

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 724 777**

51 Int. Cl.:

H02P 6/16 (2006.01)
H02P 6/20 (2006.01)
H02P 6/00 (2006.01)
H02P 6/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.10.2012 E 12189117 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2019 EP 2584693**

54 Título: **Método para calibrar un sistema de accionamiento**

30 Prioridad:

18.10.2011 GB 201118004

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

16.09.2019

73 Titular/es:

**NIDEC CONTROL TECHNIQUES LIMITED
(100.0%)
The Gro, Pool Road
Newtown, Powys SY16 3BE, GB**

72 Inventor/es:

KÖNIG, HOLGER JÜRGEN

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 724 777 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

Método para calibrar un sistema de accionamiento

5 La invención se refiere a un método para calibrar un sistema de accionamiento que incluye un motor. En particular, se refiere a un método para determinar una desviación de conmutación para un codificador que funciona en conjunto con un motor síncrono.

Antecedentes

10 Los motores síncronos son bien conocidos. Un ejemplo de un motor síncrono se muestra en la figura 1. En términos generales, un motor síncrono 10 comprende un estator 12 y un rotor 14. El estator 12 incluye un número de bobinas o devanados 16 a través de los cuales se pueden suministrar las corrientes eléctricas. El rotor 14 comprende al menos un par de imanes permanentes 18.

15 El ejemplo mostrado en la figura 1 es un motor trifásico síncrono, que tiene tres devanados separados 16 en el estator 12. Como sabrá el experto en la materia, cuando una corriente CA se suministra a través de un devanado 16 genera un campo magnético variable. Por lo tanto, en funcionamiento, cuando se suministran las tres corrientes CA a través de los tres devanados respectivos 16 del motor síncrono 10, en donde estas corrientes están desfasadas entre sí, se crea un campo magnético giratorio en el estator 12. El rotor 14 mostrado en la figura 1 comprende dos pares de imanes permanentes 18. El campo magnético giratorio creado en el estator 12 puede provocar la rotación del rotor 14 y el rotor puede (normalmente) ser girado también por otros medios. El rotor 14 gira sincrónicamente con el estator 12 y el ángulo entre ellos produce un par neto resultante, que dicta el movimiento rotacional del rotor 14.

25 Para que el movimiento giratorio neto del rotor 14 esté en una dirección deseada y a una velocidad deseada en cualquier momento dado, se debe controlar el par neto en el rotor 14. La posición y ángulo en el que se inyecta la corriente a través de un devanado 16 en un estator 12 con respecto a los imanes permanentes en el rotor 14 determinará la configuración del flujo magnético producido por este devanado. Esto afectará al movimiento giratorio impartido por el devanado en el rotor, que a su vez determina el par neto en el rotor. Es importante poder determinar la posición relativa entre los devanados del estator y los imanes permanentes de un rotor en un motor para determinar y controlar el par resultante. Solo el componente de una corriente que es perpendicular al flujo magnético alrededor de un imán permanente en un rotor producirá el par. Para un estator que tiene 3 devanados, el vector de corriente resultante de las 3 corrientes en combinación debería ser perpendicular al flujo magnético dentro del motor, para maximizar el par. Por lo tanto, el par máximo se puede lograr para un motor síncrono controlando la posición de los imanes del rotor con respecto a los devanados del estator y también controlando la fase y sincronización de la corriente suministrada a través de estos devanados durante el funcionamiento.

40 Es conocido el uso de un codificador con un motor síncrono para el fin de la realimentación de la posición. Los codificadores en general serán conocidos por el experto. Un codificador giratorio, también conocido como un codificador de eje, puede convertir la posición o movimiento angular de un eje en un código analógico o digital. Dos tipos principales de codificador giratorio se usan en aplicaciones prácticas. El primero es un codificador giratorio incremental, que proporciona salidas solo cuando se gira el codificador. El segundo es un codificador absoluto, que produce un código único para cada ángulo distinto del eje. Normalmente, los codificadores absolutos son codificadores digitales absolutos y pueden ser ópticos o mecánicos. Por ejemplo, un codificador absoluto puede colocarse en un lado del eje de un motor. Puede comprender un disco giratorio en el rotor y algunos dispositivos emisores de luz (LED) en el estator, en donde el posicionamiento relativo entre un punto en el rotor y un punto en el estator puede evaluarse a partir de la luz emitida por los LED del estator.

50 Un codificador puede comprender una memoria en, por ejemplo, un chip electrónico y un procesador y/o puede proporcionar realimentación a otro dispositivo que comprende un medio de procesamiento. En un sistema de accionamiento, el controlador o la "unidad de accionamiento" incluye un procesador que puede recibir y procesar información del codificador. Principalmente, un codificador funciona como un dispositivo de realimentación para permitir que la unidad de accionamiento utilice las posiciones relativas de los devanados del imán del rotor y del estator y sincronice estas posiciones con la sincronización, fase y ángulo de la corriente que se está transmitiendo a través de los devanados del estator. Por lo tanto, una realimentación del codificador precisa puede maximizar la salida del par y de esta manera puede garantizar un funcionamiento óptimo del motor.

60 Para que un transmisor sincronice con precisión la corriente con las posiciones relativas del estator y el rotor de un motor, se debe conocer la desviación de fase o "desviación de conmutación" para ese codificador. La desviación de fase o desviación de conmutación es el ángulo entre la posición cero del codificador y el polo norte del imán permanente en el rotor con el que gira. El conocimiento de esta desviación permite esencialmente al usuario calibrar (o alinear) el codificador con respecto al motor. Esta calibración permite que la unidad de accionamiento dé sentido a las medidas de posición relativas obtenidas, para utilizarlas para la sincronización con la corriente.

65 Los motores se pueden utilizar para impulsar el funcionamiento de una amplia gama de dispositivos, desde máquinas a muy pequeña escala hasta conjuntos mucho más grandes tales como ascensores (también conocidos como

"elevadores"). Un tipo particular de ascensor que puede hacerse funcionar utilizando un motor síncrono (o servomotor) es el denominado "elevador de tracción" o "elevador de cuerdas". Se pueden usar motores sin engranajes o con engranajes para hacer funcionar los elevadores de tracción.

