

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 495 421**

51 Int. Cl.:

F16C 32/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.05.2011 E 11166910 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.06.2014 EP 2530340**

54 Título: **Cojinete radial magnético con excitación trifásica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.09.2014

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

VOLLMER, ROLF

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 495 421 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

Cojinete radial magnético con excitación trifásica

5 La presente invención se refiere a un cojinete radial magnético con un estátor, que presenta una primera bobina, una segunda bobina, una tercera bobina y una cuarta bobina, de las que la primera bobina y la tercera bobina están enfrentadas sobre un primer eje, así como la segunda y la cuarta bobina sobre un segundo eje. Aparte de esto, la presente invención se refiere a un procedimiento para controlar un cojinete radial magnético de este tipo.

Los cojinetes radiales magnéticos generan corrientes parásitas en árboles rotatorios. Éstas conducen a un calentamiento indeseado del árbol. La potencia disipada ligada a esto reduce el grado de eficacia de la máquina. Un reflujo magnético chapado sobre el árbol, que reduciría las corrientes parásitas, reduce la rigidez del árbol.

10 Hasta ahora se ha buscado un compromiso entre las menores pérdidas posibles por corrientes parásitas y la mayor rigidez posible. De las pérdidas por corrientes parásitas son responsables fundamentalmente los números de polos de los campos magnéticos, el número de revoluciones del árbol y la clase de chapado. Para conseguir bajas frecuencias de cambio de imantación se busca un número de polos bajo. Sin embargo, a causa de esto el campo magnético penetra profundamente en el rotor y de este modo exige un chapado con yugo de rotor elevado, lo que
15 después conduce a un árbol fino. Si se superan unas inclinaciones a la vibración críticas, es necesario aumentar el número de polos, lo que conduce de nuevo a mayores frecuencias y pérdidas.

En la figura 1 se ha representado una sección transversal mediante un cojinete magnético radial habitual. El estátor presenta aquí ocho bobinas insertadas en ranuras axiales, en donde en la figura 1 sólo se han indicado esquemáticamente las bobinas 1 y los núcleos de bobina 2. En el interior del estátor se sujeta magnéticamente un rotor 3. En el caso del rotor 3 se trata del árbol a montar. Los ejes de las bobinas 1 discurren aquí
20 fundamentalmente de forma radial con relación al eje de giro del rotor 3.

Además de esto, por ejemplo el documento WO 97/07341 hace patente un cojinete y un procedimiento del género expuesto.

25 Del libro "Magnetic Bearings" de Gerhard Schweitzer y Eric H. Maslen, Springer-Verlag Berlín, 2009, XV, páginas 82 a 84 y 96, se conocen también cojinetes magnéticos radiales con bobinas axiales. Esto significa que los ejes de bobina se extienden en paralelo al eje de cojinete. De forma correspondiente a esto se produce el guiado de flujo fundamentalmente en dirección axial, tanto en las bobinas como en el rotor.

30 La tarea de la presente invención consiste en poner a disposición un cojinete magnético que pueda controlarse o regularse de forma sencilla y fiable. Aparte de esto se pretende proporcionar también un procedimiento adecuado para controlar el cojinete radial magnético.

Esta tarea es resuelta conforme a la invención mediante un cojinete radial magnético con

- un estátor que presenta una primera bobina, una segunda bobina, una tercera bobina y una cuarta bobina, de las que la primera bobina y la tercera bobina están enfrentadas sobre un primer eje, así como la segunda y la cuarta bobina sobre un segundo eje, y con
- 35 - una instalación de excitación para excitar las bobinas del estátor con una corriente trifásica, que presenta las fases U, V y W, en donde
 - para controlar el primer eje
 - una primera conexión de la segunda bobina y una primera conexión de la cuarta bobina están unidas a la fase U,
 - una segunda conexión de la segunda bobina a la fase W y
 - 40 • una segunda conexión de la cuarta bobina a la fase V,
 - para controlar el segundo eje
 - una primera conexión de la primera bobina y una primera conexión de la tercera bobina están unidas a la fase U,
 - una segunda conexión de la primera bobina a la fase W y

