V1 como fase inicial. En la figura 33B, como orden de conmutación para este caso (patrón #32), se muestran por ejemplo dos modos de conmutación, (a) V7, V3, V7, V6, V7 y V5 y (b) V7, V3, V7, V5, V7 y V6. Se debe observar que los órdenes de conmutación (a) y (b) mostrados en la figura 33B se pueden invertir. Específicamente, en el ejemplo del orden de conmutación (a), el orden de conmutación puede ser de V5, V7, V6, V7, V3 y V7. Las figuras 34A y 34B muestran estados lógicos (patrones de conmutación) durante un periodo de control de la portadora de los elementos de conmutación de semiconductor 5a, 5c y 5e en el lado del polo positivo de un bus de DC en los órdenes de conmutación (a) y (b) mostrados en la figura 33B.

Dado que la relación de correspondencia de las figuras 33A y 33B con la figura 30C se puede explicar igual que anteriormente, dicha relación de correspondencia no se describe de nuevo. El patrón #32 descrito anteriormente se aplica cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 240 grados (en la dirección del vector de tensión básico V4) y cuando el ángulo  $\theta$  de rotación del inversor está próximo a 0 grados (en la dirección del vector de tensión básico V). Según la misma idea que se ha explicado en la primera realización, es posible conmutar el procedimiento de generación de una señal PWM en función del ángulo  $\theta$  de rotación del inversor utilizando el ángulo de fase de conmutación  $\theta\alpha$ .

Tal como se ha descrito anteriormente, de acuerdo con la cuarta realización, cuando un vector de comando de tensión es menor que el de la tercera realización, se genera una señal PWM utilizando tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 120 grados y una clase de vector nulo. Por lo tanto, es posible detectar de manera segura una corriente eléctrica, incluso cuando la modulación porcentual es extremadamente baja.

Es posible conmutar y aplicar el sistema de control acorde con la tercera realización y el sistema de control acorde con la cuarta realización, en función de si el intervalo de demanda de funcionamiento en el lado de baja velocidad es severo. Por lo tanto, se obtiene un inversor de tensión de tres fases más sobresaliente en facilidad de uso.

En la explicación de la cuarta realización, se utilizan tres clases de vectores de tensión básicos que tienen diferencias de fase de 120 grados y una clase de vector nulo. Sin embargo, tal como en la segunda y la tercera realizaciones, es posible generar una señal PWM según la misma idea que cuando se utilizan dos clases de vectores nulos. El procedimiento de distribución de un vector nulo en dos se ha explicado en la segunda y la tercera realizaciones. Por lo tanto, se omite una explicación de dicho procedimiento.

#### Quinta realización

Las figuras 35A a 35C son gráficos para explicar, como una quinta en realización de la presente invención, un procedimiento de constitución, en el momento en que se utilizan tanto el procedimiento de generación de una señal PWM según la primera a cuarta realizaciones explicadas anteriormente como el procedimiento de generación de una señal PWM según el sistema de modulación de tres fases o el sistema de modulación de dos fases, convencionales. La unidad 21 de creación de señales PWM mostrada en la figura 1 tiene una estructura en la que la unidad 23 de

redistribución del régimen de señales PWM se añade a la unidad de producción 22 del régimen de PWM, equivalente a la unidad de creación de señales PWM 14 mostrada en la figura 36. Por lo tanto, es posible utilizar ambos procedimientos.

5 Tal como se muestra en la figura 35A, en una característica de la relación entre la frecuencia de funcionamiento y el par motor de carga de un motor, por ejemplo, es posible adoptar una estructura de establecimiento de un punto de conmutación 41 antes de pasar a un funcionamiento a alta velocidad, generar una señal PWM según la primera y la segunda realizaciones con la unidad 21 de creación de señales PWM mostrada en la figura 1 a baja velocidad, y generar una señal PWM según el sistema de modulación de tres fases o el sistema de modulación de dos fases, convencionales, con la unidad de creación de señales PWM 14 mostrada en la figura 36, a alta velocidad. Cuando la conmutación se lleva a cabo de acuerdo con una frecuencia de funcionamiento real, es posible impedir un efecto adverso tal como confinamiento, proporcionando una característica de histéresis a la frecuencia de conmutación. Se debe observar que la frecuencia de funcionamiento puede ser una frecuencia de funcionamiento real o puede ser un comando de frecuencia de funcionamiento. De acuerdo con esta estructura, es posible optimizar la eficiencia y reducir las cargas del proceso para una CPU o similar, en una zona de funcionamiento de alta velocidad.

15 Tal como se muestra en la figura 35B, en una característica de relación entre una frecuencia de funcionamiento y un par motor de carga de un motor, por ejemplo, es posible adoptar una estructura para fijar un punto de conmutación 42 a un valor predeterminado de un par motor de carga aplicado al motor que indica una carga elevada, o a un valor predeterminado de una corriente eléctrica que fluye al motor que indica una corriente elevada, generar una señal PWM según la primera y la segunda realizaciones con la unidad 21 de creación de señales PWM mostrada en la figura 1 cuando se observa una carga ligera o una corriente baja, y generar una señal PWM según el sistema de modulación de tres fases o el sistema de modulación de dos fases, convencionales, con la unidad de creación de señales PWM 14 mostrada en la figura 36, cuando se observa una carga elevada o una corriente elevada. En este caso, es posible asimismo impedir un efecto adverso tal como confinamiento, proporcionando una característica de histéresis a un umbral. De acuerdo con esta estructura, es posible optimizar la eficiencia y reducir las cargas del proceso para una CPU o similar, en una zona de funcionamiento de alta velocidad.

20 En la figura 35C, se muestra un ejemplo en el que el procedimiento de generación de una señal PWM se conmuta según un ángulo de rotación del inversor. Es posible adoptar una estructura para establecer puntos de conmutación en intervalos respectivos, de tal modo que se genere una señal PWM, tal como se describe a continuación. Por ejemplo, cuando el ángulo de rotación del inversor está en intervalos de 15 grados a 45 grados, de 75 grados a 105 grados, de 135 grados a 165 grados, de 195 grados a 225 grados, de 255 grados a 285 grados y de 315 grados a 345 grados en un plano de fases, la unidad de creación de señales PWM 14 mostrada en la figura 36 produce una señal PWM según el sistema de modulación de tres fases o el sistema de modulación de dos fases, convencionales. En los otros intervalos de 0 grados a 15 grados, de 45 grados a 75 grados, de 105 grados a 135 grados, de 165 grados a 195 grados, de 225 grados a 255 grados, de 285 grados a 315 grados y de 345 grados a 360 grados, la unidad 21 de creación de señales PWM mostrada en la figura 1 genera una señal PWM en el sistema según la primera a cuarta realizaciones. De este modo, los dos procedimientos de generación de señal PWM se utilizan adecuadamente cuando un vector de comando de tensión pasa cerca de las direcciones de los respectivos vectores de tensión básicos y cuando un vector de comando de tensión pasa a través de las otras áreas. Esto hace posible optimizar la eficiencia, en particular, en una zona de funcionamiento de baja velocidad.

30 Se debe observar que los puntos de conmutación mostrados en la figura 35C se pueden establecer como valores fijos, en función de un ángulo de rotación del inversor. Sin embargo, los puntos de conmutación pueden ser valores arbitrarios determinados en función de un tiempo de prevención de cortocircuitos de los elementos de conmutación del inversor, de una cantidad de generación de ruido dependiente del hardware, de un tiempo de detección del valor de AD que depende de la CPU, de una modulación porcentual en el momento del funcionamiento de un motor, o similares. Es posible asimismo conmutar los procedimientos de modulación de acuerdo con la frecuencia de funcionamiento, la magnitud del par motor de carga, la modulación porcentual, el ángulo eléctrico o similares. Dado que es posible optimizar la eficiencia utilizando en combinación una serie de procedimientos de generación de señales PWM según se requiera, se obtiene un mayor efecto de reducción de la vibración/del ruido.

40 Tal como se ha explicado anteriormente, según la primera a quinta realizaciones, se genera una señal PWM de tres fases utilizando tres clases de vectores reales y una clase o dos clases de vectores nulos. Por lo tanto, incluso en una zona en la que la modulación porcentual es baja o, por ejemplo, cuando el ángulo de rotación del inversor en el tiempo en que la dirección del vector de tensión básico V1 se ajusta como fase inicial está próximo a múltiplos enteros de 60 grados o 30 grados, es posible llevar a cabo con precisión la detección de una corriente de bus de DC. En particular, es posible mejorar la controlabilidad, incluso en un tiempo de funcionamiento de baja carga y de funcionamiento de baja velocidad.

50 Es posible asimismo reducir el deterioro de la eficiencia. Es posible asimismo reducir la influencia del ruido y de la vibración. Es posible utilizar el procedimiento en un intervalo en el que la modulación porcentual es alta. Además, dado que se genera una señal PWM en base al sistema de modulación de tres fases o al sistema de modulación de dos fases, convencionales, la influencia sobre la carga de software es pequeña. Por lo tanto, es posible conmutar fácilmente un sistema de modulación al sistema de modulación de tres fases o al sistema de modulación de dos

fases, cuando es necesaria la conmutación del sistema de modulación. Es posible mejorar la fiabilidad para la puesta en marcha. Es posible aplicar el procedimiento a un motor de inducción de tres fases o a un motor síncrono.

5 En particular, cuando se genera una señal PWM de tres fases utilizando tres clases de vectores reales y dos clases de vectores nulos, el efecto de reducción del ruido cerca de una frecuencia portadora se obtiene más fácilmente que utilizando tres clases de vectores reales y una clase de vector nulo.

**Aplicabilidad industrial**

Tal como se ha descrito anteriormente, el aparato de generación de señal PWM de tres fases según la presente invención es útil para ampliar el intervalo de aplicación del inversor de tensión de tres fases.

**REIVINDICACIONES**

1. Un aparato para generar una señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases para un inversor de tensión de tres fases utilizando un elemento de conmutación de semiconductor, comprendiendo el aparato:

5 una unidad de generación que está adaptada al generar la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases en base a

un vector de comando de tensión que se descompone en una combinación de tres vectores de tensión básicos y un primer vector nulo,

caracterizado por que

los vectores de tensión básicos tienen una diferencia de fase de 60 grados, y

10 la unidad de generación incluye

una unidad de creación que está adaptada para

15 descomponer el vector de comando de tensión en una combinación de dos vectores de tensión básicos entre los tres vectores de tensión básicos, de tal modo que el vector de comando de tensión está presente entre los dos vectores de tensión básicos, asignando de ese modo primeras relaciones de tiempos de producción para el vector de comando de tensión a los dos vectores de tensión básicos con el fin de obtener dos vectores de tensión básicos asignados y asignando una primera relación de tiempos de producción al primer vector nulo; y

una unidad de distribución que está adaptada para

20 crear un conjunto de tres vectores de tensión virtuales que se suman para ser un segundo vector nulo, teniendo los tres vectores de tensión virtuales longitudes iguales y una diferencia de fase igual de 120 grados, y

25 superponer los dos vectores de tensión básicos asignados sobre los tres vectores de tensión virtuales, para obtener vectores de tensión virtuales superpuestos, asignando de ese modo segundas relaciones de tiempos de producción a los vectores de tensión virtuales superpuestos, y asignar una segunda relación de tiempos de producción al primer vector nulo, y

la unidad de generación está adaptada para generar la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases en base a las segundas relaciones de tiempos de producción de los vectores de tensión virtuales superpuestos y a la segunda relación de tiempos de producción del primer vector nulo.

2. El aparato según la reivindicación 1, en el que

30 la unidad de distribución está adaptada para asignar una primera relación de tiempos de producción a un vector de tensión básico en un punto intermedio de los tres vectores de tensión básicos con un valor predeterminado.

3. El aparato según la reivindicación 2, que comprende además:

35 una unidad de conmutación que está adaptada para conmutar entre un primer modo y un segundo modo en base, por lo menos, a uno de un estado de carga, una frecuencia de funcionamiento y un intervalo angular de un ángulo de rotación del inversor de un motor eléctrico que es accionado por el inversor de tensión de tres fases, en el que

el primer modo genera la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases utilizando

los dos vectores de tensión básicos asignados y

40 el primer vector nulo creado por la unidad de creación,

y

el segundo modo genera la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases utilizando

el punto intermedio de los tres vectores de tensión básicos y

el conjunto de tres vectores de tensión virtuales creados por la unidad de distribución.

45 4. El aparato según la reivindicación 1, que comprende además:

una unidad de conmutación que está adaptada para conmutar entre un primer modo y un segundo modo en base, por lo menos, a uno de un estado de carga, una frecuencia de funcionamiento y un intervalo angular de un ángulo de rotación del inversor de un motor eléctrico que es accionado por el inversor de tensión de tres fases, en el que

5 el primer modo genera la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases utilizando los dos vectores de tensión básicos asignados y el primer vector nulo creado por la unidad de creación, y

el segundo modo genera la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases utilizando tres vectores de tensión básicos asignados en los que está descompuesto el vector de comando de tensión, y a los que se asignan primeras relaciones de tiempos de producción mediante la unidad de creación y el conjunto de tres vectores de tensión virtuales creados por la unidad de distribución.

