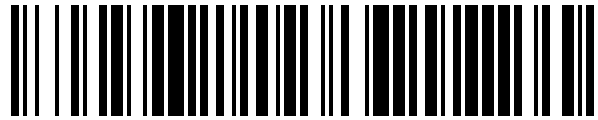


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **1 245 636**

21 Número de solicitud: 202030159

51 Int. Cl.:

H02K 41/03 (2006.01)

12

SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

U

22 Fecha de presentación:

29.01.2020

30 Prioridad:

29.01.2019 EP 19382059

43 Fecha de publicación de la solicitud:

30.04.2020

71 Solicitantes:

**UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI (80.0%)
C/ Escorxador, s/n
43003 Tarragona ES y
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
(20.0%)**

72 Inventor/es:

**GARCÍA AMORÓS, Jordi y
ANDRADA GASCÓN, Pere**

74 Agente/Representante:

TORNER LASALLE, Elisabet

54 Título: **Actuador eléctrico de reluctancia híbrida**

ES 1 245 636 U

DESCRIPCIÓN

ACTUADOR ELÉCTRICO DE RELUCTANCIA HÍBRIDA

Campo técnico

La presente invención pertenece al campo de los actuadores eléctricos, y se refiere específicamente a un actuador de reluctancia híbrida bifásico diseñado para reducir los efectos causados por la aparición de una fuerza de oposición, como una fuerza de retención (en inglés *detent force*) o una fuerza de acoplamiento (en inglés *cogging force*) cuando dicho actuador es un actuador lineal o un par de retención o par de acoplamiento cuando dicho actuador es un actuador giratorio, lo que reduce el rendimiento de dicho actuador de reluctancia híbrida bifásica cuando está en funcionamiento, así como mejora la fuerza de empuje de un actuador de reluctancia híbrida convencional.

El término partes segmentadas utilizado en esta descripción para referirse a fases magnéticas, significa divididas en diferentes partes independientes.

Estado de la técnica

El uso de actuadores eléctricos ha aumentado sustancialmente en los últimos años, reemplazando otros sistemas de accionamiento convencionales, como los sistemas de accionamiento neumático o hidráulico, así como los accionamientos eléctricos combinados con sistemas de transmisión mecánica, en muchos campos industriales. El aumento en el uso de actuadores eléctricos se debe a que son más rentables ya que transforman la energía eléctrica en un movimiento o acción controlada predeterminada, que se puede gestionar con sistemas de control relativamente simples y baratos. Además, los actuadores eléctricos también son más limpios que ciertos actuadores alternativos disponibles en el mercado hoy en día, lo cual es un factor considerable a tener en cuenta en ciertos campos industriales.

Hay una amplia gama de diferentes actuadores eléctricos disponibles en el mercado hoy en día; sin embargo, la invención propuesta se puede clasificar como un motor paso a paso, específicamente un actuador eléctrico de reluctancia híbrida, también conocido comúnmente como motor de reluctancia híbrida (generalmente abreviado HRM).

Es de conocimiento común que un actuador eléctrico de reluctancia híbrida comprende un estátor (o parte fija) y un rotor (o parte móvil), y puede diseñarse de modo que dicho estátor rodee dicho rotor, en una primera configuración (también conocida como *inrunner*), o bien para que el rotor rodee al estátor, en una segunda configuración (también conocida como *outrunner*).

El uso de los términos parte móvil y parte fija generalmente se asocian comúnmente con actuadores lineales, mientras que los términos rotor y estátor se asocian comúnmente con

actuadores rotacionales o rotativos. Sin embargo, cualquier terminología puede usarse para cualquier tipo de actuador, con las mismas connotaciones.

Además, se sabe que tanto el estátor como el rotor tienen una pluralidad de polos, también denominados dientes, y que pueden incluir una pluralidad de bobinas y/o una pluralidad de
5 imanes permanentes, en donde dichas bobinas se enrollan alrededor de dichos polos o dientes, mientras que dichos imanes permanentes se insertan en ranuras o cavidades entre dichos polos o dientes.

La pluralidad de imanes permanentes se inserta en las ranuras o cavidades entre los polos del rotor o del estátor, con una disposición muy específica, de modo que los imanes
10 permanentes consecutivos en ranuras o cavidades consecutivas del rotor o el estátor están dispuestos entre polos alternando secuencialmente una posición de los polos magnéticos de los imanes permanentes. Por lo tanto, si se inserta un primer imán permanente en una primera ranura o cavidad del rotor con una primera orientación magnética, N-S o S-N, el siguiente imán permanente se insertará en una orientación de polo magnético opuesto, y así
15 sucesivamente hasta que todas las ranuras o cavidades entre los polos del rotor o estátor tengan un imán permanente. El uso de estos imanes permanentes aumenta la fuerza de empuje de dicho actuador de reluctancia híbrida.

Cabe señalar que el uso de otros tipos de imanes en lugar de imanes permanentes, como los electroimanes, debe considerarse una alternativa obvia para un experto en la materia.

20 Una de las principales desventajas de los motores de reluctancia híbrida (HRMs) es que tienen una relación fuerza-masa relativamente baja. La patente nº US 7,615,905 B2 resuelve el problema de presentar una relación fuerza-masa relativamente baja al incluir imanes permanentes. El motor eléctrico de reluctancia híbrida divulgado en dicha patente, comprende un estátor y un rotor, con una disposición de bobinas en el estátor y/o rotor, en
25 donde cada bobina tiene polos en oposición a los polos de una bobina adyacente, y con imanes permanentes en el estátor y/o rotor, cada uno con una disposición polar en paralelo con una disposición polar de una bobina respectiva, en el que cada imán permanente tiene polos en oposición a los polos de un imán permanente adyacente. Al energizar las bobinas, los flujos magnéticos de los imanes se combinan con los flujos magnéticos de las bobinas
30 en un entrehierro, para producir un flujo combinado de mayor par debido a la contribución del flujo de los imanes.

Sin embargo, debido a la inclusión de estos imanes permanentes, otra desventaja de los HRMs se manifiesta en forma de una fuerza de oposición (fuerza de acoplamiento o fuerza de retención en actuadores lineales o par de acoplamiento o par de retención en actuadores
35 giratorios), que aparece debido a la interacción entre los imanes permanentes y los polos o dientes alrededor de los cuales se han enrollado las bobinas o devanados, cuando una fase

eléctrica, o fases eléctricas, de dicho HRM no se energiza, tal como una fuerza de retención o fuerza de acoplamiento

Existen diferentes técnicas utilizadas para reducir el efecto que dicha fuerza de oposición pueda tener en un motor o actuador de reluctancia híbrida (HRM), tales como modificar la geometría y/o disposición (distribución) de los imanes permanentes (PM) en todo el HRM, como se describe en la Patente nº 7,615,905 B2, mediante el uso de técnicas tales como inclinación del PM, ajuste del ancho del PM, una disposición asimétrica de PM, usando sistemas de control, usando ranuras semicerradas o usando dientes auxiliares.

El documento DE19920309 describe un motor que comprende varias ranuras para disponer un devanado en un estátor que se extiende en su extensión, por el que un devanado de cada fase se enrolla de tal manera a través de cada ranura que la fase de un indicador de fase actual de cada ranura coincide con una fase de los grados eléctricos de cada una de las ranuras en la dirección de rotación del rotor. El estátor incluye varios inductores acoplados magnéticamente a una distancia fija entre ellos y los imanes permanentes del rotor son adyacentes a lo largo de una circunferencia.

