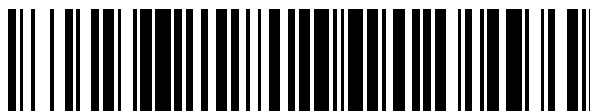


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 717 601**

51 Int. Cl.:

**H02P 21/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.09.2012 E 12184942 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.01.2019 EP 2582036**

54 Título: **Aparato de estimación de parámetros para un sistema de accionamiento de motor síncrono de imán permanente**

30 Prioridad:

**12.10.2011 KR 20110104297**

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

**24.06.2019**

73 Titular/es:

**LSIS CO., LTD. (100.0%)  
1026-6, Hogye-Dong Dongan-gu, Anyang-si  
Gyeonggi-do 431-080 , KR**

72 Inventor/es:

**YOO, AN NO**

74 Agente/Representante:

**SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio**

**ES 2 717 601 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 estimación de parámetros para un sistema de accionamiento de motor síncrono de imán permanente

5 Antecedentes de la descripción

Campo de la invención

10 La presente descripción se refiere a la estimación de parámetros, y más particularmente a un aparato de estimación de parámetros para el sistema de accionamiento de motor síncrono de imán permanente.

Antecedentes

15 Esta sección proporciona información de los antecedentes relacionados con la presente descripción que no es necesariamente la técnica anterior.

20 Las máquinas síncronas de imán permanente (PMSM) accionadas por los inversores de voltaje se operan generalmente bajo un modo de control de velocidad o un modo de control de torque. Las PMSM usadas para el modo de control de velocidad pueden incluir tales campos industriales como el campo de elevadores que incluyen elevadores y grúas, y campos de operación de velocidad variable que incluyen ventiladores y bombas. Las PMSM usadas para el modo de control de torque pueden incluir tales campos industriales como motores de tracción para vehículos eléctricos.

25 Una diferencia puede ocurrir entre un torque que se produce por un inversor y un torque real, debido a que un flujo magnético se satura de conformidad con la situación de carga en el PMSM. Ahora, se describirá un sistema de accionamiento de un PMSM de acuerdo con la técnica anterior con referencia a los dibujos adjuntos.

30 La Figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra una PMSM de conformidad con la técnica anterior, donde se ilustra un sistema de accionamiento de PMSM que es accionado por un inversor en el que se lleva a cabo un control de vector que controla independientemente una corriente de flujo magnético y una corriente de torque.

35 Con referencia a la Figura 1, el sistema de accionamiento de PMSM de conformidad con la técnica anterior incluye un inversor (100), una PMSM (200) y un detector de posición del rotor (210). El inversor (100) recibe un torque de referencia para los voltajes de salida para accionar la PMSM (200) en respuesta al torque de referencia.

40 El rotor de la PMSM (200) se une al detector de posición del rotor (210) para calcular o medir la posición del rotor y la velocidad del rotor. La posición del rotor y la velocidad del rotor calculada o medida por el detector de posición del rotor (210) se usan para la conversión de coordenadas por conversión de coordenadas (130, 170). Un generador de comandos de corriente (110) genera un comando de corriente de un marco de referencia síncrono. Un controlador de corriente (120) que sirve para controlar el comando de corriente, genera un voltaje de eje d/q del marco de referencia síncrono.

45 Un conversor de coordenadas (130) usa la información de posición del rotor recibida del detector de posición del rotor (210) para convertir un voltaje de salida del controlador de corriente (120) a un voltaje de un marco de referencia estacionario. Un sobremodulador (140) funciona para convertir el voltaje de salida del conversor de coordenadas (130) a un voltaje que puede combinarse por una unidad inversora (150).

50 La unidad inversora (150) es un inversor de tipo de voltaje que incluye un semiconductor de potencia, y aplica voltajes de rastreo de torque de comando a la PMSM (200). Los sensores de corriente (161 a 163) miden una corriente de fase entre la PMSM (200) y la unidad inversora (150), y la corriente medida por los sensores de corriente (161 a 163) se convierte en coordenada por el conversor de coordenadas (170) y regresa al controlador de corriente (120).

Ahora, el sistema PMSM de la Figura 1 será descrito.

55 Un torque de la PMSM (200) puede obtenerse mediante la siguiente Ecuación 1:

[Ecuación 1]

60 
$$T_e = \frac{3P}{2} \lambda_{ds}^r i_{qs}^r - \lambda_{qs}^r i_{ds}^r$$

65 donde, un índice superior 'r' representa un parámetro de un marco de referencia síncrono, y un índice inferior 's' es un parámetro del marco de referencia estacionario, P representa el número de polos de un motor,  $\lambda_{ds}^r$ ,  $\lambda_{qs}^r$  son flujos magnéticos del rotor del marco de referencia síncrono del eje d/q en el marco de referencia estacionario, y  $i_{ds}^r$ ,  $i_{qs}^r$  son corrientes del marco de referencia estacionario del eje d/q en el marco de referencia síncrono, donde el flujo magnético del rotor en el eje d/q del marco de referencia síncrono puede definirse por las siguientes Ecuaciones

[Ecuación 2]

$$\lambda_{qs}^r = L_{ds} i_{ds}^r + \lambda_f$$

5 [Ecuación 3]

$$\lambda_{qs}^r = L_{qs} i_{qs}^r$$

10 donde,  $L_{ds}$  y  $L_{qs}$  representan respectivamente la inductancia del eje d/q en el marco  $\lambda_f$  de referencia síncrono, representa un enlace de flujo magnético mediante un imán permanente.

Si las Ecuaciones 2 y 3 se conectan a la Ecuación 1, un torque de la PMSM (200) puede expresarse por la siguiente Ecuación 4:

15 [Ecuación 4]

$$T_e = \frac{3P}{2} [(L_{ds} - L_{qs}) i_{ds}^r + \lambda_f] i_{qs}^r$$

20 Como se indica a partir de la Ecuación 4, el torque de la PMSM (200) está influenciado por la inductancia del eje d/q y el enlace de flujo magnético del imán permanente,

25 Un generador de comandos (110) genera un comando de corriente del eje d/q en un marco de referencia síncrono usando la relación entre el torque de comando y la Ecuación 4. Una ecuación de voltaje del marco de referencia síncrono de la PMSM (200) puede obtenerse por las siguientes Ecuaciones.

[Ecuación 5]

30

$$V_{ds}^r = R_s i_{ds}^r + L_{ds} \frac{di_{ds}^r}{dt} - \omega_r \lambda_{ds}^r$$

[Ecuación 6]

35

$$V_{qs}^r = R_s i_{qs}^r + L_{ds} \frac{di_{qs}^r}{dt} + \omega_r \lambda_{ds}^r$$

40 donde,  $\omega_r$  es una velocidad angular eléctrica,  $V_{ds}^r$  y  $V_{qs}^r$  son voltaje de eje d/q en el marco de referencia síncrono, y  $R_s$  es una resistencia de fase en el marco de referencia síncrono.

45 El comando de corriente generado por el generador de comandos de corriente (110) y la corriente de retroalimentación del convertor de coordenadas (170) se introducen al controlador de corriente (120). El controlador de corriente (120) es un regulador proporcional e integral, y combina un voltaje de salida de las siguientes maneras.