5. El aparato según la reivindicación 1, en el que

15 la unidad de creación está adaptada para descomponer el vector de comando de tensión en una combinación de tres vectores de tensión básicos y para asignar primeras relaciones de tiempos de producción a los tres vectores de tensión básicos con el fin de obtener tres vectores de tensión básicos asignados, y

la unidad de distribución está adaptada para superponer, cuando un intervalo de demanda de funcionamiento en un lado de baja velocidad no es estricto, una primera combinación de los dos vectores de tensión básicos asignados a los tres vectores de tensión virtuales, y,

20 cuando el intervalo de demanda de funcionamiento en un lado de baja velocidad es estricto, una segunda combinación de tres vectores de tensión básicos asignados a los tres vectores de tensión virtuales.

6. El aparato según la reivindicación 5, que comprende además:

25 una unidad de conmutación que está adaptada para conmutar entre un primer modo y un segundo modo en base, por lo menos, a uno de un estado de carga, una frecuencia de funcionamiento y un intervalo angular de un ángulo de rotación del inversor de un motor eléctrico que es accionado por el inversor de tensión de tres fases, en el que

el primer modo genera la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases utilizando la primera combinación, y

30 el segundo modo genera la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases utilizando cualquiera de la primera combinación y la segunda combinación, de manera conmutable.

7. El aparato según la reivindicación 1,

en el que

35 la unidad de generación está adaptada para generar la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases en base una combinación de los tres vectores de tensión básicos y a dos conjuntos de los vectores de tensión virtuales generados a partir de dos segundos vectores nulos, y

la unidad de distribución está adaptada para suponer tres vectores de tensión básicos asignados, en las que se descompone el vector de comando de tensión, y a los que se asignan primeras relaciones de tiempos de producción, a los dos conjuntos de vectores de tensión virtuales con el fin de obtener dos conjuntos de vectores de tensión virtuales superpuestos.

8. El aparato según la reivindicación 7, en el que

la unidad de distribución está adaptada para asignar una primera relación de tiempos de producción a un punto intermedio de los tres vectores de tensión básicos, como valor predeterminado.

9. El aparato según la reivindicación 7, que comprende además:

45 una unidad de conmutación que está adaptada para conmutar entre un primer modo y un segundo modo en base, por lo menos, a uno de un estado de carga, una frecuencia de funcionamiento y un intervalo angular de un ángulo de rotación del inversor de un motor eléctrico que es accionado por el inversor de tensión de tres fases, en el que

el primer modo genera la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases utilizando los dos vectores de tensión básicos asignados y el primer vector nulo creado por la unidad de creación, y el segundo modo genera la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases utilizando los tres vectores de tensión básicos asignados y los dos conjuntos de vectores de tensión virtuales creados por la unidad de distribución.

5  
10. El aparato según la reivindicación 7, en el que  
la unidad de generación está adaptada para generar la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases en base a

10 una primera combinación de los tres vectores de tensión básicos y uno de los dos conjuntos de vectores de tensión virtuales, y una segunda combinación de los tres vectores de tensión básicos y los dos conjuntos de vectores de tensión virtuales.

11. El aparato según la reivindicación 10, en el que  
la unidad distribución está adaptada para asignar primeras relaciones de tiempos de producción a los tres vectores de tensión básicos con el fin de crear la primera combinación y la segunda combinación de manera conmutable.

12. El aparato según la reivindicación 11, que comprende además:  
una unidad de conmutación que está adaptada para conmutar entre la primera combinación y la segunda combinación, de manera conmutable.

13. El aparato según la reivindicación 10,  
la unidad de generación está adaptada para generar la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases en base a  
la combinación de los tres vectores de tensión básicos y el conjunto de tres vectores virtuales y  
la combinación de los tres vectores de tensión básicos y los dos conjuntos de vectores de tensión virtuales,  
cambiando al mismo tiempo las relaciones de tiempos de producción para los dos conjuntos de vectores de tensión virtuales a una frecuencia predeterminada.

14. El aparato según la reivindicación 10, que comprende además:  
una unidad de conmutación que está adaptada para conmutar entre un primer modo y un segundo modo en base, por lo menos, a uno de un estado de carga, una frecuencia de funcionamiento y un intervalo angular de un ángulo de rotación del inversor de un motor eléctrico que es accionado por el inversor de tensión de tres fases, en el que  
el primer modo genera la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases utilizando los dos vectores de tensión básicos asignados y el primer vector nulo creado por la unidad de creación, y el segundo modo genera la señal de modulación por ancho de pulsos de tres fases utilizando cualquiera de la primera combinación y la segunda combinación, de manera conmutable.