El documento US2016087516 muestra un actuador rotativo-lineal que incluye un rotor y un estátor. El rotor incluye un eje de salida y realiza un movimiento lineal en una dirección axial y un movimiento giratorio en una dirección circunferencial. El estátor incluye un devanado de movimiento lineal, un devanado de movimiento giratorio y núcleos protuberantes. Los núcleos protuberantes sobresalen hacia un lado circunferencial interno de una dirección radial para oponerse al rotor. Los núcleos protuberantes están dispuestos en la dirección axial y en la dirección circunferencial y desplazados en la dirección axial para formar una línea circunferencial sesgada con respecto a una dirección en la que el rotor hace el movimiento giratorio.

El documento WO0219504 describe una máquina eléctrica que permite una alta densidad de potencia a altas frecuencias de inversión magnética, y que es fácil de producir. Para este fin, la parte primaria comprende bobinas, que, en la mayor parte de su longitud, discurren en una dirección de movimiento, y que están rodeadas en esta área en tres lados por material magnético blando. En la dirección del movimiento, al menos dos bobinas están dispuestas una detrás de la otra. Las bobinas de una fase diferente están dispuestas perpendiculares a la dirección del movimiento dentro de diferentes pistas de recorrido.

El documento JPH10174418 describe un motor lineal mediante la disposición de una pluralidad de unidades de estátor, en el que dos unidades de imán de un lado se oponen entre sí y los polos magnéticos están dispuestos, mientras que los pasos se desplazan uno con respecto al otro. Las unidades de estátor 21 y 22 tienen dos imanes de un lado 31A y 31B y 32A y 32B en la misma configuración, y una unidad de imán de un lado 31A tiene

núcleos de tipo C 41 y 43 en la misma configuración. Los núcleos de tipo C 41 forman polos magnéticos 511 y 512 con superficies de polos magnéticos paralelos y opuestos, y los núcleos de tipo C 43 en la misma forma están alineados en paralelo de modo que la distancia central del núcleo es 2P. Un imán permanente 7 está dispuesto entre los polos magnéticos 511, 522, 531, 542 y 512, 521, 532 y 541 de los núcleos de tipo C 41-44 y se fija a una mesa.

El objetivo de la presente invención concierne a un diseño mejorado de un actuador de reluctancia híbrida en el que el efecto de una fuerza de oposición (fuerza de retención o fuerza de acoplamiento) sea sustancialmente insignificante cuando la(s) fase(s) eléctrica(s) no estén energizadas, mientras que simultáneamente concorra un aumento de la relación fuerza/masa del actuador utilizando imanes permanentes

Breve descripción de la invención

El actuador eléctrico de reluctancia híbrida descrito en el presente documento comprende un rotor con una pluralidad de polos o dientes y un estátor con al menos una fase eléctrica y una pluralidad de polos o dientes, en el que dicho estátor rodea dicho rotor, usando una configuración *inrunner*. Se disponen una pluralidad de imanes permanentes en todas las ranuras o cavidades que se encuentran entre dicha pluralidad de polos del rotor, mientras que una pluralidad de bobinas o devanados se enrollan alrededor de cada uno de dichos polos del estátor.

En una realización particular, la presente invención es un actuador eléctrico de reluctancia híbrida bifásico de doble cara, en el que el estátor comprende dos fases eléctricas que están segmentadas, con cada fase eléctrica comprendiendo un primer segmento o segmento superior y un segundo segmento o segmento inferior en donde el primer segmento o segmento superior y el segundo segmento o segmento inferior de cada fase eléctrica del estátor están dispuestos uno frente al otro rodeando el rotor del actuador de reluctancia híbrida.

Preferiblemente, el primer y el segundo segmento de las dos fases del actuador de reluctancia híbrida bifásico son núcleos U laminados (también conocidos como núcleos C), aunque se pueden usar otras geometrías adecuadas para los segmentos del estátor, como los núcleos E.

Cada fase eléctrica del estátor del actuador de reluctancia híbrida es alimentada por un inversor Puente en H u otro dispositivo adecuado, que permite que cada fase eléctrica cambie entre una corriente positiva y una corriente negativa durante un cierto período de tiempo cuando la correspondiente fase eléctrica se energiza.

Con el fin de reducir sustancialmente el efecto que tiene una fuerza de oposición sobre el actuador de reluctancia híbrida descrito, es decir, una fuerza de retención o una fuerza de acoplamiento, según la propuesta de esta invención, se establece un desplazamiento predeterminado entre el primer segmento con respecto al segundo segmento de cada una de las dos fases del estátor, o viceversa.

El desplazamiento entre el primer y el segundo segmento de cada fase del estátor, es preferiblemente ajustable permitiendo que un usuario modifique las condiciones de trabajo del actuador eléctrico de reluctancia híbrida de acuerdo con diferentes aplicaciones.

Para determinar el desplazamiento óptimo entre el primer segmento o segmento superior con respecto al segundo segmento o segmento inferior de cada una de las dos fases eléctricas del estátor del actuador de reluctancia híbrida bifásico segmentado, o viceversa, los inventores han llevado a cabo un estudio que analiza cómo se comporta el actuador de reluctancia híbrida para diferentes valores de desplazamiento, y la fuerza de retención o de acoplamiento resultante que aparece cuando las fases eléctricas no se energizan para dichos valores de desplazamiento diferentes. Para determinar que un desplazamiento predeterminado de, preferiblemente, los segmentos inferiores o segundos de cada una de las fases primera y segunda del estátor con respecto a sus segmentos superiores o primeros estáticos asociados de cada fase, del actuador de reluctancia híbrida bifásico segmentado propuesto, reduce el efecto de una fuerza de oposición, como una fuerza de retención o de acoplamiento, se llevó a cabo una simulación del método de elementos finitos (FEM), para evaluar en qué condiciones el efecto de dicha fuerza de oposición se minimiza hasta que sea sustancialmente despreciable.

La simulación bidimensional de FEM se ha llevado a cabo utilizando un motor de reluctancia híbrida lineal bifásico convencional (2phase-LHRM), como se ve en la **FIG. 1a** y en la **FIG. 1b**, como un punto de partida en el que los primeros segmentos o segmentos superiores de cada fase eléctrica está alineados con los segundos segmentos o segmentos inferiores, respectivamente, por lo tanto, tienen un valor de desplazamiento igual a 0. A lo largo de dicha simulación FEM, el valor de desplazamiento entre los segundos segmentos o segmentos inferiores y los primeros segmentos o segmentos superiores se incrementa gradualmente.