- una segunda conexión de la tercera bobina a la fase V,
 - las amplitudes de las corrientes de las fases U, V y W están valoradas en cada caso con una función sinusoidal con un desplazamiento de fase mutuo de 120° , y
- 5 - la excitación mediante la instalación de excitación para cada uno de los ejes se realiza en cada caso en un punto de trabajo variable, que fija el valor para la valoración de las amplitudes para las diferentes fases, de forma correspondiente a la respectiva función sinusoidal.
- Aparte de esto, conforme a la invención se proporciona un procedimiento para controlar un cojinete radial magnético con un estátor que presenta una primera bobina, una segunda bobina, una tercera bobina y una cuarta bobina, de las que la primera bobina y la tercera bobina están enfrentadas sobre un primer eje, así como la segunda y la cuarta bobina sobre un segundo eje, mediante
- 10 - la excitación de las bobinas del estátor con una corriente trifásica, que presenta las fases U, V y W, en donde
- para controlar el primer eje
 - una primera conexión de la segunda bobina y una primera conexión de la cuarta bobina están unidas a la fase U,
 - una segunda conexión de la segunda bobina a la fase W y
- 15 • una segunda conexión de la cuarta bobina a la fase V,
- para controlar el segundo eje
 - una primera conexión de la primera bobina y una primera conexión de la tercera bobina están unidas a la fase U,
 - una segunda conexión de la primera bobina a la fase W y
 - una segunda conexión de la tercera bobina a la fase V,
- 20 - las amplitudes de las corrientes de las fases U, V y W están valoradas en cada caso con una función sinusoidal con un desplazamiento de fase mutuo de 120° , y
- la excitación mediante la instalación de excitación para cada uno de los ejes se realiza en cada caso en un punto de trabajo variable, que fija el valor para la valoración de las amplitudes para las diferentes fases, de forma correspondiente a la respectiva función sinusoidal.
- 25 Las bobinas del cojinete radial pueden excitarse de forma ventajosa trifásicamente, y puede conseguirse un número de polos muy bajo, precisamente el número de parejas de polos $p = 0$ para la excitación básica, respectivamente magnetización previa. El campo de atracción puede generarse con un número de parejas de polos $p = 1$. En total pueden conseguirse de este modo frecuencias de cambio de imantación muy bajas, de tal modo que las pérdidas por corrientes parásitas son correspondientemente reducidas.
- 30 El primer eje está situado de forma preferida perpendicularmente sobre el segundo eje. De esta manera pueden generarse fuerzas ortogonales, con las que el rotor puede sujetarse exactamente en el centro del estátor.
- En una forma de ejecución preferida se define para el punto de trabajo variable un margen de trabajo, que está situado entre dos valores límite que poseen una separación prefijada desde un valor angular, en donde el valor angular está asociado a un punto de corte de dos de las funciones sinusoidales. La limitación del punto de trabajo al
- 35 margen de trabajo garantiza que se generen siempre las fuerzas deseadas desde las diferentes bobinas.
- El margen de trabajo puede presentar en especial una extensión de $n/3$. Con esta extensión del margen de trabajo se obtienen siempre unas relaciones de fuerza claras de las bobinas.
- Asimismo es ventajoso que las bobinas del estátor sean en cada caso bobinas axiales, con relación al eje de rotación del cojinete radial. Esto tiene la ventaja de que el cojinete radial puede construirse de forma muy compacta.
- 40 Asimismo las bobinas del estátor deberían poseer el mismo sentido de bobinado. Por medio de esto la excitación puede configurarse más fácilmente.

Como ya se ha indicado antes, en una forma de ejecución preferida la excitación básica de las bobinas mediante la instalación de excitación puede ajustarse con un número de parejas de polos $p = 0$. Esto tiene la citada ventaja de unas pérdidas por corrientes parásitas reducidas.

5 Además de esto, con la instalación de excitación puede ajustarse una excitación de atracción de las bobinas con un número de parejas de polos $p = 1$. De este modo puede conseguirse, con un número de parejas de polos muy bajo, una fuerza en la dirección de uno de los ejes perpendicularmente al eje de rotación del rotor. Debido a que el número de parejas de polos es a su vez muy bajo, debe contarse con unas pérdidas por corrientes parásitas correspondientemente reducidas.

La presente invención se explica con más detalle con base en los dibujos adjuntos, en los que muestran:

10 la figura 1 una sección transversal a través de un cojinete radial magnético habitual;

la figura 2 una sección transversal a través de un cojinete radial magnético conforme a la invención;

la figura 3 un corte a lo largo de uno de los ejes X, Y a través del cojinete radial magnético de la figura 2;

la figura 4 un conexionado de las bobinas del cojinete radial magnético con excitación trifásica, y

la figura 5 una valoración de las corrientes de excitación de las tres fases.