35

FIG.1

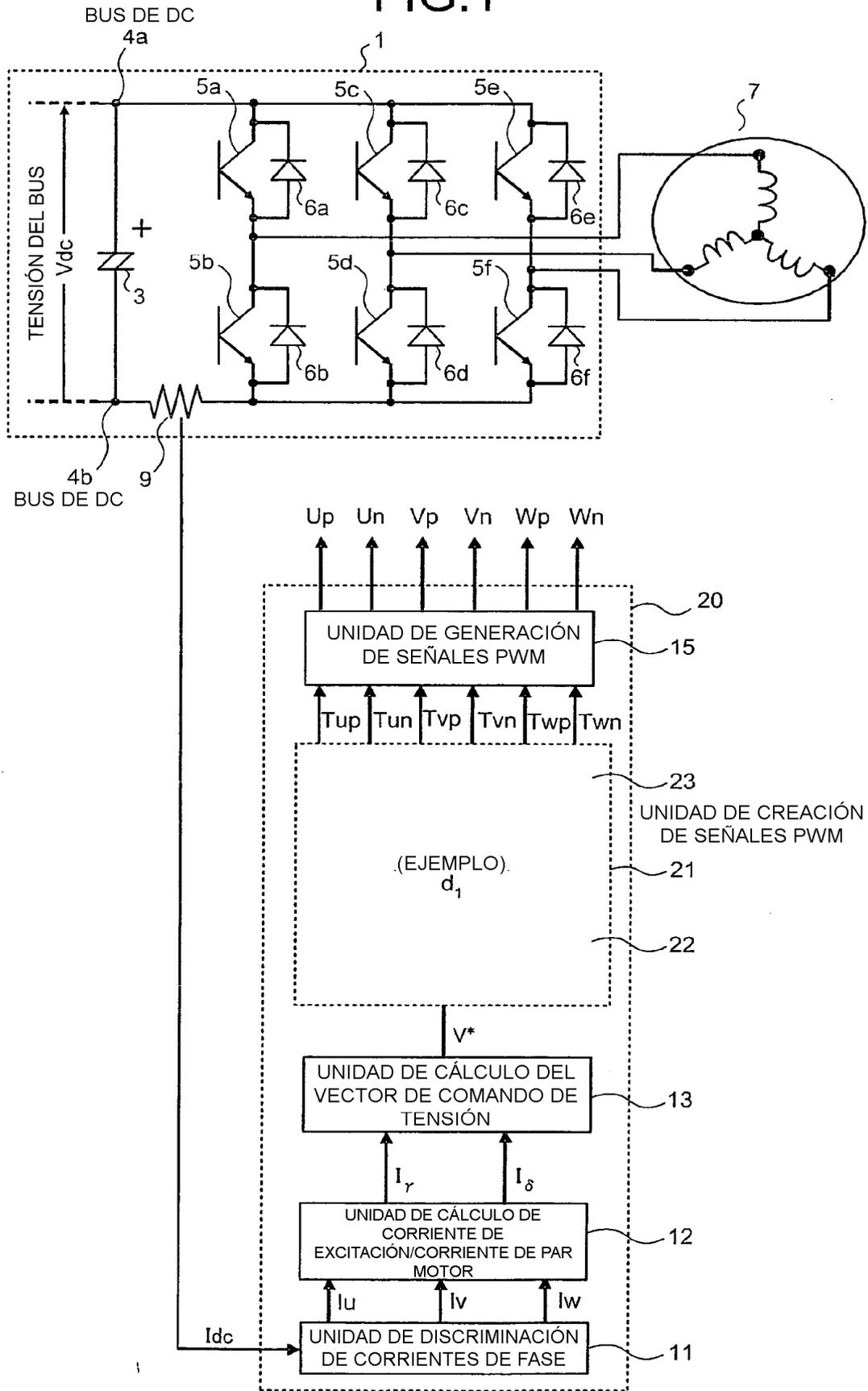


FIG.2A

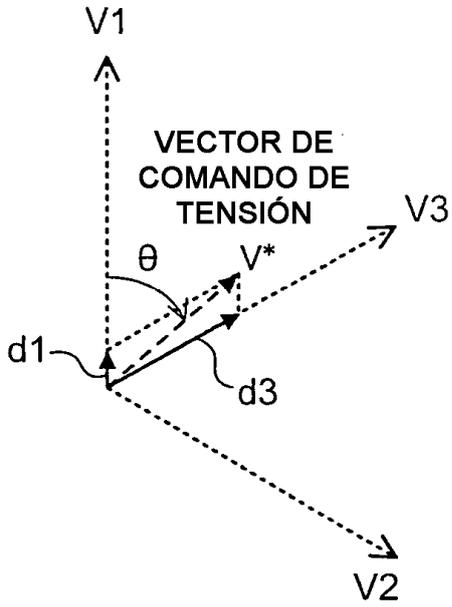


FIG.2B

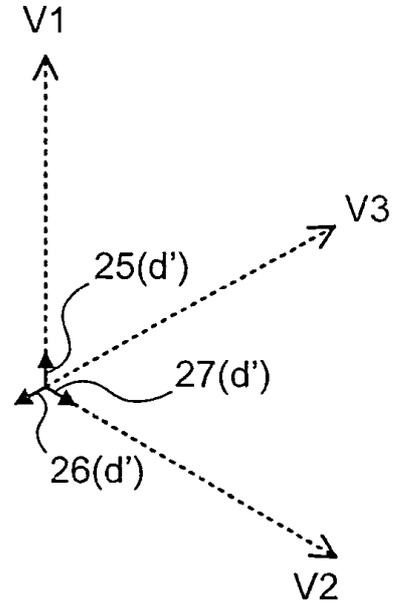


FIG.2C

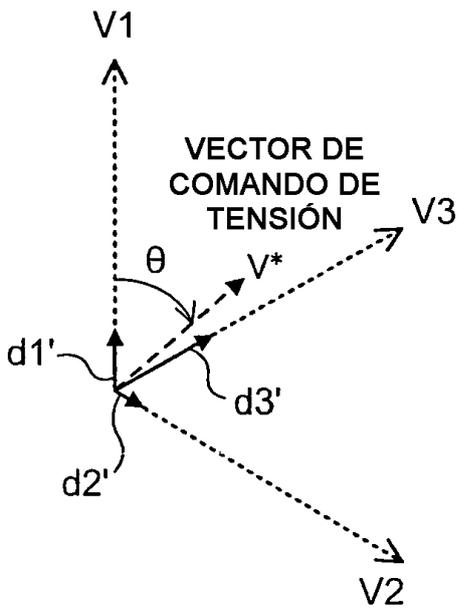


FIG.3A

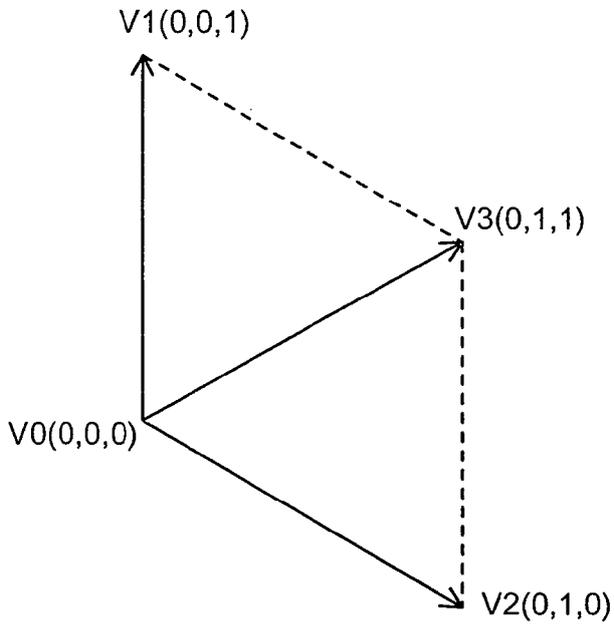


FIG.3B

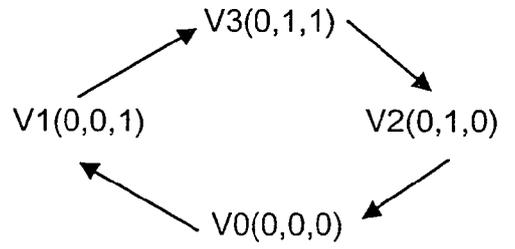


FIG.4

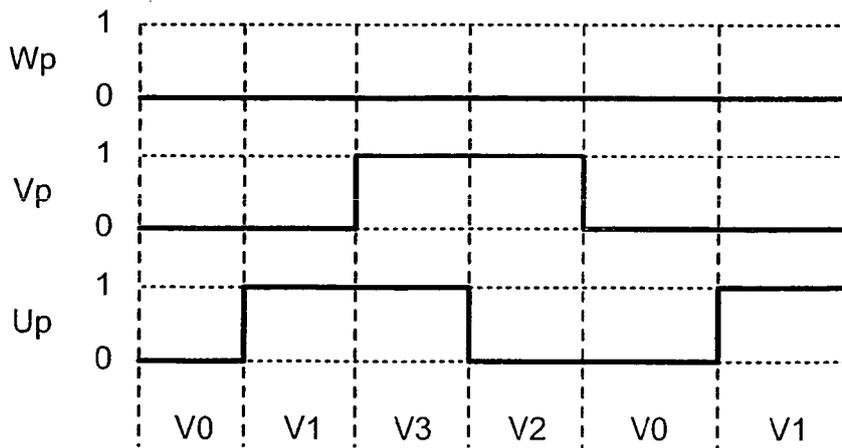


FIG.5A

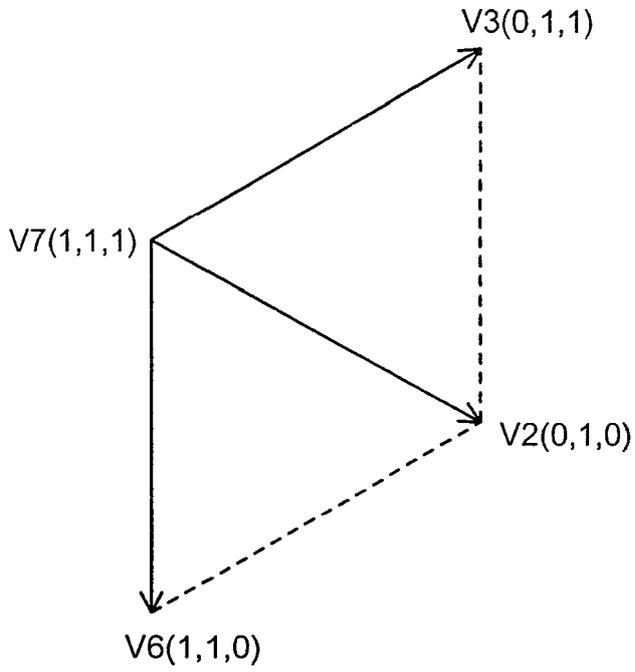


FIG.5B

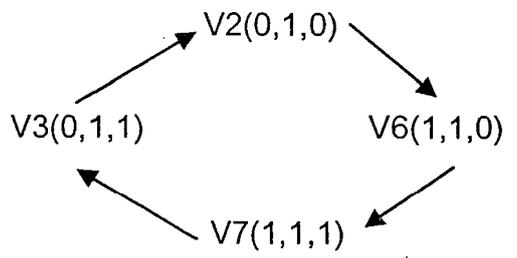


FIG.6

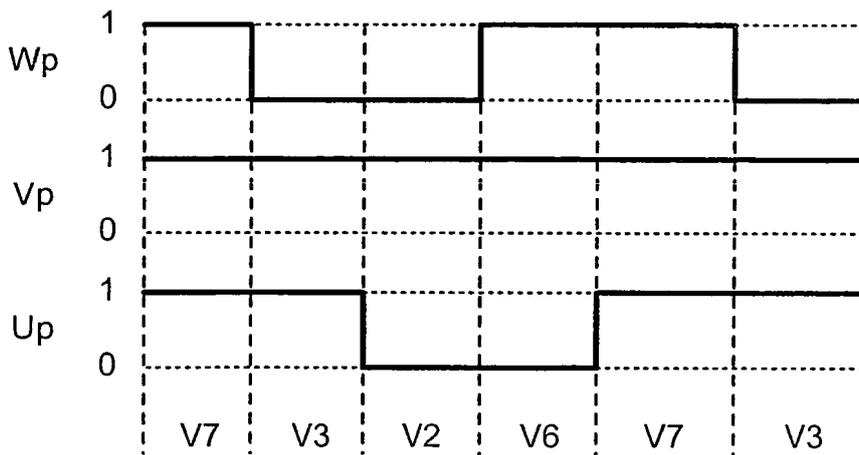


FIG.7A

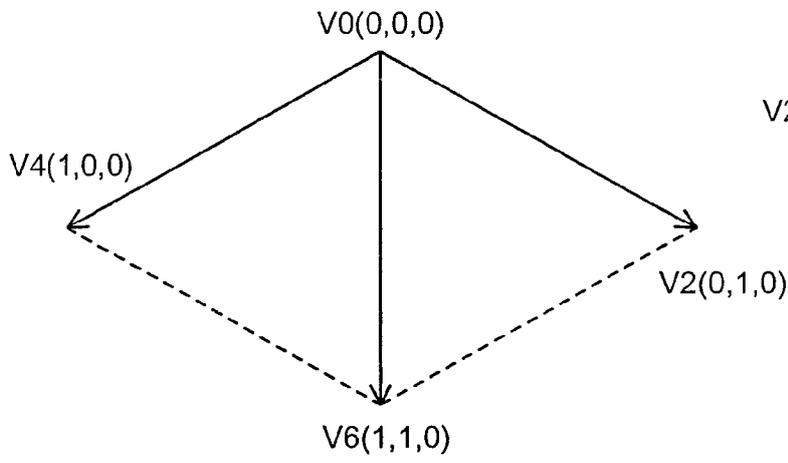


FIG.7B

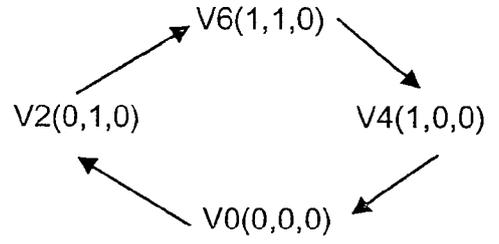


FIG.8

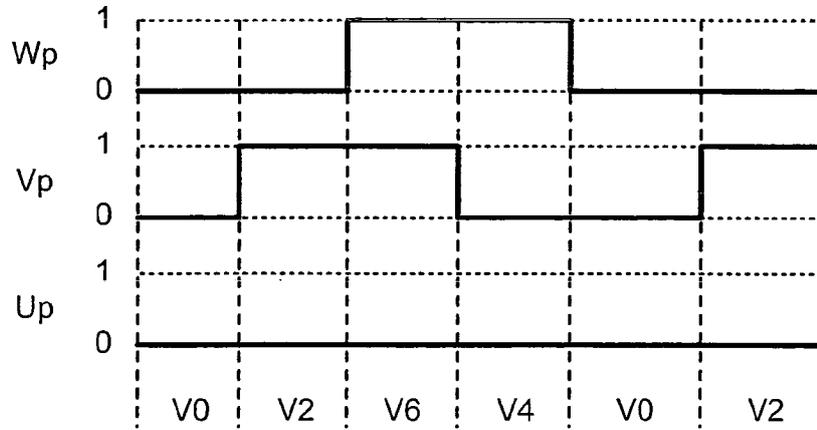


FIG.9A

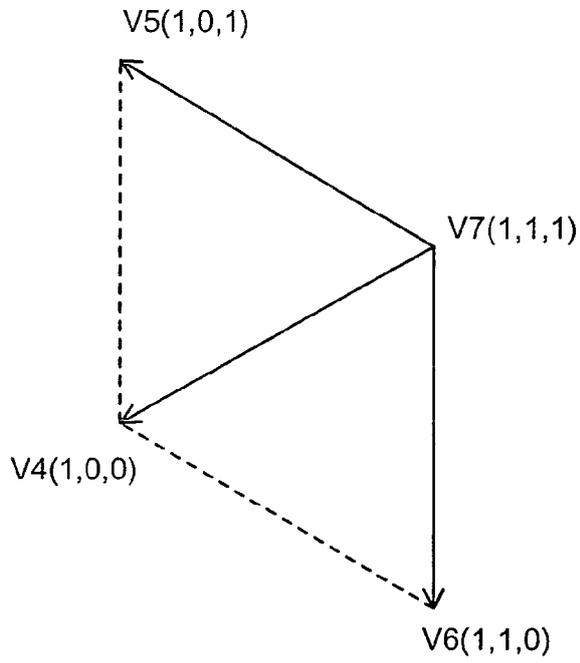


FIG.9B

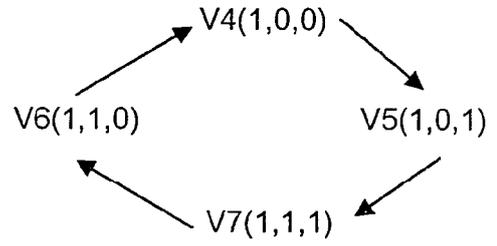


FIG.10

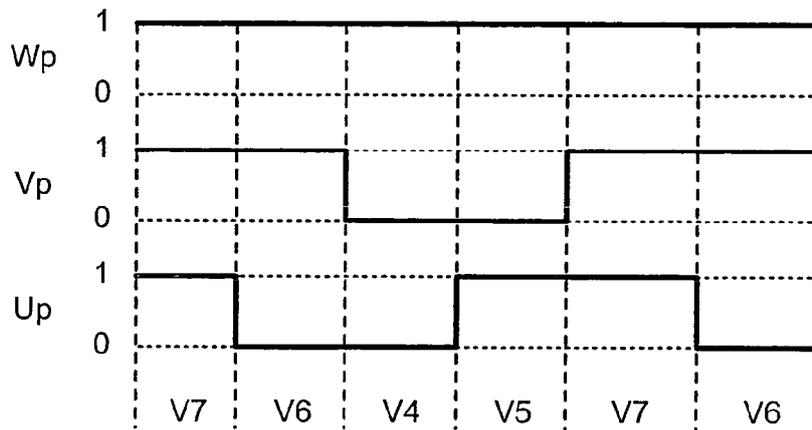


FIG.11A

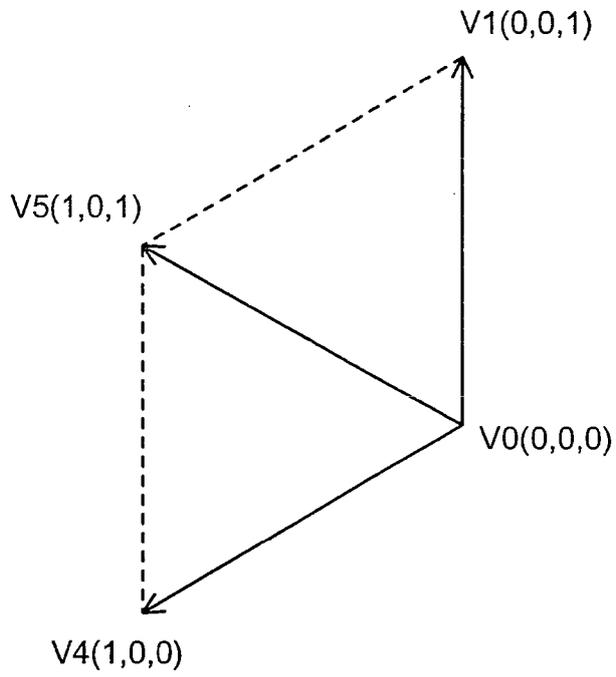


FIG.11B

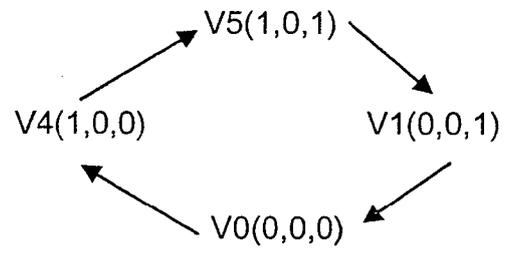


FIG.12

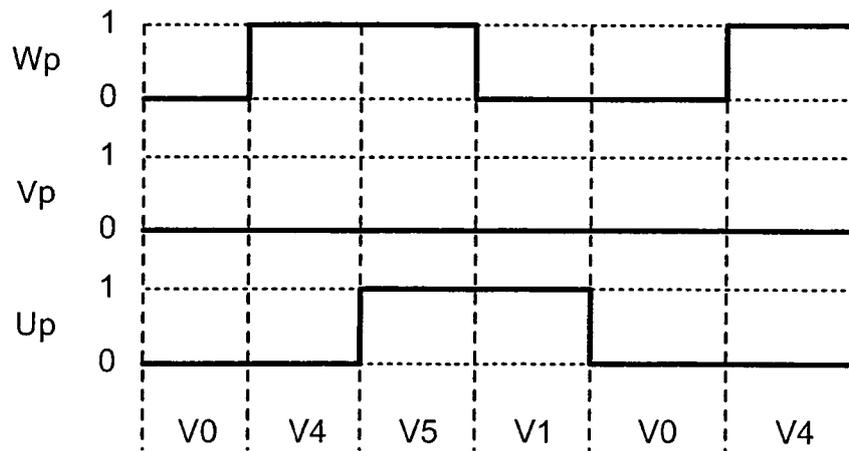


FIG.13A

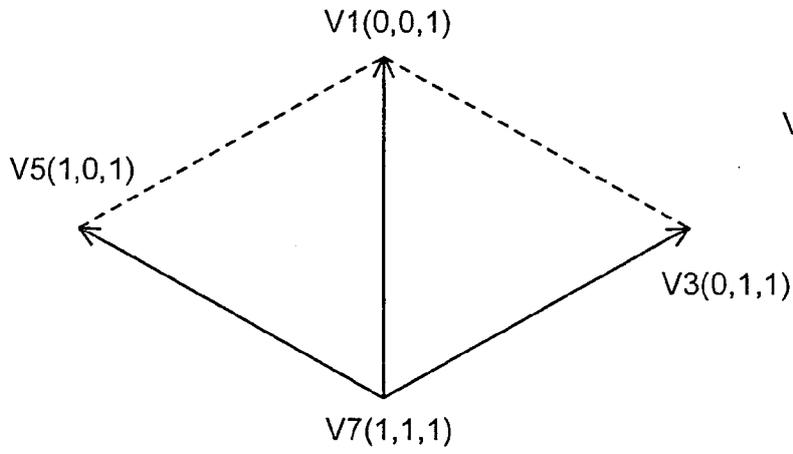


FIG.13B

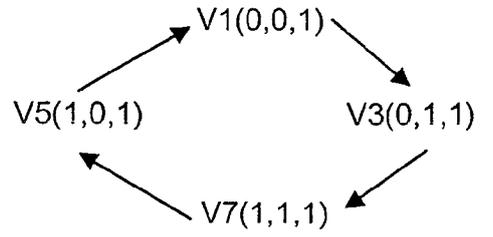


FIG.14

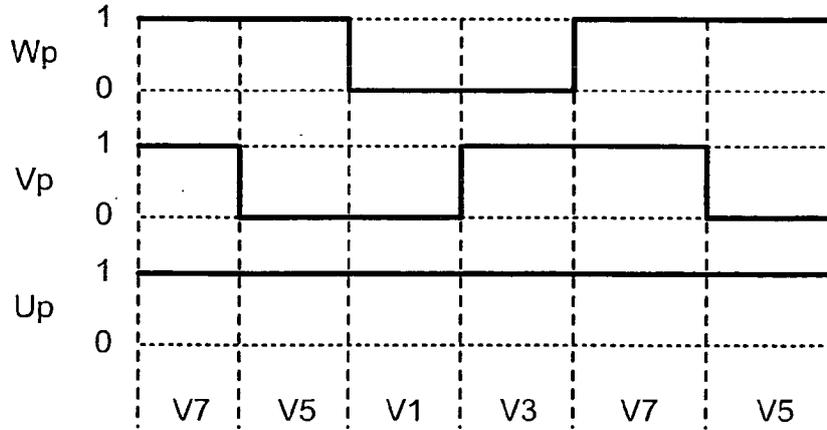


FIG.15A

ÁNGULO DE ROTACIÓN DEL INVERSOR	PATRÓN
$0^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$	#6
$30^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	#1
$90^\circ \leq \theta \leq 150^\circ$	#2
