

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 478 638**

51 Int. Cl.:

F16C 32/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.10.2007 E 07820795 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.05.2014 EP 2158411**

54 Título: **Dispositivo de control para cojinetes magnéticos que presenta un convertidor trifásico, y la utilización de un convertidor trifásico para el control de un cojinete magnético**

30 Prioridad:

20.06.2007 DE 102007028229

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

22.07.2014

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
WITTELSBACHERPLATZ 2
80333 MÜNCHEN, DE**

72 Inventor/es:

**DENK, JOACHIM;
KÖPKEN, HANS-GEORG;
STOIBER, DIETMAR y
WEDEL, BERND**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 478 638 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo de control para cojinetes magnéticos que presenta un convertidor trifásico, y la utilización de un convertidor trifásico para el control de un cojinete magnético.

5 La presente invención hace referencia a la utilización de un convertidor trifásico para el control de un cojinete magnético.

Para cojinetes magnéticos controlados de manera activa, se utilizan electroimanes. En este caso, se requiere una premagnetización y un ajuste rápido de la corriente que conforma la fuerza, para la estabilización de la posición.

Para esta clase de cojinetes magnéticos, se conocen esencialmente dos conceptos:

10 Por una parte, existen cojinetes magnéticos con un devanado de premagnetización, mediante el cual se puede generar un campo magnético básico. Además, existe un devanado de excitación de control mediante el cual se aplica una fuerza deseada sobre el objeto a alojar, mediante una técnica de regulación.

Además, existen cojinetes magnéticos sin devanado de excitación básico, es decir, sin devanados mediante los cuales se pueda regular una premagnetización. La técnica de regulación que se utiliza en este caso, se basa esencialmente en la denominada excitación diferencial.

15 En el caso de los cojinetes magnéticos conocidos con devanado de excitación básico y devanado de excitación de control por separado, el campo de premagnetización se genera mediante una corriente constante, que es generada generalmente por un primer amplificador de potencia. Una intensificación o bien, una atenuación del campo de premagnetización, se realiza mediante una corriente en el devanado de excitación de control, que es generada generalmente por un segundo amplificador de potencia.

20 Por ejemplo, cuando en una varilla magnética se utiliza un número N de cojinetes magnéticos, la corriente de premagnetización se puede aplicar para los N cojinetes magnéticos mediante el primer amplificador de potencia, por lo tanto en este caso se requieren en total N+1 amplificadores de potencia.

25 Como se ha mencionado en la introducción, en el caso de los cojinetes magnéticos usuales en el comercio que no presentan devanado de excitación básico, se realiza una excitación diferencial, en donde por cojinete magnético se requieren dos amplificadores de potencia y, de esta manera, en total $2 \times N$ amplificadores de potencia.

En las figuras 1 y 2 se representa una excitación diferencial de un cojinete magnético o bien, un cojinete magnético con un devanado de excitación básico y un devanado de excitación de control.

30 En este caso, la figura 1 muestra dos amplificadores de potencia 12, 14 mediante los cuales se realiza la excitación diferencial del devanado de excitación de control 10. Para la excitación mencionada se proporciona una corriente de premagnetización i_0 en ambos amplificadores de potencia 12, 14, y en el caso del primer amplificador de potencia 12 se adiciona la corriente de control i_x , y en el caso del segundo amplificador de potencia 14 se resta la corriente de control i_x de la corriente de premagnetización i_0 .

35 De esta manera, en la excitación diferencial de acuerdo con la figura 1, la corriente constante i_0 se aplica como una corriente de premagnetización en ambas bobinas del devanado de excitación de control 10. La corriente mencionada es, por ejemplo, de 10 amperios. Dicha corriente fluye de manera uniforme en ambas bobinas, de manera que el flujo magnético de la primera bobina sea igual al flujo magnético de la segunda bobina. Físicamente, la mayoría de las veces ambas bobinas se encuentran dispuestas verticalmente una sobre otra. En el caso que se deba aplicar una fuerza sobre un objeto que se encuentra entre las bobinas, como por ejemplo, un rotor, se debe incrementar el flujo magnético en una de las bobinas, y se debe reducir en la bobina restante. El incremento y la reducción se realizan mediante la corriente de control que mediante la adición a la corriente de premagnetización incrementa el flujo magnético en una bobina, y mediante la sustracción de la corriente de premagnetización, reduce el flujo magnético en la bobina restante. Cuando la corriente de control asciende, por ejemplo, a 2 amperios, la primera bobina conduce una corriente de 12 amperios, mientras que la segunda bobina sólo conduce 8 amperios. De esta manera, el campo magnético en la primera bobina se intensifica notablemente en comparación con el campo magnético de la segunda bobina, y se incrementa la acción de la fuerza, por ejemplo, hacia la arriba. De esta manera, mediante la corriente de control se pueden ajustar las fuerzas deseadas sobre el objeto a alojar entre las bobinas. De esta manera, el cojinete magnético 1 de la figura 1, en relación con la técnica de regulación, se basa en un incremento controlado de una bobina o bien, de esta manera, una reducción controlada resultante del campo magnético de la bobina restante del devanado de excitación de control 10.

50 La figura 2 muestra esquemáticamente otro cojinete magnético 3 conocido, conformado como un cojinete magnético con un devanado de excitación básico 16 y un devanado de excitación de control 10.

5 En comparación con la forma de ejecución de acuerdo con la figura 1, en este caso se requiere de un amplificador de potencia adicional, para generar la corriente de premagnetización para el devanado de excitación básico 16. Sin embargo, los costes en relación con los amplificadores de potencia requeridos, en comparación con la forma de ejecución de la figura 1, son menores en tanto se proporcione una mayor cantidad de cojinetes magnéticos por aplicación, dado que la corriente de premagnetización de todos los cojinetes magnéticos utilizados, se puede generar convencionalmente mediante un único amplificador de potencia.

Hasta el momento, para el funcionamiento de los cojinetes magnéticos conocidos, se requieren amplificadores de potencia especiales y, por lo tanto, costosos, y reguladores correspondientes.