[Ecuación 7]

50

$$V_{qs}^{r*} = \left( K_{pd} + \frac{K_{id}}{S} \right) (i_{ds,ref}^r - i_{ds}^r) - \omega_r \lambda_{ds}^r$$

[Ecuación 8]

55

$$V_{qs}^{r*} = \left( K_{pd} + \frac{K_{iq}}{S} \right) (i_{ds,ref}^r - i_{ds}^r) + \omega_r \lambda_{ds}^r$$

donde,  $\lambda_{ds}^r$  y  $\lambda_{qs}^r$  son el flujo magnético del eje d/q estimado en el marco de referencia síncrono.

60 El convertor de coordenadas (130) convierte el voltaje de salida en el marco de referencia síncrono por el controlador de corriente (120) a un voltaje del marco de referencia estacionario, donde el voltaje convertido se proporciona como:

[Ecuación 9]

$$V_{ds}^{r*} = V_{ds}^{r*} \cos \theta - V_{qs}^{r*} \sin \theta$$

65 [Ecuación 10]

$$V_{qs}^{r*} = V_{ds}^{r*} \sin \theta + V_{qs}^{r*} \cos \theta$$

El sobremodulador (140) regula el voltaje del convertidor de coordenadas (130) y genera el voltaje regulado de manera que un comando de voltaje puede estar disponible dentro de un círculo inscrito de condición de restricción de voltaje expresado en un hexágono en el marco de referencia estacionario. La unidad inversora (150) combina los siguientes voltajes desde el voltaje de salida del modulador (140) y aplica el voltaje a la PMSM (200).

5 [Ecuación 11]

$$V_{as} = v_{ds}^s$$

10 [Ecuación 12]

$$V_{as} = -\frac{1}{2}V_{ds}^s + \frac{\sqrt{3}}{2}V_{qs}^s$$

15 [Ecuación 13]

$$V_{Cs} = -\frac{1}{2}V_{ds}^s + \frac{\sqrt{3}}{2}V_{qs}^s$$

20 Los sensores de corriente (161-163) miden una corriente de fase entre la unidad inversora (150) y la PMSM (200), convierten la corriente de fase a una corriente en el marco de referencia síncrono, y retroalimentan la corriente al controlador de corriente (120).

[Ecuación 14]

25 
$$i_{ds}^s = \frac{2i_{as} - i_{bs} - i_{cs}}{3}$$

[Ecuación 15]

30 
$$i_{qs}^s = \frac{i_{as} - i_{cs}}{2}$$

[Ecuación 16]

$$i_{qs}^s = i_{ds}^s \cos \theta + i_{qs}^s \sin \theta$$

[Ecuación 17]

35 
$$i_{qs}^r = -i_{ds}^s \cos \theta + i_{qs}^s \sin \theta$$

40 Sin embargo, la PMSM (200) se satura con el flujo magnético de conformidad con la condición de carga para generar una diferencia entre el torque que se va a generar por el inversor (100) y el torque generado real, cuya explicación se ha descrito anteriormente.

45 Es decir, la activación de la PMSM (200) como en la Figura 1 es problemática en que el desempeño disminuye en términos del control de torque, si la inductancia de la PMSM (200) o el enlace de flujo magnético por el imán permanente se satura de conformidad con la condición de carga, debido a que el comando de corriente del eje d/q en el marco de referencia síncrono se calcula por el comando de torque.

El documento JP 2010 088238 A describe un controlador de motor síncrono de la técnica anterior para hacer corresponder un comando de torque y un torque de salida.

50 El documento WO 00/25418 A1 describe un sistema de la técnica anterior para un control sin sensor de velocidad de una máquina de inducción que incluye un regulador de flujo y una calculadora de corriente de torque para hacer funcionar la máquina.

Sumario de la descripción

55 Esta sección proporciona un resumen general de la divulgación y no es una divulgación completa de su alcance completo o de todas sus características.

60 En consecuencia, las modalidades de la presente descripción pueden referirse a un aparato de estimación de parámetros para el sistema de accionamiento de motor síncrono de imán permanente que puede obviar sustancialmente una o más de las desventajas anteriores debido a las limitaciones y desventajas de la técnica relacionada, y es por lo tanto un objetivo de la presente descripción proporcionar un aparato de estimación de parámetros para el sistema de accionamiento de motor síncrono de imán permanente configurado para estimar un enlace de flujo magnético por inductancia y un imán permanente a través de una estimación de flujo en tiempo real, de manera que pueda mejorarse el desempeño de accionamiento de la PMSM.

Los problemas técnicos a resolver por la presente descripción no se limitan a lo mencionado anteriormente, y cualquier otro problema técnico no mencionado hasta ahora se apreciará claramente a partir de la siguiente descripción por los expertos en la técnica.

5 En un aspecto general de la presente descripción, se proporciona un aparato de estimación de parámetros para un sistema de accionamiento de motor síncrono de imán permanente, el aparato incluye una unidad generadora de comandos de corriente que genera un comando de corriente en el marco de referencia síncrono a partir de un comando de torque, un controlador de corriente que genera un voltaje en el marco de referencia síncrono usando una posición del rotor de una PMSM (Máquina Síncrona de Imán Permanente) del comando de corriente, un primer conversor de coordenadas que convierte una salida del controlador de corriente en el marco de referencia síncrono a una salida en el marco de referencia estacionario, un sobremodulador que limita la salida del primer conversor de coordenadas dentro de un intervalo predeterminado y genera la salida limitada, una unidad inversora que aplica un comando de voltaje que rastrea el torque de comando al PMSM y un segundo conversor de coordenadas que convierte una corriente de fase emitida desde la unidad inversora en el marco de referencia estacionario a una corriente de fase en el marco de referencia síncrono, el aparato que comprende: una primera unidad de estimación que estima un flujo magnético del eje d y un flujo magnético del eje q en un marco de referencia síncrono, utilizando el voltaje de salida del sobremodulador, la corriente de fase del segundo conversor de coordenadas, y la posición del rotor; una segunda unidad de estimación que estima una inductancia del eje q en el marco de referencia síncrono utilizando el flujo magnético del eje q de la primera unidad de estimación; y una tercera unidad de estimación que estima una inductancia del eje d en el marco de referencia síncrono usando el flujo magnético del eje d de la primera unidad de estimación, en donde se genera un comando de corriente, utilizando, mediante la unidad generadora de comandos de corriente, la inductancia del eje q y la inductancia del eje d de la segunda y tercera unidades de estimación. La segunda unidad de estimación comprende una primera unidad de determinación que determina la inductancia del eje q a partir del flujo magnético del eje q estimado por la primera unidad de estimación, una primera unidad de compensación que compensa una diferencia entre la primera unidad de determinación y una primera unidad de adición mediante el uso de una de la ganancia proporcional y la ganancia proporcional integral, una primera unidad de integración que integra una salida de la primera unidad de compensación, y la primera unidad de adición que adiciona una salida de la primera unidad de integración a una inductancia del eje q establecida inicialmente.

30 Preferente, pero no necesariamente, la segunda unidad de estimación comprende además una primera unidad de limitación que limita una salida de la primera unidad de adición a dentro del valor máximo y mínimo predeterminado.

Preferente, pero no necesariamente, la tercera unidad de estimación comprende una segunda unidad de determinación que determina la inductancia del eje d a partir del flujo magnético del eje d estimado por la primera unidad de estimación, una segunda unidad de compensación que compensa una diferencia entre la segunda unidad de determinación y una segunda unidad de adición mediante el uso de una de la ganancia proporcional y la ganancia proporcional integral, una segunda unidad de integración que integra una salida de la segunda unidad de compensación, y la segunda unidad de adición que adiciona una salida de la segunda unidad de integración a una inductancia del eje q establecida inicialmente.