5 De acuerdo con las técnicas de la técnica anterior, no es posible medir la desviación de conmutación o la desviación de fase para un motor cuando ese motor está unido a una carga de una manera conveniente y precisa. Un enfoque de la técnica anterior que utiliza un producto conocido como "Unidrive SP" de Control Techniques Ltd permite la medición de la desviación de conmutación para un motor, pero solo en ausencia de una carga. Este enfoque requiere la alineación del motor a un polo magnético de modo que el motor necesita poder moverse libremente. Por lo tanto, si el motor se dispone para accionar una gran pieza de un equipo tal como un elevador de tracción, la cabina del elevador y el contrapeso deben fijarse y los cables se deben retirar de modo que el motor pueda girar libremente sin carga, antes de que se pueda calcular la desviación de conmutación. Obviamente, esto es inconveniente para el usuario si la medición necesita realizarse durante el uso, por ejemplo, si un codificador se reemplaza por un motor sin engranajes que ha estado accionando un sistema de elevador durante un período de tiempo. El proceso de medir la desviación de conmutación en la situación puede requerir mucho tiempo y ser caro para el usuario.

Otros enfoques de la técnica anterior se conocen para medir la desviación de conmutación de un codificador para un motor cuando ese motor está parado. Dichos enfoques están basados en medir la distribución de la inductancia. Sin embargo, pueden ser muy difíciles de implementar en la práctica, particularmente si la inductancia longitudinal y transversal para el motor son iguales. Ningún enfoque conocido permite la medición precisa de la desviación de conmutación de una manera conveniente, precisa y rentable.

El documento US 2010/253258 A1 divulga un método y un aparato para calibrar un sensor de posición montado sobre el eje de un motor síncrono de imán permanente, para controlar la posición de un rotor del motor síncrono de imán permanente con respecto a un campo magnético producido por un estator del motor síncrono de imán permanente, en el que una corriente de prueba de CC se suministra a los devanados del estator del motor síncrono de imán permanente para generar un campo magnético definido.

La presente invención está definida por las reivindicaciones independientes adjuntas. Las realizaciones específicas se definen en las reivindicaciones dependientes. De acuerdo con un aspecto, se proporciona un método para calibrar un sistema de accionamiento en donde ese sistema de accionamiento incluye un motor que comprende un rotor que tiene un imán permanente y un estator que tiene un conductor eléctrico en el que el rotor se puede mover de manera giratoria con respecto al estator. El sistema de accionamiento comprende además un detector tal como un codificador para detectar una posición relativa del rotor al estator, en el que hay una desviación angular entre una posición del detector y una posición del rotor, y un controlador para controlar un suministro de corriente al conductor basándose en las posiciones relativas del rotor y el estator. El método comprende ajustar el motor en parada, aplicando un freno al motor y determinando una desviación angular entre el rotor y el detector. Esta determinación se hace asumiendo un valor inicial de la desviación entre el detector y el rotor y calculando una característica de un suministro de corriente requerido, tal como su sincronización de fase o ángulo, para maximizar el par en el rotor para ese valor inicial supuesto de la desviación. El método comprende además suministrar corriente que tenga esa característica al conductor cuando se aplica el freno y determinar un desplazamiento del rotor desde su posición de parada, cuando el freno permanece aplicado, como resultado de esa corriente. Este proceso se repite durante una pluralidad de distintos valores supuestos de la desviación, hasta que el valor supuesto haya cambiado 360 grados. Posteriormente, se calcula una relación funcional entre el valor supuesto de la desviación y los desplazamientos medidos del rotor y esa relación funcional se utiliza para determinar el valor correcto de la desviación.

La relación funcional entre los valores supuestos de la desviación y los desplazamientos medidos del rotor se puede representar como una serie de Fourier. Una transformada de Fourier tal como una transformada de Fourier discreta se puede aplicar a esa serie de Fourier para determinar el valor correcto de la desviación. El desplazamiento del rotor desde su posición parada para cada valor supuesto de la desviación se puede permitir solo hasta un umbral de desplazamiento predeterminado en el que, si se supera ese umbral, se determina que la fuerza de frenado en el motor no es lo bastante fuerte y la prueba se repite con el motor frenado con más fuerza.

El método puede comprender además utilizar el valor determinado de la desviación entre el detector y el rotor para calibrar el detector con el motor para su uso posterior. Una vez calibrado, el detector puede determinar una posición relativa instantánea entre el rotor y el estator y el controlador puede controlar un suministro de electricidad al conductor eléctrico en el estator basándose en dicha posición relativa, por ejemplo, para maximizar el par aplicado al rotor.

De acuerdo con otro aspecto, se proporciona un sistema de accionamiento en donde el sistema de accionamiento comprende un motor que tiene un rotor, un estator, un detector y un controlador en donde el controlador está dispuesto y se puede hacer funcionar para controlar el suministro de corriente a un conductor en el estator basándose en su posición relativa al rotor determinando una desviación angular entre el rotor y el detector de acuerdo con el método descrito anteriormente.

De acuerdo con un aspecto, un ordenador, unidad de accionamiento o procesador de ordenador se proporciona programado y se puede hacer funcionar para determinar una desviación angular entre un detector y un rotor en un sistema de accionamiento de acuerdo con el método descrito anteriormente.

5 Figuras

Las realizaciones y ejemplos se describirán ahora con referencia a las figuras en las que:

- 10 La Figura 1 muestra una representación en sección transversal de un motor síncrono;
- La Figura 2 es un diagrama de flujo que muestra un método para obtener una desviación de conmutación.

Sumario

15 En resumen, se proporciona un método para calibrar un sistema de accionamiento determinando la desviación de fase o desviación de conmutación entre un codificador y el polo norte de un imán permanente en un motor que está comprendido en el sistema de accionamiento. El motor puede ser un motor síncrono o servomotor para accionar el funcionamiento de un dispositivo mecánico. Por ejemplo, el servomotor puede actuar como un accionamiento de tracción para un elevador de tracción o elevador de cables.