15 Los ejemplos de ejecución explicados a continuación con más detalles representan formas de ejecución preferidas de la presente invención.

En el ejemplo de ejecución de la figura 2 se ha representado un cojinete radial magnético con un estator 4 y un rotor 3. El estator 4 posee una carcasa 5, que está configurada como un cilindro hueco. En el interior de la carcasa 5 se encuentran, arrimadas a la pared de carcasa o al menos formadas según la pared de carcasa, cuatro bobinas S1, S2, S3 y S4. En el caso de estas bobinas S1 a S4 se trata de axial-bobinas, respectivamente bobinas axiales. Esto significa que el eje de bobina discurre en paralelo al eje de cojinete (perpendicularmente al plano del dibujo de la figura 2). En la representación en corte de la figura 2, cada bobina S1 a S4 se extiende en un cuadrante dentro de la carcasa 5. Cada bobina se extiende casi por todos los 90° del respectivo cuadrante. Con ello en cada caso un segmento exterior y un segmento interior discurren concéntricamente a la carcasa 5. En el interior del cojinete se obtiene por medio de un espacio libre, en el que el rotor 3 puede moverse libremente. El rotor 3 posee aquí un árbol 6, que está circundado a modo de envuelta por una chapa 7. Entre el rotor 3 y el estator 4 se encuentra la rendija de cojinete, que supone normalmente de $2/10$ a $3/10$ mm.

20 Las bobinas S2 y S4 están enfrentadas sobre un primer eje X, que forma la bisectriz del segundo y del cuarto cuadrante y discurre a través del eje de cojinete. Aparte de esto las bobinas S1 y S3 están enfrentadas sobre un segundo eje Y, que forma la bisectriz del primer cuadrante y del tercer cuadrante y que discurre igualmente a través del eje de cojinete. De forma correspondiente a esto las bobinas S2 y S4 ejercen en primera línea unas fuerzas a lo largo del eje X, y las bobinas S1 y S3 en primera línea unas fuerzas sobre el eje Y.

35 En la figura 3 el cojinete radial magnético de la figura 2 se ha representado a lo largo de un corte axial a través del eje X o Y. En esta representación puede reconocerse bien el rotor con el árbol 6 y la chapa 7. Aquí puede reconocerse circundado por las bobinas S2 y S4. Simbólicamente en la figura 3 también se ha representado también el guiado de flujo 8 del flujo magnético. Según esto, el flujo magnético es guiado en dirección axial a través de la bobina y guiado de vuelta en sentido opuesto, por fuera de la bobina, a través de la chapa 7. Mediante las cuatro bobinas axiales puede materializarse un cojinete radial magnético con un árbol grueso 6 y una profundidad de chapa de rotor reducida así como una forma constructiva corta.

40 En el caso de esta forma constructiva es en especial posible un guiado de flujo axial con un número de polos mínimo. La magnetización previa puede generarse mediante un campo con el número de parejas de polos $p = 0$. Con ello repartidos sobre el perímetro se han dispuesto sólo polos norte N o polos sur S. Esto se ha indicado en la figura 3 con los símbolos N y S.

45 Si los polos sobre el perímetro se han marcado con la misma intensidad, esto se corresponde con una excitación básica sin fuerza de atracción. Si por el contrario se requiere una fuerza de atracción (debe tirarse del árbol 6 hacia arriba en contra de la fuerza de la gravedad), los polos en las bobinas S1 y S2 deben configurarse con más intensidad que los polos en las bobinas S3 y S4. Mediante esta configuración desigual de los polos se obtiene en el caso más bajo el número de parejas de polos $p = 1$. Con las mismas bobinas puede generarse tanto la excitación básica como la excitación de atracción.

A causa de los números bajos de parejas de polos se genera una frecuencia de cambio de imantación baja, de tal modo que las pérdidas por corrientes parásitas son correspondientemente reducidas. Aparte de esto, mediante el guiado de fluido axial se consigue una reducida profundidad de penetración.