10 En la declaración de patente DE 10 2004 024 883 A1 se revela una alternativa de los amplificadores de potencia de esta clase, en donde los cojinetes magnéticos también se pueden accionar con convertidores estándar con la estructura de los convertidores para máquinas-herramientas.

15 Sin embargo, en este caso se utilizan sólo dos fases del convertidor para la excitación del cojinete magnético. De esta manera, en el caso de N cojinetes magnéticos con devanados de premagnetización, se requieren N+1 convertidores para la excitación del sistema de cojinetes magnéticos. En el caso que los cojinetes magnéticos mencionados no presenten devanado de premagnetización alguno, se requieren 2 x N convertidores.

20 Sin embargo, la presente invención hace referencia principalmente a la excitación diferencial de dos bobinas magnéticas por cada grado de libertad del cojinete magnético. De esta manera, en el caso de un cojinete magnético con dos grados de libertad deseados, la presente invención conduce, por ejemplo, a la utilización de dos convertidores trifásicos que excitan respectivamente un par de bobinas magnéticas. En este caso se puede suprimir una premagnetización. Además, la presente invención hace referencia preferentemente a cojinetes axiales y no a cojinetes radiales.

Además del estado del arte mencionado del solicitante, a partir de la patente WO 97/07341 se conoce un dispositivo de cojinetes magnético, radial y activo, en donde se proporcionan tres electroimanes distribuidos, y se requiere una premagnetización.

25 Cada uno de los tres electroimanes presenta una bobina de control y una bobina de premagnetización. Para el control de los tres electroimanes, se utiliza un regulador trifásico convencional. Se recurre respectivamente a las tres corrientes de fase del regulador trifásico, para el control de uno de los tres electroimanes. Para ello, las tres bobinas de control se encuentran conectadas entre sí en una conexión en estrella o en triángulo, en donde las tres corrientes de fase del regulador trifásico se conducen hacia las bobinas. Las tres bobinas que generan una premagnetización, se encuentran conectadas en serie, y a través de dichas bobinas fluye una corriente en común.

35 Además, a partir de la patente WO 97 07 341 A se conoce un cojinete magnético axial con dos electroimanes que presentan respectivamente una bobina. El dispositivo de control de ambas bobinas está conformado por un regulador trifásico con tres salidas de corriente de fase para el control del cojinete magnético axial. Las tres corrientes de fase del regulador trifásico se utilizan para el control del cojinete magnético axial, en tanto que una primera bobina magnética se conecta con la primera y la tercera salida de corriente de fase del regulador trifásico, y la segunda bobina magnética enfrentada se conecta con la primera y la segunda salida de corriente de fase del regulador trifásico. A partir de las tres corrientes de fase, el regulador trifásico genera tanto una corriente constante como una corriente variable para la excitación diferencial del par de bobinas.

40 Un dispositivo de control similar se conoce a partir del documento JP 08 145 056 A, en relación con un cojinete magnético radial con una armadura de electroimán superior y una inferior.

A partir del estado del arte, el objeto de la presente invención consiste en configurar un control de cojinetes magnéticos más eficiente mediante un convertidor, en donde particularmente se reducen los costes en relación con los convertidores necesarios, y se eliminan los efectos no deseados en el regulador de corriente debidos a la asimetría.

45 Conforme a la presente invención, el objeto se resuelve mediante la utilización de un convertidor trifásico para el control de un cojinete magnético, con las características de la reivindicación 1.

Además, la presente invención parte de la consideración de que un convertidor trifásico de por sí conocido, no sólo resulta apropiado para generar campos giratorios para motores de corriente trifásica, sino que también se pueden utilizar, de otra manera, las tres corrientes de fase del convertidor que se pueden generar:

50 En la presente invención, un concepto central consiste en la utilización de las tres salidas de corriente de fase del convertidor, como dos corrientes que se pueden generar independientemente una de otra, en forma de una excitación diferencial en el caso de un cojinete magnético.

A continuación se explica la manera en que se puede realizar el concepto mencionado.

Los convertidores conocidos de acuerdo con el estado del arte, están diseñados para el funcionamiento de motores de corriente trifásica. Además, se genera un vector de corriente trifásica que existe en el convertidor como un valor calculado, y que se distribuye en las tres fases U, V y W del convertidor. En la figura 3 se representa, a modo de ejemplo, un vector de corriente trifásica 20 de esta clase. El valor calculado del vector de corriente trifásica 20, en el sistema de coordenadas del convertidor se describe mediante la longitud y el ángulo de los componentes del vector de corriente 22, 24 y 26, en donde el respectivo ángulo de los componentes del vector de corriente se relaciona con el sistema de fases fijo del convertidor U, V y W. En este caso, los componentes del vector de corriente 22, 24 y 26 son las proyecciones del vector de corriente 20 en las direcciones U, V o W. Cada corriente de fase mencionada es, por lo tanto, una magnitud escalar que resulta de la proyección mencionada del vector de corriente 20 en el indicador de dirección de la respectiva fase. Los tres indicadores de dirección del sistema trifásico U, V y W se encuentran desplazados respectivamente 120° entre sí, de manera que conformen ángulos iguales entre sí. Las proyecciones que se orientan en el sentido del respectivo indicador de dirección, se evalúan como positivas. Cuando las proyecciones se orientan en el sentido contrario al indicador de dirección, se evalúan como negativas. En un sistema trifásico ideal, a partir de la construcción geométrica de las corrientes de fase, su suma siempre desaparece, es decir, que es igual a cero. La desaparición de la suma de la corriente de fase, es una característica esencial de cada sistema trifásico.