20 El método puede implementarse cuando el motor está bajo carga. Por lo tanto, en el ejemplo de un servomotor que actúa como un accionamiento de tracción, no es necesario fijar la cabina o contrapeso o eliminar los cables del elevador de tracción antes de realizar la medición de la desviación.

25 La determinación se hace cuando el motor está en "parada", lo que significa que se hace cuando el motor (que puede tener o no una carga aplicada en el mismo) está inicialmente estacionario y tiene un freno aplicado al mismo para prevenir sustancialmente el movimiento del motor si se aplica un par al mismo.

30 El método comprende programar la unidad de accionamiento (u otro controlador) para suponer un valor (arbitrario) inicial para la desviación de conmutación. El controlador utiliza después ese valor inicial de la desviación de conmutación, junto con las posiciones relativas del estator y del rotor según se detectan por el codificador, para calcular la fase y la temporización de la corriente a través de los devanados del estator que deberían dar como resultado un par máximo en el motor para ese valor de la desviación de conmutación. Después, se aplica una corriente a los devanados del estator a un nivel fijo, de acuerdo con la fase y temporizaciones calculadas.

35 Cuando se aplica la corriente a los devanados del estator, se produce un campo magnético giratorio en el estator y de ese modo el par se aplicará al motor. Incluso si el motor se fija con el freno, el rotor no se fijará de ninguna manera y por lo tanto habrá un pequeño desplazamiento del rotor cuando se aplica la corriente al estator. Este micromovimiento o desplazamiento del rotor se registra para el valor inicial supuesto de la desviación de conmutación. Para determinar el valor correcto para la desviación de conmutación, se hace una pluralidad de cambios incrementales (o escalonados) en el valor supuesto de la desviación de conmutación y la unidad de accionamiento calcula la fase de corriente y la temporización que debería maximizar el par para cada valor y aplica la corriente en consecuencia.

45 Los desplazamientos del rotor correspondientes se registran para cada valor de desviación de conmutación, hasta que el valor supuesto de la desviación de conmutación haya cambiado 360 grados eléctricos en comparación con su valor inicial. Los valores de desplazamiento registrados se utilizan después para determinar el valor correcto de la desviación de conmutación, por ejemplo, aplicando el análisis de Fourier.

50 Cuando el valor supuesto de la desviación de conmutación fue correcto, la unidad de accionamiento habría calculado la fase de corriente y temporización óptimas con más precisión y, de ese modo, el par aplicado o par neto en el rotor se habrá maximizado. Por lo tanto, el valor correcto de la desviación de conmutación (co por sus siglas en inglés) debería corresponder al desplazamiento correspondiente más grande (d_i) del rotor desde la parada cuando se aplica el freno. En la práctica, los efectos del mundo real tales como el juego del freno y el efecto de la carga pueden distorsionar la relación observada entre la desviación de conmutación y el desplazamiento del rotor. Por lo tanto, el análisis de Fourier es útil puesto que tiene en cuenta todos los puntos de medición y, por lo tanto, produce un resultado preciso incluso cuando la función se ve perturbada por dichos efectos.

60 El valor correcto determinado de la desviación de conmutación se puede utilizar para calibrar el codificador con el motor. Esto proporciona a la unidad de accionamiento una posición de referencia, para dar sentido a las posiciones relativas del estator y el rotor del motor. Por lo tanto, permite a la unidad de accionamiento controlar con precisión el suministro de corriente a los devanados del estator, para sincronizar la corriente con aquellas posiciones relativas y, de ese modo, maximizar y controlar el par en el rotor.

Descripción detallada

65 La Figura 1 muestra las partes componentes de un motor síncrono 10. Un codificador (no mostrado) se puede montar en, o estar integrado con, el eje del motor para girar con el rotor 14. Como se ha mencionado en la sección

5 antecedentes anteriormente, la desviación de fase o desviación de conmutación de un motor 10 comprende el desplazamiento angular o la desviación de la posición cero del codificador en comparación con el polo norte del (de los) imán(es) permanente(s) del rotor 14. La posición cero del codificador puede mostrarse físicamente como una marca de cero en el cuerpo del codificador o puede ser un punto de referencia virtual, que representa un punto en el codificador antes de que sea girado por el eje del motor.

10 Para proporcionar una realimentación precisa para el control correcto de la corriente dentro del motor 10, la posición cero para el codificador debe estar alineada físicamente con el polo norte de los imanes permanentes en el rotor 14, o bien se debe conocer y justificar la desviación entre esa posición cero y el polo norte. En la práctica es difícil y requiere mucho tiempo alinear la posición cero de un codificador con el polo norte del rotor con el que funciona durante la fabricación o el ensamblaje del motor. Por lo tanto, es muy preferible fijar en su lugar el codificador al eje de un motor con la posición cero del codificador que está en una posición arbitraria y luego determinar la desviación de fase o la desviación de conmutación entre esa posición cero y el polo norte.

15 Antes de determinar el valor de la desviación de conmutación, el usuario puede desear determinar la posición del polo norte del imán permanente 18 del rotor 14. Como sabe el lector experto, esto se puede encontrar haciendo correr la corriente CC a través del (de los) devanado(s) 16 en el estator 12. Esta corriente creará un campo magnético fijo con el que se alinearán los imanes permanentes 18 del rotor 14. El polo norte de los imanes permanentes se puede determinar entonces a partir de esta alineación.

20 La desviación de conmutación comprenderá la separación angular entre el punto de polo norte en el rotor y el punto en el rotor o eje que corresponde a la posición cero del codificador. Si la posición cero está marcada en el codificador, el ángulo de conmutación puede verse cuando la corriente CC se suministra a través de los devanados del estator. Sin embargo, el hecho de ver simplemente la desviación de conmutación no es suficiente; se debe medir para un control preciso de la corriente para maximizar el par para el motor.