5 Con base en las figuras 4 y 5 se explica a continuación cómo puede excitarse el cojinete radial magnético, para sujetar el rotor de forma estable en el estator. La figura 4 muestra para esto un conexionado de las bobinas S1 a S4. Cada una de las bobinas posee una primera conexión y una segunda conexión. Según esto, la primera bobina S1 tiene una primera conexión S1A y una segunda conexión S1B. La segunda bobina S2 tiene una primera conexión S2A y una segunda conexión S2B. La tercera bobina posee una primera conexión S3A y una segunda conexión S3B. Por último la cuarta bobina S4 presenta una primera conexión S4A y una segunda conexión S4B. Las bobinas S1 y S3 están enfrentadas sobre el segundo eje Y y las bobinas S2 y S4 sobre el primer eje X.

15 Conforme a la presente invención las bobinas S1 a S4 son excitadas por una corriente trifásica. Esta corriente posee las fases U, V y W. Para controlar o regular las fuerzas a lo largo del eje Y (segundo eje) las primeras conexiones S1A y S3A de la primera bobina S1 y de la tercera bobina S3 están unidas a la fase U. La segunda conexión S1B de la primera bobina S1 está unida a la fase W y la segunda conexión S3B de la tercera bobina S3 a la fase V. Análogamente para controlar o regular las fuerzas a lo largo del eje X (primer eje) las primeras conexiones S2A y S4A de la segunda bobina S2 y de la cuarta bobina S4 están unidas a la fase U, la segunda conexión S2B de la segunda bobina S2 a la fase W y la segunda conexión S4B de la cuarta bobina S4 a la fase V. De forma correspondiente a esto fluye por ejemplo en la bobina S1 una corriente I_W y desde la misma una corriente I_{U1} , en donde $I_W = I_{U1}$. En la bobina S3 fluye la corriente I_V y desde la misma la corriente I_{U2} , en donde $I_V = I_{U2}$. Desde las bobinas S1 y S3 fluye de este modo la corriente $I_U = I_{U1} + I_{U2}$. Si las corrientes I_V e I_W de las fases V y W son iguales, a través de todas las bobinas fluye la misma corriente. El rotor 3 es atraído después con la misma intensidad por las cuatro bobinas. Esto se corresponde con la excitación básica.

En la figura 5 se reproduce un diagrama de fases de las corrientes de las fases U, V y W. Conforme a la invención cada fase se valora de forma correspondiente a las funciones sinusoidales f_u , f_v , f_w allí representadas.

25 Esta valoración y una excitación correspondiente las realiza un dispositivo de excitación, que está conectado a las bobinas S1 y S4.

30 Para poder reconocer el recorrido sinusoidal de estas funciones f_u , f_v y f_w , se ha representado en cada caso un periodo entero ($2n$) de la función respectiva. Según esto se obtiene para un punto de trabajo determinado, que se corresponde con un ángulo φ , en cada caso un valor de corriente relativo I/I_0 . Las funciones sinusoidales f_u , f_v y f_w están desplazadas en fase mutuamente en cada caso 120° ($2n/3$).

35 Como se ha citado anteriormente, durante la excitación básica fluye a través de todas las bobinas la misma corriente. Según esto, fluye en especial en las conexiones S1B y S3B de las fases W y V la misma corriente. Sin embargo, esto significa que las funciones sinusoidales f_v y f_w deben cortarse en el punto de trabajo de la excitación básica. Al punto de corte está asociado en la figura 5 un punto de trabajo ag de la excitación básica. En este punto de trabajo ag se obtiene en cuanto a importe un máximo de la función de valoración o sinusoidal f_u de la fase U. El importe de la función f_u en este punto es el doble que el de las funciones f_v y f_w . De forma correspondiente a esto, la corriente de la fase U es el doble que el de la fase V o W. Básicamente la corriente de la fase U se corresponde siempre con la suma de las corrientes de las fases V y W, lo que se deduce directamente de la figura 4.

40 Alrededor del punto de trabajo ag de la excitación básica puede definirse un punto de trabajo ab . La extensión del margen de trabajo ab es por ejemplo $n/3$. Los valores límite o límites del margen de trabajo ab son según esto $ag \pm n/6$. En estos límites se ejerce una fuerza máxima en un sentido o en el sentido contrapuesto, con relación al eje X o al eje Y. Para la instalación de excitación es por lo tanto suficiente elegir el punto de trabajo (ángulo de excitación φ) en el margen de trabajo ab , para generar las fuerzas o contra-fuerzas necesarias. Esto es válido tanto para las fuerzas sobre el eje X como sobre el eje Y.

