

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 707 235**

51 Int. Cl.:

H02P 6/18 (2006.01)

G01B 7/30 (2006.01)

G06F 19/00 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.04.2011 PCT/JP2011/059008**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.12.2011 WO11162011**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.04.2011 E 11797899 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2018 EP 2584694**

54 Título: **Aparato de detección de la posición del polo magnético para máquinas síncronas**

30 Prioridad:

21.06.2010 JP 2010140411

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

03.04.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**YAMASAKI HISANORI;
HATANAKA, KEITA;
KONO, MASAKI y
KITANAKA, HIDETOSHI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 707 235 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

Aparato de detección de la posición del polo magnético para máquinas síncronas

Campo técnico

5 La presente invención hace referencia a un aparato de detección de la posición del polo magnético para máquinas síncronas que puede detectar una posición de polo magnético de un motor síncrono / generador síncrono de manera fácil, infalible y altamente precisa, sin utilizar un detector de posición.

Técnica anterior

10 Cuando se detecta una posición del polo magnético de una máquina síncrona, se puede emplear un método para detectar directamente un ángulo eléctrico (posición del polo magnético) de un rotor utilizando un detector de posición tal como un codificador. Sin embargo, para detectar directamente un ángulo de rotación del rotor, se debe añadir a la máquina síncrona un sensor especializado para la detección de la posición del polo magnético, tal como un detector de posición.

15 Esto provoca los inconvenientes de que el tamaño de la configuración del aparato aumenta, y la eficiencia económica también se reduce. Por lo tanto, se han propuesto aparatos que detectan una posición del polo magnético de una máquina síncrona sin utilizar un detector de posición.

Como métodos para detectar una posición del polo magnético de una máquina asíncrona sin utilizar un detector de posición, por ejemplo, existen métodos que utilizan la tensión inducida o la saliencia de la máquina síncrona.

20 En el caso del control sin sensor de posición utilizando la tensión inducida, cuando la velocidad es cero, la posición de un rotor no puede ser estimada con precisión, ya que la tensión inducida también es cero. En el caso de un método que utiliza la saliencia, la saliencia utilizada para la estimación de la posición del polo magnético varía con un período dos veces mayor que el de la posición del polo magnético y, por lo tanto, el período de la posición estimada también es el doble que el de la posición del polo magnético.

25 Es decir, el valor de la posición estimada cuando la posición del polo magnético de la máquina síncrona está en un rango de 0° a 180° es el mismo que cuando la posición del polo magnético de la máquina síncrona está en un rango de 180° a 360°. En consecuencia, este método no es suficiente para detectar con certeza la posición del polo magnético.

30 Por lo tanto, al menos cuando se arranca una máquina síncrona desde el estado en el que la velocidad es casi cero, se necesita un método para estimar la información de la posición del polo magnético de la máquina síncrona que no sea el método que utiliza la saliencia. Como tal método, por ejemplo, el Documento de Patente 1 da a conocer un método que utiliza la saturación magnética de una máquina síncrona.

35 De acuerdo con este método, 2n vectores de tensión (n representa el número de fases y es un número natural mayor o igual a tres) que tienen amplitudes iguales y cuyas fases están desplazadas en cantidades iguales se aplican a una máquina síncrona, y los valores de corriente agregados se obtienen sumando los valores de detección de las corrientes eléctricas que circulan cuando se aplica cada par de vectores de tensión cuya diferencia de fase es de 180°. Una posición del polo magnético se detecta en base a los valores de corriente agregados. Por lo tanto, es necesario que la máquina síncrona entre en estado de saturación magnética debido a la aplicación de los vectores de tensión.

Lista de citas

Documento de patente

40 Documento de patente 1: Publicación de patente japonesa

JP 4 271 397 B2 (página 10, línea 18 a página 13, línea 50, párrafos [0045] a [0065], y figuras 1 a 5, y 7)

45 Peter B Schmidt ET AL: "Initial rotor Angle Detection of a Non-Salient Pole Permanent Magnet Synchronous Machine" y WOOK-JIN LEE ET AL: "A New Starting Method of BLDC Motors Without Position Sensor" representa una técnica anterior más relevante que describe aparatos de detección de la posición del polo magnético.

Resumen de la invención

Problemas a resolver mediante la invención

50 Cuando se utiliza el método de detección de la posición del polo magnético del Documento de Patente 1, se debe suministrar una corriente eléctrica suficiente para la saturación magnética de una máquina síncrona, tal como se ha descrito anteriormente. Esto se debe a que el método utiliza el siguiente principio. Si no se produce una

5 saturación magnética, una corriente eléctrica que circula cuando se aplica un vector de tensión con una fase cercana a una posición del polo magnético es igual a una corriente eléctrica que circula cuando se produce una saturación magnética que aplica un vector de tensión con una fase diferente en 180° con respecto a la fase cercana a la posición del polo magnético. Por otro lado, si se produce una saturación magnética, la primera corriente eléctrica es más alta que la segunda, y la posición del polo magnético se puede detectar en base a las corrientes eléctricas diferenciales.

Por consiguiente, para obtener un estado de saturación magnética que garantice una precisión requerida en la detección de la posición del polo magnético, es necesario ajustar y configurar previamente el tiempo de aplicación de una instrucción de vector de tensión que se aplicará a la máquina síncrona.

10 En el caso de un producto en el que el valor de una tensión suministrado desde una fuente de tensión de CC a un convertidor de potencia que genera los vectores de tensión no es constante, a veces es difícil configurar el tiempo de aplicación del vector de tensión. Por ejemplo, en el caso de un convertidor de potencia para un ferrocarril eléctrico, la tensión de CC es suministrada a través de un cable aéreo situado sobre las vías del ferrocarril y un pantógrafo equipado en el techo de un vehículo. En este caso, la tensión de CC varía de un momento a otro, dependiendo en gran medida de los estados de funcionamiento de los vehículos en una sección para la cual se utiliza el mismo cable y de la capacidad de una subestación.

15 Si la tensión de CC es baja, no se puede hacer circular suficiente corriente eléctrica aplicando un vector de tensión, y, por lo tanto, no se puede obtener suficiente saturación magnética de la máquina síncrona. En consecuencia, surge el problema de que la información sobre la posición del polo magnético contenida en un valor de corriente resulta insuficiente y, por lo tanto, la detección de la posición del polo magnético se deteriora.

20 Para evitar dicha situación, el tiempo de aplicación del vector de tensión se debe alargar. Sin embargo, si la tensión de CC es excesivamente alta, se produce una saturación magnética en un amplio rango, y la precisión de la detección de la posición del polo magnético es bastante probable que disminuya.

25 La presente invención se ha realizado para resolver los problemas anteriores, y un objetivo de la presente invención es proporcionar un aparato de detección de la posición del polo magnético para máquinas síncronas que permita una precisión deseada de detección de la posición del polo magnético independientemente de la variación en la tensión de CC de la fuente de tensión de CC.

Solución a los problemas

30 Los aparatos de detección de la posición del polo magnético para máquinas síncronas de acuerdo con la presente invención se proporcionan en las reivindicaciones independientes 1 y 2.

Efecto de la invención

35 Tal como se describió anteriormente, el medio de cálculo del aparato de detección de posición del polo magnético para máquinas síncronas de acuerdo con la presente invención controla apropiadamente el ancho del impulso y el tiempo de muestreo, en base al valor de detección de la tensión de CC del medio de detección de la tensión de CC. Por lo tanto, se puede obtener una precisión deseada de la detección de la posición del polo magnético independientemente de la variación en la tensión de CC de la fuente de tensión de CC.

Breve descripción de los dibujos

- La figura 1 es un diagrama de configuración de la detección de la posición del polo magnético para máquinas síncronas de acuerdo con la realización 1 de la presente invención.
- 40 La figura 2 es un diagrama que muestra las relaciones entre los tiempos de salida para una instrucción de vector de tensión y los tiempos de muestreo para los valores de detección de corriente en el medio de cálculo 2a de acuerdo con la realización 1 de la presente invención.
- La figura 3 es un diagrama característico que muestra las relaciones entre las posiciones del polo magnético y los valores de corriente añadida Δi_u , Δi_v y Δi_w se obtuvieron después del procesamiento de la corriente detectada, que es un principio de detección de la posición del polo magnético de acuerdo con la realización 1 de la presente invención.
- 45 La figura 4 es un diagrama de configuración interna del medio de cálculo 2a de acuerdo con la realización 1 de la presente invención.
- La figura 5 es un diagrama de configuración de un aparato de detección de la posición del polo magnético para máquinas síncronas de acuerdo con la realización 2 de la presente invención.
- 50 La figura 6 es un diagrama de configuración interna del medio de cálculo 2b de acuerdo con la realización 2 de la presente invención.