25 Un método para medir la desviación de fase o desviación de conmutación de un motor síncrono en parada puede comprenderse mejor con respecto a la figura 2 del presente documento.

30 Como primera etapa, el motor se debe ajustar en parada 20, sin par aplicado. Luego, se evita que el motor gire libremente - esto se hace normalmente aplicando un freno al motor 21. Sin embargo, no es necesario eliminar ninguna carga del motor ni fijar esa carga. Una vez que el motor se ha ajustado en parada y está frenado, el dispositivo asume un valor inicial (c_1) para la desviación de conmutación (c_0) y calcula las características de la corriente tal como el ángulo de fase y la sincronización a través de los devanados del estator que deberían dar como resultado un par máximo para $c_0=c_1$ en la etapa 22. De ahí en adelante, la corriente activa se suministra al (a los) devanado(s) del estator en el ángulo de fase y la sincronización calculados y se controla para que tenga una magnitud fija 23. Como resultado de aplicar la corriente, un par constante se aplica al motor (en donde el freno contrarresta ese par constante para mantener el motor sustancialmente estacionario). Preferentemente, el par constante se debe establecer entre 20 y 100 por ciento del par nominal; sin embargo, es posible que el método se implemente utilizando un valor de par constante más bajo, si se desea. El par constante no debería exceder el 100 por ciento del par nominal. Además, el freno debería poder soportar un par motor adicional de aproximadamente el 20 por ciento del par nominal durante el proceso de prueba.

45 Aunque el freno se aplica al motor, el par aplicado causará un cierto desplazamiento del rotor. El motor frenado se asemeja a un resorte cuando se suministra corriente al estator, con la fuerza de frenado del freno actuando contra la fuerza de giro impartida por los campos magnéticos giratorios. El pequeño movimiento o desplazamiento d_1 que se produce cuando se aplica la corriente para el valor inicial de la desviación de conmutación se mide en el paso 24, utilizando el codificador.

50 La siguiente etapa en el método es hacer un cambio incremental 25 en el valor supuesto de la desviación de conmutación entre el codificador y el polo norte del motor. Cuando se cambia la desviación de conmutación, la unidad de accionamiento calculará y aplicará una fase de corriente y temporización diferentes, para la maximización del par aplicado. Debido a que se fija la magnitud (o nivel) de la corriente, este cambio en la fase y temporización cambiará el ángulo entre el flujo magnético y la corriente en el motor, cambiando, por lo tanto, el par y de este modo provocará un ligero movimiento diferente del rotor desde su posición inicial de parada, cuando se aplica el freno al mismo. Para un motor sin engranajes, ese movimiento sería microscópico, normalmente entre 0,01 y 0,1 grados, por ejemplo, alrededor de 0,03 grados de rotación. El siguiente paso es por lo tanto medir ese movimiento o desplazamiento microscópico 26 que ocurre para el nuevo valor supuesto de la desviación de conmutación.

60 Las etapas de hacer un cambio incremental en el valor supuesto de la desviación de conmutación 25 y de medir el desplazamiento 26 correspondiente se repiten para una pluralidad de desviaciones de conmutación c_i en donde $i = 1, 2, \dots, n$. Cada vez que se cambia el valor supuesto de la desviación de conmutación c_i , es importante esperar un tiempo de ajuste antes de medir el desplazamiento correspondiente d_i . Los desplazamientos d_i correspondientes se determinan y registran para cada cambio incremental en c_i hasta que, después de n etapas, la desviación de conmutación c_i haya cambiado 360 grados eléctricos. Cuando la desviación de conmutación c_i haya cambiado 360 grados y se hayan medido los desplazamientos d_i correspondientes para cada etapa, la relación funcional entre los

valores de cambio registrados de desplazamiento y de desviación de conmutación se determina 27 y se calcula 28 la desviación de conmutación (co) a partir de ellos. A continuación, se dan detalles adicionales de este cálculo.

5 En principio, se podría esperar que el desplazamiento del rotor cuando se aplica el freno tenga una relación sinusoidal con el valor de la desviación de conmutación. Esto es una consecuencia de la ley de Lorentz que dicta que el par es el producto cruzado del flujo magnético y de la corriente. El cambio del valor supuesto de la desviación de conmutación (co) cambia el cálculo de las características de la corriente que deberían optimizar el par (si ese valor supuesto era correcto) y, de ese modo, en la práctica cambia el ángulo entre la corriente aplicada y el flujo magnético en el motor. El par debería variar sinusoidalmente con ese ángulo, para un nivel fijo de corriente, por lo tanto, también debería hacerlo el desplazamiento del rotor. Si este fuera el caso, sería posible determinar el valor correcto de la desviación de conmutación buscando el valor máximo de la función sinusoidal producida cuando los valores de desplazamiento y la desviación de conmutación se grafican uno contra el otro. El valor correcto debería producir un par máximo y, de ese modo, un desplazamiento máximo.

15 Sin embargo, se ha reconocido en el presente documento que el desplazamiento medido no variará puramente sinusoidalmente con el valor supuesto de la desviación de conmutación en la práctica. Los efectos físicos de, por ejemplo, el juego de frenado y la carga en el motor, tal como la carga de la cabina si el motor forma parte de un sistema de elevador de tracción, se superpondrán a la función sinusoidal teórica. Para tener en cuenta estos efectos de la vida real, el método descrito en el presente documento obtiene la desviación de conmutación determinando una relación funcional entre los valores de la desviación de conmutación registrados d_i y los valores de desplazamiento c_i y realizando el análisis de Fourier en esa relación funcional.

25 El análisis de Fourier que incluye las transformadas de Fourier y la serie de Fourier en general será bien conocida por el lector experto. En términos básicos, una serie de Fourier para una función es una aproximación de esa función como una combinación (potencialmente infinita) de funciones oscilantes. Se representa como la suma de las funciones seno (sin) y coseno (cos). En el presente método, la relación funcional entre c_i y d_i se representa como una serie de Fourier para determinar la desviación de conmutación (co). Se ha reconocido en el presente documento que la representación de la relación funcional entre c_i y d_i como una serie de Fourier es particularmente útil porque, a pesar de las perturbaciones por los efectos del mundo real que hacen que la relación no sea puramente sinusoidal, la ley de Lorentz determina, no obstante, que la relación debería ser periódica. Además, el análisis de Fourier y la representación de una relación funcional como una serie de Fourier permite que se tengan en cuenta todos los puntos de medición (o tantos puntos de medición como desee el usuario). Por lo tanto, la determinación resultante del valor correcto de la desviación de conmutación será más precisa.

