(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 746 566**

(51) Int. CI.:

H02K 16/00 (2006.01)
H02K 16/04 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.04.2016 E 16167092 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2019 EP 3240162**

(54) Título: **Máquina eléctrica giratoria de doble estátor**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.03.2020

(73) Titular/es:

ABB SCHWEIZ AG (100.0%)
Brown Boveri Strasse 6
5400 Baden, CH

(72) Inventor/es:

CHEN, WENLIANG y
ISLAM, JAHIRUL

(74) Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

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

Máquina eléctrica giratoria de doble estátor

Campo técnico

La invención se refiere a una máquina eléctrica giratoria de doble estátor. Más en concreto, en realizaciones que aquí se muestran, las distancias medias de separación entre el rotor y los estátores son diferentes para reducir fuerzas radiales sobre el rotor.

Antecedentes

Las máquinas de doble estátor son máquinas eléctricas giratorias que se han estudiado ampliamente en los últimos 20 años debido tanto a la alta densidad de potencia como a la capacidad de proporcionar un funcionamiento redundante. A menudo se aplican imanes permanentes para proporcionar excitación del rotor en máquinas eléctricas de doble estátor.

Tal máquina eléctrica de múltiples estátores se describe, por ejemplo, en el documento WO 2016001495, que proporciona un motor electromagnético con flujo radial, destinado en particular a ayudar en la dirección asistida de un vehículo a motor. El motor comprende al menos dos estátores que rodean al menos un rotor, definiéndose un espacio de aire entre cada uno de los estátores y el rotor rodeado.

En FEI ZHAO ET AL: “Dual-stator Interior Permanent Magnet Vernier Machine Having Torque Density and Power Factor Improvement”, ELECTRIC POWER COMPONENTS AND SYSTEMS, (“Máquina Vernier de imán permanente interior de doble estátor que tiene densidad de par y mejora del factor de potencia”, COMPONENTES Y SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA) vol. 42, n.º 15, 18 de noviembre de 2014 (18 de noviembre de 2014), páginas 1717-1726, se presenta una topología mejorada para una máquina vernier de imán permanente de baja velocidad, denominada máquina vernier de imán permanente interior de doble estátor, para aumentar significativamente la densidad de par y el factor de potencia.

En las máquinas eléctricas giratorias, cuando existe una asimetría en el espacio (tal como el espacio de aire) entre el rotor y el estátor, las fuerzas se aumentan enormemente a lo largo de una dirección radial de la máquina. La razón de la asimetría puede ser imprecisiones de fabricación de las dimensiones del estátor o del rotor, o desgaste de los cojinetes. Tal fuerza puede ser un gran problema para la máquina y puede causar más daños y fallas en la máquina, y/o un sobredimensionamiento de componentes costoso y que ocupa mucho espacio.

Breve descripción

Es un objeto reducir los efectos negativos debidos a asimetrías en máquinas eléctricas giratorias de múltiples estátores.

Según un primer aspecto, se proporciona una máquina eléctrica giratoria de múltiples estátores que comprende: un estátor interno; un estátor externo; un rotor previsto radialmente entre el estátor interno y el estátor externo; una distancia de separación interna entre el rotor y el estátor interno; y una distancia de separación externa entre el rotor y el estátor externo. Un promedio de la distancia de separación interna es entre 75 y 80 por ciento de un promedio de la distancia de separación externa. Al proporcionar una separación interna que es más pequeña que la separación externa, la diferencia en las fuerzas radiales totales de los espacios se compensa, por lo que cualquier asimetría en los espacios se reduce, o incluso se elimina fundamentalmente por las fuerzas opuestas de los dos espacios. Esto reduce las fuerzas perjudiciales en la máquina eléctrica, lo que reduce los requisitos de dimensionamiento y, por tanto, el coste de la máquina eléctrica.

La distancia media de separación interna puede cumplir la siguiente ecuación:

$$(d(F_tot)) / d\delta_i = 0,$$

donde F_tot representa la fuerza radial total.

La distancia media de separación externa cumple la siguiente ecuación:

$$(d(F_tot)) / d\delta_o = 0,$$

donde F_tot representa la fuerza radial total.