En la figura 4 se representa esquemáticamente un motor sincrónico energizado de manera permanente, que es accionado por un convertidor. El motor mencionado debe presentar un par de polos magnéticos, para su simplificación. En este caso, al motor se le asigna un rotor 30. El par de polos mencionado comprende un polo magnético norte 32, así como un polo magnético sur 34. El par de polos mencionado se encuentra fijado firmemente en el rotor. El par mencionado es de por sí rígido y rota con el ángulo del rotor. Al par de polos se le puede asignar un eje magnético 36, el cual en la figura 4 se orienta desde el polo magnético sur 34 hacia el polo magnético norte 32. Un sentido de rotación 38 describe la rotación del rotor, generada por un campo giratorio aplicado desde el exterior, que interviene sobre el par de polos.

El estator del motor (en este caso no representado en detalle) comprende tres bobinas fijas que se encuentran dispuestas con un ángulo de 120° . En el presente gráfico de la figura 4, las bobinas se encuentran conectadas con una conexión en estrella, en donde el punto neutro no se representa en detalle. A cada bobina se asigna una fase del convertidor. A través de las tres bobinas fluyen las corrientes de fase 40, 42 y 44 generadas por el convertidor. En este caso, cada bobina genera un campo magnético cuya potencia es determinada por la magnitud de la respectiva corriente de fase. La orientación del campo es determinada por el signo de la respectiva corriente de fase. De esta manera, se superponen los tres campos de las bobinas, y en el interior del estator se genera un campo resultante, que corresponde al valor calculado anteriormente del vector de la corriente trifásica, en relación con la potencia y la orientación.

Durante el funcionamiento del motor sincrónico, la dirección del vector de corriente sigue de manera exacta el ángulo del eje magnético 36 del rotor, de manera que el valor calculado del vector de corriente y el eje magnético 36 del rotor 30, conformen entre sí un ángulo definido. De los ángulos teóricamente posibles que puede adoptar el vector de corriente en relación con el eje magnético, se destacan particularmente dos ángulos:

1. El vector de corriente que se orienta en dirección hacia el eje magnético. La orientación mencionada del vector de corriente, no genera par motor alguno, y se indica como la corriente d. Como es sabido, un eje magnético giratorio (por ejemplo, una aguja imantada) se orienta hacia las líneas de flujo de un campo magnético exterior. Sin embargo, en este caso el eje magnético giratorio representado en la figura 4, se encuentra previamente orientado en su totalidad hacia el campo exterior, de manera que el eje magnético no realice una rotación adicional.

2. El vector de corriente que se encuentra dispuesto perpendicularmente (90°) en relación con el eje magnético 26. La orientación mencionada genera el par motor máximo, y se indica como la corriente q. Mientras mayor sea el ángulo conformado entre el campo exterior y el eje magnético giratorio, mayor será el par motor que actúa. El par motor se describe en términos matemáticos, a través del coseno del ángulo conformado. Por consiguiente, el par motor mayor se obtiene cuando el ángulo conformado asciende a 90° .

Ambas direcciones descritas d y q del vector de corriente, que se destacan particularmente, se disponen perpendicularmente una sobre otra. Una dirección, la corriente d, no genera par motor alguno y, por el contrario, la otra dirección, la corriente q, genera un par motor. Aunque la corriente d no genere un par motor, dicha corriente es importante para el funcionamiento de un motor sincrónico. Una corriente d negativa (que se orienta en el sentido contrario al eje magnético) reduce la tensión en los bornes del motor. Por lo tanto, en la literatura especializada se indica frecuentemente como una corriente que reduce o atenúa campos magnéticos.

Se ha comprobado la ventaja que presenta la consideración de cualquier vector de corriente como una combinación lineal a partir de una corriente d y una corriente q. Las corrientes d y q mencionadas se pueden considerar como

valores calculados que se distribuyen individualmente en las tres fases U, V y W, de acuerdo con el gráfico precedente de la figura 4.

5 De acuerdo con el estado del arte, para generar un par motor se utiliza un motor. Por lo tanto, el motor sincrónico se acciona en el rango básico de revoluciones, de manera que la fracción d del vector de corriente se seleccione en cero. Con la corriente q se ajusta un par motor deseado. En el caso de números elevados de revoluciones, se selecciona adicionalmente una corriente d (negativa), mediante la cual se reduce la tensión en los bornes del motor, hasta alcanzar la magnitud deseada. Durante el funcionamiento de un motor sincrónico de acuerdo con el estado del arte, las corrientes d y q adoptan funciones diferentes y que no dependen unas de otras y, por lo tanto, se seleccionan independientemente unas de otras.

10 La posibilidad mencionada de generar las corrientes descritas, independientemente unas de otras, en la presente invención se utiliza para generar ambas corrientes independientes necesarias para la excitación diferencial de un cojinete magnético.

15 Por el contrario, en la activación de un motor mediante un convertidor, las corrientes d y q se orientan siempre de manera sincronizada en relación con el ángulo del rotor, es decir, que se conducen de manera sincronizada en relación con el eje magnético. Para la activación mencionada, se encuentra a disposición información para el convertidor, en relación con la orientación actual del eje magnético, también denominado ángulo de posición del rotor.

20 Para explicar a continuación la utilización del convertidor para la excitación de un cojinete magnético, en este caso, se parte de la suposición de que el rotor del motor se encuentra detenido. En este caso, el eje magnético se encuentra orientado en el sentido de la fase U, como se muestra en la figura 4. La corriente q, es decir, el vector de corriente que genera el par motor, se encuentra dispuesta perpendicularmente en relación con el eje magnético y, de esta manera, con el eje del estator conforma un ángulo recto en el sentido de la fase U.

De esta manera, se logra la situación representada en la figura 5.