35 Como se ha mencionado anteriormente, cuando el valor supuesto para la desviación de conmutación según se utiliza por el accionamiento para calcular las características de la corriente es correcto, y que se aplica la corriente a los devanados del estator, el par aplicado en el motor y, por lo tanto, el desplazamiento del rotor d_i debería ser maximizado. El par debería variar periódicamente con el valor supuesto de la desviación de conmutación c_i y por lo tanto el desplazamiento d_i del rotor cuando se aplica el freno debería variar también periódicamente con los valores supuestos de la desviación de conmutación. Se ha reconocido en el presente documento que un método preciso para obtener el valor correcto de la desviación de conmutación a partir de los valores medidos es aplicar una transformada de Fourier discreta (DFT) a la serie de Fourier que representa la relación funcional medida entre c_i y d_i . El valor correcto de la desviación de conmutación co, que condujo al desplazamiento máximo, puede encontrarse a partir del cambio de fase del pico fundamental de la función transformada de Fourier.

45 Una representación matemática del análisis de Fourier aplicado en el presente método se muestra en las ecuaciones 1 y 2 a continuación. Como verá el lector experto, c_i cambia de un ángulo en grados a un ángulo en radianes para calcular las sumas del seno y el coseno en las ecuaciones 1 y 2. Para calcular co, que corresponde al desvío de fase de la función fundamental de la función DFT, S_s se divide por S_c para dar un valor tangente de un valor intermedio, co_row . En la ecuación 3 a continuación, se calcula la tangente del arco de S_s sobre S_c y el valor resultante se convierte de nuevo en grados a partir de radianes, para generar un valor co row.

55 Debido a que la tangente del arco es una función de repetición que va desde menos 90 grados hasta más 90 grados, en algunas situaciones podrá ser necesario corregir el valor co row resultante de la ecuación 3 para dar el valor real de la desviación de conmutación co, que podría estar entre 0 y 360 grados. La rutina que se presenta a continuación muestra cómo esas conversiones se hacen dependientes de si los valores para S_s y/o S_c son positivos o negativos.

Las representaciones matemáticas del análisis de Fourier se dan a continuación:

60 ◦ $S_s = \sum d_i * \sin(c_i * \pi / 180)$ (1)

65 ◦ $S_c = \sum d_i * \cos(c_i * \pi / 180)$ (2)

$$\text{co_row} = 180^\circ * \text{atan} (S_s / S_c) / \pi \quad (3)$$

```

5   ◦ if Ss >= 0 then
      ▪ if Sc >= 0 then
          ▪ co = co_row + 180°
10  ▪ else
          ▪ co = co_row + 180°
      ▪ endif
15  ◦ else
      ▪ if Sc >= 0 then
20  ▪ co = co_row + 360°
      ▪ else
          ▪ co = co_row + 180°
25  ▪ endif
    ◦ endif

```

30 La desviación de conmutación *co* es una desviación de fase medida en grados eléctricos. Tiene un rango de cero a 360 grados eléctricos. Como sabrá el experto en la materia, 360 grados eléctricos es lo mismo que 360 mecánicos del eje del motor dividido por el número de pares de polos de imanes permanentes en el rotor. Entonces, para un motor de ocho polos, que tiene cuatro pares de polos, 360 grados eléctricos es 90 grados de un giro de rotor mecánico.

35 Una vez que se ha calculado el valor correcto de la desviación de conmutación *co* como se describió anteriormente, se puede utilizar para calibrar o sintonizar el codificador para el uso posterior con el motor. Esto se puede hacer automáticamente y/o puede ser controlado por el usuario. Como se ha mencionado anteriormente, el codificador detecta el posicionamiento relativo entre el estator y el rotor de un motor y puede devolver esa información al procesador, por ejemplo, una unidad de accionamiento, para sincronizar el posicionamiento relativo con la corriente alimentada en los devanados del estator, para maximizar el par para el motor. Para determinar con precisión el posicionamiento relativo del rotor y el estator, el codificador debe conocer su propio posicionamiento con respecto al polo norte del rotor, que es el motivo por el cual es muy importante el cálculo de la desviación de conmutación *co*.

45 Debido a que el desplazamiento del rotor será solo muy pequeño cuando cambia el valor supuesto de la desviación de conmutación durante el método descrito anteriormente, muchos dispositivos de medición simplemente no serán lo bastante sensibles para medir con precisión estos desplazamientos. Sin embargo, es posible emplear un dispositivo de medición que pueda hacerlo. Se ha reconocido en el presente documento que se puede seleccionar y disponer un codificador para medir los valores del desplazamiento con precisión. El codificador debería ser un codificador sincos de una resolución relativamente alta. Por ejemplo, se puede utilizar un codificador SC.Endat, SC.Hiper o SC.SSI.

50 En términos generales, el codificador (u otro detector) utilizado debería ser lo bastante sensible para detectar el desplazamiento del eje del motor o el rotor a un nivel muy pequeño. Por ejemplo, se puede disponer el codificador para medir el desplazamiento en incrementos en los que un incremento es 1/65536 de un giro completo (o rotación) del rotor, o menos. Si se dispone el codificador para medir los desplazamientos como un resultado de los cambios incrementales para el valor supuesto de la desviación de conmutación en etapas o incrementos sin unidades, y si un cambio particular en la desviación de conmutación da como resultado un desplazamiento de menos de una etapa o incremento, se puede repetir la prueba utilizando el par constante aumentado (logrado al cambiar la magnitud de la corriente constante en la etapa 23 en la figura 2). El codificador puede ser capaz de registrar o filtrar los valores de medición o puede simplemente devolverlos a un procesador, por ejemplo, un procesador comprendido en una unidad de accionamiento.