45 Esto puede aclararse de nuevo con base en un ejemplo: si en la fase W no fluye ninguna corriente (límite izquierdo del margen de trabajo ab), a través de la bobina S1 no fluye ninguna corriente. La corriente en las fase U y V es después igual pero contrapuesta. La bobina S1 no genera de este modo ningún campo, mientras que la bobina S3 produce un campo máximo. De forma correspondiente a esto el cojinete radial magnético atrae el rotor 3, conforme a la figura 2 sobre el eje Y, hacia abajo a la izquierda. Para todos los otros puntos de trabajo se aplica lo correspondiente.

55 La combinación conforme a la invención de un campo axial con una alimentación trifásica, en el caso de un cojinete radial magnético, resuelve los problemas fundamentales de tales cojinetes, en especial los de pérdidas por corrientes parásitas. En total un cojinete radial magnético de este tipo puede construirse de forma muy compacta. De este modo se reduce la separación al cojinete, y aumenta la frecuencia de oscilación por flexión de árbol. Aparte de esto pueden mantenerse muy reducidos los costes de producción.

REIVINDICACIONES

1. Cojinete radial magnético con
- un estator (4) que presenta una primera bobina (S1), una segunda bobina (S2), una tercera bobina (S3) y una cuarta bobina (S4), de las que la primera bobina (S1) y la tercera bobina (S3) están enfrentadas sobre un primer eje (Y), así como la segunda y la cuarta bobina sobre un segundo eje (X),
- 5 caracterizado por
- una instalación de excitación para excitar las bobinas del estátor con una corriente trifásica, que presenta las fases U, V y W, en donde
 - para controlar el primer eje (Y)
- 10
- una primera conexión (S2A) de la segunda bobina (S2) y una primera conexión (S4A) de la cuarta bobina (S4) están unidas a la fase U,
 - una segunda conexión (SB2) de la segunda bobina (S2) a la fase W y
 - una segunda conexión (S4B) de la cuarta bobina (S4) a la fase V,
 - para controlar el segundo eje (X)
- 15
- una primera conexión (S1A) de la primera bobina (S1) y una primera conexión (S3A) de la tercera bobina (S3) están unidas a la fase U,
 - una segunda conexión (S1B) de la primera bobina (S1) a la fase W y
 - una segunda conexión(S3B) de la tercera bobina (S3) a la fase V,
 - las amplitudes de las corrientes de las fases U, V y W están valoradas en cada caso con una función sinusoidal (fu, fv, fw) con un desplazamiento de fase mutuo de 120° , y
- 20
- la excitación mediante la instalación de excitación para cada uno de los ejes (X, Y) se realiza en cada caso en un punto de trabajo variable, que fija el valor para la valoración de las amplitudes para las diferentes fases, de forma correspondiente a la respectiva función sinusoidal.
- 25
2. Cojinete radial magnético según la reivindicación 1, en donde el primer eje (Y) está situado perpendicularmente sobre el segundo eje (X).
3. Cojinete radial magnético según la reivindicación 1 ó 2, en donde se define para el punto de trabajo variable un margen de trabajo (ab), que está situado entre dos valores límite que poseen una separación prefijada desde un valor angular (ag), en donde el valor angular está asociado a un punto de corte de dos de las funciones sinusoidales.
- 30
4. Cojinete radial magnético según la reivindicación 3, en donde el margen de trabajo (ab) presenta una extensión de $n/3$.
5. Cojinete radial magnético según una de las reivindicaciones anteriores, en donde las bobinas (S1 a S4) del estator (4) son en cada caso bobinas axiales, con relación al eje de rotación del cojinete radial.
6. Cojinete radial magnético según una de las reivindicaciones anteriores, en donde las bobinas (S1 a S4) del estator (4) poseen el mismo sentido de bobinado.
- 35
7. Cojinete radial magnético según una de las reivindicaciones anteriores, en donde con la instalación de excitación puede ajustarse una excitación básica de las bobinas con un número de parejas de polos cero.
8. Cojinete radial magnético según una de las reivindicaciones anteriores, en donde con la instalación de excitación puede ajustarse una excitación de atracción de las bobinas con un número de parejas de polos uno.
- 40
9. Procedimiento para controlar un cojinete radial magnético con un estator (4) que presenta una primera bobina (S1), una segunda bobina (S2), una tercera bobina (S3) y una cuarta bobina (S4), de las que la primera bobina y la