40 Preferente, pero no necesariamente, la tercera unidad de estimación comprende además una segunda unidad de limitación que limita una salida de la segunda unidad de adición a dentro del valor máximo y mínimo predeterminado.

45 Preferente, pero no necesariamente, la segunda unidad de determinación es tal que un enlace de flujo magnético se define por un valor constante.

En un aspecto general de la presente descripción, se proporciona un aparato de estimación de parámetros para un sistema de accionamiento de motor síncrono de imán permanente, el aparato incluye una unidad generadora de comandos de corriente que genera un comando de corriente en un marco de referencia síncrono a partir de un comando de torque, un controlador de corriente que genera un voltaje en el marco de referencia síncrono usando una posición del rotor de una PMSM del comando de corriente, un primer conversor de coordenadas que convierte una salida del controlador de corriente en el marco de referencia síncrono a una salida en el marco de referencia estacionario, un sobremodulador que limita la salida del primer conversor de coordenadas dentro de un intervalo predeterminado y genera la salida limitada, una unidad inversora que aplica un comando de voltaje que rastrea el torque de comando al PMSM y un segundo conversor de coordenadas que convierte una corriente de fase emitida desde la unidad inversora en el marco de referencia estacionario a una corriente de fase en el marco de referencia síncrono, el aparato que comprende: una primera unidad de estimación que estima un flujo magnético del eje d y un flujo magnético del eje q en un marco de referencia síncrono, utilizando el voltaje de salida del sobremodulador, la corriente de fase del segundo conversor de coordenadas, y la posición del rotor; una segunda unidad de estimación que estima una inductancia del eje q en el marco de referencia síncrono utilizando el flujo magnético del eje q de la primera unidad de estimación; y una tercera unidad de estimación que estima un enlace de flujo magnético de un imán permanente, usando el flujo magnético del eje d de la primera unidad de estimación, en donde se genera un comando de corriente, utilizando, mediante la unidad generadora de comandos de corriente, la inductancia del eje q y el un enlace de flujo magnético de un imán permanente de la segunda y tercera unidades de estimación. La segunda unidad de estimación comprende una primera unidad de determinación que determina la inductancia del eje q a partir del flujo magnético del eje q estimado por la primera unidad de estimación, una primera unidad de compensación que

compensa una diferencia entre la primera unidad de determinación y una primera unidad de adición mediante el uso de una de la ganancia proporcional y la ganancia proporcional integral, una primera unidad de integración que integra una salida de la primera unidad de compensación, y la primera unidad de adición que adiciona una salida de la primera unidad de integración a una inductancia del eje q establecida inicialmente.

5 Preferente, pero no necesariamente, la segunda unidad de estimación comprende además una primera unidad de limitación que limita una salida de la primera unidad de adición a dentro del valor máximo y mínimo predeterminado.

10 Preferente, pero no necesariamente, la tercera unidad de estimación comprende una segunda unidad de determinación que determina el enlace de flujo magnético del imán permanente a partir del flujo magnético del eje q estimado por la primera unidad de estimación, una segunda unidad de compensación que compensa una diferencia entre la segunda unidad de adición mediante el uso de una de la ganancia proporcional y la ganancia proporcional integral y una segunda unidad de integración que integra una salida de la segunda unidad de compensación, y la segunda unidad de adición que adiciona una salida de la segunda unidad de integración al enlace de flujo magnético establecida inicialmente del imán permanente.

15 Preferente, pero no necesariamente, la tercera unidad de estimación comprende además una segunda unidad de limitación que limita una salida de la segunda unidad de adición a dentro del valor máximo y mínimo predeterminado.

20 Preferente, pero no necesariamente, la segunda unidad de determinación es tal que un enlace de flujo magnético se define por un valor constante.

25 El aparato de estimación de parámetros para un sistema de accionamiento de motor síncrono de imán permanente de acuerdo con la presente descripción tiene un efecto ventajoso en que se estima que un flujo magnético en tiempo real para estimar un enlace de flujo magnético de un imán permanente, de manera que puede mejorarse el desempeño de operación de la PMSM.

#### Breve descripción de los dibujos

30 Para explicar el principio de la presente descripción, algunos dibujos acompañantes relacionados con sus modalidades preferidas se muestran a continuación con el propósito de ilustración, ejemplificación y descripción, aunque no pretenden ser exhaustivos. Las figuras de dibujo representan una o más realizaciones ejemplares de acuerdo con los conceptos actuales, solo a modo de ejemplo, no a modo de limitaciones. En las figuras, los números de referencia similares se refieren a elementos iguales o similares.

35 Por lo tanto, una amplia variedad de posibles realizaciones prácticas y útiles se entenderán más fácilmente a través de la siguiente descripción detallada de ciertas realizaciones ejemplares, con referencia a los dibujos ejemplares adjuntos en los que:

40 La Figura 1 es una vista estructural de un sistema de accionamiento de PMSM de conformidad con la técnica anterior; La Figura 2 es una vista estructural que ilustra un sistema de accionamiento de PMSM de acuerdo con una modalidad ilustrativa de la presente descripción;

45 La Figura 3 es una vista estructural detallada que ilustra un aparato de estimación de parámetros de la Figura 2 de acuerdo con una modalidad ejemplar de la presente descripción;

La Figura 4 es una vista estructural detallada que ilustra una unidad de estimación de inductancia del eje d de la Figura 3 de acuerdo con una modalidad ejemplar de la presente descripción;

La Figura 5 es una vista estructural detallada que ilustra una unidad de estimación de inductancia del eje q de la Figura 3 de acuerdo con una modalidad ejemplar de la presente descripción;

La Figura 6 es una vista estructural detallada que ilustra un aparato de estimación de parámetros de la Figura 2 de acuerdo con otra modalidad ejemplar de la presente descripción; y

50 La Figura 7 es una vista estructural detallada que ilustra un enlace de flujo de imán del imán permanente de la Figura 6 de acuerdo con una modalidad ejemplar de la presente descripción.

#### Descripción detallada

55 Las modalidades descritas y sus ventajas se entienden mejor con referencia a las Figuras 1-7 de los dibujos, como los números de referencia que se usan para las partes similares y correspondientes de los diversos dibujos. Otras características y ventajas de las realizaciones descritas serán o serán evidentes para un experto en la técnica tras el examen de las siguientes figuras y la descripción detallada. Se pretende que todas estas características y ventajas adicionales se incluyan dentro del alcance de las realizaciones descritas y estén protegidas por los dibujos adjuntos.

60 Además, las figuras ilustradas son solo ejemplares y no pretenden afirmar o implicar ninguna limitación con respecto al entorno, la arquitectura o el proceso en el que se pueden implementar diferentes realizaciones. En lugar de esto, el aspecto descrito pretende abarcar todas las alteraciones, modificaciones, y variaciones que caen dentro del alcance e idea novedosa de la presente invención. Mientras tanto, la terminología utilizada en este documento tiene el propósito de describir solo implementaciones particulares y no pretende limitar la presente descripción. Los términos "primero", "segundo" y similares, aquí no indican ningún orden, cantidad o importancia, sino que se utilizan para distinguir un elemento de otro. Por ejemplo, un segundo elemento constituyente se puede denotar como un primer elemento

constituyente sin apartarse del alcance de la presente descripción, y de manera similar, un primer elemento constituyente se puede denotar como un segundo elemento constituyente.