60 La unidad de accionamiento se puede programar para abortar el método de prueba si no se cumplen ciertas condiciones. Por ejemplo, si el desplazamiento *d_i* en cualquier momento supera el valor predeterminado, por ejemplo, si el rotor gira más de 1/16 de un giro completo, la unidad de accionamiento puede determinar que el motor no está lo bastante fijado por el freno y, de ese modo, puede abortar la prueba para que el motor se ajuste adecuadamente a la parada. De manera adicional o de manera alternativa, se determina que la resolución del codificador no es lo bastante

elevada para detectar los desplazamientos provocados por la aplicación de la corriente cuando se aplica el freno al motor y, de ese modo, el sistema no puede determinar finalmente el valor correcto de la desviación de conmutación, se puede abortar la prueba porque no aportaría resultados útiles.

5 En la práctica puede ser necesario cambiar el codificador totalmente o variar un codificador con respecto a la(s) parte(s) giratoria(s) de un motor después de que el motor se haya implementado ya en un sistema de accionamiento tal como un sistema de elevador. Para mayor facilidad, la velocidad y la rentabilidad, es muy deseable para un codificador que ha sido cambiado, movido o sustituido para ser calibrado al motor sin tener que interrumpir el sistema entero. En particular, es muy deseable que el codificador se calibre sin eliminar la carga del motor ya que en la práctica
10 hacerlo podría ser muy difícil y/o requerir mucho tiempo. El método descrito en el presente documento permite que se calibre un codificador a un motor y por lo tanto que se opere para proporcionar una determinación y control del par precisos, sin tener que eliminar ninguna carga del motor. En su lugar, el motor simplemente necesita ajustarse en parada utilizando un freno mecánico simple u otro medio apropiado, que estará ya presente en el sistema.

15 El método descrito en el presente documento no requiere ninguna medición adicional ni medio de procesamiento incorporados en un motor o sistema de accionamiento para calibrarlo. Como se describió anteriormente, están ya disponibles codificadores de resolución relativamente elevada. Dichos codificadores tienen la sensibilidad y capacidad de detección para medir los pequeños desplazamientos necesarios para este método. De manera similar, los sistemas de accionamiento convencionales incluyen unidades de accionamiento u otros medios de procesamiento que pueden
20 realizar un análisis de Fourier para generar un valor preciso y fiable de la desviación de conmutación.

La realización del análisis de Fourier en los valores medidos no supone una carga computacional significativa en los procesadores utilizados convencionalmente en los sistemas de accionamiento y de ese modo se puede realizar el cálculo rápidamente. No obstante, el cálculo es preciso porque utiliza todas las mediciones disponibles y tiene en
25 cuenta todos los efectos del mundo real tal como el juego del freno y el efecto de la carga en el motor, en lugar de confiar en un solo resultado o en una relación matemática puramente teórica entre la desviación de conmutación y el desplazamiento del motor, que podría producir resultados imprecisos. Además, a pesar de ciertos métodos de la técnica anterior, el presente método no requiere la supervisión ni la manipulación de valores complejos tales como la distribución de la inductancia. En su lugar, solo es necesario medir y registrar el desplazamiento del rotor.

30 Por lo tanto, se proporciona un método preciso pero eficiente y rentable.

Una vez que se conoce la desviación de conmutación para un motor, el motor puede hacerse funcionar dentro de un rango de diferentes sistemas. El ejemplo de un sistema de ascensor se da anteriormente, sin embargo, la solución
35 descrita en el presente documento se puede implementar en otros tipos de sistema mecánico, desde sistemas muy pequeños hasta grandes sistemas industriales. Un motor sin engranajes se menciona anteriormente, sin embargo, el método se puede implementar también para un motor con engranajes. Además, se han mencionado anteriormente tipos particulares de codificador, sin embargo, se puede utilizar cualquier codificador u otro medio que pueda detectar y registrar desplazamientos a pequeña escala de un motor cuando está fijo.

40 Un ordenador tal como una unidad de accionamiento o un ordenador de uso general se puede configurar o adaptar para realizar el método descrito. En una realización, el ordenador comprende un procesador, una memoria y un monitor. El ordenador o unidad de accionamiento puede comprender también uno o más dispositivos de entrada (tal como un ratón y/o teclado) y/o un adaptador de comunicaciones para conectarse a otros ordenadores o redes.

45 En funcionamiento, el ordenador puede ejecutar las instrucciones ejecutables por ordenador mantenidas en la memoria y los resultados del procesamiento se pueden mostrar a un usuario en el monitor. Las entradas del usuario para controlar el funcionamiento del ordenador pueden recibirse por medio de un(os) dispositivo(s) de entrada.

50 Se puede proporcionar un medio legible por ordenador (por ejemplo, un disco de soporte o una señal de soporte) que tenga instrucciones ejecutables por ordenador adaptadas para realizar los métodos descritos. Se puede proporcionar también un programa de ordenador que tiene partes de código ejecutables por el medio legible por ordenador.

55 Se puede proporcionar un soporte de registro que comprende instrucciones para llevar a cabo el método descrito. El soporte de registro puede ser un soporte de registro sólido tal como una memoria volátil o no volátil, ROM, EPROM o EEPROM. El soporte de registro puede ser un soporte magnético y/u óptico tal como un CD-ROM o un DVD-ROM. El soporte de registro puede comprender una señal tal como una señal inalámbrica o una señal que puede comunicarse por un cable tal como un cable de fibra óptica.