$150^\circ \leq \theta \leq 210^\circ$	#3
$210^\circ \leq \theta \leq 270^\circ$	#4
$270^\circ \leq \theta \leq 330^\circ$	#5
$330^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$	#6

FIG.15B

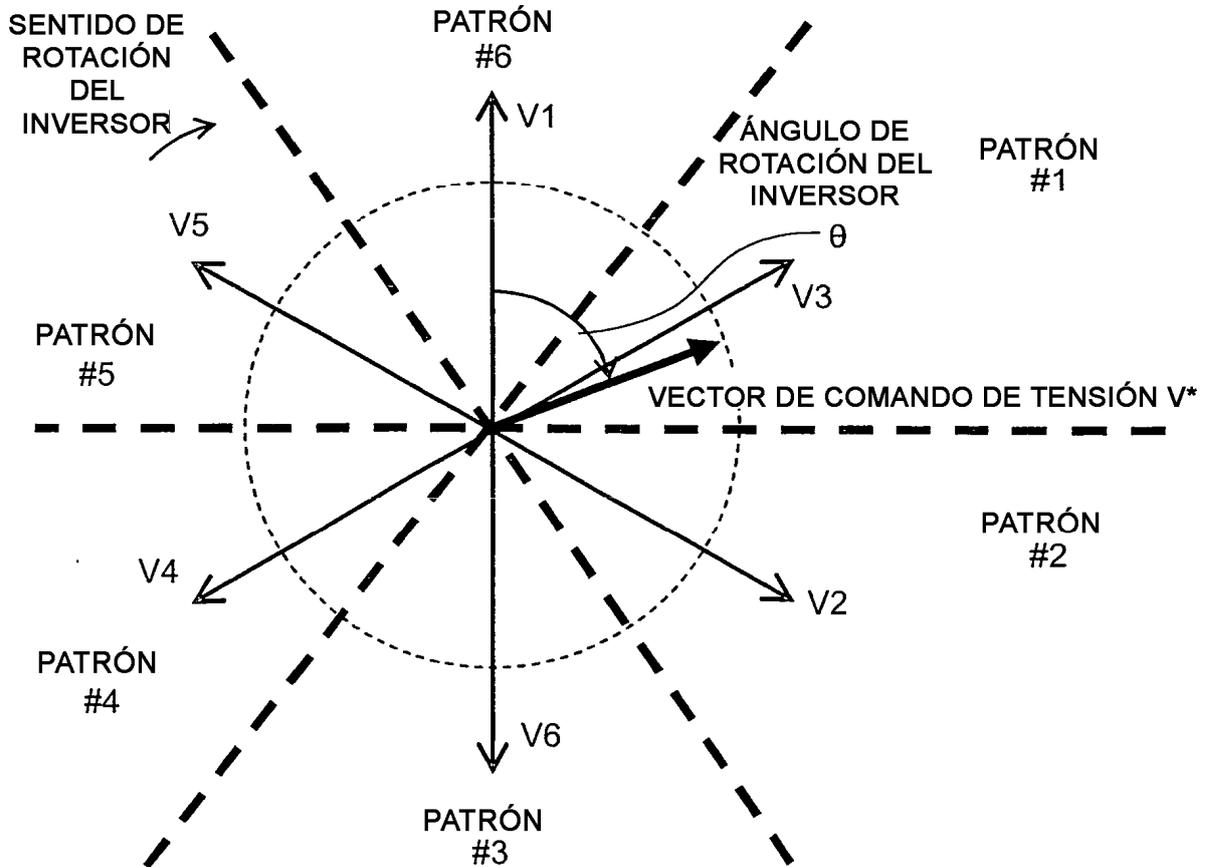


FIG.16A

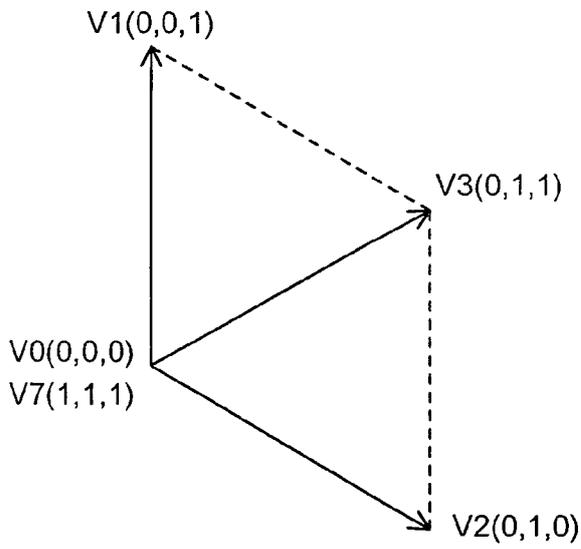


FIG.16B

- (a)  $V_7 \Leftrightarrow V_3 \Leftrightarrow V_1 \Leftrightarrow V_0 \Leftrightarrow V_2$
- (b)  $V_7 \Leftrightarrow V_3 \Leftrightarrow V_1 \Leftrightarrow V_0 \Leftrightarrow V_2 \Leftrightarrow V_3$
- (c)  $V_7 \Leftrightarrow V_3 \Leftrightarrow V_2 \Leftrightarrow V_0 \Leftrightarrow V_1$
- (d)  $V_7 \Leftrightarrow V_3 \Leftrightarrow V_2 \Leftrightarrow V_0 \Leftrightarrow V_1 \Leftrightarrow V_3$

FIG.17A

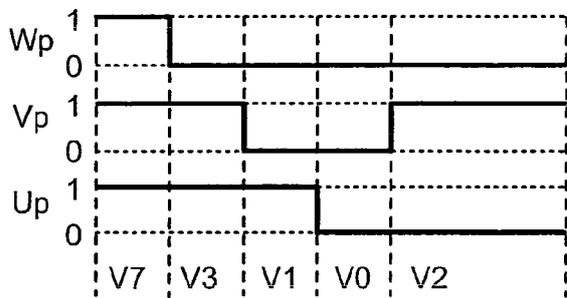


FIG.17B

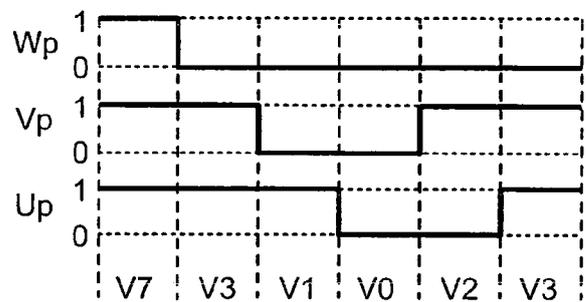


FIG.17C

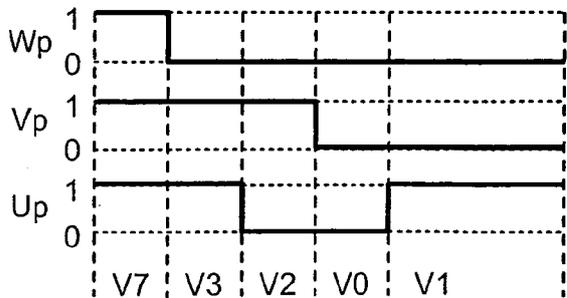


FIG.17D

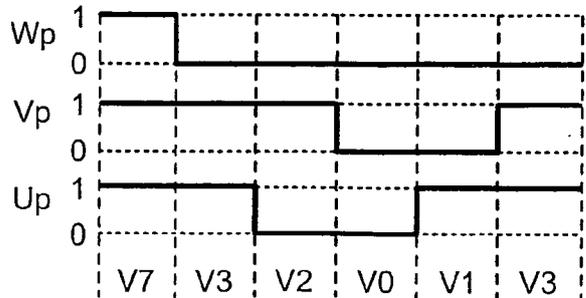


FIG.18A

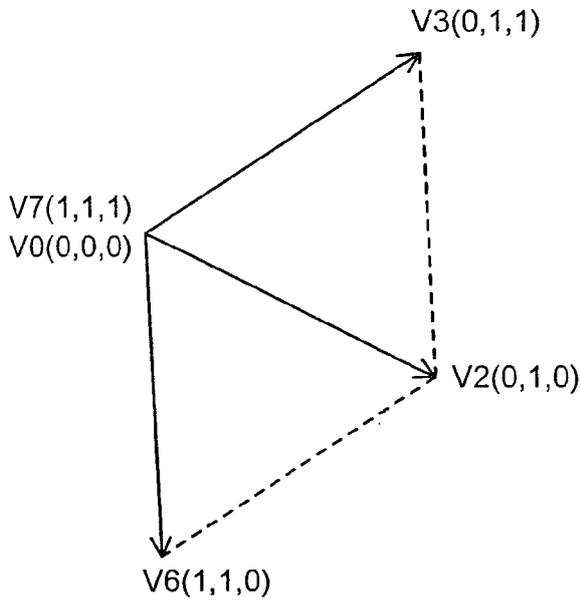


FIG.18B

- (a)  $V7 \Rightarrow V3 \Rightarrow V0 \Rightarrow V2 \Rightarrow V6$
- (b)  $V7 \Rightarrow V3 \Rightarrow V2 \Rightarrow V0 \Rightarrow V2 \Rightarrow V6$
- (c)  $V7 \Rightarrow V6 \Rightarrow V0 \Rightarrow V2 \Rightarrow V3$
- (d)  $V7 \Rightarrow V6 \Rightarrow V2 \Rightarrow V0 \Rightarrow V2 \Rightarrow V3$