Para esta simulación particular, el actuador de reluctancia híbrida lineal bifásico utilizado tiene las siguientes características, mostradas en la TABLA 1, en donde dichas dimensiones pueden verse referenciadas en la **FIG. 5)**

LHRM usado en análisis de elementos finitos			
B_s	7 mm	C_p	10 mm
C_s	9 mm	I_p	30 mm

I_s	7 mm	N	38
I_m	6.5 mm	d	1.4 mm
C_m	8.5 mm	N_{ph}	4
B_p	6 mm	$T_s=B_s+C_s$	16 mm

TABLA 1

Además, las condiciones establecidas utilizadas en la simulación de elementos finitos incluyen un rango de valores de desplazamiento, s , para los segmentos inferiores o segundos (B2, C2) de cada fase del estátor, en donde $s \in [0 \div 6 \text{ mm}]$ con un aumento de desplazamiento de $\Delta s = 1 \text{ mm}$ entre iteraciones, mientras que los segmentos superiores o primeros (B1, C1) permanecen en una posición fija o estática, y un rango de valores de posición del rotor, x , en donde $x \in [0 \div 32 \text{ mm}]$ con un aumento de $\Delta x = 0.5 \text{ mm}$ entre iteraciones.

Para determinar el valor de cambio, s , que minimiza la fuerza de retención o de acoplamiento, se determina una variación de flujo sinusoidal del entrehierro con respecto a la posición "x" del rotor usando las ecuaciones [1] a [4], que describen dicha variaciones de flujo para cada uno de los cuatro núcleos U, en donde dos núcleos U son el segmento superior e inferior de la primera fase (B1, B2 respectivamente) y los dos núcleos U restantes son el segmento superior e inferior de la segunda fase (C1, C2 respectivamente) del estátor.

La fuerza de retención (F_d) se obtiene al diferenciar la reluctancia magnética del entrehierro, $\mathcal{R}(x, s)$, obtenida en las ecuaciones [6-9], con respecto al valor de x y multiplicándolo por la mitad del cuadrado de flujo (ver ecuaciones [1-4]) como se ve en la ecuación [5]). Entonces, F_d se minimiza con respecto a la variable de desplazamiento, s , alcanzando una fuerza de acoplamiento mínima para $s = 4 \text{ mm}$.

20

$$\text{stator B} \begin{cases} \phi_{B1}(x, s) = B_r \cdot L_W \cdot C_m \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot x}{T_s}\right) [1] \\ \phi_{B2}(x, s) = B_r \cdot L_W \cdot C_m \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot (x + s)}{T_s}\right) [2] \end{cases}$$

$$\text{stator C} \begin{cases} \phi_{C1}(x, s) = B_r \cdot L_W \cdot C_m \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot \left(x - \frac{T_s}{2}\right)}{T_s}\right) [3] \\ \phi_{C2}(x, s) = B_r \cdot L_W \cdot C_m \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot \left(x - \frac{T_s}{2} + s\right)}{T_s}\right) [4] \end{cases}$$

$$F_d(x, s) = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^2 \phi_{Bi}(x, s)^2 \cdot \frac{\delta \mathcal{R}_{Bi}(x, s)}{\delta x} + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^2 \phi_{Ci}(x, s)^2 \cdot \frac{\delta \mathcal{R}_{Ci}(x, s)}{\delta x} [5]$$

Los valores \mathcal{R}_{B1} , \mathcal{R}_{B2} and \mathcal{R}_{C1} , \mathcal{R}_{C2} son las reluctancias magnéticas del entrehierro de los núcleos U B1, B2 and C1, C2 respectivamente. Se supone que estas reluctancias magnéticas se distribuyen cosinusoidalmente en el intervalo $x \in [0 \div 2 \cdot T_S]$, entre un valor mínimo \mathcal{R}_{min} , cuando el estátor y los polos del motor están alineados (ver **FIG. 1A**, la fase B1 está alineada con polos móviles), y un valor \mathcal{R}_{max} que se obtiene cuando los polos están en posición desalineada (véase la **FIG. 1A**, la fase C1 no está alineada con los polos móviles), por lo tanto:

$$stator\ B \left\{ \begin{array}{l} \mathcal{R}_{B1}(x, s) = \left(\frac{\mathcal{R}_{max} - \mathcal{R}_{min}}{2} \right) \cdot \left(1 - \cos \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{T_S} \right) \right) + \mathcal{R}_{min} \quad [6] \\ \mathcal{R}_{B2}(x, s) = \left(\frac{\mathcal{R}_{max} - \mathcal{R}_{min}}{2} \right) \cdot \left(1 - \cos \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot (x + s)}{T_S} \right) \right) + \mathcal{R}_{min} \quad [7] \end{array} \right.$$

$$10 \quad stator\ C \left\{ \begin{array}{l} \mathcal{R}_{C1}(x, s) = \left(\frac{\mathcal{R}_{max} - \mathcal{R}_{min}}{2} \right) \cdot \left(1 - \cos \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot \left(x - \frac{T_S}{2} \right)}{T_S} \right) \right) + \mathcal{R}_{min} \quad [8] \\ \mathcal{R}_{C2}(x, s) = \left(\frac{\mathcal{R}_{max} - \mathcal{R}_{min}}{2} \right) \cdot \left(1 - \cos \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot \left(x - \frac{T_S}{2} + s \right)}{T_S} \right) \right) + \mathcal{R}_{min} \quad [9] \end{array} \right.$$

Para corroborar este resultado, la fuerza de retención (F_d) también se calcula por medio de un FEM-2D usando un tensor de estrés de Maxwell. Los resultados de esta simulación muestran que la fuerza de retención mínima se obtiene para un desplazamiento, s , de aproximadamente 4 mm, como se ve en el gráfico de la **FIG. 4** que ilustra la fuerza de acoplamiento o de retención resultante, F_d (N), en función de la posición, x , del rotor para diferentes valores de desplazamiento, s . Como se ve en dicho gráfico, para un desplazamiento, s , de aproximadamente 4 mm, la fuerza de acoplamiento es prácticamente insignificante para todas las posiciones, x , del rotor.

20 De acuerdo con una realización particular de la presente invención, cuando el actuador de reluctancia híbrida es un motor de reluctancia híbrida lineal (LHRM), los segmentos de la primera fase y de la segunda fase del estátor están separados linealmente, opuestos entre sí rodeando el rotor y, por lo tanto, el desplazamiento entre el primer segmento o el segmento superior de la primera y segunda fases en relación con el segundo segmento o segmento inferior de la primera y segunda fases es un desplazamiento lineal a lo largo del rotor. El desplazamiento lineal se determina de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$s = \frac{B_s + C_s}{4}$$

en donde s representa el desplazamiento lineal entre los segmentos de cada una de las dos fases del estátor expresado en mm, B_s es el ancho del polo del rotor y C_s es el ancho de la ranura del rotor, y por lo tanto el desplazamiento, s , es un cuarto del paso del polo del rotor medido en milímetros.

- 5 Mientras que de acuerdo con otra realización particular de la presente invención, cuando el actuador de reluctancia híbrida es un motor de reluctancia híbrida rotacional, los segmentos de la primera fase y la segunda fase están separados radialmente, con los segmentos de cada fase opuestos entre sí, rodeando el rotor. Como tal, el desplazamiento entre el primer segmento de la primera y la segunda fase en relación con el segundo segmento de la
- 10 primera y la segunda fase es un desplazamiento angular. El desplazamiento angular se determina de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$s = \frac{B_s + C_s}{4}$$

- en donde s representa el desplazamiento angular, B_s es el ancho del polo del rotor y C_s es el ancho de la ranura del rotor y, por lo tanto, el desplazamiento, s , es un cuarto del paso del
- 15 polo del rotor medido en grados.