60 Las realizaciones se han descrito anteriormente a modo de ejemplo únicamente. Se apreciará que pueden hacerse variaciones que todavía están dentro del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un método para calibrar un sistema de accionamiento, dicho sistema de accionamiento incluyendo un motor síncrono (10) que comprende un rotor (14) que incluye un imán permanente (18) y un estator (12) que tiene un conductor eléctrico (16), en donde dicho imán permanente (18) es móvil de manera giratoria con respecto a dicho conductor eléctrico (16);
 5 comprendiendo además el sistema de accionamiento un detector para detectar una posición relativa del rotor (14) al estator (12) y un controlador para controlar un suministro de corriente al conductor (16), basándose en dicha posición relativa;
 10 el método caracterizado por el ajuste del motor síncrono (10) en parada, aplicar un freno al motor síncrono (10) y determinar una desviación angular (co) entre el rotor (14) y el detector al:
- suponer un valor inicial (ci) de la desviación (co) entre el detector y el rotor (14);
 15 calcular una característica del suministro de corriente requerida para maximizar el par en el rotor (14) para ese valor inicial supuesto (ci) de la desviación (co);
 suministrar corriente que tiene dicha característica al conductor (16), cuando se aplica el freno;
 determinar un desplazamiento (di) del rotor (14) desde su posición de parada, cuando se aplica el freno, como resultado de dicha corriente;
 20 realizar una pluralidad de cambios incrementales en el valor supuesto (ci) de la desviación (co), en donde se realizan los cambios incrementales hasta que el valor supuesto (ci) de la desviación (co) haya cambiado 360 grados;
 determinar un desplazamiento del rotor (14) desde su posición de parada, cuando se aplica el freno, para cada valor supuesto (ci) de la desviación (co);
 25 calcular una relación funcional entre los valores supuestos (ci) de la desviación (co) y el desplazamiento (di) del rotor cuando se aplica el freno;
 representar la relación funcional entre los valores supuestos (ci) de la desviación (co) y el desplazamiento (di) del rotor cuando se aplica el freno como una serie de Fourier; y
 utilizar dicha relación funcional para determinar el valor correcto de la desviación (co).
- 30 2. Un método según se reivindica en la reivindicación 1 en donde la etapa de determinar el valor correcto de la desviación (co) comprende determinar el valor supuesto (ci) de la desviación (co) para el cual se maximizó el desplazamiento (di) correspondiente.
- 35 3. Un método según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes que comprende además aplicar una transformada de Fourier a la serie de Fourier, en donde el valor correcto de la desviación (co) se determina a partir de un desvío de fase del pico fundamental en la función transformada de Fourier, preferentemente en donde dicha transformada de Fourier es una transformada de Fourier discreta (DFT).
- 40 4. Un método según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la etapa de aplicar un freno al motor síncrono permite el desplazamiento del rotor solo hasta un umbral de desplazamiento predeterminado, preferentemente en donde dicho umbral de desplazamiento predeterminado es 1/16avo de un giro del rotor.
- 45 5. Un método según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el desplazamiento del rotor como un resultado del valor supuesto de la desviación comprende un desplazamiento rotacional de entre 0,01 y 0,10 grados.
- 50 6. Un método según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes que comprende además la etapa de utilizar el valor correcto predeterminado de la desviación (co) para calibrar una posición física del detector con respecto a un punto en el motor síncrono, preferentemente en donde dicho punto en el motor síncrono comprende un polo norte magnético.
7. Un método según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes que comprende además:
 55 utilizar el valor determinado de la desviación (co) para calibrar el detector con el motor síncrono y a continuación determinar una posición relativa entre el rotor y el estator, y
 utilizar el controlador para controlar un suministro de electricidad al conductor eléctrico basándose en dicha posición relativa.
- 60 8. Un método según se reivindica en la reivindicación 7 en donde el controlador controla el suministro de electricidad para maximizar el par aplicado al rotor, preferentemente en donde dicho suministro de electricidad es un suministro de CA.
- 65 9. Un método según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes en donde dicho detector comprende un codificador.

10. Un método según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el motor síncrono está bajo carga.
- 5 11. Un sistema de accionamiento que incluye un motor síncrono (10) que comprende un rotor (14) que tiene un imán permanente (18) y un estator (12) que tiene un conductor eléctrico (16), en donde dicho imán permanente (18) es móvil de manera giratoria con respecto a dicho conductor eléctrico (16);
comprendiendo además dicho sistema de accionamiento un detector dispuesto y que se puede hacer funcionar para
10 detectar una posición relativa entre el rotor (14) y el estator (12), en donde existe una desviación angular (co) entre el rotor (14) y el detector;
el sistema de accionamiento caracterizado además por un controlador dispuesto y que se puede hacer funcionar para
controlar un suministro de corriente al conductor (16), basándose en dicha posición relativa, realizando las siguientes
etapas cuando el motor síncrono (10) se ajusta en parada y se frena:
- 15 suponer un valor inicial (ci) de la desviación (co) entre el detector y el rotor (14);
calcular una característica del suministro de corriente requerida para maximizar el par en el rotor (14) para ese
valor inicial supuesto (ci) de la desviación (co);
suministrar corriente que tiene dicha característica al conductor (16), cuando se aplica el freno;
determinar un desplazamiento (di) del rotor (14) desde su posición de parada, cuando se aplica el freno, como
20 resultado de dicha corriente;
realizar una pluralidad de cambios incrementales en el valor supuesto (ci) de la desviación (co), en donde se
realizan los cambios incrementales hasta que el valor supuesto (ci) de la desviación (co) haya cambiado 360
grados;
determinar un desplazamiento del rotor desde su posición de parada, cuando se aplica el freno, para cada valor
supuesto (ci) de la desviación (co);
25 calcular una relación funcional entre los valores supuestos (ci) de la desviación (co) y el desplazamiento (di) del
rotor cuando se aplica el freno;
representar la relación funcional entre los valores supuestos (ci) de la desviación (co) y el desplazamiento (di) del
rotor cuando se aplica el freno como una serie de Fourier; y
utilizar dicha relación funcional para determinar un valor correcto de la desviación (co).
- 30 12. Un sistema de accionamiento según se reivindica en la reivindicación 11, en donde dicho controlador se dispone
y es se puede hacer funcionar para calibrar el detector con el motor síncrono (10) basándose en la determinación de
dicha desviación (co).
- 35 13. Un sistema de accionamiento según se reivindica en la reivindicación 12, en donde el controlador se dispone y es
se puede hacer funcionar para calibrar automáticamente el detector con el motor síncrono (10) tras la conexión de
dicho detector en el sistema de accionamiento.