5 Como se usa en este documento, los términos "un" y "uno" en este documento no denotan una limitación de cantidad, sino que denotan la presencia de al menos uno de los artículos a los que se hace referencia. Es decir, como se usa en este documento, las formas singulares "un", "una" y "el" pretenden incluir también las formas plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario.

10 Se entenderá que cuando se hace referencia a un elemento como "conectado" o "acoplado" a otro elemento, puede conectarse directamente o acoplarse al otro elemento o pueden estar presentes elementos intermedios. Por el contrario, cuando se hace referencia a un elemento como que está "conectado directamente" o "acoplado directamente" a otro elemento, no hay elementos intermedios presentes.

15 Se entenderá además que los términos "comprende" y/o "que comprende," o "incluye" y/o "que incluye" cuando se usan en esta memoria descriptiva, especifican la presencia de características, regiones, etapas, operaciones, elementos, y/o componentes establecidos, pero no excluye la presencia o adición de una o más de otras características, regiones, etapas, operaciones, elementos, componentes, y/o sus grupos.

20 Además, "ilustrativo" significa simplemente que significa un ejemplo, que no es el mejor. También se debe apreciar que las características, capas y/o elementos representados en este documento se ilustran con dimensiones y/u orientaciones particulares entre sí por motivos de simplicidad y facilidad de comprensión, y que las dimensiones y/u orientaciones reales pueden diferir sustancialmente a partir de lo ilustrado. Además, los términos "-er", "-or", "parte" y "módulo" descritos en la descripción significan unidades para procesar al menos una función y operación, y pueden implementarse mediante componentes de hardware o componentes de software, y sus combinaciones.

25 Es decir, en los dibujos, el tamaño y el tamaño relativo de las capas, regiones y/u otros elementos pueden ser exagerados o reducidos para mayor claridad. Los números similares se refieren a elementos similares a lo largo de y las explicaciones que se duplican entre sí se omitirán. Como se puede usar aquí, los términos "sustancialmente" y "aproximadamente" proporcionan una tolerancia aceptada por la industria para su correspondiente término y/o relatividad entre elementos.

En lo sucesivo, un aparato de estimación de parámetros para un sistema de accionamiento de motor síncrono de imán permanente de acuerdo con la presente descripción se describirá en detalle con referencia a los dibujos adjuntos.

35 La Figura 2 es una vista estructural que ilustra un sistema de accionamiento de PMSM de conformidad con una modalidad ilustrativa de la presente descripción, donde se ilustra el sistema de accionamiento de PMSM dirigido por un inversor que incluye un aparato de estimación de parámetros.

40 Con referencia a la Figura 2, el sistema de accionamiento de la PMSM incluye un inversor (10), una PMSM (20) y un detector de posición del rotor (21). El inversor (10) incluye un generador de comandos de corriente (11), un controlador de corriente (12), un primer convertor de coordenadas (13), un sobremodulador (14), una unidad inversora (15), sensores de corriente (16a a 16c), un segundo convertor de coordenadas (17) y una unidad de estimación de parámetros (18).

45 El inversor (10) recibe un torque de referencia para voltajes de salida ( $V_{as}$ ,  $V_{bs}$ ,  $V_{cs}$ ) para accionar la PMSM (20) en respuesta al torque de referencia.

50 El rotor de la PMSM (20) se acopla con el detector de posición del rotor (21) para calcular o medir la posición del rotor y la velocidad del rotor. La posición del rotor medida por el detector de posición del rotor (21) se usa para la conversión de coordenadas por el primer y segundo convertidores de coordenadas (13, 17). El generador de comandos de corriente (11) genera un comando de corriente del eje d/q en el marco de referencia síncrono a partir del torque de referencia, y actualiza una inductancia de la unidad de estimación de parámetro (18) y la información del enlace de flujo magnético de un imán permanente para generar el comando de corriente del eje d/q.

55 El controlador de corriente (12) que controla el comando de corriente que se genera por el generador de comandos de corriente (11) genera del voltaje del eje d/q en un marco de referencia síncrono. El primer convertor de coordenadas (13) usa la información de posición del rotor obtenida por el detector de posición del rotor (21) para convertir el voltaje de salida del controlador de corriente (12) a un voltaje en un marco de referencia estacionario. El sobremodulador (14) convierte el voltaje de salida del primer convertor de coordenadas (13) a un voltaje combinable mediante la unidad inversora (15).

60 La unidad inversora (15) es preferentemente un inversor de tipo voltaje que incluye un semiconductor de potencia tal como un IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) o un MOSFET (transistor de efecto de campo semiconductor de óxido metálico), y aplica voltajes de rastreo de torque de referencia ( $V_{as}$ ,  $V_{bs}$ ,  $V_{cs}$ ) a la PMSM (20).

65 Los sensores de corriente (16a a 16c) miden una corriente de fase de referencia PMSM (20) entre la PMSM (20) y la unidad inversora (15), y la corriente medida por los sensores de corriente (16a~16c) es una retroalimentación al controlador

de corriente (12).

El segundo convertidor de coordenadas (17) convierte la corriente en el marco de referencia estacionario medido por los sensores de corriente (16a a 16c) a la corriente en el marco de referencia síncrono y transmite la corriente al controlador de corriente (12).

La unidad de estimación de parámetros (18) recibe el voltaje de salida del sobremodulador (14), la corriente de fase del segundo convertidor de coordenadas (17) y la posición del rotor detectada por el detector de posición del rotor (21) para estimar un flujo magnético usado por el controlador de corriente (12), y estimar la inductancia del eje d/q estimada por el marco de referencia síncrono, el enlace de flujo magnético del imán permanente o la inductancia del eje q mediante el uso del flujo magnético estimado, y transmitir la estimación al generador de comandos de corriente (11).

La Figura 3 es una vista estructural detallada que ilustra un aparato de estimación de parámetros de la Figura 2 de acuerdo con una modalidad ejemplar de la presente descripción.

Con referencia a la Figura 3, la unidad de estimación de parámetros (18) de conformidad con la presente descripción incluye una unidad de estimación de flujo magnético (31), una unidad de estimación de inductancia del eje d (32) y una unidad de estimación de inductancia del eje q (33).

La unidad de estimación de flujo magnético (31) recibe el voltaje de salida del sobremodulador (14), la corriente de fase del segundo convertidor de coordenadas (17) y la posición del rotor detectada por el detector de posición del rotor (21) para estimar un flujo magnético usado por el controlador de corriente (12), y una explicación de lo cual se proporciona a continuación. Una ecuación de voltaje de la PMSM (20) bajo un estado normal puede definirse de la siguiente manera:

[Ecuación 18]

$$V_{ds}^r = R_s i_{ds}^r - \omega_r \lambda_{qs}^r$$

[Ecuación 19]

$$V_{qs}^r = R_s i_{qs}^r - \omega_r \lambda_{ds}^r$$

Además, el controlador de corriente (12) es preferentemente un controlador proporcional integral para combinar el voltaje de salida como sigue:

[Ecuación 20]

$$V_{ds}^{r*} = \left( K_{pd} + \frac{K_{id}}{s} \right) (i_{ds,ref}^r - i_{ds}^r) - \omega_r \lambda_{qs}^{r*}$$

[Ecuación 21]

$$V_{qs}^{r*} = \left( K_{pq} + \frac{K_{iq}}{s} \right) (i_{qs,ref}^r - i_{qs}^r) - \omega_r \lambda_{ds}^{r*}$$

De las ecuaciones 20 y 21 se obtienen voltajes de salida finales mediante el primer convertidor de coordenadas (13) y el sobremodulador (14) de la Figura 2.