- La figura 7 es un diagrama que muestra las relaciones entre los tiempos de salida para una instrucción de vector de tensión y los tiempos de muestreo para los valores de detección de la corriente en el medio de cálculo 2b de acuerdo con realización 2 de la presente invención.
- 5 La figura 8 es un diagrama que muestra los cambios de las corrientes de la fase u dentro de un ancho de impulso cuando los modos de conmutación "V1" y "V4" se emiten como instrucciones de vector de tensión, de acuerdo con la realización 2 de la presente invención.
- 10 La figura 9 es un diagrama que muestra una relación S/N (de señal a ruido – Signal to Noise, en inglés) determinada a partir de la corriente de la fase u cuando se aplica el modo de conmutación "V1" y la corriente de la fase u cuando se aplica el modo de conmutación "V4", en relación con las características de las corrientes de la fase u mostradas en la figura 8.

Mejor modo para llevar a cabo la invención

Realización 1

15 La figura 1 es un diagrama de bloques que muestra una configuración esquemática de un aparato de detección de la posición del polo magnético para máquinas síncronas de acuerdo con la realización 1 de la presente invención. Se describirá el flujo de energía eléctrica suministrada a una máquina síncrona 1. Una salida de tensión de CC de una fuente de tensión de CC 5 es introducida en el medio de circuito 3, y el medio de circuito 3 convierte la salida de tensión de CC a CA multifásica, y suministra la alimentación de CA a la máquina síncrona 1.

20 En este caso, la máquina síncrona 1 es, por ejemplo, un motor síncrono o un generador síncrono que tiene devanados para múltiples fases, específicamente, n fases (siendo n un número natural mayor o igual a tres), y que tiene un rotor en el que están dispuestos los imanes permanentes.

Además, el medio de circuito 3 es un convertidor de potencia, tal como un inversor PWM, compuesto por los conmutadores semiconductores 31 a 36, como IGB, que están conectados en puente y convierten una tensión de CC de la fuente de tensión de CC 5 en CA multifásica, generando con ello la CA multifásica para la máquina síncrona 1.

25 La fuente de tensión de CC 5 genera una tensión de CC, que será suministrada a un cable aéreo situado sobre las vías del ferrocarril, al medio de circuito 3 a través de un pantógrafo equipado en el techo de un vehículo y a través de un filtro compuesto por un reactor y un condensador.

30 Tal como ya se describió, la tensión de CC de la fuente de tensión de CC 5 varía por momentos en función del estado de funcionamiento de los vehículos en una sección para la cual se utiliza el mismo cable y de la capacidad de una subestación. La esencia de la presente invención es un control que tiene en cuenta la variación de tensión, y se describirá en detalle más adelante.

En primer lugar, se describirá el principio de funcionamiento de la detección de la posición del polo magnético en base a la configuración que se muestra en la figura 1.

35 El medio de cálculo 2a emite una instrucción de vector de tensión al medio de circuito 3. Específicamente, la instrucción de vector de tensión es una combinación de instrucciones de ENCENDIDO y APAGADO para una pluralidad de conmutadores de semiconductores 31 a 36 de conversión de potencia incluidos en el medio de circuito 3. Por ejemplo, la instrucción de vector de tensión incluye nueve modos de conmutación "V0" a "V8" definidos como sigue.

"V0": Todos los conmutadores están apagados.

40 "V1": 31, 35 y 36 están encendidos y los demás están apagados.

"V2": 31, 32 y 36 están encendidos y los demás están apagados.

"V3": 34, 32 y 36 están encendidos y los demás están apagados.

"V4": 34, 32 y 33 están encendidos y los demás están apagados.

"V5": 34, 35 y 33 están encendidos y los demás están apagados.

45 "V6": 31, 35 y 33 están encendidos y los demás están apagados.

"V7": 31, 32 y 33 están encendidos y los demás están apagados.

"V8": 34, 35 y 36 están encendidos y los demás están apagados.

Por ejemplo, se aplica un modo de conmutación como la instrucción de vector de tensión en el siguiente orden: "V0" → "V1" → "V0" → "V2" → "V0" → "V3" → "V0" → "V4" → "V0" → "V5" → "V0" → "V6". La figura 2 muestra las

magnitudes de las corrientes eléctricas que circulan en cada fase (fase U, fase V y fase W) de la máquina síncrona 1 en ese caso.

5 Las corrientes de fase i_u , i_v e i_w obtenidas por el medio de detección de corriente 4 son introducidas en el medio de cálculo 2a. Los valores de i_u , i_v e i_w son muestreados y almacenados como i_{u1} , i_{v1} y i_{w1} en un tiempo de muestreo, es decir, al final de la aplicación de un vector de tensión mediante el modo de conmutación "V1".

Posteriormente, los valores de las corrientes de fase en los otros tiempos de muestreo, es decir, al final de la aplicación de un vector de tensión por cada uno de los otros modos de conmutación, son almacenados de manera similar. Los valores de las corrientes de fase corresponden a valores en las marcas de círculo que se muestran en las características de la corriente de la fase de figura 2.

10 Los nombres de los valores de corriente muestreados se definen tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Tiempo de muestreo	Corriente de la fase u i_u	Corriente de la fase v i_v	Corriente de la fase w i_w
Al final de la aplicación de "V1"	i_{u1}	i_{v1}	i_{w1}
Al final de la aplicación de "V2"	i_{u2}	i_{v2}	i_{w2}
Al final de la aplicación de "V3"	i_{u3}	i_{v3}	i_{w3}
Al final de la aplicación de "V4"	i_{u4}	i_{v4}	i_{w4}
Al final de la aplicación de "V5"	i_{u5}	i_{v5}	i_{w5}
Al final de la aplicación de "V6"	i_{u6}	i_{v6}	i_{w6}

15 Los anchos de impulso t_p de los vectores de tensión aplicados mediante los modos de conmutación "V1", "V2", "V3", "V4", "V5" y "V6", generados como la instrucción de vector de tensión se configuran para ser iguales entre sí. Un ancho de impulso de quiescencia t_n correspondiente a la duración del período de todos los conmutadores apagados "V0" interpuesto entre las aplicaciones de los vectores de tensión se determina teniendo en cuenta el tiempo necesario para que las corrientes eléctricas se estabilicen a cero.

20 Los vectores de tensión aplicados por los modos de conmutación "V1" y "V4" tienen direcciones invertidas entre sí 180° con respecto a la máquina síncrona 1, es decir, forman un par de vectores de tensión positivo y negativo para la fase U. Las corrientes de la fase u i_{u1} e i_{u4} generadas en las aplicaciones tienen la misma magnitud y signos opuestos si la inductancia de la máquina síncrona no está saturada. Es decir, un valor de corriente agregado Δi_u se convierte en cero cuando está definida por la siguiente expresión.

$$\Delta i_u = i_{u1} + i_{u4} \quad \dots (1).$$

25 Sin embargo, en el caso de que el estado de saturación ocurra en la máquina síncrona 1 que tiene imanes permanentes, la condición de la saturación magnética varía dependiendo de si la tensión se aplica en una dirección positiva o negativa, debido a la influencia del flujo magnético provocado por los imanes. Por lo tanto, las magnitudes de i_{u1} e i_{u4} resultan ser diferentes entre sí. Es decir, el valor de corriente agregado Δi_u tiene un valor distinto de cero de acuerdo con la dirección del polo magnético 5.

30 Asimismo, para la corriente de la fase v y la corriente de la fase w, los valores de corriente agregados Δi_v y Δi_w se definen de manera similar mediante las siguientes expresiones.

$$\Delta i_v = i_{v3} + i_{v6} \quad \dots (2).$$

$$\Delta i_w = i_{w5} + i_{w2} \quad \dots (3).$$

35 La figura 3 muestra ejemplos de los cambios de los valores de corriente añadidos Δi_u , Δi_v y Δi_w con respecto a la posición θ del polo magnético cuando se aplican los vectores de tensión mediante los modos de conmutación como la instrucción del vector de tensión en el orden de "V1" a "V6" tal como los mostrados en la figura 2. Tal como se describió anteriormente, dado que la condición de saturación magnética varía dependiendo de la posición del polo magnético, los valores de corriente agregados Δi_u , Δi_v y Δi_w tienen características que dependen de la posición θ del polo magnético.