25 En el caso de una posición congelada de esta clase, del eje magnético 36 en el sentido de la fase U, que corresponde al sentido de la bobina de la fase U del estator del motor, la corriente q se distribuye sólo en ambas fases restantes V y W. Dado que en este caso la corriente q se dispone perpendicularmente en relación con el eje de U, su proyección desaparece en el eje de U. En cambio, la corriente de fase W presenta siempre un signo contrario en relación con la corriente de fase V. Es decir, que para la corriente q aplicada se obtiene:

$$(1) \quad -i_w = i_v = \cos(30^\circ) \cdot i_q$$

30 en donde

$$i_U = 0 \text{ e } i_U + i_V + i_W = 0$$

35 A partir del estado del arte, en la patente DE 10 2004 024 883 A1 del solicitante, se conoce previamente, como se ha mencionado anteriormente, la conexión de ambas conexiones de la bobina del cojinete magnético, con las salidas de las fases V y W del convertidor. La información de la posición del rotor del convertidor se congela mediante soporte físico o soporte lógico, de manera que para el convertidor se presenta el estado como si el eje magnético se encontrara orientado de manera fija e invariable en el sentido del estator, el sentido de la fase U. El circuito de regulación del convertidor, que regula convencionalmente el par motor y, de esta manera, la magnitud de la corriente q, controla directamente la intensidad de la corriente de la bobina del cojinete magnético, en donde para la fase U no conectada, no se selecciona un valor teórico de la corriente, debido al ángulo de posición congelado del rotor. De esta manera, se suprimen los mensajes de error eventuales que de lo contrario se presentarían en el caso que no fluya corriente, aunque en el convertidor se acopla un valor teórico correspondiente de la corriente para la fase mencionada. La utilización mencionada de un convertidor trifásico se conoce a partir del estado del arte, tanto para la selección de los cojinetes magnéticos con un devanado de excitación básico, así como para cojinetes magnéticos con una excitación diferencial, que no presentan devanado de excitación básico.

45 La presente invención se basa en el estado del arte mencionado.

50 Los convertidores para la activación de motores eléctricos, conectan una tensión modulada por duración de pulsos, a las salidas de fase U, V y W del convertidor, para la selección de la corriente deseada. Cuando se debe excitar un cojinete magnético con devanado de excitación básico, mediante el convertidor, se presenta la desventaja de que todas las bobinas del cojinete magnético se encuentran acopladas entre sí a modo de transformador, a través del devanado de excitación básico. La desventaja mencionada resulta indeseable, dado que a través del acoplamiento

5 mencionado los reguladores de corriente de cada convertidor de cojinete magnético, influyen recíprocamente uno sobre otro, de una manera indeseable. Sin embargo, en el caso que exista un cojinete magnético con excitación diferencial, se suprime el acoplamiento indeseado mencionado, con lo cual no se perturban los reguladores de corriente de cada convertidor. Sin embargo, en este caso representa particularmente una desventaja el hecho de que se requiera un número considerablemente mayor de convertidores, más precisamente $2 \times N$ convertidores, en donde N es el número de cojinetes magnéticos.

10 La presente invención se ocupa particularmente del concepto del cojinete magnético como un cojinete magnético excitado de manera diferencial, en donde se suprime el devanado de excitación básico. De esta manera, se evita la desventaja del número incrementado de convertidores, en tanto que la excitación diferencial que, de acuerdo con el estado del arte, debe ser realizada por dos convertidores individuales, se transfiere a un convertidor individual. La característica mencionada resulta posible, en tanto que, de acuerdo con el estado del arte, a la corriente d que se encuentra regulada en cero, se asigna en este caso una función, y dicha función no se selecciona en cero, sino que se selecciona con un valor definido.

La característica mencionada se explica en detalle mediante la figura 6.

15 En primer lugar, se explica la manera en que una corriente d, ante la posición predeterminada del rotor, en donde el eje magnético 36 se orienta en el sentido de la fase U, se distribuye en las fases individuales U, V, W. La corriente d se aplica en el sentido de reducción del campo, de manera que dicha corriente se oriente en el sentido contrario al eje magnético 36 y, de esta manera, en el sentido contrario al sentido de la fase U.

20 La corriente d aplicada 52, que reduce el campo, se dispone paralela al sentido de la fase U, de manera que la corriente mencionada se pueda proyectar completamente, aunque con una orientación opuesta, en el sentido de la fase U. Las proyecciones de la corriente d en los sentidos de las fases V y W, dan como resultado exactamente la mitad del valor de la corriente d generada. Por lo tanto, para la corriente d aplicada, se considera:

$$(2) \quad i_v = i_w = -\frac{1}{2} i_u = -\frac{1}{2} i_d,$$

en donde

25 $i_u + i_v + i_w = 0.$

30 En la excitación diferencial de un par de bobinas de cojinete magnético, se aplica una corriente constante y una corriente diferencial en ambas bobinas. La corriente constante presenta el mismo signo en ambas bobinas, mientras que la corriente diferencial presenta diferentes signos en ambas bobinas. De acuerdo con el estado del arte, las corrientes se adicionan en primer lugar por cálculo, y después se suministran como un valor teórico para cada amplificador, de manera que para cada una de las dos bobinas, se proporciona un amplificador por separado.

Por el contrario, la presente invención prevé la utilización de un único convertidor trifásico para la excitación diferencial de un par de bobinas de un cojinete magnético, en donde la corriente constante se selecciona de una corriente d, y la corriente diferencial se selecciona de una corriente q del mismo convertidor.

35 En este caso, las bobinas del cojinete magnético se conectan respectivamente mediante una línea de conexión con la fase V o W del convertidor. Ambas líneas de conexión restantes de las bobinas, se conectan entre sí y se disponen juntas con la fase U del convertidor. De esta manera se obtiene el siguiente gráfico de conexiones, como se representa en las figuras 7 y 8.

Para una mejor comprensión, en este caso se ha seleccionado respectivamente una representación para la corriente d 60 (figura 7) y para la corriente q 64 (figura 8).

40 Se debe considerar que el respectivo par de bobinas de cojinete magnético representado, se encuentra conectado con un único convertidor trifásico. La separación en ambas figuras se realiza sólo para lograr una mayor claridad en la representación.

45 En la figura 7 se representa la distribución de la corriente d 60 en ambas bobinas del par de bobinas del cojinete magnético. La corriente d 60 se presenta respectivamente en su mitad como una corriente (registrada como positiva) en ambas bobinas.