Debido a que la salida de voltaje del controlador de corriente (12) genera solamente el voltaje de coordenadas bajo una situación donde no se genera la sobremodulación, el voltaje de salida del controlador de corriente (12) es el mismo que cada voltaje expresado por las Ecuaciones 21 y 22, si el voltaje combinado por la unidad de inversor (15) se convierte en el del marco de referencia síncrono.

Es decir, bajo un estado normal llevado a cabo por el controlador de corriente, el voltaje de salida del controlador de corriente (12) se convierte en uno idéntico al de la ecuación de voltaje de la PMSM (20), que permite obtener la siguiente relación.

[Ecuación 22]

$$\left( K_{pd} + \frac{K_{id}}{s} \right) (i_{ds,ref}^r - i_{ds}^r) - \omega_r \lambda_{qs}^{r*} = R_s i_{ds}^r - \omega_r \lambda_{qs}^r$$

[Ecuación 23]

$$\left( K_{pq} + \frac{K_{iq}}{s} \right) (i_{qs,ref}^r - i_{qs}^r) - \omega_r \lambda_{ds}^{r*} = R_s i_{ds}^r + \omega_r \lambda_{qs}^r$$

Un error de flujo magnético usado por el controlador actual (12) se puede obtener usando las ecuaciones 22 y 23.



[Ecuación 24]

$$\Delta\lambda_{ds}^r = \lambda_{ds}^r - \hat{\lambda}_{ds}^r = \frac{1}{\omega_r} \left[ \left( K_{pq} + \frac{K_{iq}}{S} \right) (i_{qs.ref}^r - i_{qs}^r) - R_s i_{qs}^r \right]$$

5

[Ecuación 25]

$$\Delta\lambda_{qs}^r = \lambda_{qs}^r - \hat{\lambda}_{qs}^r = \frac{1}{\omega_r} \left[ \left( K_{pd} + \frac{K_{id}}{S} \right) (i_{ds.ref}^r - i_{ds}^r) - R_s i_{ds}^r \right]$$

10

Por lo tanto, la unidad de estimación de parámetros (18) puede estimar el flujo magnético del eje d/q mediante el uso de las siguientes Ecuaciones 26 y 27.

[Ecuación 26]

15

$$\lambda_{ds.est}^r = \frac{S^2}{S^2 + K_1 S + K_2} \lambda_{ds.est.volt}^r + \frac{K_1 S + K_2}{S^2 + K_1 S + K_2} (\lambda_{ds.est.cur}^r + \Delta\lambda_{ds}^r)$$

[Ecuación 27]

20

$$\lambda_{qs.est}^r = \frac{S^2}{S^2 + K_1 S + K_2} \lambda_{qs.est.volt}^r + \frac{K_1 S + K_2}{S^2 + K_1 S + K_2} (\lambda_{ds.est.cur}^r + \Delta\lambda_{ds}^r)$$

25 donde,  $\lambda_{ds.est.volt}^r$ ,  $\lambda_{qs.est.volt}^r$ ,  $\lambda_{ds.est.cur}^r$ , y  $\lambda_{qs.est.cur}^r$  se definen respectivamente como sigue:

[Ecuación 28]

$$\lambda_{ds.est.volt}^r + \frac{I}{S} (V_{ds}^s - R_s i_{ds}^s)$$

30 [Ecuación 29]

$$\lambda_{qs.est.volt}^r + \frac{I}{S} (V_{qs}^s - R_s i_{qs}^s)$$

[Ecuación 30]

35

$$\lambda_{ds.est.cur}^r = L_{ds} i_{ds}^r + \lambda_f$$

[Ecuación 31]

40

$$\lambda_{qs.est.cur}^r = L_{ds} i_{ds}^r$$

Una unidad de estimación de inductancia del eje d (32) y una unidad de estimación de la inductancia del eje q (33) estiman las inductancias del eje d/q, respectivamente, utilizando el flujo magnético estimado utilizando las ecuaciones 26 y 27. En este momento, un enlace de flujo magnético del imán permanente se asume como un valor constante en la modalidad ilustrativa de la unidad de estimación de parámetros (18) de la presente descripción.

45

La Figura 4 es una vista estructural detallada que ilustra una unidad de estimación de inductancia del eje d (32) de la Figura 3 de acuerdo con una modalidad ejemplar de la presente descripción, y la Figura 5 es una vista estructural detallada que ilustra una unidad de estimación de inductancia del eje q (33) de la Figura 3 de acuerdo con una modalidad ejemplar de la presente descripción.

50

Las unidades de estimación de inductancia del eje d/q (32, 33) utilizan el flujo magnético estimado por la unidad de estimación de flujo magnético (31) para estimar las inductancias del eje d/q respectivamente.

55

Con referencia a las Figuras 4 y 5, la unidad de estimación de inductancia del eje d (32) de conformidad con la presente descripción incluye una unidad de cálculo de  $L_d$  (41), una unidad de compensación (42), una unidad de integración (43), una unidad de adición (44) y una unidad de limitación (45), y la unidad de estimación de inductancia del eje q (33) incluye una unidad de cálculo de  $L_q$  (51), una unidad de compensación (52), una unidad de integración (53), una unidad de adición (54) y una unidad de limitación (55).

60

Primero, se describirá la unidad de estimación de la inductancia del eje d (32).

La unidad de cálculo de  $L_d$  (41) obtiene una inductancia del eje d a partir del flujo magnético del eje d (Ecuación 26) estimado por la unidad de estimación de flujo magnético (31). En este momento, la inductancia del eje d puede obtenerse usando la Ecuación 2.

65

## ES 2 717 601 T3

La unidad de compensación (42) compensa una diferencia entre la unidad de cálculo de  $L_d$  (41) y la unidad de adición (44) mediante el uso de una ganancia proporcional o una ganancia proporcional integral.

5 La unidad de integración (43) integra una salida de la unidad de compensación (42), y la unidad de adición (44) combina una inductancia establecida inicialmente y una salida de la unidad de integración (43). La unidad de limitación (45) limita la inductancia estimada del eje d a un valor máximo y un valor mínimo.

Ahora, se describirá la unidad de estimación de inductancia del eje q (33).

10 La unidad de cálculo  $L_q$  (51) obtiene una inductancia del eje q a partir del flujo magnético del eje q (Ecuación 27) estimado por la unidad de estimación de flujo magnético (31). En este momento, la inductancia del eje q se puede obtener utilizando la Ecuación 1.

15 La unidad de compensación (52) compensa una diferencia entre la unidad de cálculo de  $L_q$  (51) y la unidad de adición (54) mediante el uso de una ganancia proporcional o una ganancia proporcional integral.

20 La unidad de integración (53) integra una salida de la unidad de compensación (52), y la unidad de adición (54) combina una inductancia establecida inicialmente y una salida de la unidad de integración (53). La unidad de limitación (55) limita la inductancia del eje q estimada dentro de un valor máximo y un valor mínimo.