- En cualquiera de estas realizaciones, los primeros segmentos o segmentos superiores de cada fase generalmente permanecen en una posición fija y los segundos segmentos o segmentos inferiores de cada fase son los que se desplazan o se mueven desde su posición original, que estaba directamente opuesta a su primer segmento o segmento superior
- 20 asociado, a una distancia o ángulo predeterminado. Sin embargo, se podría obtener el mismo efecto moviendo los primeros segmentos o segmentos superiores de cada fase y manteniendo los segundos segmentos o segmentos inferiores de cada fase en una posición fija.

- El actuador eléctrico de reluctancia híbrida descrito en el presente documento está diseñado
- 25 para funcionar, pero no limitarse a, un generador, un motor, un freno electromagnético o una suspensión electromagnética. Otras aplicaciones no descritas en este documento deben considerarse obvias para un experto en la materia.

- Cabe señalar que, aunque en una realización preferida, el actuador de reluctancia híbrida descrito comprende dos fases eléctricas, una persona experta en la técnica consideraría
- 30 realizaciones alternativas que usan un estátor con una fase eléctrica (monofásico) o un estátor con más de dos fases, obvias y equivalentes en vista de la información aquí divulgada.

- Se entenderá que las referencias a la posición geométrica, como paralela, perpendicular, tangente, etc. permiten desviaciones de hasta $\pm 5^\circ$ de la posición teórica definida por esta
- 35 nomenclatura.

También se entenderá que cualquier rango de valores dados puede no ser óptimo en valores extremos y puede requerir adaptaciones de la invención a estos valores extremos aplicables, tales adaptaciones están al alcance de una persona experta.

Otras características de la invención aparecen a partir de la siguiente descripción detallada de una realización.

Breve descripción de las Figuras

Las ventajas y características anteriores y otras se entenderán más completamente a partir de la siguiente descripción detallada de una realización con referencia a los dibujos adjuntos, que se tomarán de manera ilustrativa y no limitativa, en los que:

- 10 - La **FIG. 1a** y la **FIG. 1b** ilustran el principio operativo de un motor convencional de reluctancia híbrida lineal (LHRM), conocido en el estado de la técnica, cuando una de sus fases eléctricas se alimenta con una corriente positiva y negativa, respectivamente;
- 15 - La **FIG. 2** muestra un gráfico que compara una fuerza de propulsión, F_x (N), generada por un motor de LHRM convencional que se muestra en la **FIG. 1a** y la **FIG. 1b**, así como un motor de reluctancia lineal conmutado LSRM (sin imanes permanentes), en función de la posición, x (mm) de un motor cuando cada una de sus fases se alimenta con una corriente positiva y negativa;
- 20 - La **FIG. 3** muestra un gráfico que compara la fuerza de propulsión total, F_x (N), generada por el motor del LHRM convencional y el LSRM del gráfico que se muestra en la **FIG. 2** para una excitación de secuencia de fase particular;
- La **FIG. 4** muestra un gráfico que ilustra una fuerza de oposición (de acoplamiento o retención) en función de la posición del rotor para diferentes valores de desplazamiento de un LHRM de dos fases;
- 25 - La **FIG. 5** indica parte de la información necesaria, específicamente dimensiones geométricas, de la LHRM de dos fases utilizada en la simulación FEM;
- La **FIG. 6** ilustra una realización de un actuador de reluctancia híbrida según esta invención en el que el actuador eléctrico de reluctancia híbrida realiza un movimiento lineal; y
- 30 - La **FIG. 7** ilustra una realización de un actuador de reluctancia híbrida según esta invención en el que el actuador eléctrico de reluctancia híbrida realiza un movimiento de rotación.

Descripción detallada de una realización

Las ventajas y características anteriores y otras se entenderán más completamente a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones citadas con referencia a los dibujos adjuntos, que se tomarán de manera ilustrativa y no limitativa, en los que:

Las **FIG. 1a** and **FIG. 1b**, ilustran el principio del funcionamiento y la configuración de un motor de reluctancia híbrida lineal convencional (LHRM), en el que los primeros segmentos o segmentos superiores (B1, C1) de cada fase (B, C) están alineados con los segundos segmentos o segmentos inferiores (B2, C2), respectivamente. Además, el LHRM se basa en la disposición de los imanes en el motor (o rotor), dispuestos de manera predeterminada como se describió anteriormente, estableciendo una conexión magnética entre los polos de cada fase del estátor con bobinas enrolladas alrededor de dichos polos de tal manera que solo hay una línea de flujo principal que conecta cada núcleo U magnético cuando está energizado.

Por ejemplo, en la **FIG. 1a**, la fase B (B1, B2) se alimenta con una corriente positiva, I_{B+} , cuando los polos están alineados, el bucle de flujo, representado por la línea de flujo Φ_{B+} , se deforma en la región del entrehierro debido a la presencia de imanes permanentes dispuestos en las ranuras o cavidades entre los polos del rotor, generando una fuerza de propulsión $F_{x,B+}$, que mueve el rotor hacia la izquierda.

Por otro lado, la **FIG. 1b** muestra el mismo LHRM en el que la fase B se alimenta con una corriente negativa, I_{B-} , el bucle de flujo, representado por la línea de flujo Φ_{B-} , también se deforma en la región del entrehierro debido a la presencia de imanes permanentes entre los polos del rotor, pero la fuerza de propulsión, $F_{x,B-}$, generada en este caso mueve el rotor en la dirección opuesta, es decir, hacia la derecha.

Este mismo principio de funcionamiento también es aplicable cuando la fase C (C1, C2) se energiza tanto con una corriente positiva, I_{C+} , como con una corriente negativa, I_{C-} .

Es importante señalar que solo hay una ruta de flujo por fase, y que las fases eléctricas B, C están desacopladas magnéticamente y, por lo tanto, el flujo generado por la fase B no se vincula o interactúa con la fase C, y viceversa, cuando cualquiera de las fases está energizada.

La gráfica mostrada en la **FIG. 2** ilustra una fuerza de propulsión, F_x (N), generada por un LHRM convencional bifásico, mostrado en la **FIG. 1a** y en la **FIG. 1b**, como una función de una posición, x (mm), del rotor para alimentar cada fase, B, C, con una corriente positiva y negativa secuencialmente. Esta gráfica también muestra la fuerza F_x (N), generada por un motor de reluctancia lineal conmutado convencional (LSRM), alimentando sus fases, B, C, con una corriente positiva. En el caso de un LSRM, cuando los polos se alinean no aparece una fuerza de oposición y la inversión fase-corriente no produce ninguna inversión de

fuerza, por lo tanto, la fuerza de propulsión resultante $F_x(N)$ generada por dicho LSRM es la misma que si se alimentara con tanto con una corriente positiva como negativa.

La gráfica mostrada en la **FIG. 3** describe una fuerza de propulsión pulsante positiva, $F_x(N)$, que se genera como resultado de energizar las fases eléctricas B, C del LHRM de la **FIG.**

5 **1a/b** con una secuencia particular así como alternando la polaridad de la corriente alimentada a dichas fases eléctricas, B, C, i.e. B+, C-, B-, C+, B+, C-,... utilizando un inversor Puente en H, en el que la posición inicial del rotor es $x=0$.