La figura 8 muestra la distribución de la corriente q en las bobinas mencionadas del par de bobinas del cojinete magnético. La corriente q se presenta con la misma potencia en la bobina representada en la parte superior, como

positiva, y en la bobina representada en la parte inferior, como negativa. En las figuras 7 y 8, se debe considerar un sentido de numeración positivo, respectivamente en el sentido de las fases U, V y W hacia el interior de los convertidores.

5 Cuando la corriente d se aplica como una corriente constante, y la corriente q se utiliza para la selección de una acción de fuerza, entonces se cumple con todas las exigencias necesarias para realizar una excitación diferencial de un cojinete magnético. De acuerdo con las figuras 7 y 8, a la corriente d se asigna la función de la corriente constante i_0 , y a la corriente q se asigna la función de control de la corriente representada en la introducción i_x , la cual en ambas bobinas del par de bobinas del cojinete magnético, debe generar diferentes flujos magnéticos.

10 Una excitación diferencial de un cojinete magnético, conforme a la presente invención, supone que tanto la corriente d como la corriente q, se pueden generar independientemente una de otra. La característica mencionada resulta posible mediante los convertidores trifásicos modernos. En comparación con el estado del arte, en este caso sólo existe la diferencia de que no se genera campo giratorio alguno para la activación de un motor, sino que se generan dos corrientes independientes una de otra, para accionar un cojinete magnético mediante una excitación diferencial.

A continuación se representan tres ejemplos de ejecución de la presente invención.

15 Muestran:

Figura 9 un dispositivo de control para cojinetes magnéticos, conforme a la presente invención, con un convertidor trifásico,

Figuras 10 y 11 conexiones en estrella o bien, en triángulo de por sí conocidas, que se utilizan para la conexión conforme a la presente invención,

20 Figura 12 un dispositivo de control para cojinetes magnéticos, conforme a la presente invención, en donde en este caso el convertidor trifásico se utiliza tanto para la excitación de un devanado de excitación básico, como para la excitación de un devanado de excitación de control, y

25 Figura 13 una forma de ejecución alternativa a la figura 12, que se puede aplicar de una manera particularmente ventajosa, cuando el devanado de premagnetización está diseñado para una corriente menor que el devanado de control.

30 La figura 9 muestra un dispositivo de control para cojinetes magnéticos, conforme a la presente invención, con un convertidor trifásico 70, cuyas salidas de corriente de fase U, V y W, suministran las corrientes de fase 40, 42, 44. El cojinete magnético comprende una armadura de electroimán superior 66, así como una armadura de electroimán inferior 68. En este caso, una corriente 72 fluye en una bobina de un par de bobinas magnéticas, que se encuentra asignada a la armadura de electroimán superior 66. La bobina mencionada se conecta con la primera y la tercera salida de corriente de fase U, W del convertidor 70.

35 Una corriente 74 fluye en una segunda bobina del par de bobinas magnéticas, que se encuentra asignada a la armadura de electroimán inferior 68. La segunda bobina se encuentra conectada a la primera salida de corriente de fase U, así como a la segunda salida de corriente de fase V del convertidor 70. Con un ángulo de posición fijo adoptado del rotor = 0°, el eje magnético 36 se orienta en el sentido de la fase U y, a continuación, se obtienen las siguientes corrientes de salida de fase 40, 42 y 44:

$$(3) \quad \begin{aligned} i_U &= i_d \\ i_V &= -\frac{1}{2} i_d + \cos(30^\circ) \cdot i_q \\ i_W &= -\frac{1}{2} i_d - \cos(30^\circ) \cdot i_q \end{aligned}$$

$$(4) \quad \begin{aligned} i_a &= -i_W = \frac{1}{2} i_d + \cos(30^\circ) \cdot i_q \\ i_b &= -i_V = \frac{1}{2} i_d - \cos(30^\circ) \cdot i_q \end{aligned}$$

La corriente de fase 40 (i_U) conforma una corriente d aplicada. Ambas corrientes de fase restantes 42 y 44 se calculan, a continuación, de la manera en que se indica en las ecuaciones restantes del sistema de ecuaciones (3).

De esta manera, se obtiene el sistema de ecuaciones completo (4) para el circuito de conexiones conforme a la presente invención, indicado en la figura 9.

- 5 La corriente i_a corresponde a una corriente 72 que fluye hacia la primera bobina, que se encuentra asignada a la armadura de electroimán superior 66. La corriente i_b describe una corriente adicional 74 que fluye hacia la segunda bobina del par de bobinas magnéticas.

10 A partir de los sistemas de ecuaciones (3) y (4), se deduce que a través de la corriente i_d se puede ajustar una denominada premagnetización, y que la corriente i_q incrementa la corriente en una de las bobinas, y la reduce en la bobina restante, y que, de esta manera, se puede ajustar una fuerza resultante sobre el objeto a alojar, preferentemente un rotor.

Los convertidores de acuerdo con el estado del arte, están diseñados para el funcionamiento de motores simétricos de corriente trifásica. En este caso, simétrico significa que las impedancias entre los tres bornes del convertidor presentan el mismo valor.

- 15 Sin embargo, este no es el caso en la conexión, conforme a la presente invención, del convertidor con las bobinas del cojinete magnético. Como se ha mostrado anteriormente en relación con las figuras 7 y 8, la conexión conforme a la presente invención se puede interpretar, por ejemplo, como una conexión en estrella incompleta, en donde en la fase U no existe inductancia, y ambas bobinas del par de bobinas del cojinete magnético, conforman las inductancias en ambas fases restantes V y W. De la misma manera, las figuras 7 y 8 se pueden interpretar también
20 respectivamente como una conexión en triángulo incompleta, en donde entre las fases V y W no se conecta una tercera inductancia.