25 Como se señaló anteriormente, la unidad de estimación de parámetros (18) para el sistema de accionamiento de PMSM de conformidad con la presente descripción usa el voltaje de salida del sobremodulador (14), la corriente de fase del segundo convertidor de coordenadas (17) y la posición del rotor del detector de posición del rotor (21) para estimar el flujo magnético del controlador de corriente (12), a través del cual puede obtenerse la inductancia, mediante el cual puede obtenerse el desempeño robusto para los cambios de parámetros, a través del cual puede garantizarse la linealidad del torque durante el control de torque de la PMSM.

30 Mientras tanto, en un caso de que los cambios en la inductancia del eje d de la PMSM (20) son pequeños, y los cambios en el enlace de flujo de imán por el imán permanente son grandes, la unidad de estimación de parámetros (18) de acuerdo con la presente descripción puede estimar además el enlace de flujo magnético del imán permanente, mediante el uso de la inductancia del eje d como un valor constante.

35 La Figura 6 es una vista estructural detallada que ilustra un aparato de estimación de parámetros de la Figura 2 de acuerdo con otra modalidad ilustrativa de la presente descripción.

40 Con referencia a la Figura 6, la unidad de estimación de parámetros (18) de conformidad con la presente descripción incluye una unidad de estimación de flujo magnético (31), una unidad de estimación de enlace de flujo magnético mediante un imán permanente (ilustrado como "unidad de estimación de enlace de flujo magnético" en la figura, 34) y una unidad de estimación de inductancia del eje q (33). El funcionamiento de la unidad de estimación de flujo magnético (31) y de la unidad de estimación de inductancia del eje q (33) ya se han explicado anteriormente, de manera que no se proporcionará más elaboración a la misma ya que las funciones son idénticas.

45 La Figura 7 es una vista estructural detallada que ilustra la unidad de estimación de enlace de flujo magnético (34) de un imán permanente de la Figura 6 de acuerdo con una modalidad ilustrativa de la presente descripción.

Con referencia a la Figura 7, la unidad de estimación del enlace de flujo magnético (34) de un imán permanente incluye una  $\lambda_f$  unidad de cálculo (71), una unidad de compensación (72), una unidad de integración (73), una unidad de adición (74) y una unidad de limitación (75).

50 La  $\lambda_f$  unidad de cálculo (71) obtiene un enlace de flujo magnético  $\lambda_f$  mediante un imán permanente del flujo magnético del eje d (Ecuación 26) estimado por la unidad de estimación de flujo magnético (31). En este momento, la inductancia del eje d puede obtenerse usando la Ecuación 2.

55 La unidad de compensación (73) compensa una diferencia entre la  $\lambda_f$  unidad de cálculo (71) y la unidad de adición (74) mediante el uso de una ganancia proporcional o una ganancia proporcional integral.

60 La unidad de integración (73) integra una salida de la unidad de compensación (72), y la unidad de adición (74) combina una inductancia establecida inicialmente y una salida de la unidad de integración (73). La unidad de limitación (75) limita el enlace de flujo magnético por el imán permanente dentro de un valor máximo y un valor mínimo.

65 Puede notarse de lo anterior que la unidad de estimación de parámetros (18) puede estimar el flujo magnético del controlador de corriente (12) para mostrar la robustez al cambio de parámetro, de manera que el sistema de accionamiento de PMSM de conformidad con la presente descripción puede garantizar la linealidad del torque. Aunque las invención se han descrito con referencia a un número de modalidades ilustrativas de esta, debe entenderse que los expertos en la técnica pueden proyectar otras numerosas modificaciones y modalidades que

caerán dentro del alcance de los titulares de esta descripción. Más particularmente, son posibles varias variaciones y modificaciones en las partes componentes y/o disposiciones de la disposición de combinación de sujetos dentro del alcance de la descripción, los dibujos y las reivindicaciones adjuntas. Adicional a las variaciones y modificaciones en las partes componentes y/o disposiciones, los usos alternativos serán también evidentes para los expertos en la técnica.

5

## REIVINDICACIONES

1. Aparato de estimación de parámetros para un sistema de accionamiento de motor síncrono de imán permanente, el aparato incluye una unidad generadora de comandos de corriente que genera un comando de corriente (11) en un marco de referencia síncrono a partir de un comando de torque, un controlador de corriente (12) que genera un voltaje en el marco de referencia síncrono usando una posición del rotor de una PMSM (Máquina Síncrona de Imán Permanente) del comando de corriente, un primer conversor de coordenadas (13) que convierte una salida del controlador de corriente en el marco de referencia síncrono a una salida en el marco de referencia estacionario, un sobremodulador (14) que limita la salida del primer conversor de coordenadas dentro de un intervalo predeterminado y genera la salida limitada, una unidad inversora (15) que aplica un comando de voltaje que rastrea el torque de comando al PMSM y un segundo conversor de coordenadas (17) que convierte una corriente de fase emitida desde la unidad inversora en el marco de referencia estacionario a una corriente de fase en el marco de referencia síncrono, el aparato caracterizado porque: una primera unidad de estimación (31) estima un flujo magnético del eje d y un flujo magnético del eje q en un marco de referencia síncrono, utilizando el voltaje de salida del sobremodulador (14), la corriente de fase del segundo conversor de coordenadas (17), y la posición del rotor; una segunda unidad de estimación (33) estima una inductancia del eje q en el marco de referencia síncrono utilizando el flujo magnético del eje q de la primera unidad de estimación (31); y una tercera unidad de estimación (32) estima una inductancia del eje d en el marco de referencia síncrono usando el flujo magnético del eje d de la primera unidad de estimación, en donde se genera un comando de corriente, utilizando, mediante la unidad generadora de comandos de corriente (11), la inductancia del eje q y la inductancia del eje d estimadas por la segunda y tercera unidades de estimación (33 y 32).  
 en donde la segunda unidad de estimación (33) comprende una primera unidad de determinación (51) que determina la inductancia del eje q a partir del flujo magnético del eje q estimado por la primera unidad de estimación (31), una primera unidad de compensación (52) que compensa una diferencia entre la primera unidad de determinación (51) y una primera unidad de adición (54) mediante el uso de una de la ganancia proporcional y la ganancia proporcional integral una primera unidad de integración (53) que integra una salida de la primera unidad de compensación (52), y la primera unidad de adición (54) que adiciona una salida de la primera unidad de integración (53) a una inductancia del eje q inicialmente establecida.
2. El aparato de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque la segunda unidad de estimación (33) comprende además una primera unidad de limitación (55) que limita una salida de la primera unidad de adición (54) a un valor máximo y mínimo predeterminado.
3. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, caracterizado porque la tercera unidad de estimación (32) comprende una segunda unidad de determinación (41) que determina la inductancia del eje d a partir del flujo magnético del eje d estimado por la primera unidad de estimación (31), una segunda unidad de compensación (42) que compensa una diferencia entre la segunda unidad de determinación (41) y una segunda unidad de adición (44) mediante el uso de una de la ganancia proporcional y la ganancia proporcional integral una primera unidad de integración (43) que integra una salida de la primera unidad de compensación (42), y la primera unidad de adición (44) que adiciona una salida de la primera unidad de integración (43) a una inductancia del eje q inicialmente establecida
4. El aparato de conformidad con la reivindicación 3, caracterizado porque la tercera unidad de estimación (32) comprende además una segunda unidad de limitación (45) que limita una salida de la segunda unidad de adición (44) a un valor máximo y mínimo predeterminado.
5. El aparato de conformidad con la reivindicación 3 o 4, caracterizado porque la segunda unidad de determinación (41) es tal que un enlace de flujo magnético se define por un valor constante.
6. Aparato de estimación de parámetros para un sistema de accionamiento de motor síncrono de imán permanente, el aparato incluye una unidad generadora de comandos de corriente que genera un comando de corriente (11) en un marco de referencia síncrono a partir de un comando de torque, un controlador de corriente (12) que genera un voltaje en el marco de referencia síncrono usando una posición del rotor de una PMSM del comando de corriente, un primer conversor de coordenadas (13) que convierte una salida del controlador de corriente (12) en el marco de referencia síncrono a una salida en el marco de referencia estacionario, un sobremodulador (14) que limita la salida del primer conversor de coordenadas (13) dentro de un intervalo predeterminado y genera la salida limitada, una unidad inversora (15) que aplica un comando de voltaje que rastrea el torque de comando al PMSM y un segundo conversor de coordenadas (17) que convierte una corriente de fase emitida desde la unidad inversora en el marco de referencia estacionario a una corriente de fase en el marco de referencia síncrono, el aparato caracterizado porque: una primera unidad de estimación (31) estima un flujo magnético del eje d y un flujo magnético del eje q en un marco de referencia síncrono, utilizando el voltaje de salida del sobremodulador (14), la corriente de fase del segundo conversor de coordenadas (17), y la posición del rotor; una segunda unidad de estimación (33) estima una inductancia del eje q en el marco de referencia síncrono utilizando el flujo magnético del eje q de la primera unidad de estimación (31); y una tercera unidad de estimación (34) estima un enlace de flujo magnético de un imán permanente usando el flujo magnético del eje d de la primera unidad de estimación (31), en donde se genera un comando de corriente, utilizando, mediante la unidad generadora de