En general, todos los términos utilizados en las reivindicaciones deben interpretarse de acuerdo con su significado común en el campo de la técnica, a menos que se defina explícitamente lo contrario en este documento. Todas las referencias a “un/uno/el elemento, aparato, componente, medio, etapa, etc.” deben interpretarse de manera amplia como referencia a, al menos, un ejemplo del elemento, aparato, componente, medio, etapa, etc., a menos que se señale explícitamente de otra manera. Las etapas de cualquier método descrito en este documento no tienen que realizarse en el orden exacto descrito, a menos que así se indique explícitamente.

Breve descripción de los dibujos

La invención se describe ahora, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un diagrama esquemático en sección transversal que ilustra una máquina eléctrica de múltiples estátores según una realización;

La figura 2 es una ampliación parcial del diagrama en sección transversal de la figura 1;

La figura 3 es un diagrama esquemático en sección transversal que se centra en el rotor de la máquina eléctrica de múltiples estátores de la figura 1 de acuerdo con una realización;

La figura 4 es un gráfico esquemático que ilustra fuerzas radiales en un rotor en las dos situaciones en las que las dos distancias medias de separación son iguales y cuando la distancia media de separación interna es menor que la distancia media de separación externa; y

La figura 5 es un gráfico esquemático que ilustra la fuerza radial total sobre el rotor de la máquina eléctrica de la figura 1 en las dos situaciones diferentes de la figura 4.

Descripción detallada

La invención se describirá a partir de ahora más detalladamente con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran algunas realizaciones de la invención. Sin embargo, esta invención puede realizarse de muchas formas diferentes y no debe interpretarse como limitada a las realizaciones expuestas en el presente documento; más bien, estas realizaciones se proporcionan a modo de ejemplo para que esta divulgación sea exhaustiva y completa, y comunique completamente el ámbito de aplicación de la invención a los expertos en la materia. Los números iguales se refieren a los mismos elementos en toda la descripción.

Las realizaciones que se presentan en el presente documento se refieren a máquinas eléctricas giratorias de múltiples estátores (tales como motores y generadores), en donde la distancia de separación interna es menor que la distancia de separación externa. Como se muestra a continuación, esto da como resultado una mejor coincidencia de fuerzas opuestas que aparecen debido a las asimetrías en la distancia de separación interna y externa. Por lo tanto, se reducen fuerzas radiales perjudiciales en el rotor debidas a asimetrías.

La figura 1 es un diagrama esquemático en sección transversal que ilustra una máquina eléctrica de múltiples estátores 1 según una realización. La máquina eléctrica 1 puede funcionar como un motor y/o un generador. El diagrama está a lo largo de un plano x-y. La máquina 1 comprende tanto un estátor interno 10a como un estátor externo 10b. Un rotor 11 está previsto radialmente entre el estátor interno 10a y el estátor externo 10b. De ese modo, existe una distancia de separación interna δ_i entre el rotor 11 y el estátor interno 10a y una distancia de separación externa δ_o entre el rotor 11 y el estátor externo 10b. De manera apreciable, un promedio de la distancia de separación interna δ_i está entre 75 y 80 por ciento de un promedio de la distancia de separación externa δ_o. Las distancias de las separaciones se miden aquí como distancias radiales. Las separaciones pueden ser espacios de aire; sin embargo, las separaciones podrían contener alternativamente cualquier otro fluido adecuado. Debido a que tiene tanto la separación interna como la separación externa, la máquina eléctrica de múltiples estátores 1 puede estar compuesta de dos máquinas eléctricas. Se proporciona una máquina interna que usa el estátor interno y el rotor y se proporciona una máquina externa que usa el estátor externo y el rotor. Las dos máquinas pueden funcionar en cierto modo de forma independiente, lo que proporciona redundancia, aunque con un rendimiento reducido, por ejemplo, si un estátor fallara.

Los inventores han descubierto que el intervalo de 75 a 80 es óptimo en muchas máquinas eléctricas giratorias para equilibrar las fuerzas radiales opuestas interna y externa en caso de asimetría. Si el porcentaje es inferior al 75 por ciento, la fuerza radial interna puede dominar y si el porcentaje es superior al 80 por ciento, la fuerza radial externa puede dominar.

La figura 2 es una ampliación parcial del diagrama en sección transversal de la figura 1. Aquí, se muestran dientes de estátor 16 tanto del estátor interno 10b como del estátor externo 10b, junto con una ranura de estátor 15 resultante, donde se pueden proporcionar devanados de estátor. El rotor 11 comprende imanes permanentes 19 fijados a un yugo de rotor 18.

La figura 3 es un diagrama esquemático en sección transversal que se centra en el rotor de la máquina eléctrica de múltiples estátores 1 de la figura 1 de acuerdo con una realización. El diagrama está a lo largo del plano x-y.