La gráfica mostrada en la **FIG. 3**, también describe una fuerza de propulsión pulsante positiva, $F_x(N)$, del LHRM utilizando la siguiente secuencia de excitación: B+, C+, B+,.... La

10 fuerza obtenida por el LHRM en comparación con la fuerza generada por el LSRM, es claramente mayor para todas las posiciones, x , y no hay posición, x , por lo que la fuerza es nula, como en el caso del LSRM.

La gráfica mostrada en la **FIG. 4** compara la fuerza de oposición resultante (de acoplamiento o retención) como una función de la posición del rotor, $x \in [0, 32]$, para diferentes valores de

15 desplazamiento, $s \in [0, 6]$, del LHRM bifásico utilizado en la simulación FEM, cuando ninguna de las fases B, C es energizada. La gráfica nos permite ver que la fuerza de retención o acoplamiento es sustancialmente despreciable para todas las posiciones, x , del rotor cuando el desplazamiento se establece a 4mm, entre el segundo segmento, B2, C2, y el primer segmento, B1, C1, de cada fase, B, C, del LHRM.

20 La **FIG. 6** ilustra una realización particular de motor eléctrico de reluctancia híbrida divulgado en la presente memoria, específicamente un motor eléctrico de reluctancia híbrida lineal que realiza un movimiento lineal, también conocido como Motor de Reluctancia Híbrida Lineal (LHRM).

El LHRM divulgado en la **FIG. 6** difiere del divulgado en las **FIGs. 1a y 1b** en que las fases

25 B, C mostradas en la **FIG. 6** tienen un desplazamiento, s , entre un primer segmento B1, C1 y un segundo segmento B2, C2, de ambas fases primera y segunda B, C respectivamente.

Por otro lado, la **FIG. 7** ilustra una realización particular de la invención divulgada, en la que el motor eléctrico de reluctancia híbrida es un motor eléctrico de reluctancia híbrida rotativo

30 que realiza un movimiento rotacional, y por lo tanto el desplazamiento, s , entre los primeros segmentos B1, C1 y los segundos segmentos B2, C2 de cada fase B o C se mide en ángulos.

Para las realizaciones descritas en la **FIG. 6** y **FIG. 7**, las bobinas 3 están devanadas alrededor de los polos de cada segmento, B1, B2, C1, C2, de cada fase, B, C, de un estátor

2 de un motor de reluctancia híbrida, mientras que el rotor 5 incluye una pluralidad de ranuras o cavidades entre sus polos, en los que se insertan imanes permanentes, 4.

Se entenderá que varias partes de una realización de la invención se pueden combinar libremente con partes descritas en otras realizaciones, incluso si dicha combinación no se describe explícitamente, siempre que no haya perjuicios en tal combinación.

Nomenclatura

	B_p	anchura del polo del estátor (m)
	B_s	anchura del polo del rotor (m)
	C_m	anchura del imán permanente (m)
10	C_p	anchura de la ranura del estátor (m)
	C_s	anchura de la ranura del rotor (m)
	F_x	empuje o fuerza de propulsión en la dirección x (N)
	F_d	fuerza de retención o acoplamiento (N)
	g	longitud de entrehierros (m)
15	H_c	coercividad del imán permanente (kA/m)
	B_r	remanencia del imán (T)
	h_y	altura del yugo del estátor (m)
	l_m	longitud del imán permanente (m)
	l_p	longitud del polo de estátor (m)
20	l_s	longitud del polo del rotor (m)
	L_w	longitud de la pila (m)
	m	número de fases
	N_{ph}	número de bobinas por fase
	Ψ	enlace de flujo (W_b)
25	s	desplazamiento (m)
	T_s	paso del polo del motor (m)
	x	posición del rotor (m)

REIVINDICACIONES

1. Un actuador eléctrico de reluctancia híbrida, que comprende:

- un rotor o parte móvil (5) con una pluralidad de polos (50) y con una pluralidad de imanes permanentes (4) y
- 5 - un estátor o parte fija (2) con una pluralidad de polos (20), que comprende al menos una fase (B, C),
- una pluralidad de bobinas (3) enrolladas alrededor de cada uno de dichos polos (20) del estátor (2),

en donde el estátor (2) rodea dicho rotor (5),

10 **caracterizado por que** la al menos una fase (B, C) está segmentada, y comprende una parte constitutiva de un primer segmento (B1, C1) y una parte constitutiva de un segundo segmento (B2, C2), ambas partes estando separadas entre sí y desacopladas magnéticamente,

en donde el primer segmento (B1, C1) y el segundo segmento (B2, C2) de la al menos una
15 fase del estátor (2) están opuestos entre sí y rodean al rotor (5); y

en el que hay un desplazamiento (s) entre dicho primer segmento (B1, C1) con respecto a dicho segundo segmento (B2, C2) de la al menos una fase (B, C) del estátor (2), o viceversa, de manera que se reduzca una fuerza de oposición como consecuencia de dicho desplazamiento (s),

20 en donde el desplazamiento (s) entre el primer segmento (B1, C1) y el segundo segmento (B2, C2), de cada fase (B, C) del estátor (2) se puede ajustar, permitiendo a un usuario modificar las condiciones de trabajo del actuador eléctrico de reluctancia híbrida de acuerdo con diferentes aplicaciones; y

en donde los imanes permanentes (4) están dispuestos entre los polos (50) del rotor (5) y a
25 una distancia Bs entre ellos, con una alternancia secuencia de una polaridad de los polos magnéticos de dichos imanes permanentes (4).

2. Actuador eléctrico de reluctancia híbrida según la reivindicación 1, en el que el estátor (2) comprende al menos una primera fase (B) y una segunda fase (C).

3. Actuador eléctrico de reluctancia híbrida según la reivindicación 2, en el que dicha al
30 menos una primera fase (B) y dicha segunda fase (C) del estátor (2) están separadas linealmente rodeando el rotor (5).

4. Actuador eléctrico de reluctancia híbrida según la reivindicación 3, en el que dicho desplazamiento (s) entre el primer segmento (B1, C1) de las fases primera y segunda (B, C)

con relación al segundo segmento (B2, C2) de las fases primera y segunda (B, C) es un desplazamiento lineal, y la magnetización es perpendicular a dicho desplazamiento lineal.

5. Actuador eléctrico de reluctancia híbrida según la reivindicación 4, en el que dicho desplazamiento lineal es un cuarto del paso del polo del rotor $((B_S+C_S)/4)$, medido en mm, 5 en el que B_S es la anchura del polo del rotor y C_S es la anchura de las ranuras del rotor.

6. Actuador eléctrico de reluctancia híbrida según la reivindicación 2, en el que dicha al menos una primera fase (B) y dicha segunda fase (C) están separadas radialmente rodeando al rotor (5).

7. Actuador eléctrico de reluctancia híbrida según la reivindicación 6, en el que dicho 10 desplazamiento (s) entre un segmento superior (B1, C1) de la fases primera y segunda (B, C) en relación a un segmento inferior (B2, C2) de las fases primera y segunda (B, C) es un desplazamiento angular, y la magnetización es radial.