comandos de corriente (11), la inductancia del eje q y el enlace de flujo magnético del imán permanente de la segunda y tercera unidades de estimación (33 y 32).

en donde la segunda unidad de estimación (33) comprende una primera unidad de determinación (51) que determina la inductancia del eje q a partir del flujo magnético del eje q estimado por la primera unidad de estimación (31), una primera unidad de compensación (52) que compensa una diferencia entre la primera unidad de determinación (51) y una primera unidad de adición (54) mediante el uso de una de la ganancia proporcional y la ganancia proporcional integral una primera unidad de integración (53) que integra una salida de la primera unidad de compensación (52), y la primera unidad de adición (54) que adiciona una salida de la primera unidad de integración (53) a una inductancia del eje q inicialmente establecida.

7. El aparato de conformidad con la reivindicación 6, caracterizado porque la segunda unidad de estimación (33) incluye además una primera unidad de limitación (55) que limita una salida de la primera unidad de adición (54) a un valor máximo y mínimo predeterminado.

8. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 7, caracterizado porque la tercera unidad de estimación (34) incluye una segunda unidad de determinación (71) que determina el enlace de flujo magnético del imán permanente a partir del flujo magnético del eje d estimado por la primera unidad de estimación (31), una segunda unidad de compensación (72) que compensa una diferencia entre la segunda unidad de determinación (71) y una segunda unidad de adición (74) mediante el uso de una de la ganancia proporcional y la ganancia proporcional integral una primera unidad de integración (73) que integra una salida de la primera unidad de compensación (72), y la primera unidad de adición (74) que adiciona una salida de la primera unidad de integración (73) a un enlace de flujo magnético del imán permanente establecido inicialmente

9. El aparato de conformidad con la reivindicación 8, caracterizado porque la tercera unidad de estimación (34) comprende además una segunda unidad de limitación (75) que limita una salida de la segunda unidad de adición (74) a un valor máximo y mínimo predeterminado.

10. El aparato de conformidad con la reivindicación 8 o 9, caracterizado porque la segunda unidad de determinación (71) es tal que un enlace de flujo magnético se define por un valor constante.