El rotor 11 tiene un diámetro interno D_{s_i} y un diámetro externo D_{s_o}. Como se explica con más detalle a continuación, hay una fuerza radial interna 20a dirigida hacia el centro de la máquina 1, así como una fuerza radial externa 20b en la dirección opuesta, dirigida en dirección opuesta al centro de la máquina 1.

Las fuerzas en el rotor 11 y su relación con las distancias de separación δ_i y δ_o se explicarán ahora con más detalle con referencias a las figuras 1 a 3.

En máquinas eléctricas convencionales, existen fuerzas a lo largo de las direcciones radiales que atraen al estátor y al rotor entre sí, causadas por la asimetría de la distancia de separación. La razón de esta asimetría se debe en gran parte a errores de fabricación de las dimensiones del estátor o del rotor, o al desgaste de los cojinetes. El valor de esta fuerza se calcula de acuerdo con [1]:

$$f_r(\delta,t,\gamma)=\frac{1}{2\mu_0}\left(B(\delta,t,\gamma)_r^2-B(\delta,t,\gamma)_t^2\right)*\frac{D_s}{2}*l*d\gamma \qquad [1]$$

donde μ_0 es la permeabilidad del aire, B_r y B_t son las densidades de flujo radial y tangencial, respectivamente, en función del tiempo y el ángulo radial (y de la distancia de separación como se explica a continuación), D_s es el diámetro mínimo de separación, l es la longitud activa de la máquina de doble estátor, δ es la distancia de separación, γ es la posición angular del rotor en el intervalo de 0 a 2π radianes. A una distancia de separación menor, la densidad de flujo aumenta y, en consecuencia, la fuerza electromagnética radial aumenta en comparación con distancias de separación mayores, y viceversa.

En máquinas eléctricas 1 con más de una separación, como se muestra en las figuras 1 y 2, la fuerza radial electromagnética impuesta al cuerpo de rotor es la suma de fuerzas de los estátores interno y externo. En particular, la dirección de la fuerza radial externa desde el estátor externo es opuesta a la fuerza radial interna del estátor interno.

$$f_{r_o}(\delta_o,t,\gamma)=\frac{1}{2\mu_0}\left(B(\delta_o,t,\gamma)_{r_o}^2-B(\delta_o,t,\gamma)_{t_o}^2\right)*\frac{D_{s_o}}{2}*l*d\gamma \qquad [2]$$

$$f_{r_i}(\delta_i,t,\gamma)=\frac{1}{2\mu_0}\left(B(\delta_i,t,\gamma)_{r_i}^2-B(\delta_i,t,\gamma)_{t_i}^2\right)*\frac{D_{s_i}}{2}*l*d\gamma \qquad [3]$$

La ecuación [2] presenta la fuerza radial externa 20b f_{r_o} y la ecuación [3] presenta la fuerza radial interna 20a f_{r_i}.

Las direcciones de dos fuerzas radiales individuales 20a, 20b se pueden ver en la figura 3. Considerando el hecho de que D_{s_o} es mayor que D_{s_i}, la fuerza total, que es la suma de estas dos fuerzas 20a, 20b, está en la misma dirección que la fuerza procedente del estátor externo, con el valor de $f_{r_o}(\delta_o, t, \gamma) - f_{r_i}(\delta_i, t, \gamma)$.

Una función de optimización puede derivarse de las ecuaciones [2] y [3] para minimizar la fuerza total en función de la distancia de separación externa, la distancia de separación interna, como se presenta en [4].

$f_{tot} = f_{r_o}(\delta_o, t, \gamma) - f_{r_i}(\delta_i, t, \gamma) = F(\delta_i, \delta_o, D_{s_i}, D_{s_o}, l)$ [4]

Las funciones de restricción más fundamentales son que los pares de dos máquinas individuales se mantienen igual que los diseños de referencia.

$T_{tot} = T_{r_o}(\delta_o) + T_{r_i}(\delta_i) = T_{nominal}$ [5]

A partir de [4] y [5], se selecciona un nuevo conjunto de distancias de separación internas y externas δ_i, δ_o para mantener constante la potencia de salida mientras se reducen las fuerzas electromagnéticas radiales durante una falla de excentricidad.