25 Las asimetrías mencionadas de las conexiones, repercuten en las regulaciones de la corriente. La asimetría de la conexión en estrella incompleta o bien, de la conexión en triángulo incompleta, se puede corregir, por ejemplo, mediante la conexión de un inductor pasivo con una inductancia que corresponde a la inductancia de una bobina del par de bobinas del cojinete magnético, en la derivación de fase a la que le falta una impedancia para lograr una simetría, en comparación con la conexión completa en estrella o bien, en triángulo. Además, también resulta concebible la respectiva subdivisión de las bobinas del cojinete magnético, y la utilización de una sección parcial de las bobinas mencionadas, como el inductor pasivo mencionado. De esta manera, mediante la adición del
30 denominado inductor pasivo, se logra una forma de conexión alternativa del par de bobinas del cojinete magnético, con un convertidor trifásico.

Sin embargo, un denominado inductor pasivo como un componente, genera costes, pérdidas térmicas y requiere un espacio constructivo para someter a esfuerzos. Por lo tanto, a continuación se recomienda una solución conforme a la presente invención, que elimina los efectos indeseados sobre el regulador de corriente, debidos a la asimetría.

- 35 A partir de las figuras 7 y 8, en primer lugar se explica el efecto sobre el regulador de corriente. Nuevamente se presupone que el eje magnético 36 se encuentra congelado en el sentido de la fase U.

40 La corriente d 60 fluye desde el conductor de fase U hacia secciones iguales 62, hacia el conductor de fase V o bien, W. Además, desde el conductor de fase V hacia el conductor de fase W y de manera inversa, no fluye corriente alguna. Por lo tanto, en el caso de la corriente d no es importante si la derivación entre V y W se encuentra ocupada por un componente o no. La introducción del inductor pasivo anteriormente mencionado, no generaría modificaciones en este caso. De esta manera, para la corriente d , la conexión incompleta en triángulo se convierte en una conexión completa. En el caso de la corriente d , el convertidor no detecta la derivación faltante, dado que en dicha derivación, sin embargo, no fluiría corriente alguna. Para el ajuste de la corriente d , de esta manera, se obtiene la inductancia total de una conexión en triángulo, con las inductancias de derivación individuales L en relación con una inductancia total de $2/3 \times L$.

- 45 La corriente q fluye desde el conductor de fase V hacia el conductor de fase W, y de manera inversa. Además, en el conductor de fase U no fluye corriente. Por lo tanto, para el caso de la corriente q , no resulta de importancia si la derivación U se encuentra ocupada por una inductancia de la magnitud L, o por un cortocircuito. De esta manera, para la corriente q , la conexión incompleta en estrella se convierte en una conexión completa. En el caso de la corriente q , el convertidor no detecta la derivación cortocircuitada U, dado que en dicha derivación, sin embargo, no fluiría corriente alguna. Para el ajuste de la corriente q , de esta manera, se obtiene la inductancia total de una
50 conexión en estrella, con las inductancias de derivación individuales L en relación con una inductancia total de $2 \times L$.

Por consiguiente, la inductancia detectada por el convertidor depende de si se aplica la corriente d o la corriente q . Mediante cálculo, se obtiene una diferencia de ambas inductancias de 1:3. De la misma manera se diferencia la

- 5 tensión necesaria para modificar el respectivo componente de la corriente d o q. Para la modificación de la corriente q se necesita el triple de tensión necesaria para la modificación de la corriente d. Dado que el regulador de corriente conecta adicionalmente una tensión para modificar la corriente, se recomienda diferenciar entre la corriente d y la corriente q, en relación con el nivel de la tensión. Conforme a la presente invención, el convertidor comprende un regulador de corriente proporcional, en donde se recomienda una estructura en la que la amplificación proporcional para la corriente d se selecciona menor que en el caso de la corriente q. Mediante la consideración de la diferencia de inductancia en el ajuste de la corriente, se puede renunciar al complemento de la conexión incompleta en estrella o bien, en triángulo, mediante un inductor pasivo.
- 10 Las figuras 12 y 13 muestran otras posibilidades de circuitos de conexiones, para la conexión de cojinetes magnéticos con un devanado de premagnetización existente, con un convertidor trifásico.
- Si en este caso el devanado de premagnetización está diseñado para una corriente menor que en el devanado de control, resulta preferente el acondicionamiento de la figura 13.
- La conexión, conforme a la presente invención, del convertidor con las bobinas del par de bobinas magnéticas del cojinete magnético, resulta de las figuras 12 ó 13, así como de las reivindicaciones correspondientes.
- 15 En resumen, la presente invención se puede exponer brevemente de la siguiente manera:
- 20 Para el control de cojinetes magnéticos, se requieren amplificadores de potencia. Conforme a la presente invención, la función de los amplificadores de potencia mencionados es adoptada por un convertidor trifásico, en donde las tres salidas de corriente de fase del convertidor, se utilizan para la excitación de las bobinas del par de bobinas magnéticas del cojinete magnético. La presente invención se basa en el conocimiento de que un convertidor no sólo puede generar un campo giratorio para un motor mediante el ajuste independiente de las corrientes de fase, sino que la capacidad de ajuste independiente mencionada de las corrientes de fase, también se puede utilizar para la excitación de un par de bobinas del cojinete magnético.