40 El medio de cálculo 2a detecta la posición del polo magnético utilizando los cambios de características mostrados en la figura 3. Específicamente, tal como se muestra en la Tabla 2, centrándose en cuál de los valores de corriente

agregados Δ_{iu} , Δ_{iv} y Δ_{iw} tiene el valor absoluto máximo y si el signo de la señal que indica el valor máximo es positivo o negativo, se puede detectar una sección de existencia m en la que existe la posición real del polo magnético para cada 60° .

Tabla 2

Número de sección m	Sección	Δ que indica el valor máximo	Signo de Δ que indica el valor máximo
1	-30° a 30°	Δ_{iu}	+
2	30° a 90°	Δ_{iw}	-
3	90° a 150°	Δ_{iv}	+
4	150° a 210°	Δ_{iu}	-
5	210° a 270°	Δ_{iw}	+
6	270° a 330°	Δ_{iv}	-

5

La figura 4 es un diagrama de bloques que muestra la configuración interna del medio de cálculo 2a del aparato de detección de la posición del polo magnético para máquinas síncronas de acuerdo con la realización 1 de la presente invención.

10 De acuerdo con la realización 1, cuando la posición del polo magnético es detectada de acuerdo con el principio de operación descrito anteriormente, el ancho de impulso t_p de cada vector de tensión varía de acuerdo con el valor de tensión de CC de la fuente de tensión de CC 5 detectado por el medio de detección de la tensión de CC 6.

En la figura 4, una sección de determinación de ancho de impulso 22a determina el ancho de impulso t_p [s] y el ancho de impulso de quiescencia t_n [s] de acuerdo con un valor de detección de la tensión de CC V_{cc} detectado por el medio de detección de la tensión de CC 6.

15 Por ejemplo, el ancho del impulso t_p y el ancho del impulso de quiescencia t_n están determinados por las siguientes expresiones.

$$t_p = t_{pnominal} \times V_{ccnominal} / V_{cc} \quad \dots (4)$$

$$t_n = t_p \times k_n \quad \dots (5).$$

En las expresiones,

20 $V_{ccnominal}$ es un valor nominal de la tensión de CC como referencia;

$t_{pnominal}$ es un ancho nominal del impulso como referencia; y

k_n es un coeficiente de configuración del ancho del impulso de quiescencia.

25 Específicamente, el ancho del impulso t_p se configura para que sea inversamente proporcional a la magnitud del valor real de detección de la tensión de CC V_{cc} . Cuando el valor de detección de la tensión de CC V_{cc} es menor que el valor nominal de la tensión de CC $V_{ccnominal}$, el ancho del impulso t_p se configura para ser grande, y, por otro lado, cuando el valor de detección de la tensión de CC V_{cc} es mayor que el valor nominal de la tensión de CC $V_{ccnominal}$, el ancho del impulso t_p se configura para ser pequeño.

30 Además, k_n es una relación del ancho del impulso de quiescencia t_n con respecto al ancho del impulso t_p , y se configura en aproximadamente 1 a 1,5, teniendo en cuenta el tiempo de caída de la corriente después del final de la aplicación del impulso de tensión. El tiempo de caída de la corriente depende de la constante de la máquina síncrona 1 y de las características del circuito principal.

35 En base al ancho del impulso t_p y al ancho del impulso de quiescencia de la sección de determinación del ancho de impulso 22a, el medio de generación de instrucciones de tensión 21a emite vectores de tensión de acuerdo con los modos de conmutación "V1", "V2", "V3", "V4", "V5" y "V6" y el modo de quiescencia "V0", para los períodos correspondientes.

Mientras tanto, el medio de detección de la posición del polo magnético 23a muestrea los valores de detección de la corriente del medio de detección 4 en los tiempos de muestreo, a saber, al final de cada aplicación de impulso para el cual el período se configura como se ha descrito anteriormente, y almacena los valores de la corriente tal como se muestran en la Tabla 1, realizando de este modo la determinación mostrada en la Tabla 2 para generar un

valor de determinación de la posición del polo magnético.

En la descripción anterior, el ancho del impulso t_p y el ancho del impulso de quiescencia están representados por las funciones que se muestran en las expresiones (4) y (5). Sin embargo, se pueden utilizar otras funciones, o se pueden utilizar las características tabuladas como referencia, siempre que las características sean tales que el ancho del impulso sea mayor (menor) a medida que el valor de detección de la tensión de CC disminuye (aumenta).

Las características reales de saturación magnética de la máquina síncrona 1 son complicadas. La longitud del ancho del impulso t_p no es exactamente proporcional al valor máximo de la corriente eléctrica que circula en la máquina síncrona 1, y no es exactamente inversamente proporcional al valor de detección de la tensión de CC.

Por lo tanto, es preferible que las relaciones entre V_{cc} , t_p , i_u , i_v e i_w se registren previamente mediante análisis electromagnético o prueba real de la máquina, y las características de t_p relativas a V_{cc} que realmente se utilizan para un producto se determinan en base a las relaciones registradas, y a continuación se utilizan en la sección de determinación 22a del ancho del impulso que se representan mediante una función o una tabla.

De acuerdo con la realización 1 que se ha descrito anteriormente, el ancho del impulso t_p se determina de acuerdo con el valor de detección de la tensión de CC V_{cc} . Por lo tanto, en el caso de que el valor de detección de la tensión de CC V_{cc} sea menor que el valor nominal de la tensión de CC, se pueden generar corrientes de fase en la máquina síncrona 1 suficientes para la saturación magnética, mediante el ensanchamiento del impulso t_p .

Como resultado, se puede mejorar una relación S/N para la detección de la posición del polo magnético, por lo que se puede obtener el efecto de mejorar la precisión de la detección de la posición del polo magnético.

Además, en el caso de que el valor de detección de la tensión de CC V_{cc} sea mayor que el valor nominal de la tensión de CC, acortar el ancho del impulso t_p puede evitar que se produzca una saturación magnética en un rango excesivamente amplio y, por lo tanto, que se reduzca la precisión de la detección de la posición del polo magnético.

Además, es posible evitar la situación en la que se realiza la protección del circuito principal debido a una circulación excesiva de corrientes de fase, obteniendo de este modo el efecto de permitir una detección estable de la posición del polo magnético.

Realización 2

La figura 5 es un diagrama de bloques que muestra una configuración esquemática de un aparato de detección de la posición del polo magnético para máquinas síncronas de acuerdo con la realización 2 de la presente invención. Los componentes distintos del medio de cálculo 2b son los mismos que la máquina síncrona 1, el medio de circuito 3, el medio de detección de corriente 4, la fuente de tensión de CC 5 y el medio de detección de la tensión CC 6 de la realización 1, y se omite su descripción.

La figura 6 muestra la configuración interna del medio de cálculo 2b. El medio de cálculo 2b se compone de medio de generación de instrucciones de tensión 21b, medio de detección de la posición de polo magnético 23b y una sección de determinación de los tiempos de muestreo 24b.

De manera similar al medio de generación de instrucciones de tensión 21a de la realización 1, el medio de generación de instrucciones de tensión 21b genera, como los modos de conmutación, "V1", "V2", "V3", "V4", "V5" y "V6" que se muestran en la Tabla 1, y "V0". Sin embargo, el ancho del impulso t_p y el ancho de impulso inactivo se configuran de tal manera que sean constantes independientemente del valor de detección de la tensión de CC V_{cc} .

Mientras tanto, la sección de determinación de los tiempos de muestreo 24b envía una instrucción de muestreo al medio de detección de la posición del polo magnético 23b en un tiempo de muestreo, es decir, segundos después de que la corriente eléctrica comience a circular en el medio de detección de corriente 4 como resultado del modo de conmutación "V1", "V2", "V3", "V4", "V5" o "V6" que se envía al medio de circuito 3 como instrucción del vector de tensión. El medio de detección de la posición del polo magnético 23b muestrea y almacena un valor de detección de la corriente en ese momento, almacenando secuencialmente i_{u1} , i_{v1} e i_{w1} a i_{u6} , i_{v6} e i_{w6} en la Tabla 1.