Una selección óptima de la selección de distancia de separación interna cumpliría la ecuación [6]:

$(d(F_tot)) / d\delta_i = 0$ [6]

Alternativa o adicionalmente, la selección óptima de la selección de distancia de separación externa cumpliría por tanto la ecuación [7]:

$(d(F_tot)) / d\delta_o = 0$ [7]

Si bien es preferible reducir la distancia de separación interna como se explica a continuación, se puede lograr el mismo efecto en fuerzas ajustando la distancia de separación externa. En particular, la distancia media de separación de la máquina externa es mayor que la distancia en la máquina interna. En una realización, δ_o = 4 mm y δ_i = 2 mm. En otra realización, δ_o = 6,5 mm y δ_i = 5 mm.

La figura 4 es un gráfico esquemático que ilustra fuerzas radiales en un rotor en las dos situaciones en las que las dos distancias medias de separación son iguales y la distancia media de separación interna es menor que la distancia media de separación externa.

El eje vertical representa la fuerza electromagnética radial en Newtons y el eje horizontal representa la posición angular en grados.

Una línea recta discontinua 29 representa la fuerza radial total cuando no hay excentricidad.

Las otras líneas son trazos en la situación asimétrica en la que hay una excentricidad del 50 por ciento. De estas, las líneas continuas 30a, 31a y 32a se refieren a una situación en la que la distancia media de separación interna δ_i es (sustancialmente) igual a la distancia media de separación externa δ_o. Las líneas punteadas 30b, 31b y 31c se refieren a una situación en la que la distancia media de separación interna δ_i es menor que la distancia media de separación externa δ_o.

En concreto, la línea continua más baja 31a representa la fuerza radial interna, la línea continua media 32a representa la fuerza radial externa y la línea continua superior 30a representa la fuerza radial total, todo referente a la situación en la que la distancia media de espacio interno δ_i es (sustancialmente) igual a la distancia media de separación externa δ_o. Más baja, media y superior, cuando se refiere a las fuerzas de la figura 4, se refiere a la posición relativa de un eje central de la variación sinusoidal, es decir, el nivel medio de cada fuerza.

Además, la línea punteada más baja 31b representa la fuerza radial interna, la línea punteada media 32b representa la fuerza radial externa y la línea punteada superior 30b representa la fuerza radial total, todo referente a la situación en la que la distancia media de separación interna δ_i es menor que la distancia media de separación externa δ_o.

De manera apreciable, la amplitud de la fuerza radial total 30b es menor para la situación en la que la distancia media de separación interna δ_i es menor que la distancia media de separación externa δ_o. Esto reduce significativamente la tensión mecánica en componentes de la máquina eléctrica en comparación con la situación en la que la distancia media de separación interna δ_i es igual a la distancia media de separación externa δ_o.

Hay dos modos de lograr que la distancia media de separación interna δ_i sea menor que la distancia media de separación externa δ_o. En comparación con una máquina en la que la distancia de separación es la misma, la distancia de separación interna δ_i puede reducirse y/o la distancia de separación externa δ_o puede aumentarse. Una forma de facilitar el mantenimiento de las dimensiones externas de la máquina es reducir la distancia de separación interna δ_i.

La estructura de rotor de máquina interna es relativamente más rígida en comparación con la máquina externa, donde es más probable que los imanes se alejen del rotor debido a la fuerza centrífuga. Por lo tanto, cualquier capa de protección gruesa (fibra de vidrio, fibra de carbono, etc.) prevista en una máquina en la que la distancia de separación es la misma se puede quitar o reducir en muchos casos para reducir así la separación interna δ_i. Además de reducir las fuerzas radiales en una situación de asimetría, esta solución también reduce la cantidad de imanes permanentes que se necesitan para un flujo determinado y un par resultante.

Por ejemplo, aquí se usa un ejemplo de una máquina de doble estátor 5 MW como ilustración. En un diseño en el que la distancia de separación es la misma, la distancia de separación externa es de 6,5 mm para ambas distancias de separación δ_o y δ_i.

Cuando la distancia de separación interna se reduce a 5 mm, la eficiencia y el factor de potencia son casi iguales al diseño en el que la distancia de separación es la misma solamente precisando que los imanes pesen aproximadamente el 86 % del diseño en el que la distancia de separación es la misma. Por lo tanto, esta realización no solo proporciona una situación con fuerzas radiales reducidas en una situación asimétrica, sino que el peso del imán también se reduce en un 14 %.