ES 2 495 421 T3

tercera bobina están enfrentadas sobre un primer eje (Y), así como la segunda y la cuarta bobina sobre un segundo eje (X), caracterizado por

- la excitación de las bobinas del estátor con una corriente trifásica, que presenta las fases U, V y W, en donde
 - para controlar el primer eje (Y)
- 5
- una primera conexión (S2A) de la segunda bobina (S2) y una primera conexión (S4A) de la cuarta bobina (S4) están unidas a la fase U,
 - una segunda conexión (S2B) de la segunda bobina (S2) a la fase W y
 - una segunda conexión (S4B) de la cuarta bobina (S4) a la fase V,
 - para controlar el segundo eje (X)
- 10
- una primera conexión (S1A) de la primera bobina (S1) y una primera conexión (S3A) de la tercera bobina (S3) están unidas a la fase U,
 - una segunda conexión (S1B) de la primera bobina (S1) a la fase W y
 - una segunda conexión (S3B) de la tercera bobina (S3) a la fase V,
- 15
- las amplitudes de las corrientes de las fases U, V y W están valoradas en cada caso con una función sinusoidal (f_u , f_v , f_w) con un desplazamiento de fase mutuo de 120° , y
 - la excitación para cada uno de los ejes (X, Y) se realiza en cada caso en un punto de trabajo variable, que fija el valor para la valoración de las amplitudes para las diferentes fases, de forma correspondiente a la respectiva función sinusoidal.