FIG.19A

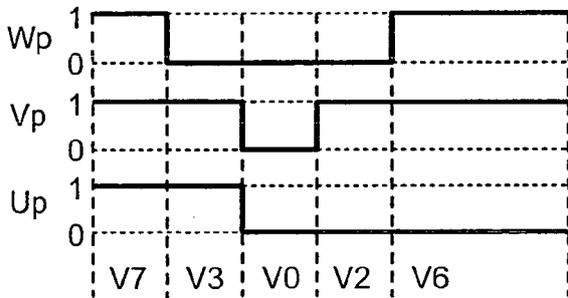


FIG.19B

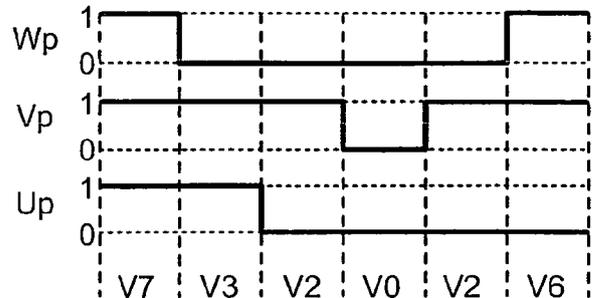


FIG.19C

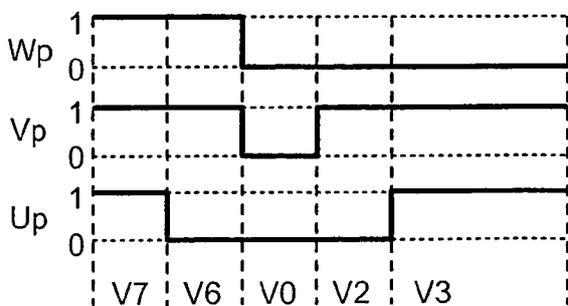


FIG.19D

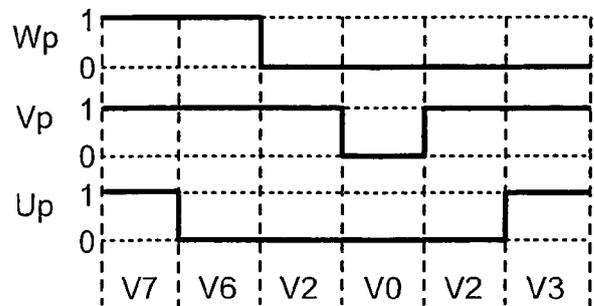


FIG.20A

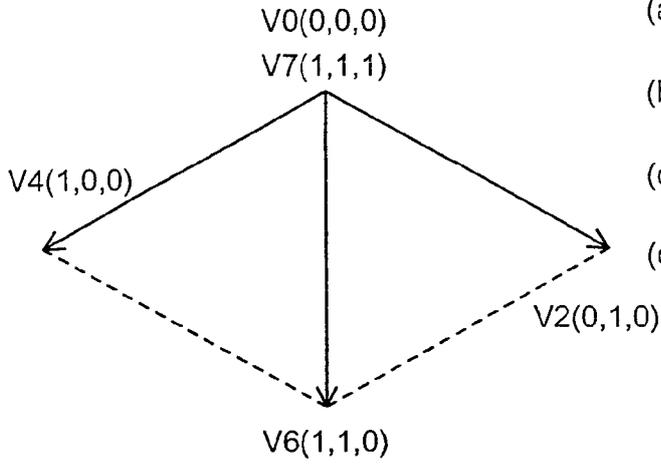


FIG.20B

- (a)  $V7 \Leftrightarrow V6 \Leftrightarrow V2 \Leftrightarrow V0 \Leftrightarrow V4$
- (b)  $V7 \Leftrightarrow V6 \Leftrightarrow V2 \Leftrightarrow V0 \Leftrightarrow V4 \Leftrightarrow V6$
- (c)  $V7 \Leftrightarrow V6 \Leftrightarrow V4 \Leftrightarrow V0 \Leftrightarrow V2$
- (d)  $V7 \Leftrightarrow V6 \Leftrightarrow V4 \Leftrightarrow V0 \Leftrightarrow V2 \Leftrightarrow V6$

FIG.21A

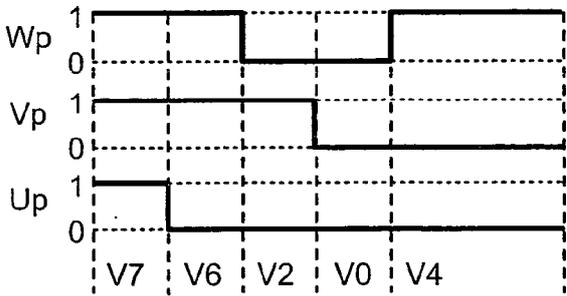


FIG.21B

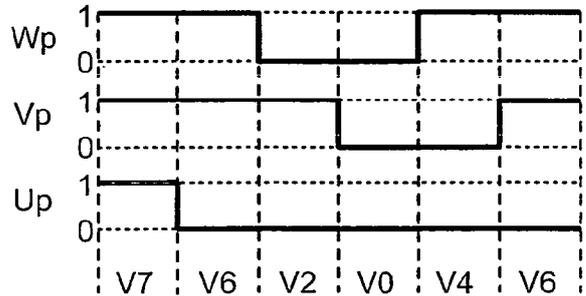


FIG.21C

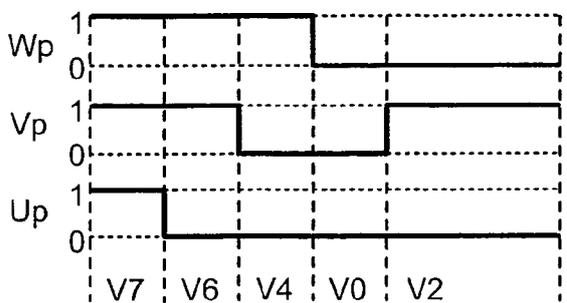


FIG.21D

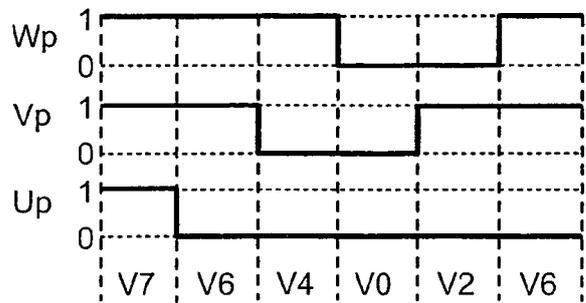


FIG.22A

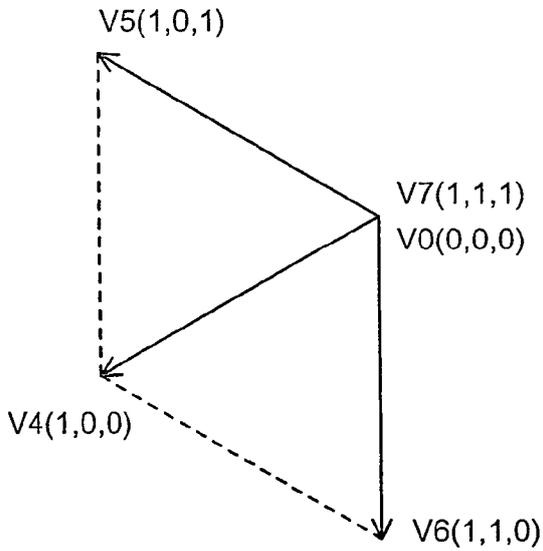


FIG.22B

- (a)  $V7 \Rightarrow V6 \Rightarrow V0 \Rightarrow V4 \Rightarrow V5$
- (b)  $V7 \Rightarrow V6 \Rightarrow V4 \Rightarrow V0 \Rightarrow V4 \Rightarrow V5$
- (c)  $V7 \Rightarrow V5 \Rightarrow V0 \Rightarrow V4 \Rightarrow V6$
- (d)  $V7 \Rightarrow V5 \Rightarrow V4 \Rightarrow V0 \Rightarrow V4 \Rightarrow V6$

FIG.23A

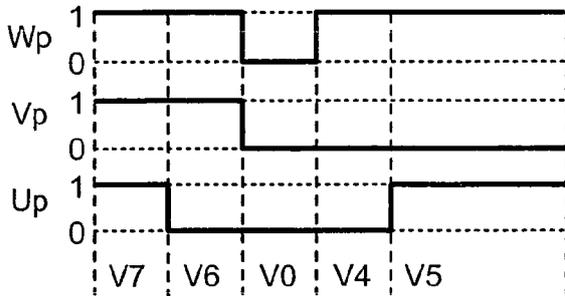


FIG.23B

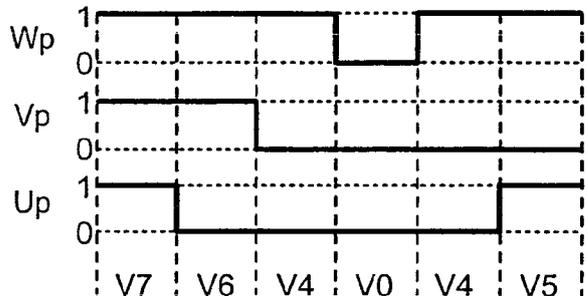


FIG.23C

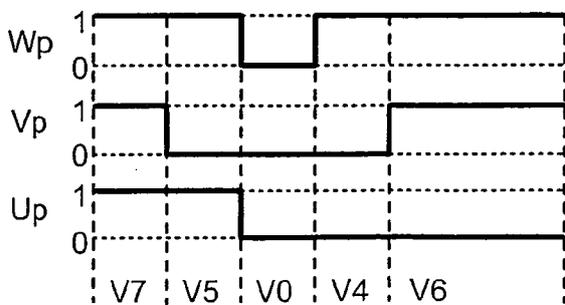


FIG.23D

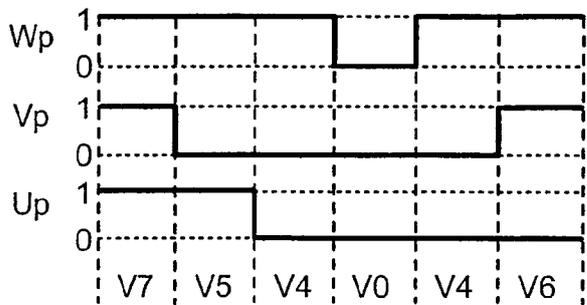


FIG.24A

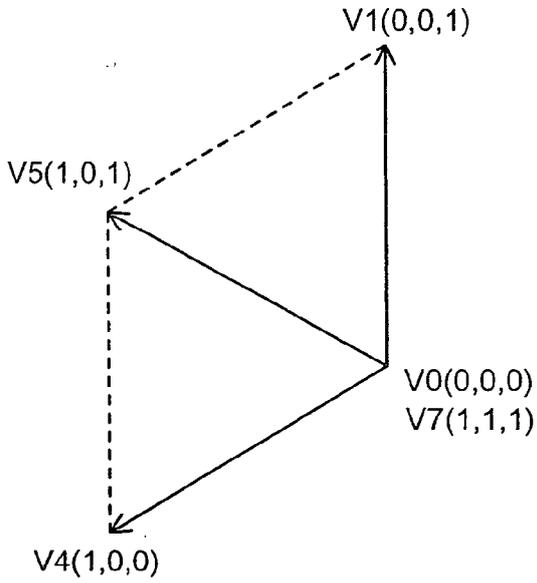


FIG.24B

- (a)  $V7 \Rightarrow V5 \Rightarrow V4 \Rightarrow V0 \Rightarrow V1$
- (b)  $V7 \Rightarrow V5 \Rightarrow V4 \Rightarrow V0 \Rightarrow V1 \Rightarrow V5$
- (c)  $V7 \Rightarrow V5 \Rightarrow V1 \Rightarrow V0 \Rightarrow V4$
- (d)  $V7 \Rightarrow V5 \Rightarrow V1 \Rightarrow V0 \Rightarrow V4 \Rightarrow V5$