La figura 7 ilustra la operación anterior. A continuación, se describirá cómo la sección de determinación de los tiempos de muestreo 24b determina t_s .

La figura 8 es un diagrama esquemático que muestra los comportamientos de los valores absolutos de las corrientes de fase i_u en el caso en que los modos de conmutación "V1" y "V4" se apliquen como la instrucción del vector de tensión en la posición $\theta = [0^\circ]$ del polo magnético. El caso en el que el valor de detección de la tensión de CC V_{cc} es del 130 % y el caso en el que el valor de detección de la tensión de CC V_{cc} es del 70 % se muestra para cada modo. El eje horizontal representa el tiempo de aplicación del impulso (ancho del impulso).

Tal como ya se ha descrito, los ángulos de fase de las tensiones basados en los modos de conmutación "V1" y "V4" son directamente opuestos entre sí a lo largo de la fase U, y las corrientes de la fase i_u generadas en estos

casos tienen signos opuestos. Si la saturación magnética no está provocada por el polo magnético, las magnitudes de las corrientes eléctricas son iguales.

5 De hecho, sin embargo, la magnitud de la corriente eléctrica en el momento de la aplicación de "V1" y la magnitud de la corriente eléctrica en el momento de la aplicación de "V4" resulta diferente debido a la influencia de la saturación magnética provocada por el polo magnético, tal como se muestra en la figura 8.

Utilizando este principio, se puede detectar la posición del polo magnético. En este caso, si el valor de detección de la tensión de CC V_{cc} es mayor que un valor nominal, la corriente eléctrica después de la aplicación del impulso aumenta, y la influencia de la saturación magnética se produce con mayor rapidez.

10 Aunque depende de las características de saturación magnética de la máquina síncrona 1, la diferencia entre las corrientes eléctricas en el momento de las aplicaciones de las instrucciones de tensión "V1" y "V4" alcanza el máximo cuando, por ejemplo, el tiempo de aplicación del impulso es 130 [s], tal como se muestra en la figura 8. Como indicador de la relación S/N, la figura 9 muestra un ejemplo en el que el numerador es $|i_{u1}|$ en el momento de la aplicación de "V1" - $|i_{u4}|$ en el momento de la aplicación de "V4" y el denominador es $|i_{u1}|$ en el momento de la aplicación de "V1".

15 En este ejemplo, en el caso de $V_{cc} = 130\%$, las corrientes eléctricas se muestrean cuando el tiempo de aplicación del impulso es $t_s = 130$ [s]. Se puede comprender que, si las corrientes eléctricas se utilizan como i_{u1} e i_{u4} , la relación S/N es la máxima y, por lo tanto, la precisión de la detección del polo magnético aumenta al máximo.

20 Por contraste, en el caso en el que el valor de detección de la tensión de CC V_{cc} es pequeño, y, por ejemplo, es el 70 % del valor nominal, la corriente eléctrica generada se reduce en consecuencia y el tiempo necesario para que se produzca la influencia de la saturación magnética aumenta.

En el ejemplo que se muestra en las figuras 8 y 9, la influencia de la saturación magnética es notable en el tiempo de $t_s = 70$ mayor que $t_s = 130$. Por lo tanto, si los valores de detección de corriente muestreados en el tiempo se almacenan como i_{u1} e i_{u4} en el medio de detección de la posición del polo magnético 23b, la relación S/N para la detección aumenta hasta el máximo.

25 De acuerdo con esto, si los tiempos de muestreo t_s en los cuales la relación S/N es la más alta se obtienen previamente para cada valor del valor de detección de la tensión de CC V_{cc} mediante análisis electromagnético o prueba real de la máquina, y los tiempos de muestreo t_s se utilizan realmente para la sección de determinación de tiempo de muestreo 24b como las características de la relación entre el valor de detección de la tensión de CC y los tiempos de muestreo, es posible mantener la máxima precisión de la detección de la posición del polo magnético en una operación real, mediante la determinación del tiempo de muestreo t_s de acuerdo con el valor de detección de la tensión de CC V_{cc} y el muestreo de las corrientes eléctricas con el medio de detección de la posición del polo magnético 23b, incluso cuando el ancho del impulso t_p y el ancho del impulso de quiescencia t_n de la instrucción de tensión emitida por el medio de generación de instrucciones de tensión 21b son fijos.

35 De acuerdo con la realización 2 descrita anteriormente, los tiempos de muestreo t_s para los valores de detección de la corriente se determinan de acuerdo con el cambio del valor de detección de la tensión de CC V_{cc} , y, por lo tanto, el valor de detección de la corriente que proporciona una relación S/N favorable se puede muestrear en un momento en que la saturación magnética provocada por el polo magnético ejerce suficiente influencia.

Por lo tanto, la relación S/N para la detección de la posición del polo magnético se puede mantener en un nivel alto, y se puede obtener el efecto de mejorar la precisión de la detección de la posición del polo magnético.

40 Además, dado que la amplitud del impulso t_p y el ancho del impulso de quiescencia t_n es fijo independientemente del valor de detección de la tensión de CC V_{cc} , el tiempo total necesario para la detección de la posición del polo magnético es constante independientemente del valor de detección de la tensión de CC V_{cc} .

45 Por lo tanto, también es posible obtener el efecto de facilitar el diseño de cooperación con un proceso de cálculo realizado en la etapa posterior utilizando el resultado de la detección de la posición del polo magnético y un proceso de cálculo realizado en paralelo.

50 El método para determinar el tiempo de muestreo t_s que optimiza la relación S/N, que ha sido descrita haciendo referencia a las figuras 8 y 9, también se puede aplicar a la realización 1. Específicamente, en la realización 1, ya que la temporización de muestreo se encuentra al final de la aplicación del impulso para la cual el ancho del impulso es t_p , si las temporadas en las que la relación S/N resulta óptima tal como se ilustra en las figuras 8 y 9, es decir, los anchos del impulso t_p que permiten la optimización de la relación S/N, se obtienen previamente para cada valor del valor de detección de la tensión de CC V_{cc} por análisis electromagnético o prueba real de la máquina, se puede obtener el efecto de mejorar aún más la precisión de la posición del polo magnético.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de detección de la posición del polo magnético para máquinas síncronas, que comprende:

- un medio de circuito (3), para convertir una tensión de CC de una fuente de tensión de CC (5) en vectores de tensión en base a una instrucción de vector de tensión, y aplicar los vectores de tensión a una máquina síncrona (1) que tiene devanados para n fases (n es un número natural mayor o igual a tres);
- un medio de detección de la corriente (4), para detectar una corriente eléctrica que circula en cada uno de los devanados de la máquina síncrona (1); y
- un medio de cálculo (2a), para calcular y emitir 2n vectores de tensión al medio de circuito (3) como instrucción de vector de tensión, y para obtener un valor de detección de la corriente del medio de detección de la corriente (4) en un tiempo de muestreo predeterminado en base a la instrucción del vector de tensión, determinándose los 2n vectores de tensión dependiendo de la tensión de CC de la fuente de tensión de CC (5) que tienen amplitudes iguales, que tienen fases desplazadas en cantidades iguales en un ciclo (360 grados), que tienen los mismos anchos de impulso predeterminados, y que tienen un período del impulso de quiescencia interpuesto entre las aplicaciones de los vectores de tensión,

en el que cuando los vectores de tensión basados en la instrucción del vector de tensión son aplicados a la máquina síncrona (1), el medio de cálculo (2a) está adaptado para calcular además n valores de corriente agregados añadiendo los valores de la detección de corriente obtenidos en el tiempo de muestreo como resultado de la aplicación de cada par de vectores de tensión cuyas fases se diferencian entre sí en 180 grados, y detecta una posición del polo magnético durante la detención de la máquina síncrona (1), en función de los n valores de corriente agregados,

comprendiendo el aparato de detección de la posición del polo magnético un medio de detección de la tensión de CC (6) para detectar la tensión de CC de la fuente de tensión de CC (5),

en el que el medio de cálculo (2a) está adaptado para controlar el ancho de impulso y el tiempo de muestreo, en base a un valor de detección de la tensión de CC del medio de detección de la tensión de CC (6), para obtener una precisión deseada de detección de la posición del polo magnético independientemente de la variación en la tensión de CC de la fuente de tensión de CC (5),

en el que el medio de cálculo (2a) está adaptado para cambiar el ancho de impulso de acuerdo con el valor de detección de la tensión de CC, y controla el ancho de impulso y el tiempo de muestreo de manera que el tiempo de muestreo se fija en el punto final del ancho de impulso de cada uno de los vectores de tensión independientemente del valor de detección de la tensión de CC,

en el que las características de la relación entre la tensión de CC de la fuente de tensión de CC (5) y el ancho de impulso que permite una precisión deseada de la detección de la posición del polo magnético se determinan previamente mediante experimentación o análisis, y:

- el medio de cálculo (2a) está adaptado para determinar el ancho de impulso a partir de las características de la relación de acuerdo con el valor de detección de la tensión de CC,

en el que las características de la relación entre la tensión de CC de la fuente de tensión de CC (5) y el ancho de impulso se determinan a partir de un resultado obtenido determinando previamente un tiempo en el cual la relación S/N se máxima de acuerdo con la tensión de CC de la fuente de tensión de CC (5) mediante experimentación o análisis, representándose la relación S/N mediante la siguiente expresión:

relación S/N = $(|i1| - |i2|) / |i1|$,

en la que i1 es un valor de detección de la corriente detectada cuando se aplica un vector de tensión que corresponde a una posición conocida del polo magnético, e i2 es un valor de detección de la corriente detectada cuando se aplica un vector de tensión cuya fase se diferencia en 180 grados con respecto a la del vector de tensión correspondiente a la posición del polo magnético conocida.

2. Un aparato de detección de la posición del polo magnético para máquinas síncronas, que comprende:

- un medio de circuito (3), para convertir una tensión de CC de una fuente de tensión de CC (5) en vectores de tensión en base a una instrucción del vector de tensión, y aplicar los vectores de tensión a una máquina síncrona (1) que tiene devanados para n fases (n es un número natural mayor o igual a tres);
- un medio de detección de la corriente (4), para detectar una corriente eléctrica que circula en cada uno de los devanados de la máquina síncrona (1); y
- un medio de cálculo (2a), para calcular y emitir 2n vectores de tensión al medio de circuito (3) como instrucción de vector de tensión, y para obtener un valor de detección de la corriente del medio de detección

5 de la corriente (4) en un tiempo de muestreo predeterminado en base a la instrucción del vector de tensión, determinándose los 2n vectores de tensión dependiendo de la tensión de CC de la fuente de tensión de CC (5) que tienen amplitudes iguales, que tienen fases desplazadas en cantidades iguales en un ciclo (360 grados), que tienen los mismos anchos de impulso predeterminados, y que tienen un período del impulso de quiescencia interpuesto entre las aplicaciones de los vectores de tensión, en el que cuando los vectores de tensión basados en la instrucción del vector de tensión son aplicados a la máquina síncrona (1), el medio de cálculo (2a) está adaptado para calcular además n valores de corriente agregados añadiendo los valores de la detección de corriente obtenidos en el tiempo de muestreo como resultado de la aplicación de cada par de vectores de tensión cuyas fases se diferencian entre sí en 180 grados, y detecta una posición del polo magnético durante la detención de la máquina síncrona (1), en función de los n valores de corriente agregados,

15 - el aparato de detección de la posición de polo magnético que comprende un medio de detección de la tensión de CC (6) para detectar la tensión de CC de la fuente de tensión de CC (5), en el que el medio de cálculo (2a) está adaptado para controlar el ancho de impulso y el tiempo de muestreo, en base a un valor de detección de la tensión de CC del medio de detección de la tensión de CC (6), para obtener una precisión deseada de la detección de la posición del polo magnético, independientemente de la variación de la tensión de CC de la fuente de tensión de CC (5),

en el que el medio de cálculo (2a) está adaptado para controlar el ancho del impulso, de tal manera que el ancho tenga un valor constante independientemente del valor de detección de la tensión de CC,

20 - características de la relación entre la tensión de CC de la fuente de tensión de CC (5) y el tiempo de muestreo que está en el ancho de impulso y que permite una precisión deseada de detección de la posición del polo magnético son determinadas previamente mediante experimentación o análisis, y

- el medio de cálculo (2a) está adaptado para determinar el ancho del impulso a partir de las características de la relación de acuerdo con el valor de detección de la tensión de CC,

25 en el que las características de la relación entre la tensión de CC de la fuente de tensión de CC (5) y el ancho de impulso se determinan a partir de un resultado obtenido determinando previamente un tiempo en el cual la relación S/N es máxima de acuerdo con la tensión de CC de la fuente de tensión de CC (5) mediante experimentación o análisis, representándose la relación S/N mediante la siguiente expresión:

$$\text{relación S/N} = (|i_1| - |i_2|) / |i_1|,$$

30 en la que i_1 es un valor de detección de la corriente detectada cuando se aplica un vector de tensión que corresponde a una posición conocida del polo magnético, e i_2 es un valor de detección de la corriente detectada cuando se aplica un vector de tensión cuya fase se diferencia en 180 grados con respecto a la del vector de tensión correspondiente a la posición del polo magnético conocida.