La figura 5 es un gráfico esquemático que ilustra la fuerza radial total en el rotor de la máquina eléctrica de la figura 1 en las dos situaciones diferentes de la figura 4. El eje horizontal representa la posición angular en grados y el eje vertical representa la fuerza radial total en MN.

La línea continua 40 representa la fuerza radial total cuando la distancia media de separación interna δ_i es (sustancialmente) igual a la distancia media de separación externa δ_o. La línea discontinua 41 representa la fuerza radial total cuando la distancia media de separación interna δ_i es menor que la distancia media de separación externa δ_o. Es evidente que la situación en la que la distancia media de separación interna δ_i es menor que la distancia media de separación externa δ_o, el resultado es un caso en el que el rotor es sometido a una fuerza radial total significativamente menor.

Aunque las realizaciones se presentan en el presente documento en el contexto de una máquina de doble estátor, los mismos principios son aplicables para máquinas con tres o más estátores.

Anteriormente, la invención se ha descrito principalmente con referencia a algunas realizaciones. Sin embargo, como puede apreciar fácilmente un experto en la materia, son igualmente posibles otras realizaciones distintas de las descritas anteriormente dentro del ámbito de aplicación de la invención, tal como se define en las reivindicaciones de patente adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Máquina eléctrica giratoria de múltiples estátores (1) que comprende:

un estátor interno (10a);

un estátor externo (10b);

un rotor (11) previsto radialmente entre el estátor interno (10a) y el estátor externo (10b);

una distancia de separación interna (δ_i) entre el rotor (11) y el estátor interno (10a);

y una distancia de separación externa (δ_o) entre el rotor (11) y el estátor externo (10b);

en donde un promedio de la distancia de separación interna (δ_i) es entre 75 y 80 por ciento de un promedio de la distancia de separación externa (δ_o).

2. Máquina eléctrica giratoria de múltiples estátores (1) según la reivindicación 1, en la que el promedio de la distancia de separación interna (δ_i) cumple la siguiente ecuación:

$$(d(F_tot)) / d\delta_i = 0,$$

donde F_tot representa la fuerza radial total.

3. Máquina eléctrica giratoria de múltiples estátores (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el promedio de la distancia de separación externa (δ_o) cumple la siguiente ecuación:

$$(d(F_tot)) / d\delta_o = 0,$$

donde F_tot representa la fuerza radial total.