FIG.25A

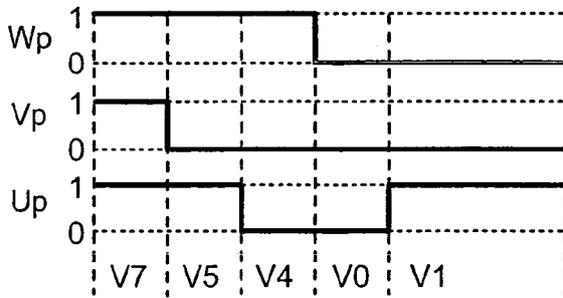


FIG.25B

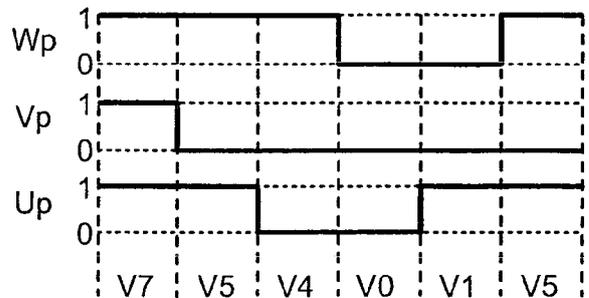


FIG.25C

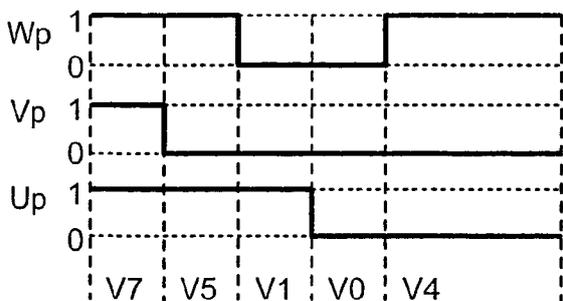


FIG.25D

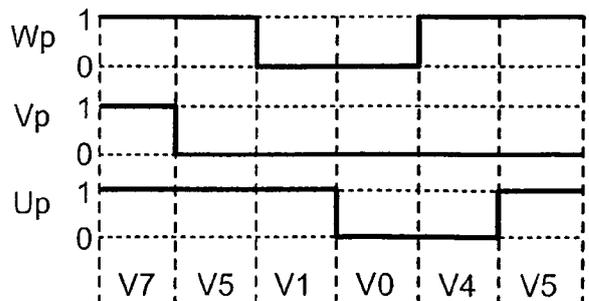


FIG.26A

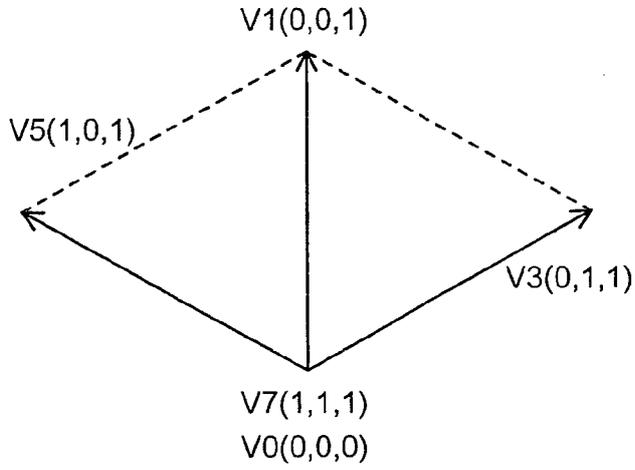


FIG.26B

- (a)  $V7 \Leftrightarrow V5 \Leftrightarrow V0 \Leftrightarrow V1 \Leftrightarrow V3$
- (b)  $V7 \Leftrightarrow V5 \Leftrightarrow V1 \Leftrightarrow V0 \Leftrightarrow V1 \Leftrightarrow V3$
- (c)  $V7 \Leftrightarrow V3 \Leftrightarrow V0 \Leftrightarrow V1 \Leftrightarrow V5$
- (d)  $V7 \Leftrightarrow V3 \Leftrightarrow V1 \Leftrightarrow V0 \Leftrightarrow V1 \Leftrightarrow V5$