FIG. 1

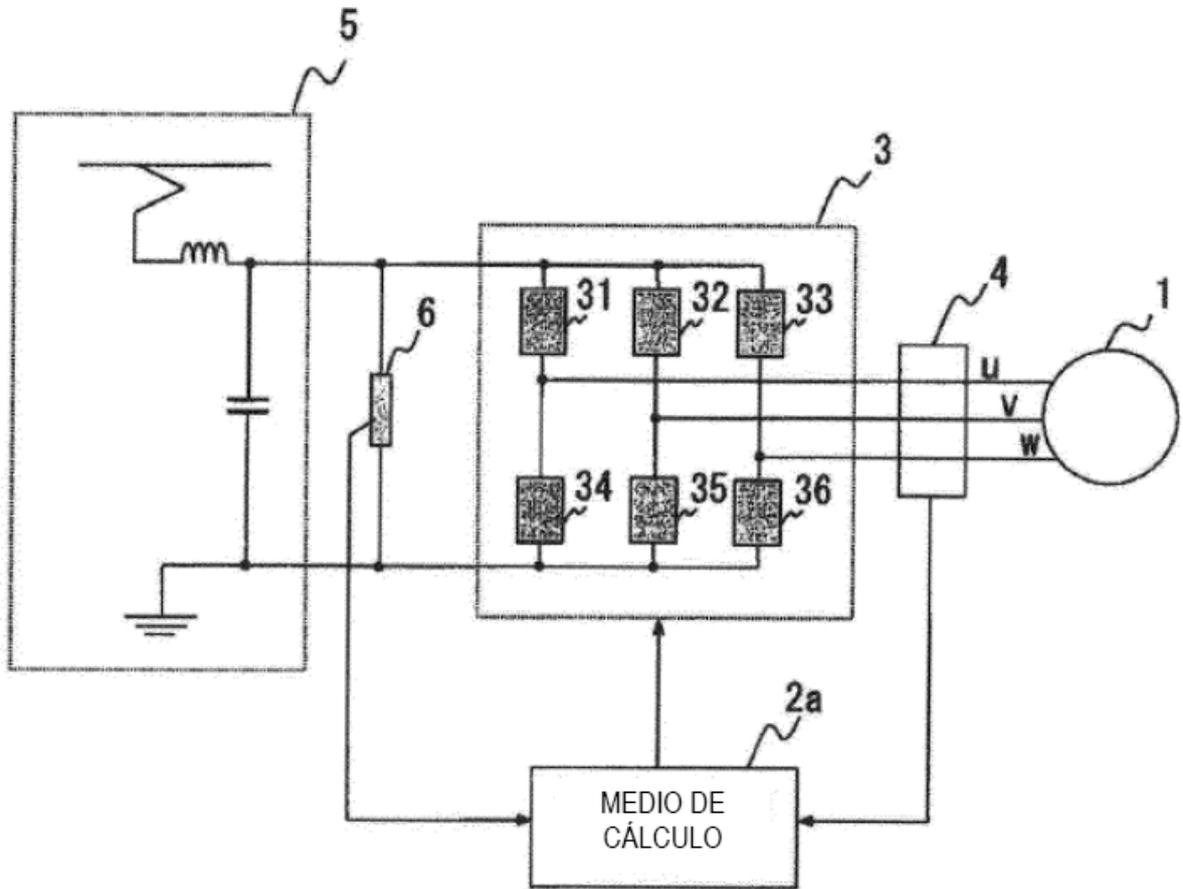


FIG. 2

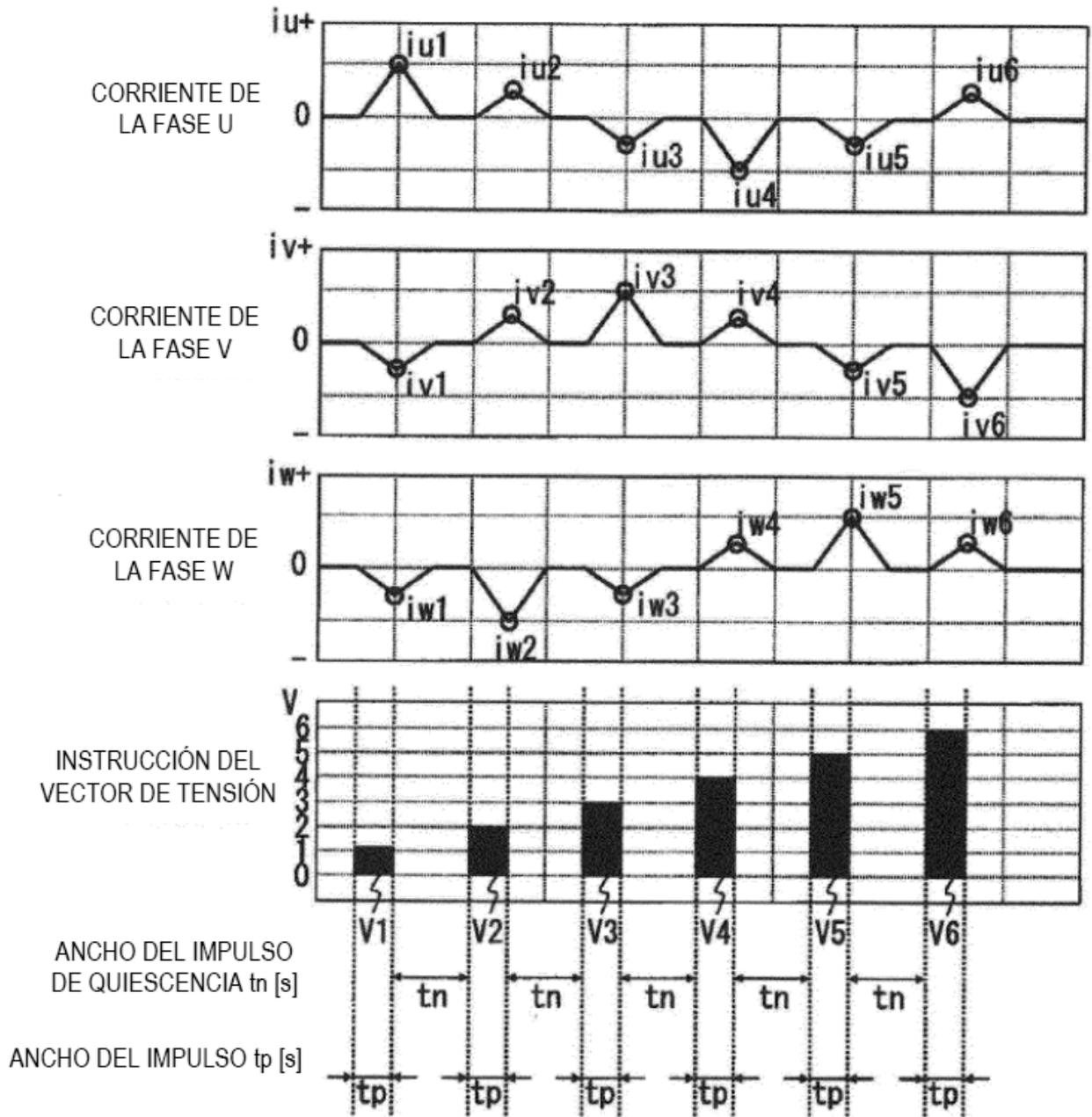


FIG. 3

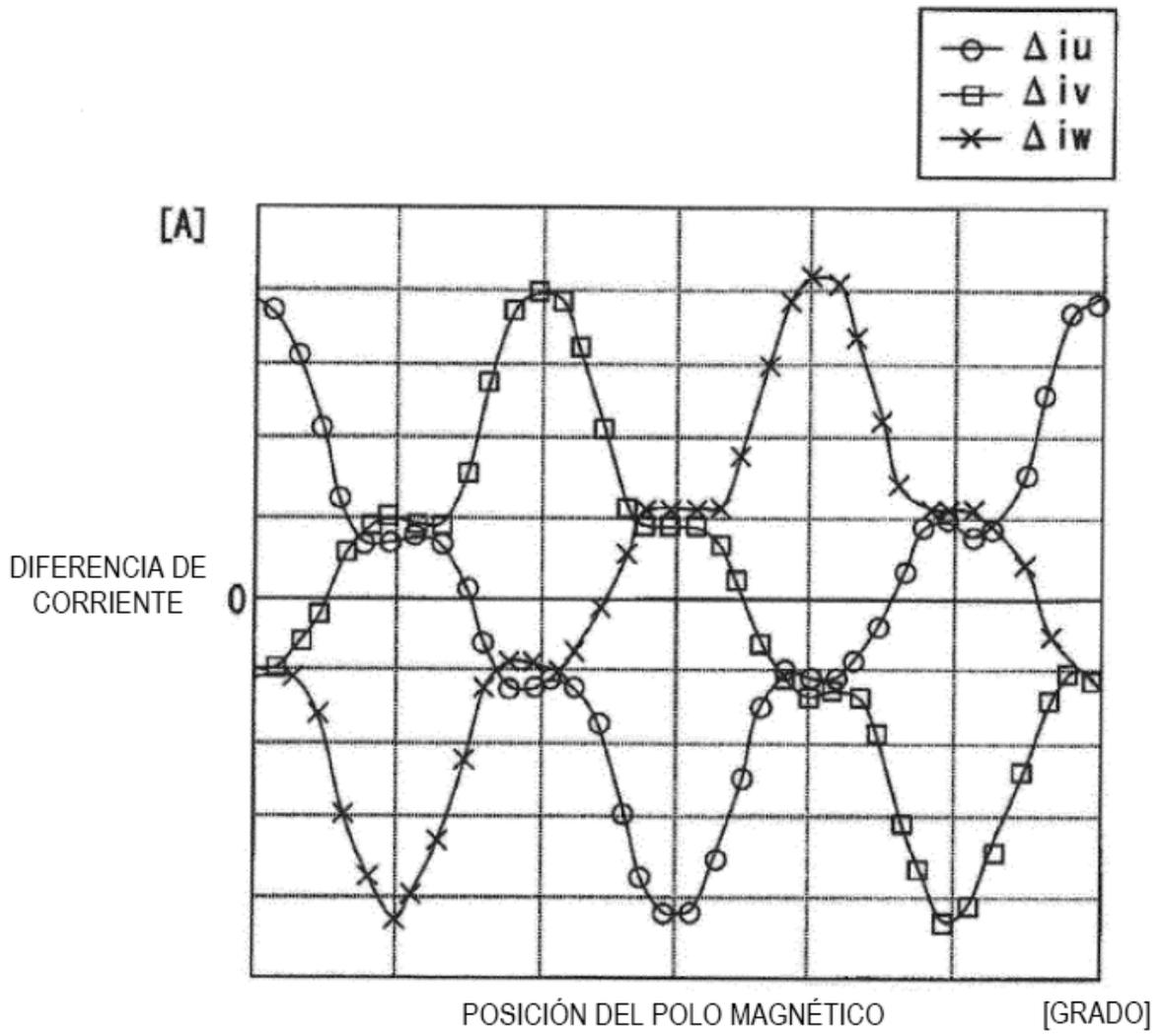