FIG 1
Estado de la técnica

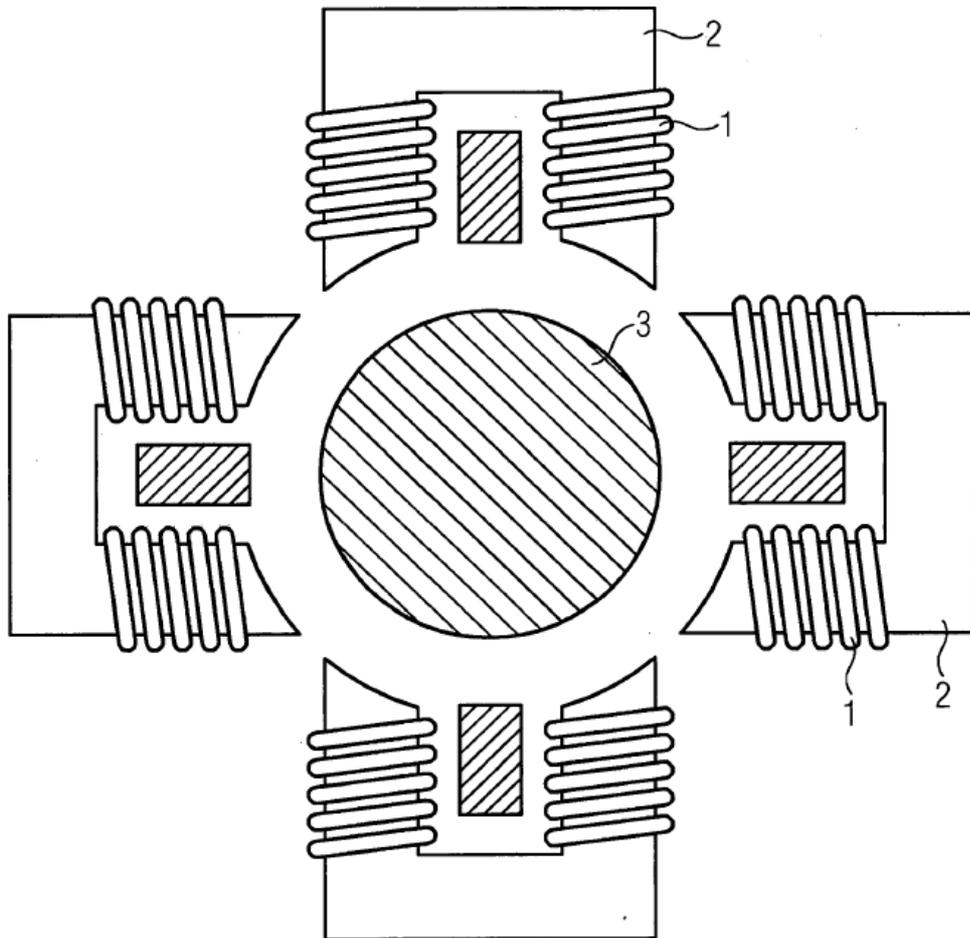


FIG 3

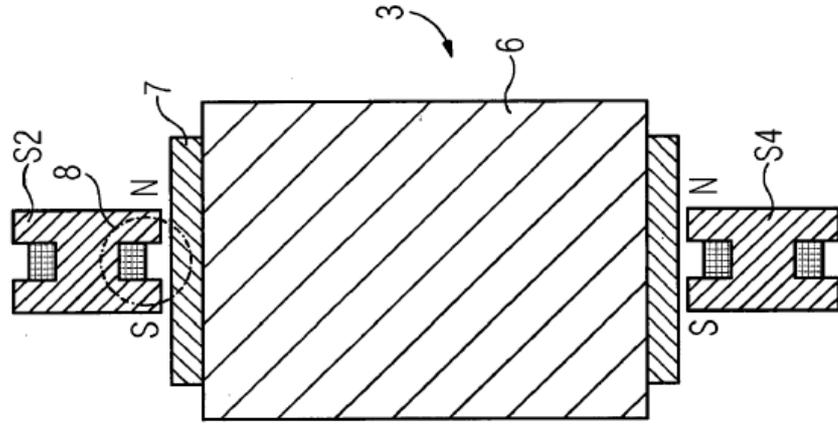


FIG 2

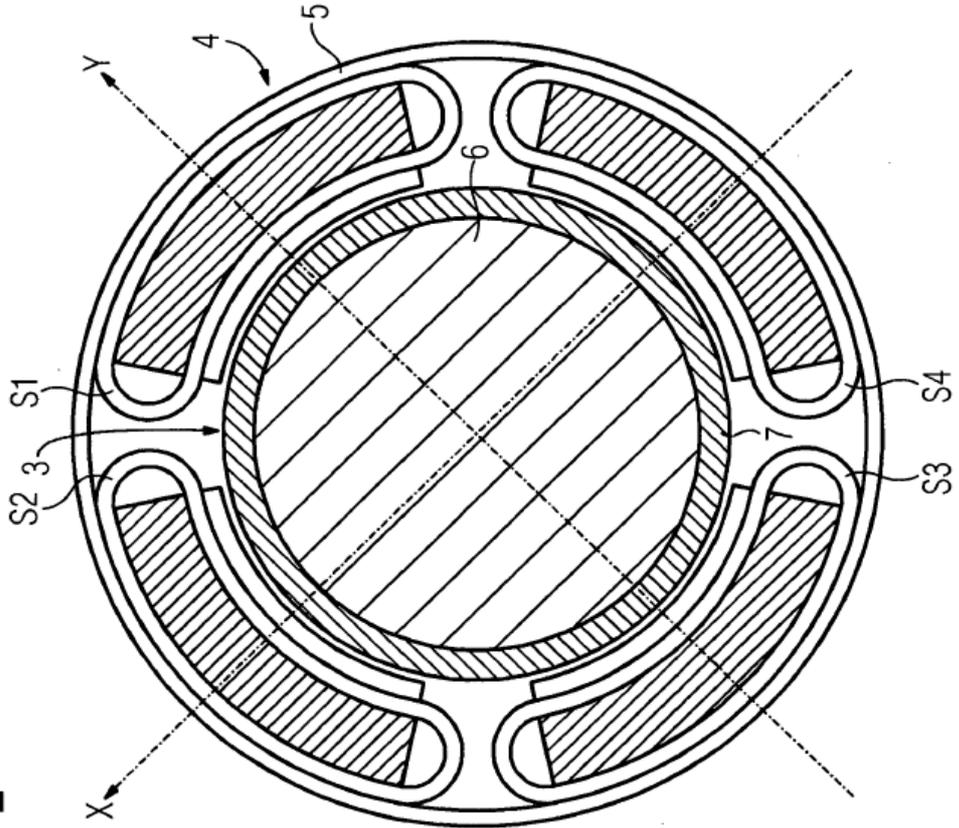


FIG 4