FIG.27A

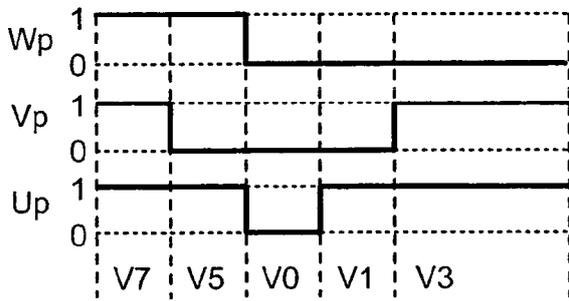


FIG.27B

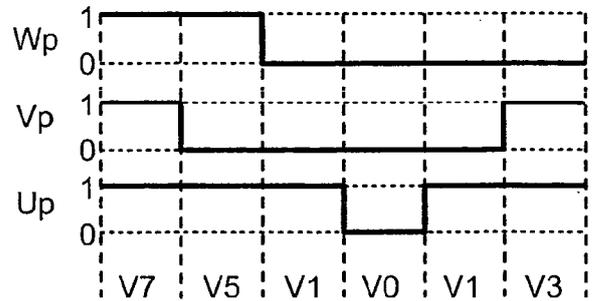


FIG.27C

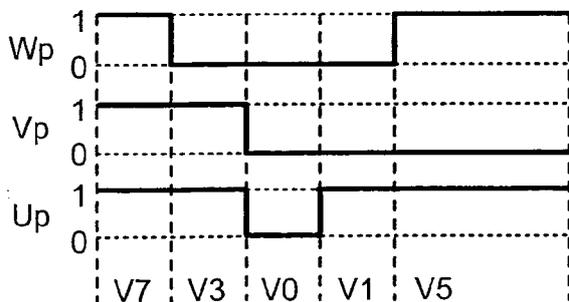


FIG.27D

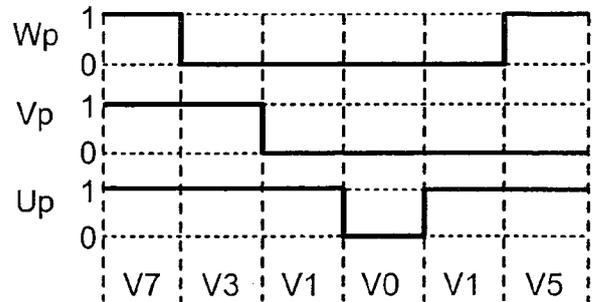


FIG.28A

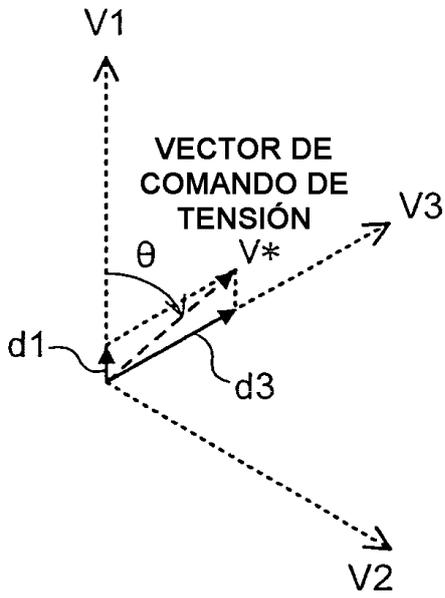


FIG.28B

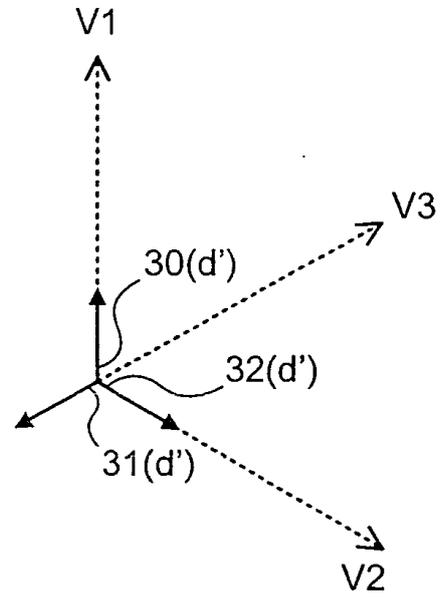


FIG.28C

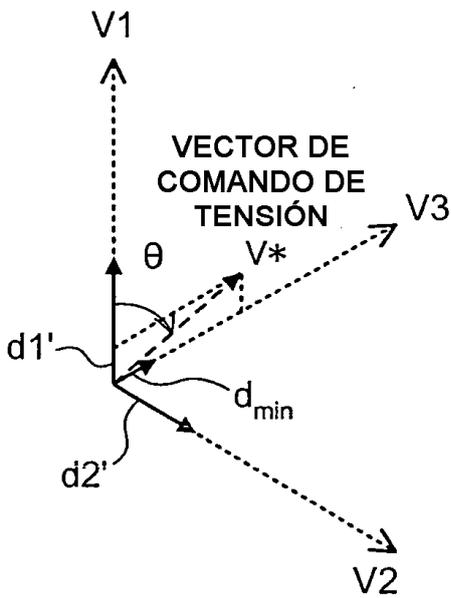


FIG.29A

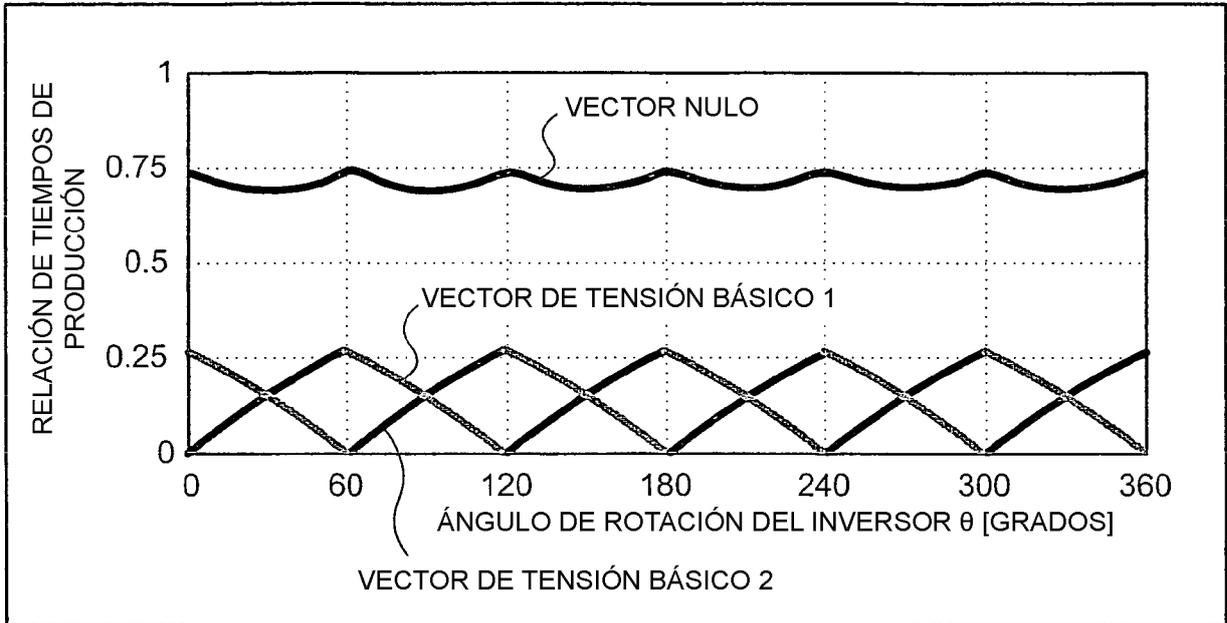


FIG.29B

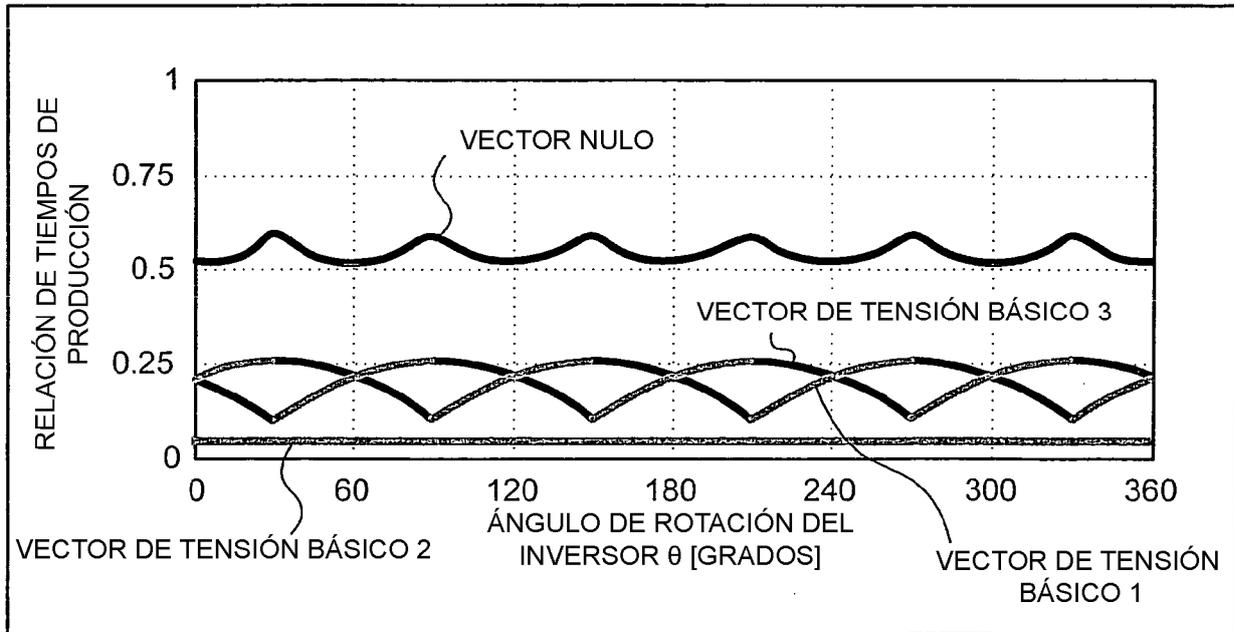


FIG.30A

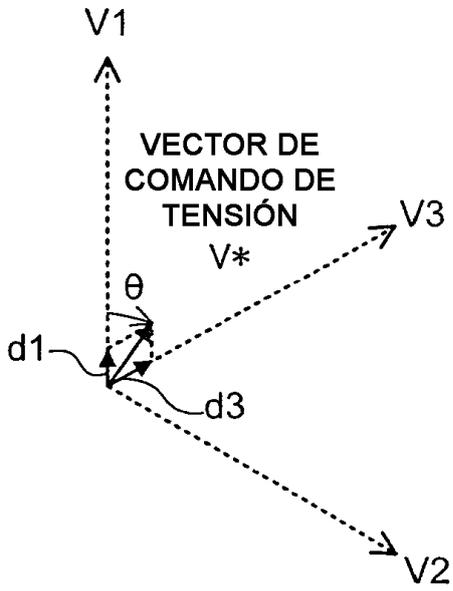


FIG.30B

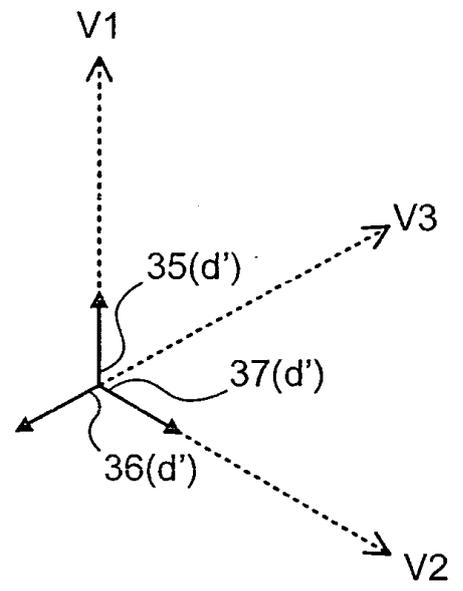


FIG.30C

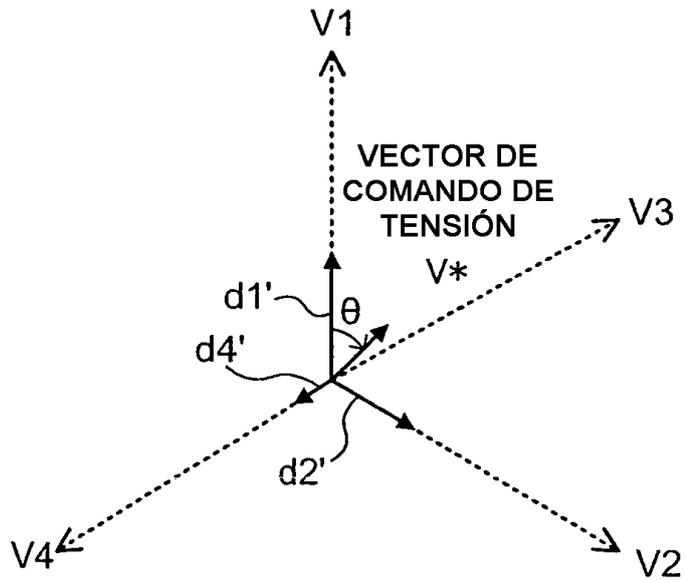


FIG.31A

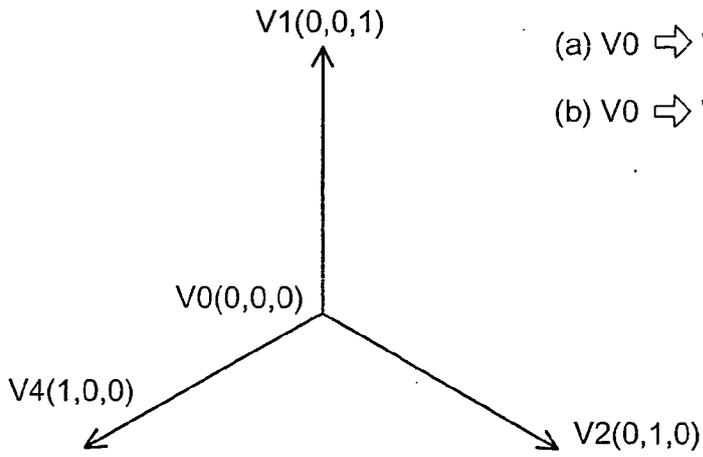


FIG.31B

- (a)  $V0 \Rightarrow V1 \Rightarrow V0 \Rightarrow V2 \Rightarrow V0 \Rightarrow V4$
- (b)  $V0 \Rightarrow V1 \Rightarrow V0 \Rightarrow V4 \Rightarrow V0 \Rightarrow V2$

FIG.32A

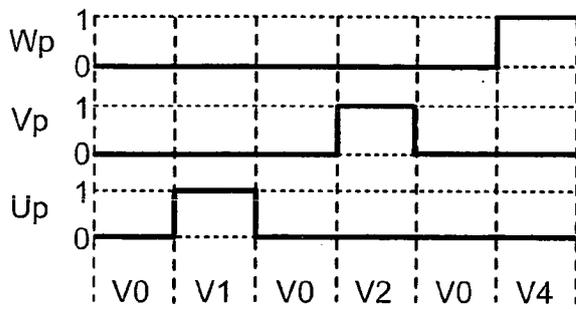


FIG.32B

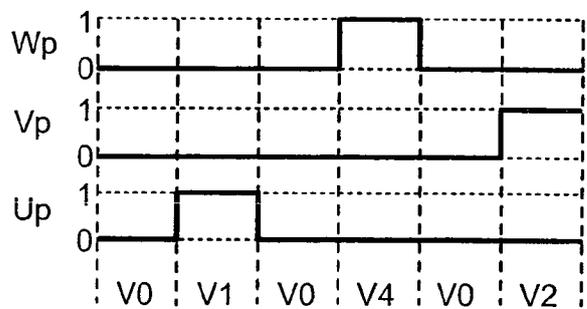


FIG.33A

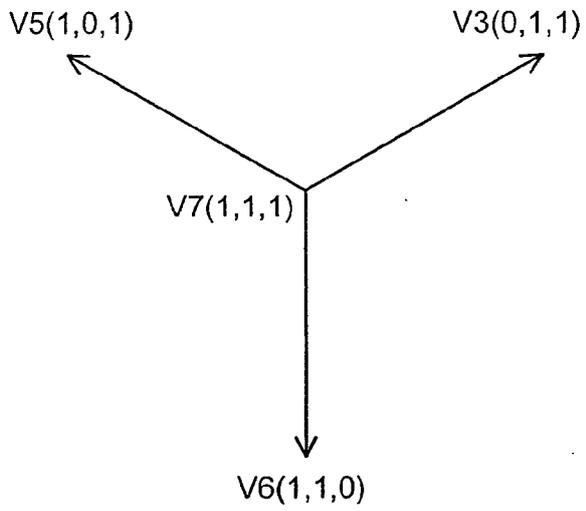


FIG.33B

- (a)  $V7 \Leftrightarrow V3 \Leftrightarrow V7 \Leftrightarrow V6 \Leftrightarrow V7 \Leftrightarrow V5$
- (b)  $V7 \Leftrightarrow V3 \Leftrightarrow V7 \Leftrightarrow V5 \Leftrightarrow V7 \Leftrightarrow V6$