FIG. 4

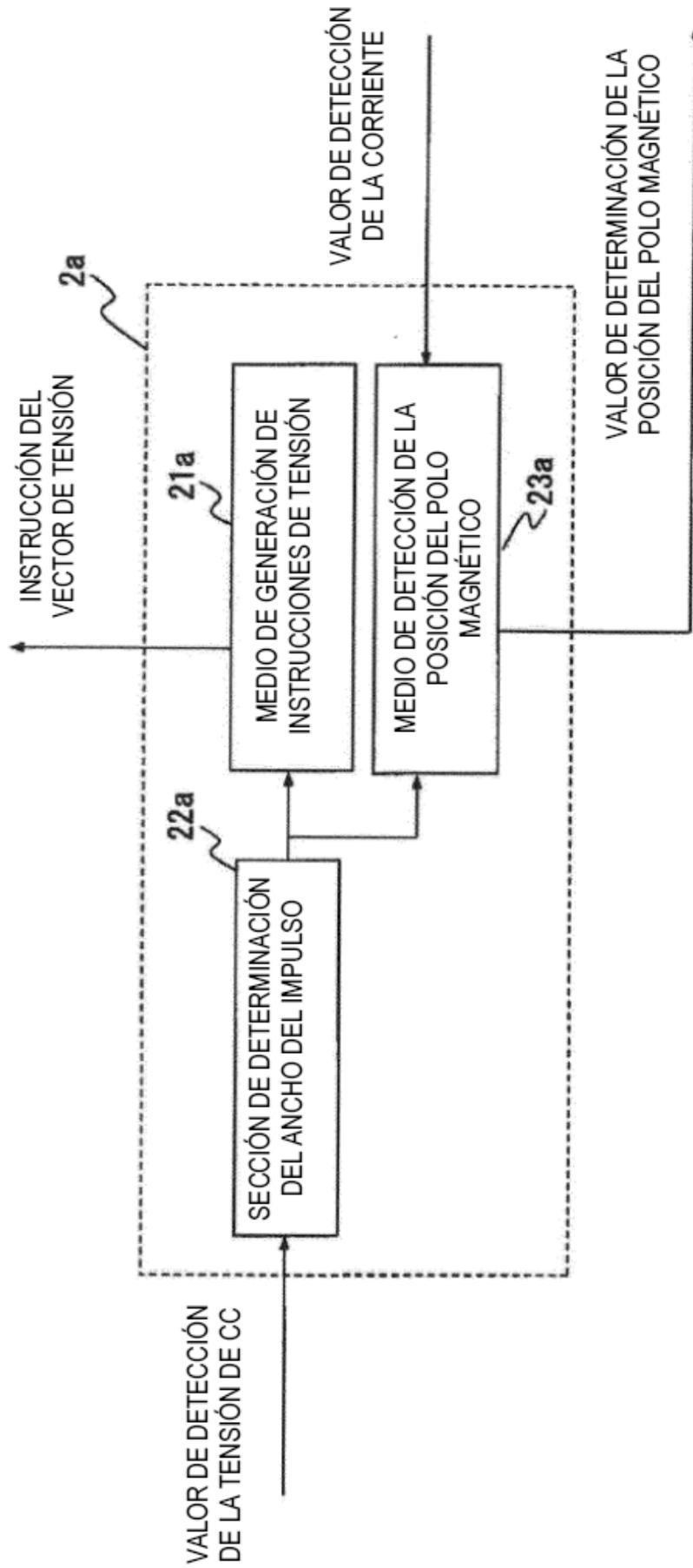


FIG. 5

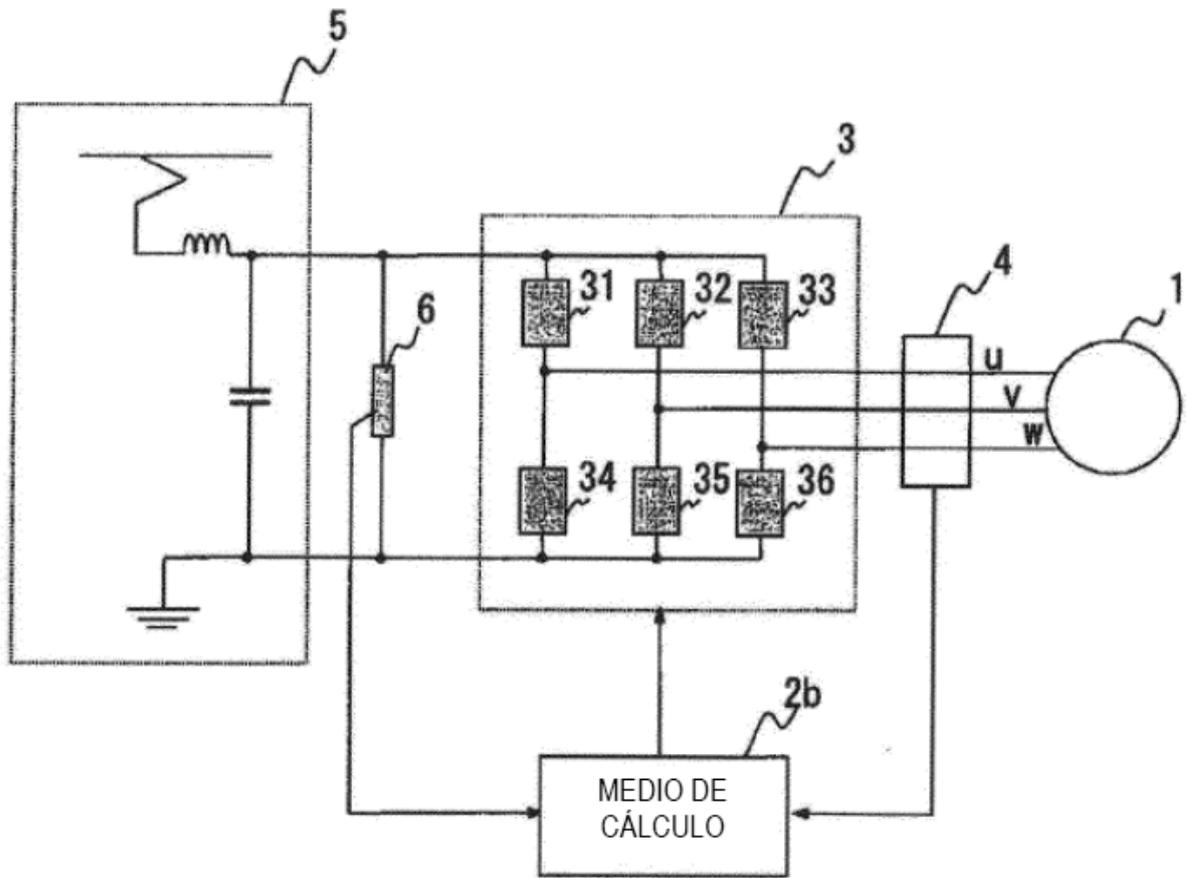


FIG. 6