REIVINDICACIONES

- 5 **1.** Utilización de un convertidor trifásico (70) para el control de un cojinete magnético (66, 68), en donde las tres corrientes de fase (40, 42, 44) del convertidor (70) se utilizan para el control del cojinete magnético (66, 68), en donde el convertidor trifásico (70) comprende un regulador de corriente proporcional para el ajuste de una corriente d y de una corriente q del convertidor (70), en donde una primera amplificación proporcional para la regulación de la corriente d se ajusta para que sea menor en comparación con una segunda amplificación proporcional para la regulación de la corriente q, y en donde la relación de la primera amplificación proporcional con la segunda amplificación proporcional, se encuentra en el rango de 1:2 a 1:4.
- 10 **2.** Utilización de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el cojinete magnético (66, 68) presenta un devanado de excitación básico (16) y un devanado de excitación de control (10), y a partir de las tres corrientes de fase (40, 42, 44), mediante la conexión con el devanado de excitación básico (16) y el devanado de excitación de control (10), se genera una corriente de premagnetización y una corriente de control para aplicar sobre el devanado de excitación básico (16) o bien, sobre el devanado de excitación de control (10).
- 15 **3.** Utilización de acuerdo con la reivindicación 1, en donde un devanado de excitación de control (10) de una armadura de electroimán superior (66) del cojinete magnético (66, 68), se encuentra conectado con una primera (U) y una tercera (W) salida de corriente de fase del convertidor trifásico (70), y un devanado de excitación de control (10) de una armadura de electroimán inferior (68) del cojinete magnético (66, 68), se encuentra conectado con la primera (U) y una segunda (V) salida de corriente de fase del convertidor trifásico (70).
- 20 **4.** Utilización de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el devanado de excitación básico (16) y el devanado de excitación de control (10) de una armadura de electroimán superior (66) del cojinete magnético (66, 68), se encuentran conectados en serie, y conectados con una primera (U) y una tercera (W) salida de corriente de fase del convertidor trifásico (70), y en donde el devanado de excitación básico (16) y el devanado de excitación de control (10) de una armadura de electroimán inferior (68) del cojinete magnético (66, 68), se encuentran conectados en serie, y conectados con la primera (U) y una segunda (V) salida de corriente de fase del convertidor trifásico (70).
- 25 **5.** Utilización de acuerdo con la reivindicación 2, en donde se encuentran conectados en serie el devanado de excitación básico (16) de una armadura de electroimán superior (66) y el de una armadura de electroimán inferior (68) del cojinete magnético (66, 68), en donde se encuentran conectados en serie el devanado de excitación de control (10) de la armadura de electroimán superior (66) y el de la inferior (68) del cojinete magnético (66, 68), y en donde el devanado de excitación de control (10) presenta un punto de derivación a través del cual se alimenta una corriente que pasa por el devanado de excitación básico (16) de ambas armaduras de electroimán (66, 68), hacia el devanado de excitación de control (10) de ambas armaduras de electroimán (66, 68).
- 30 **6.** Utilización de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, en donde la relación de la primera amplificación proporcional con la segunda amplificación proporcional, es de 1:3.

FIG 1

(Estado del Arte)

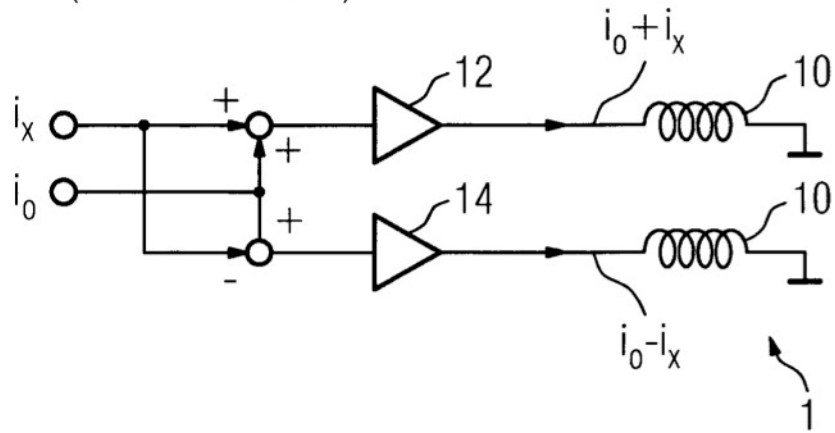


FIG 2

(Estado del Arte)

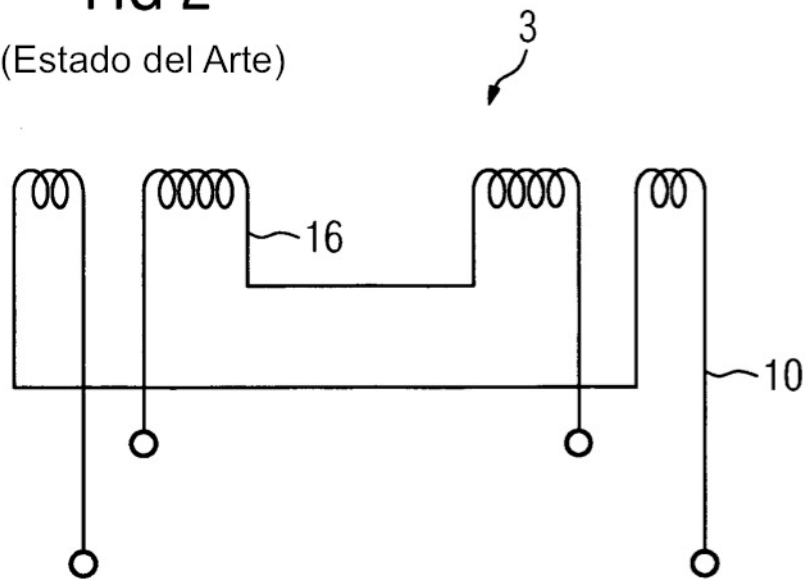


FIG 3

(Estado del Arte)

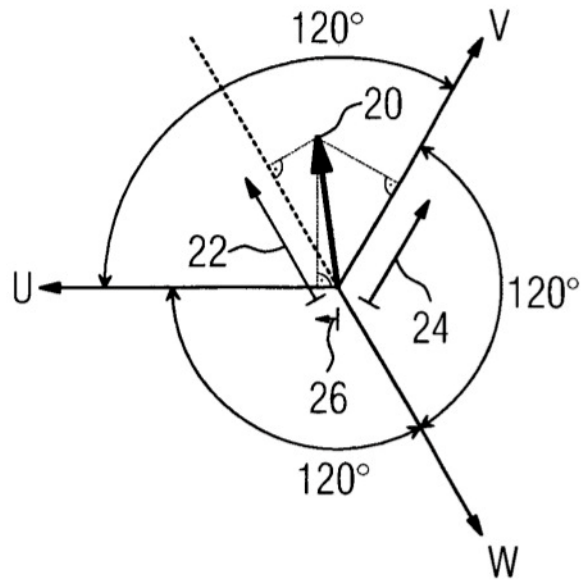


FIG 4

(Estado del Arte)