FIG.34A

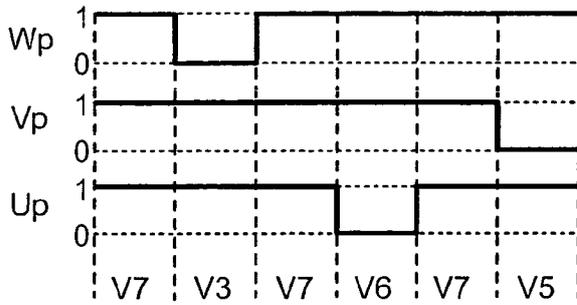


FIG.34B

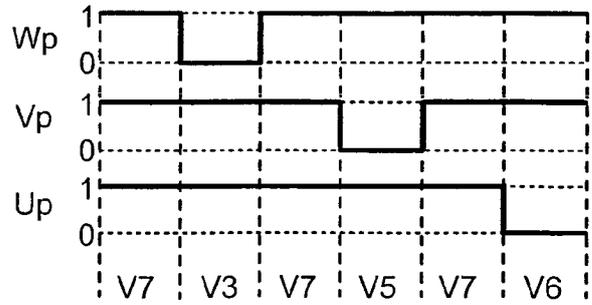


FIG.35A

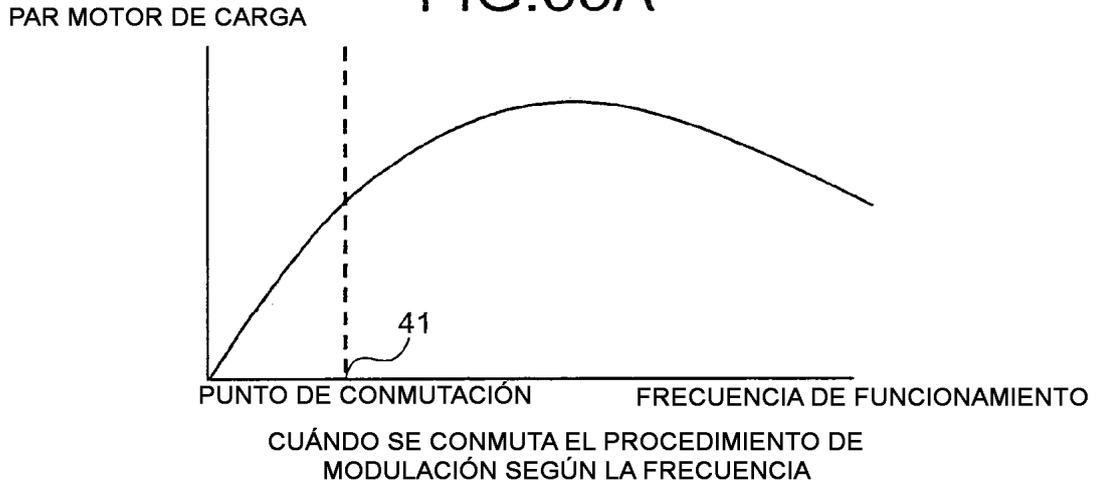


FIG.35B

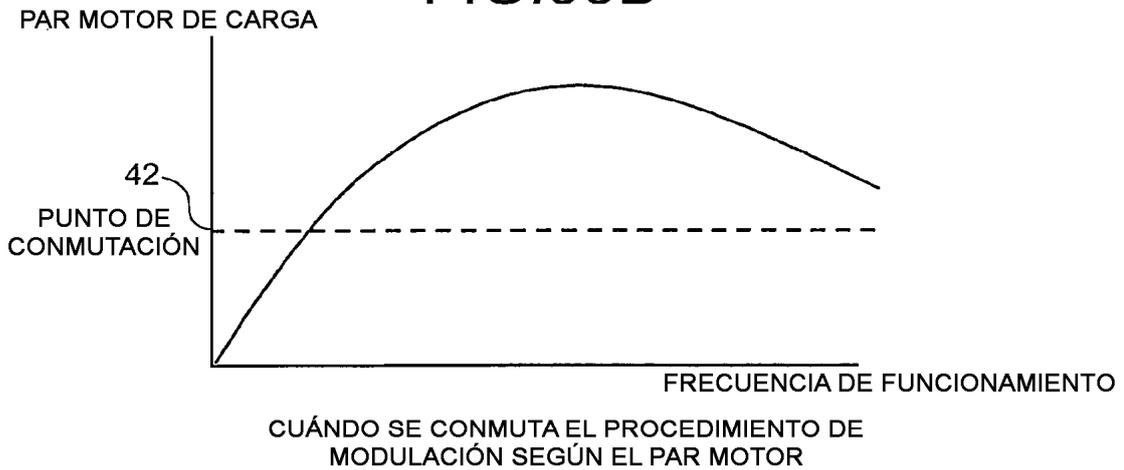


FIG.35C

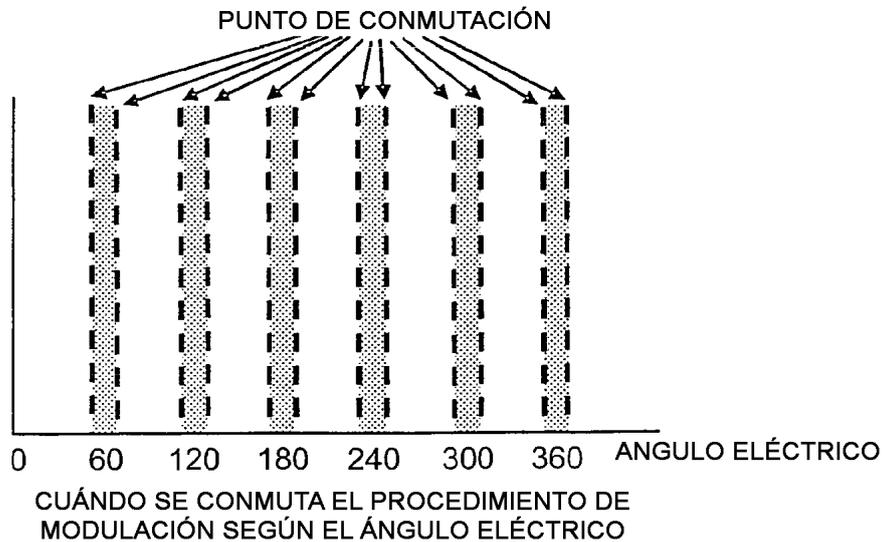


FIG.36

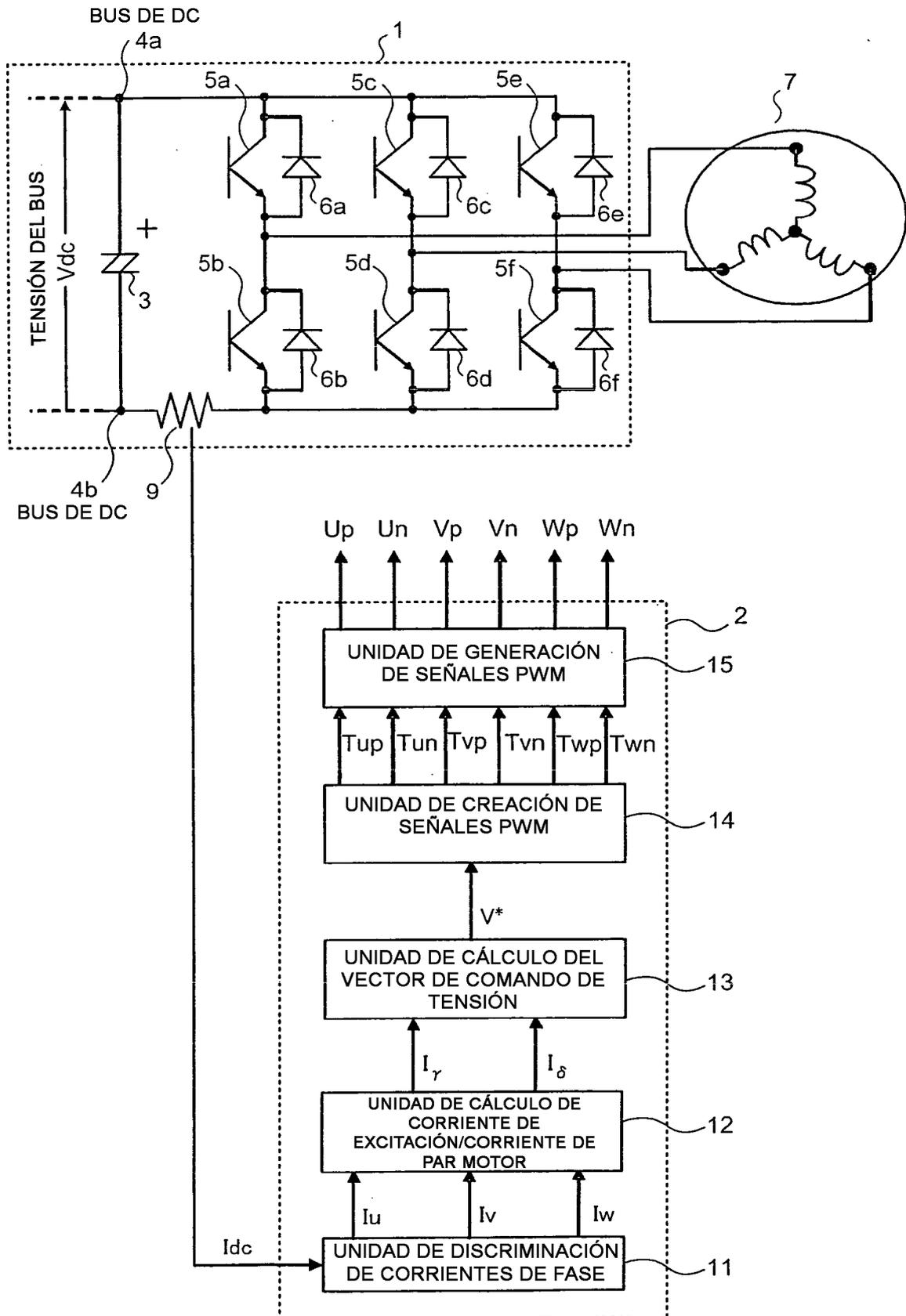


FIG.37

VECTOR DE TENSIÓN BÁSICO	Wp (ESTADO LÓGICO DE LOS ELEMENTOS DE CONMUTACIÓN DEL LADO DEL POLO POSITIVO DE FASE W)	Vp (ESTADO LÓGICO DE LOS ELEMENTOS DE CONMUTACIÓN DEL LADO DEL POLO POSITIVO DE FASE V)	Up (ESTADO LÓGICO DE LOS ELEMENTOS DE CONMUTACIÓN DEL LADO DEL POLO POSITIVO DE FASE U)	CORRIENTE DE FASE OBSERVABLE
V0	0	0	0	OBSERVACIÓN IMPOSIBLE
V1	0	0	1	$I_u$
V2	0	1	0	$I_v$
V3	0	1	1	$-I_w$
V4	1	0	0	$I_w$
V5	1	0	1	$-I_v$
V6	1	1	0	$-I_u$
V7	1	1	1	OBSERVACIÓN IMPOSIBLE

FIG.38

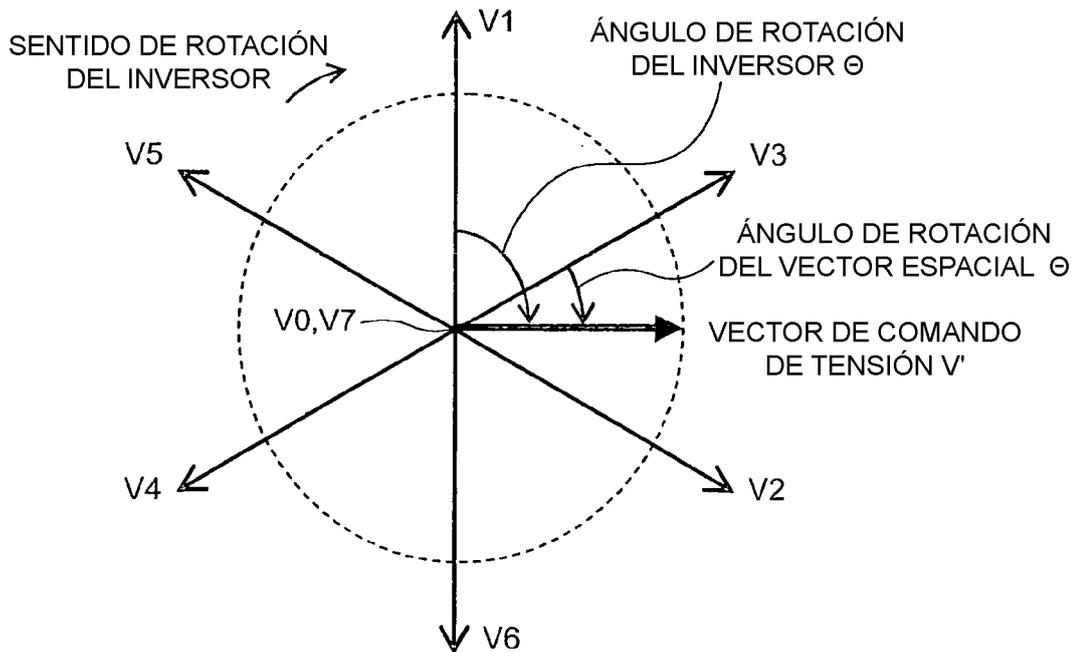


FIG.39A

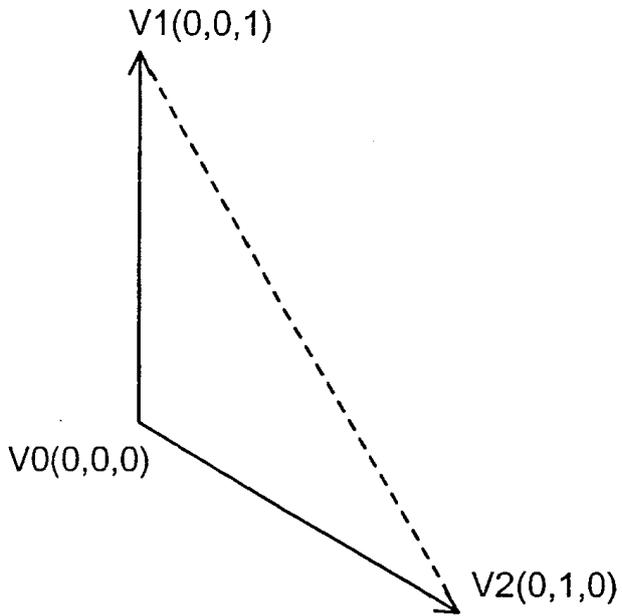


FIG.39B

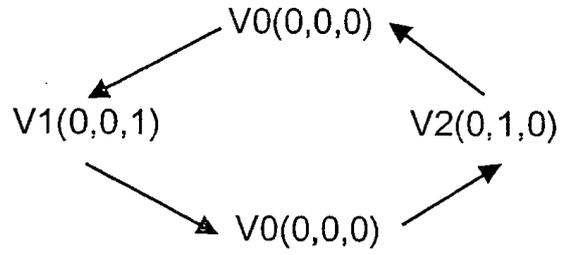


FIG.40

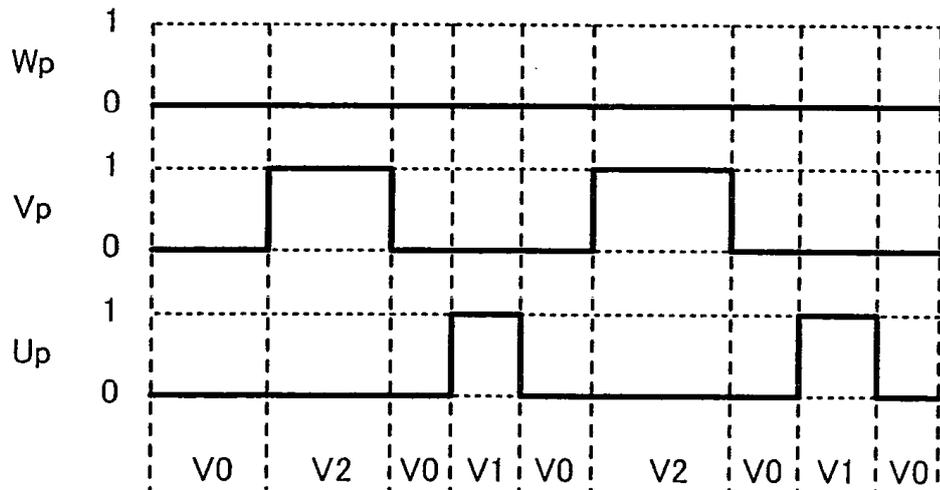


FIG.41A

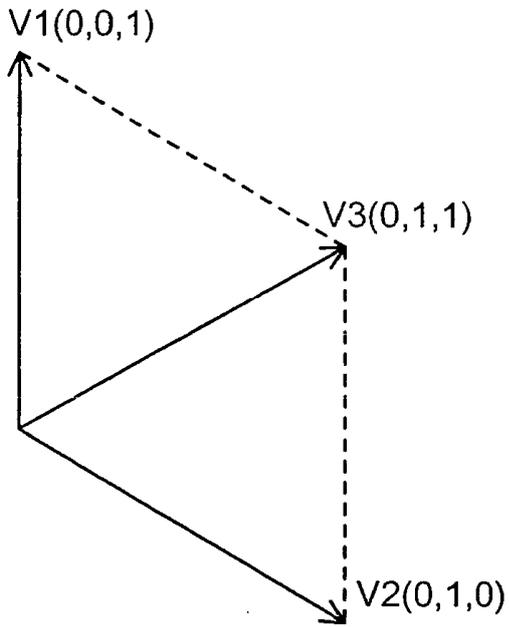


FIG.41B

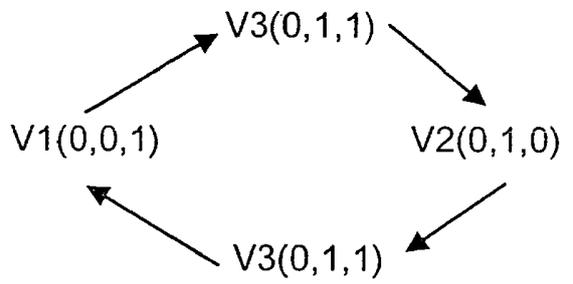


FIG.42