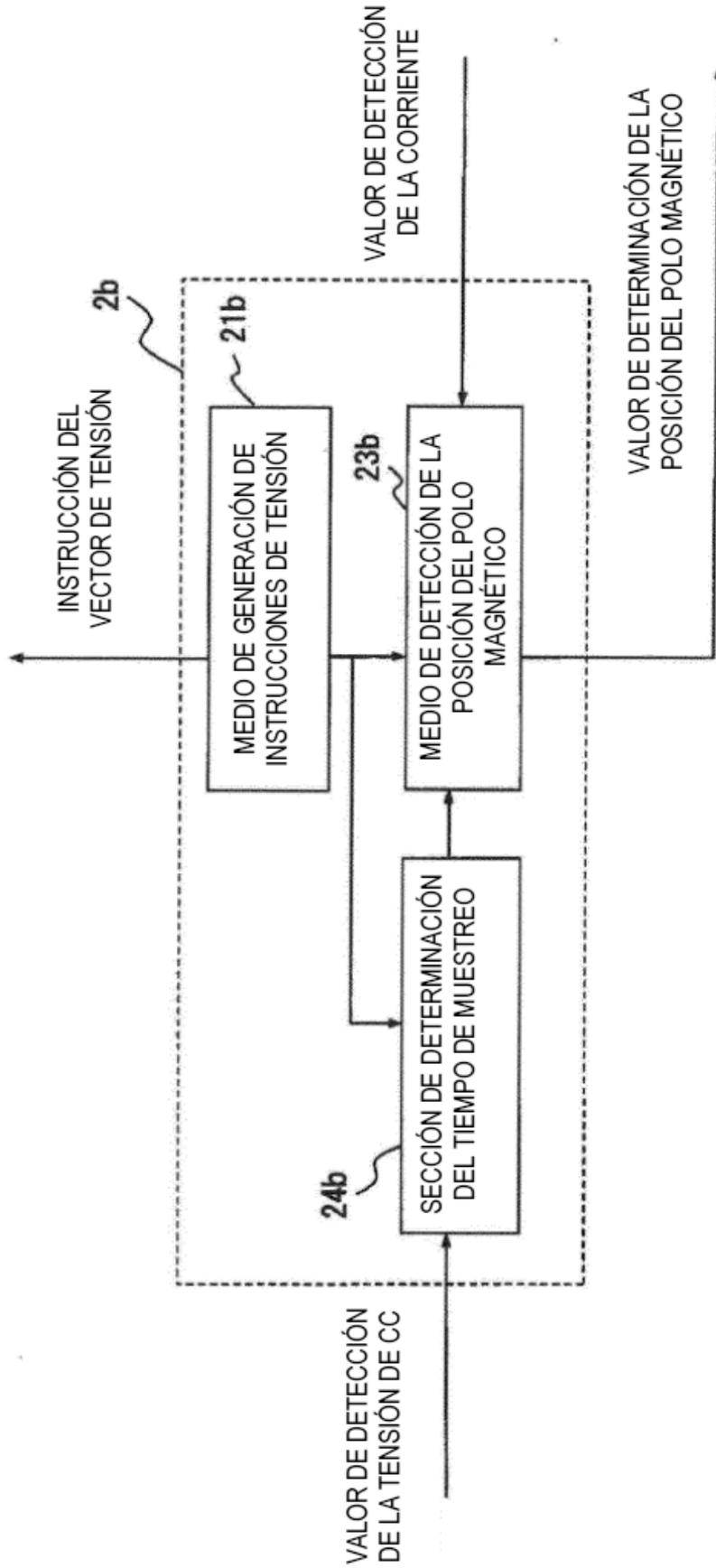


FIG. 7

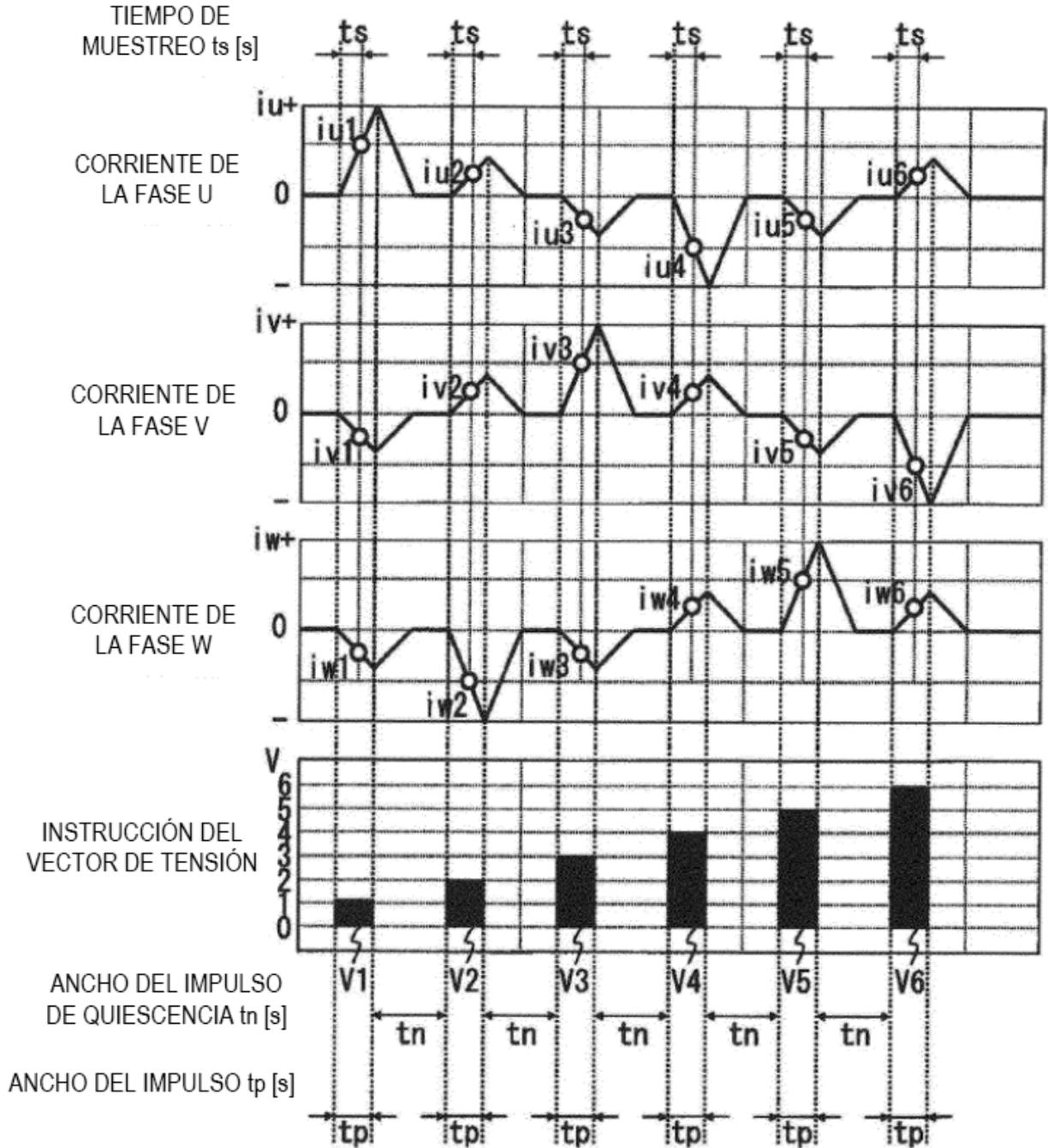


FIG. 8

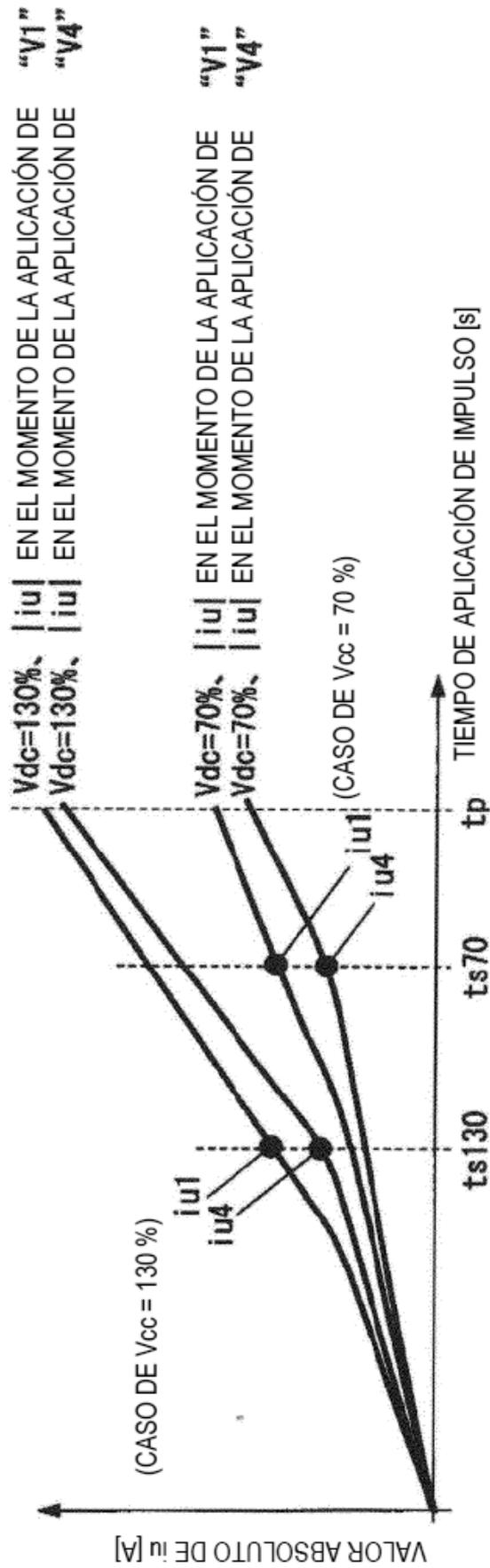


FIG. 9