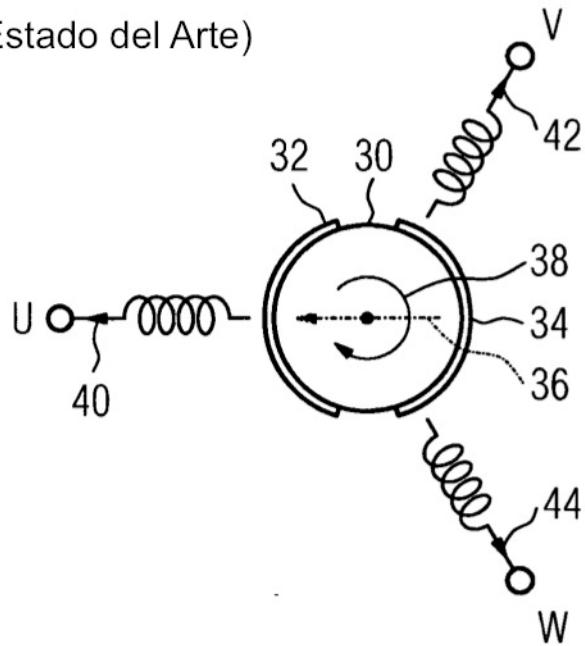


FIG 5

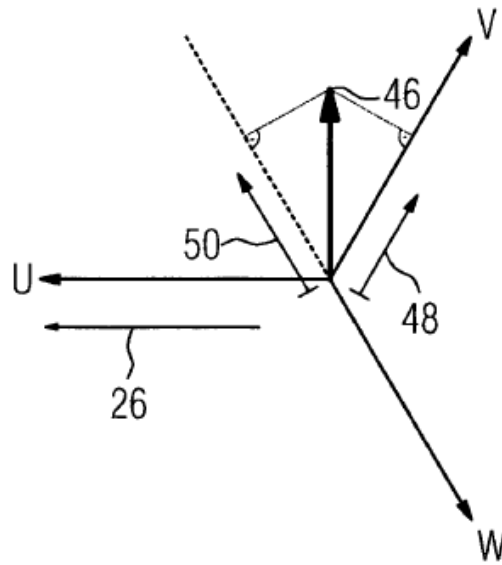


FIG 6

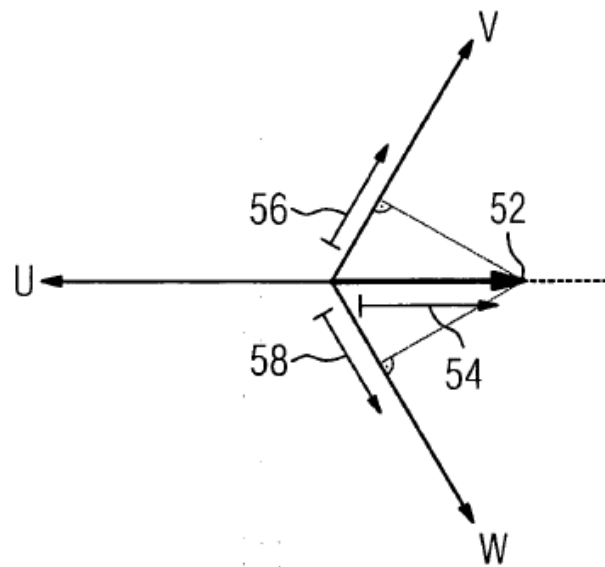


FIG 7

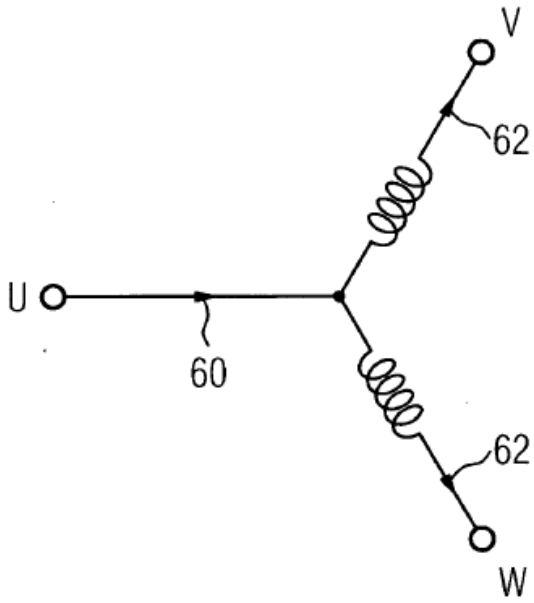


FIG 8

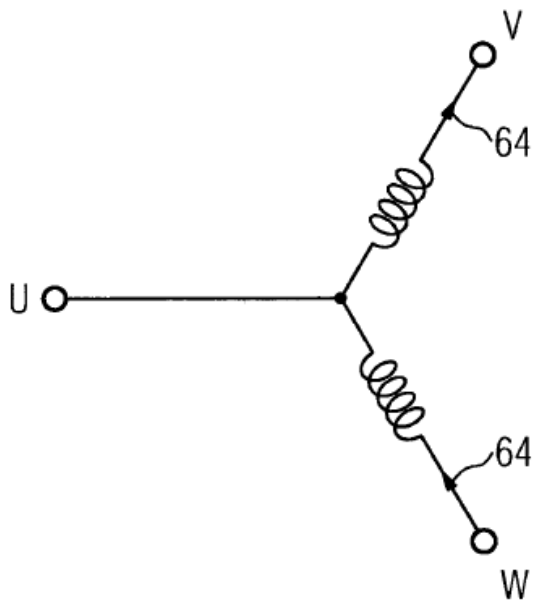


FIG 9