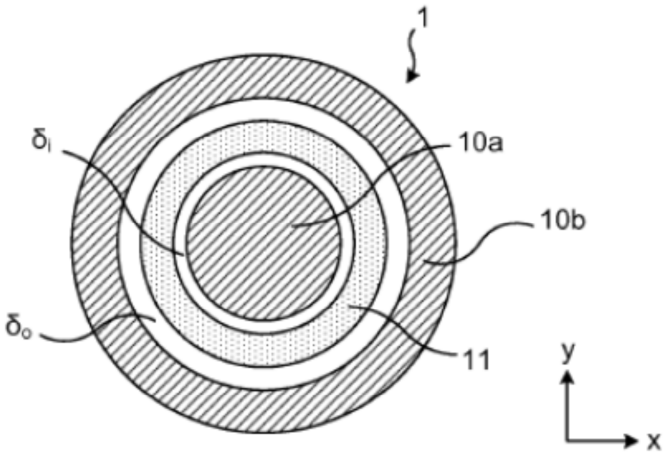


Fig. 1

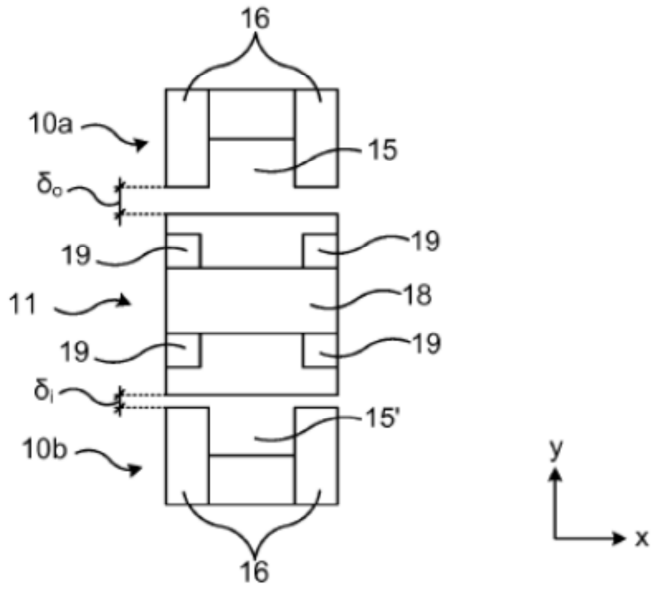


Fig. 2

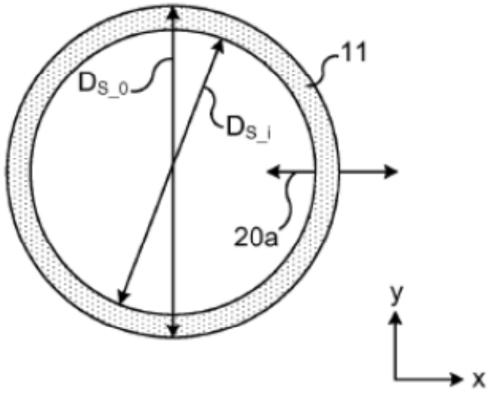

11
D_{S_0}
D_{S_i}
20a
y
x

Fig. 3

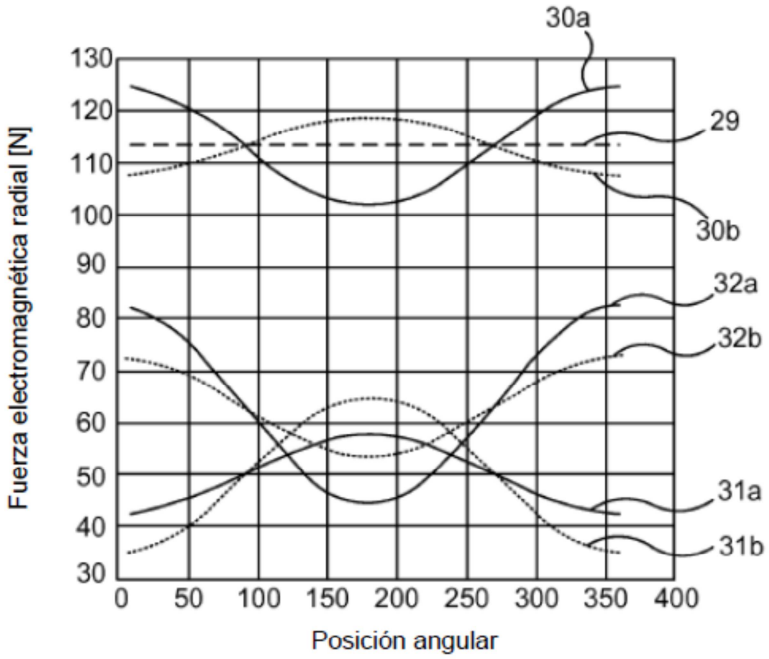

30a
29
30b
32a
32b
31a
31b
Fuerza electromagnética radial [N]
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
0
50
100
150
200
250
300
350
400
Posición angular

Fig. 4

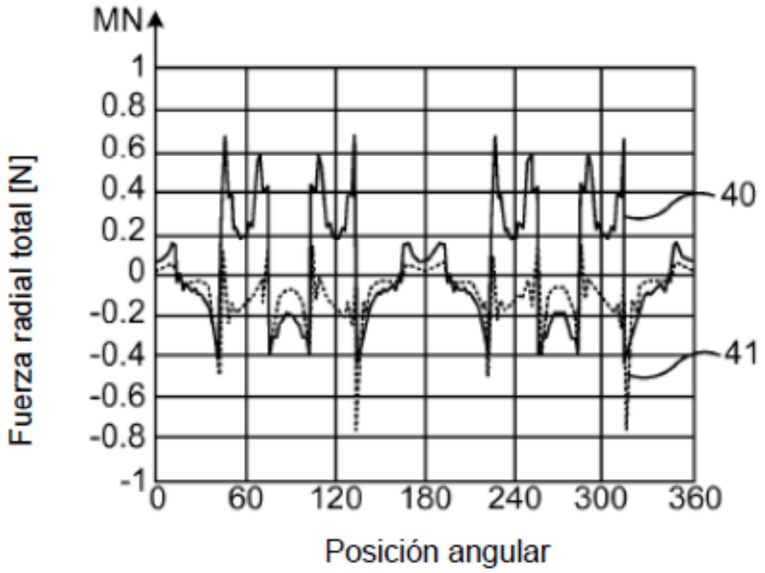

MN
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
0
60
120
180
240
300
360
Fuerza radial total [N]
Posición angular
40
41

Fig. 5