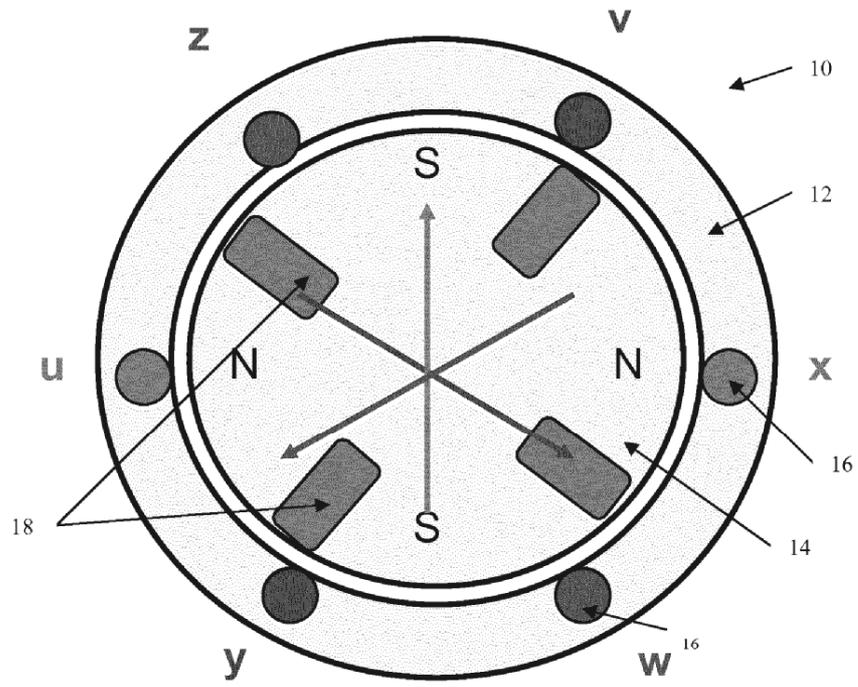


Fig. 1

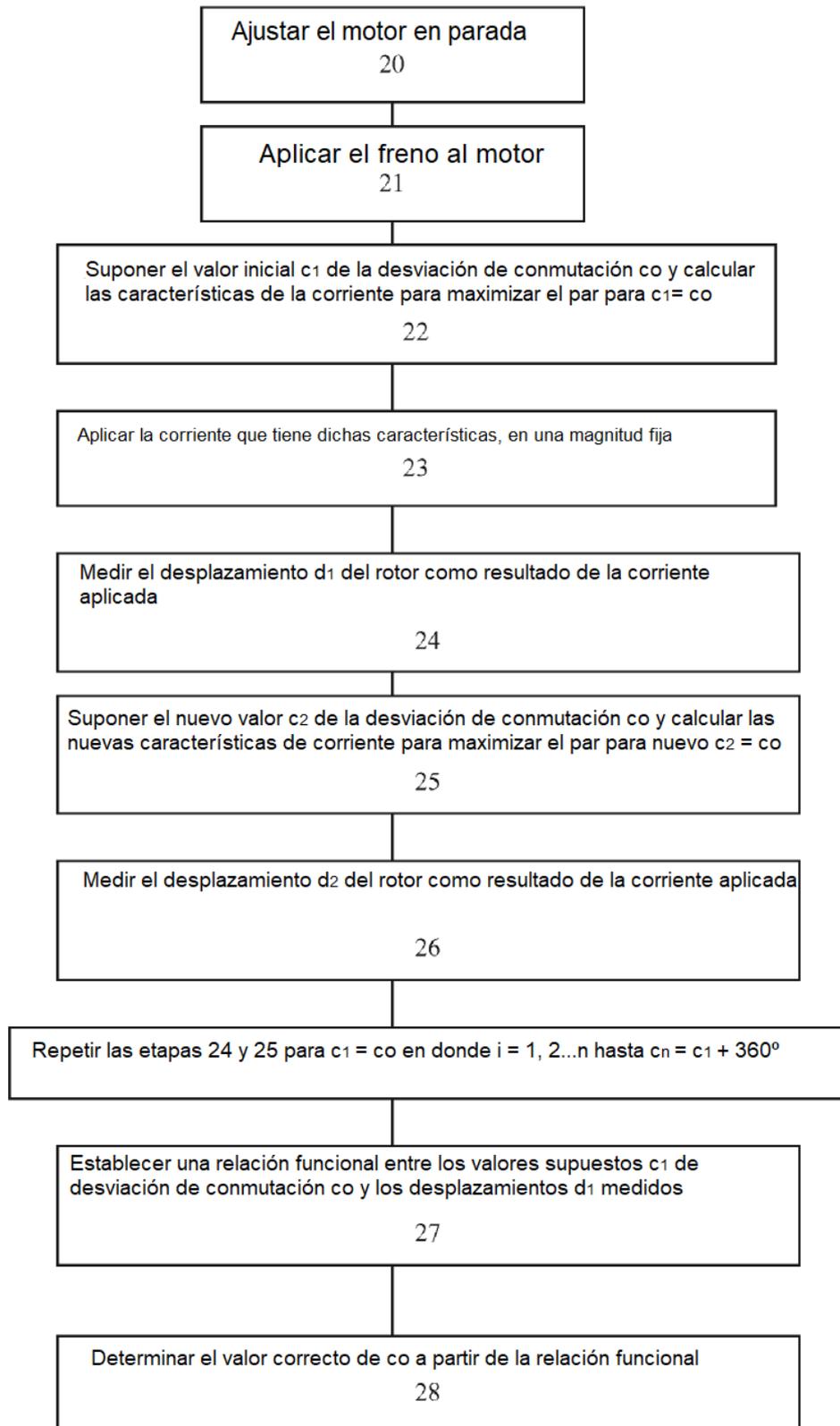


Fig. 2