Figura 1

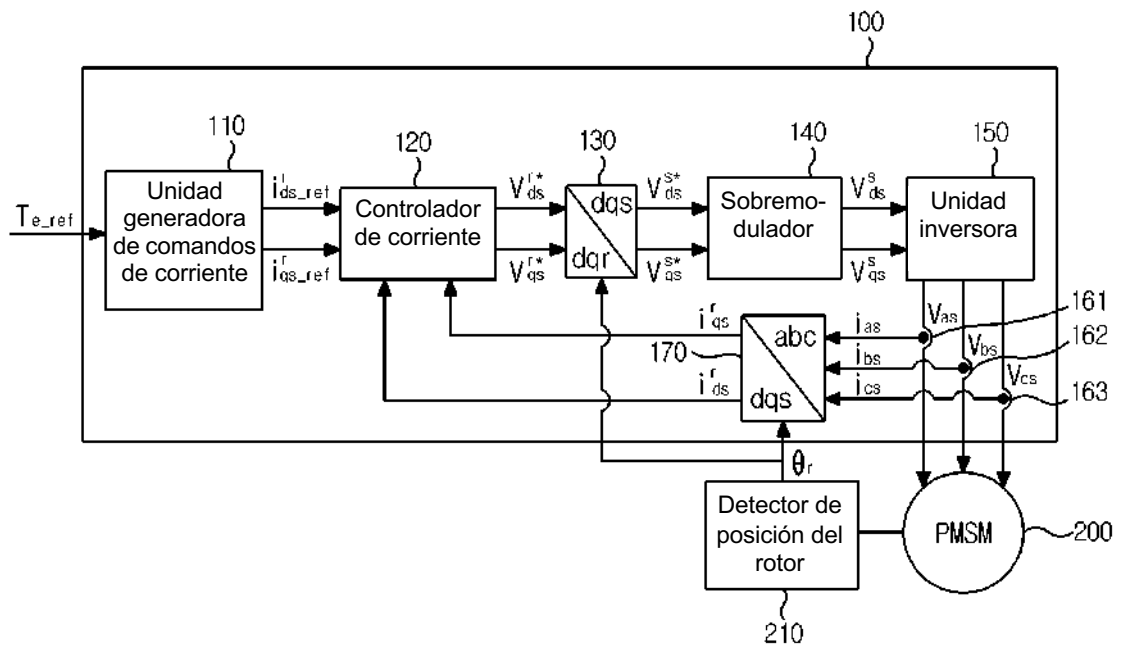


Figura 2

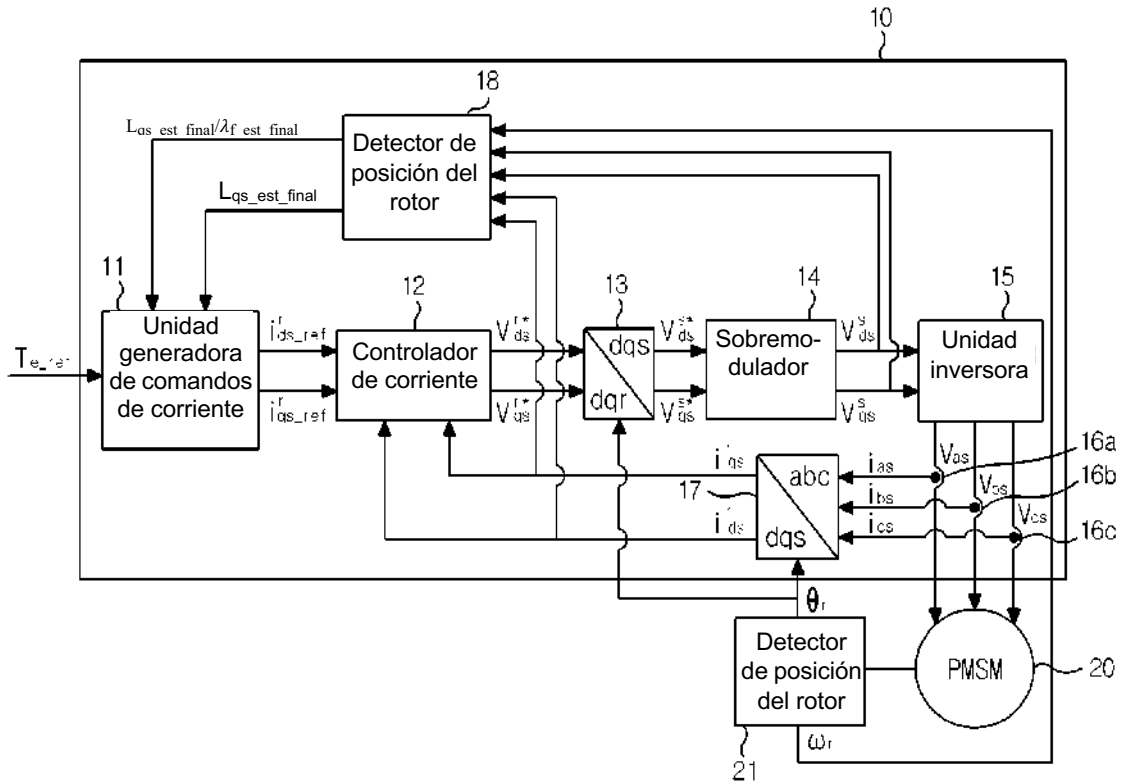


Figura 3

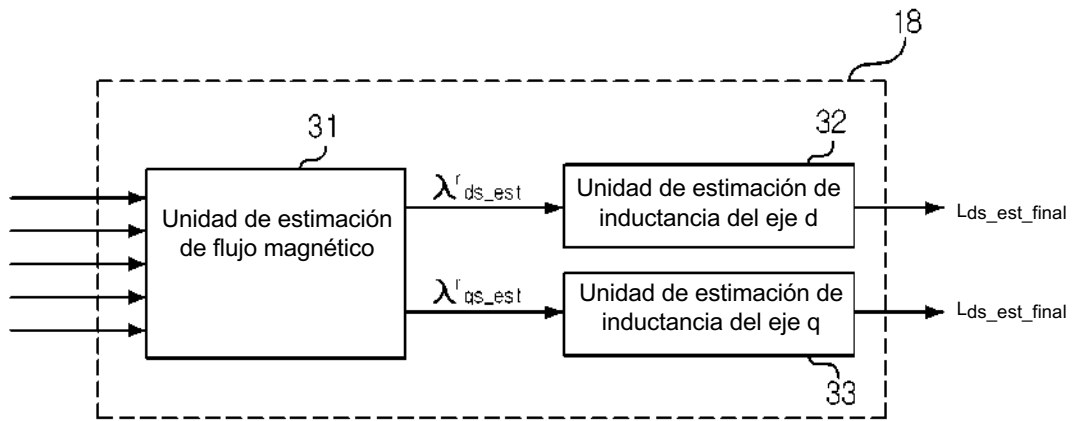


Figura 4

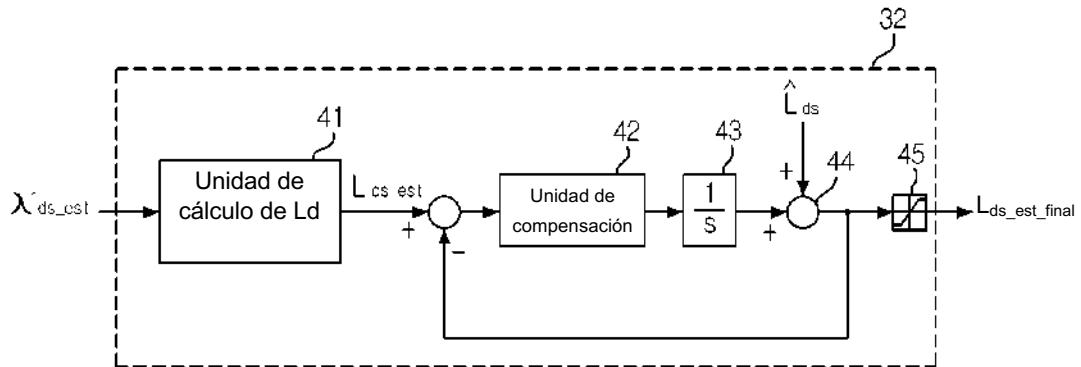


Figura 5

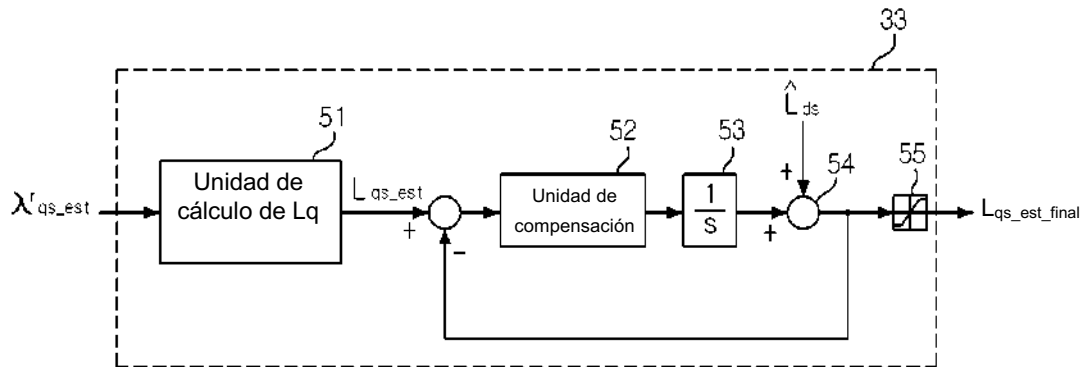


Figura 6

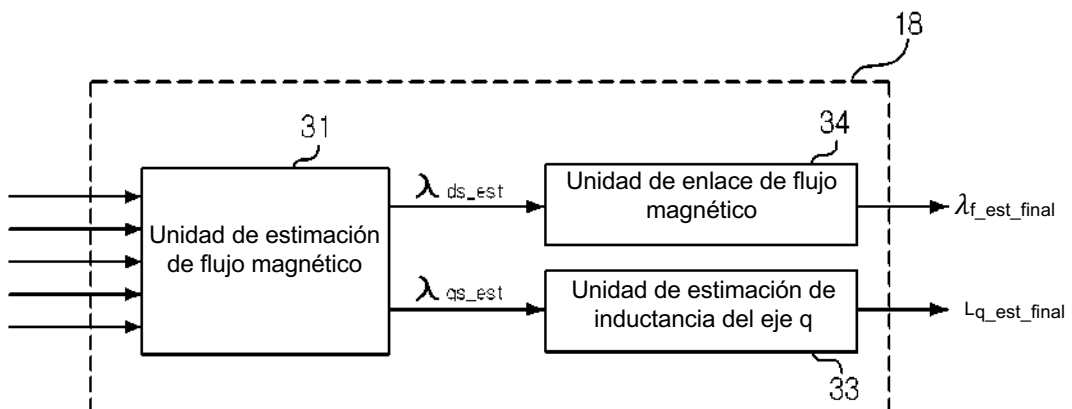




Figura 7