8. Actuador eléctrico de reluctancia híbrida según la reivindicación 7, en el que dicho 15 desplazamiento angular es una cuarta parte del paso del polo del rotor $((B_S+C_S)/4)$ medido en grados, en donde B_S es la anchura del polo del rotor y C_S es la anchura de las ranuras del rotor.

9. Actuador eléctrico de reluctancia híbrida según la reivindicación 2, en el que la pluralidad de imanes permanentes (4) están dispuestos entre los polos del rotor (5), en donde los imanes permanentes consecutivos (4) están dispuestos entre los polos (50) alternando una 20 posición de los polos magnéticos de los imanes permanentes (4).

10. Actuador eléctrico de reluctancia híbrida según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho actuador es un generador, un motor, un freno electromagnético, o una suspensión electromagnética.

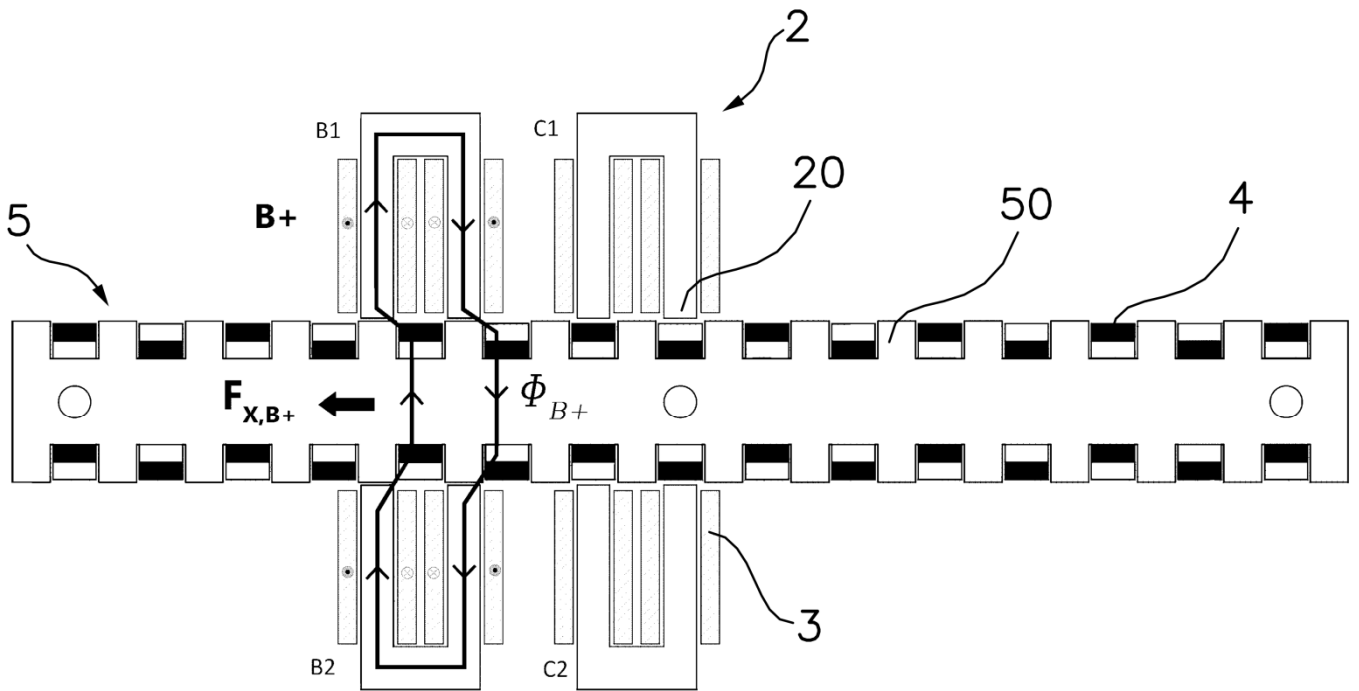


Fig. 1a

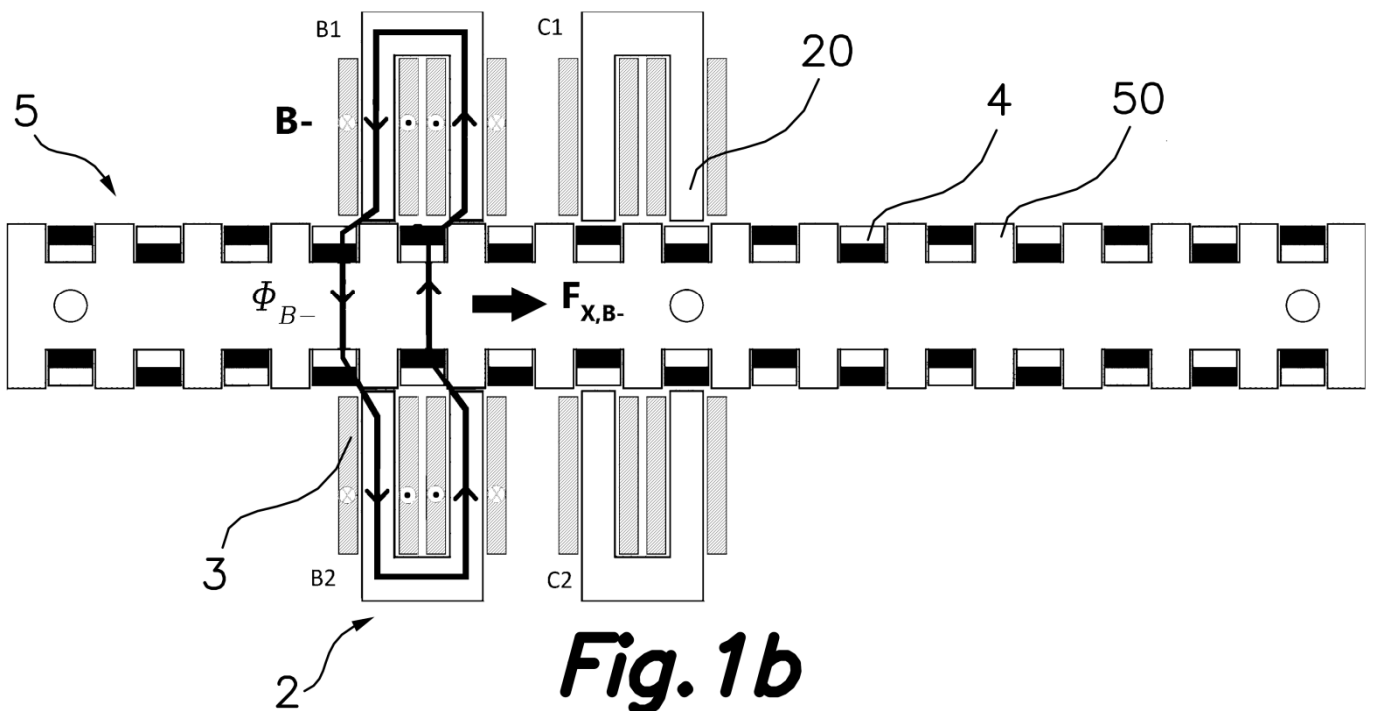


Fig. 1b

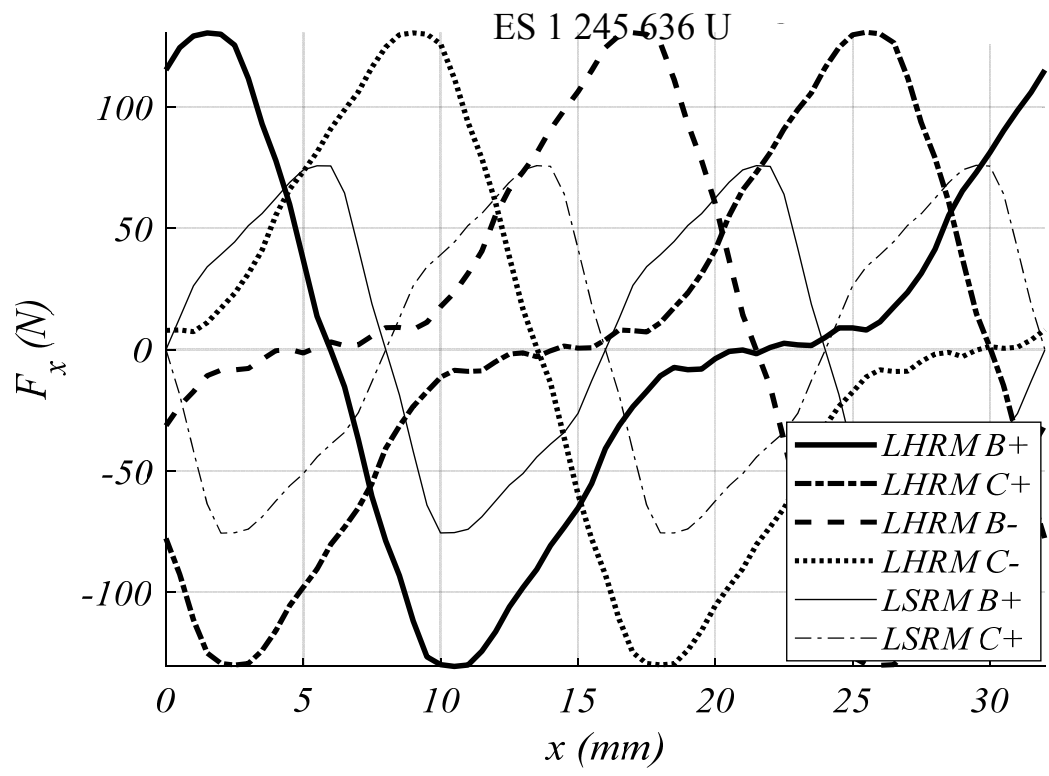


Fig.2

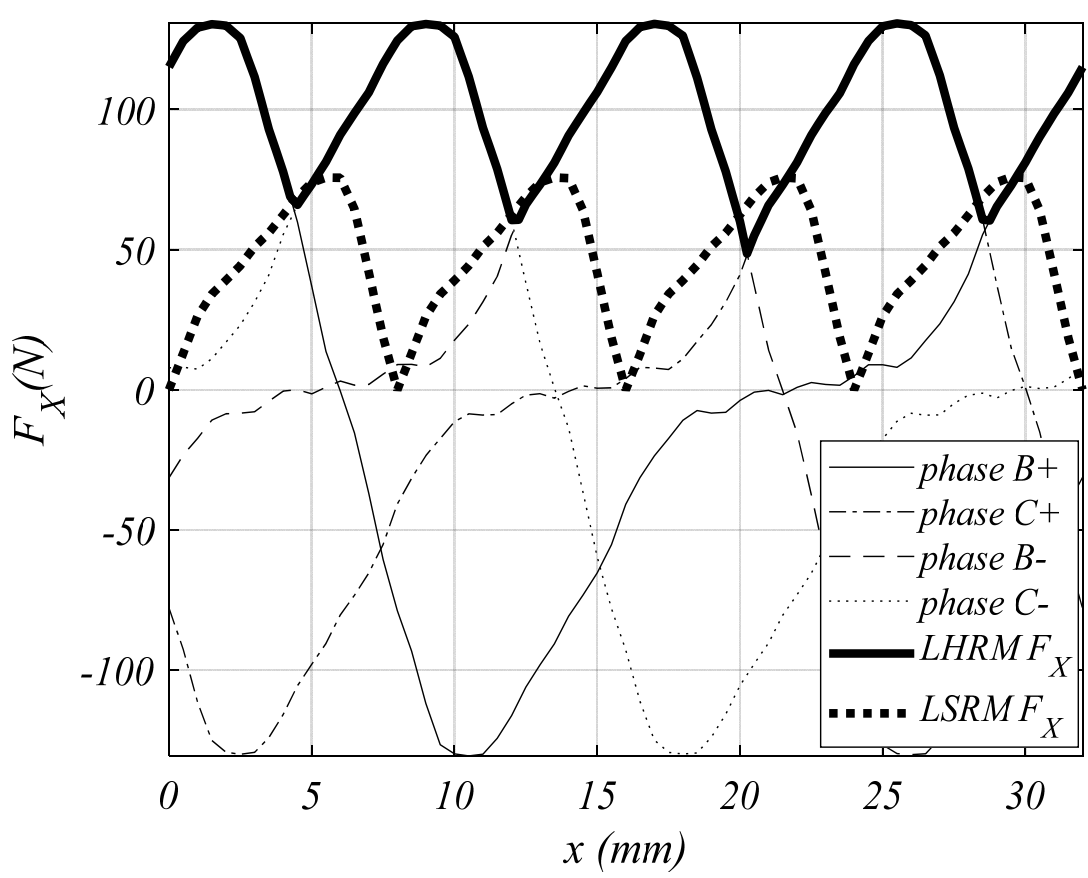


Fig.3

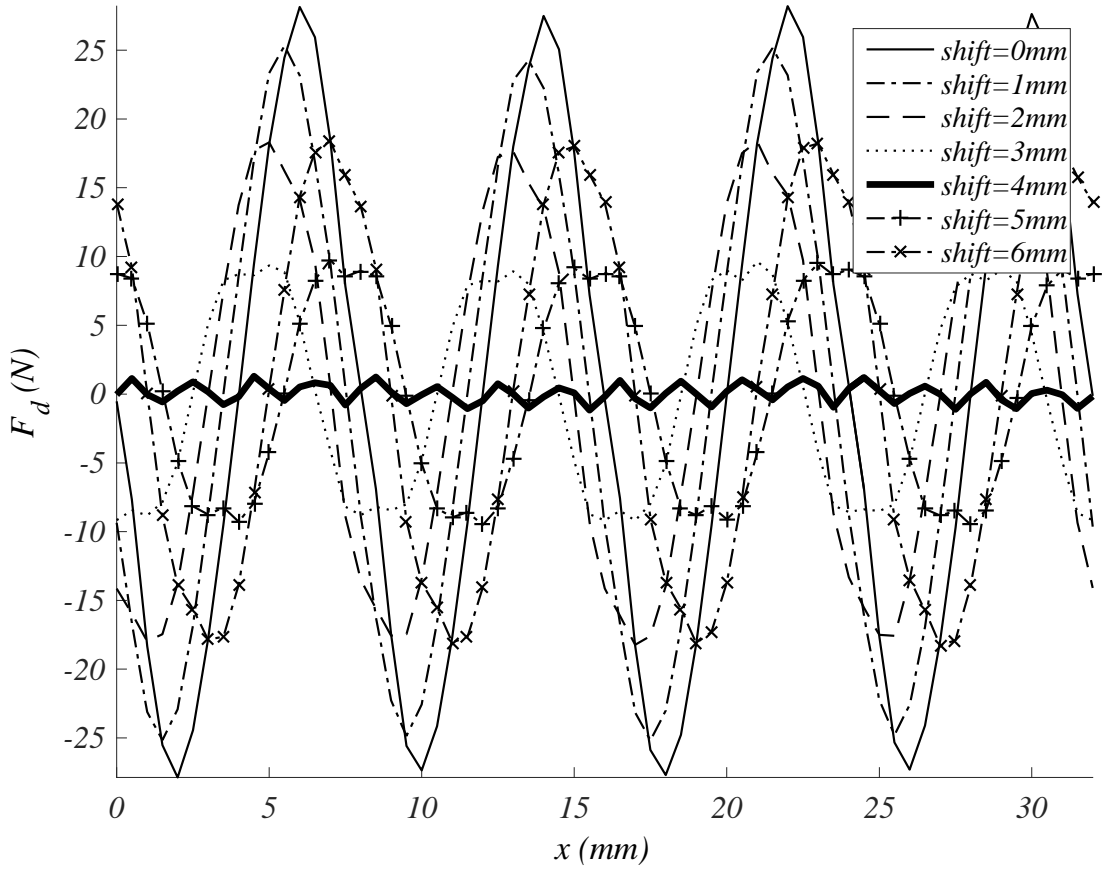


Fig.4

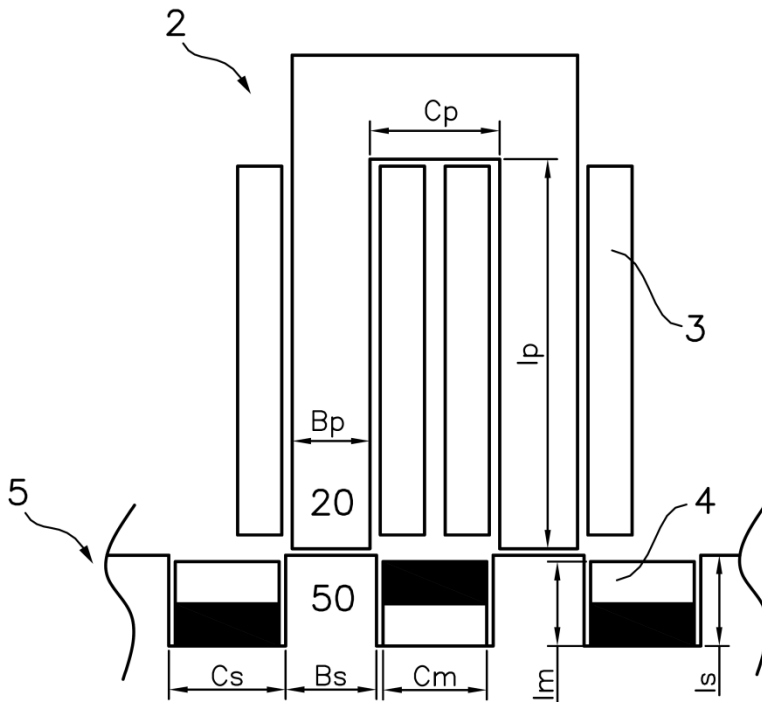


Fig.5

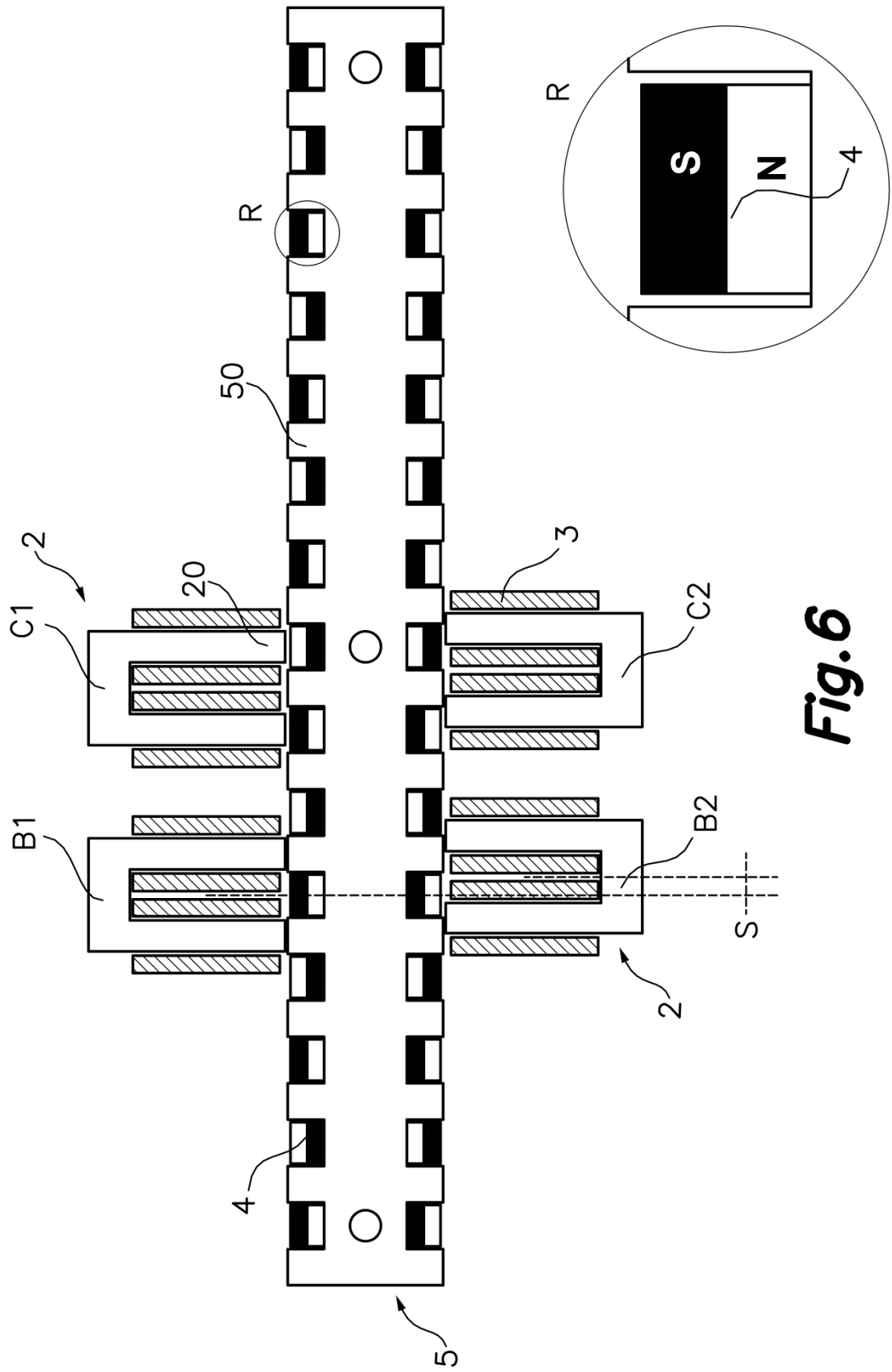


Fig.6

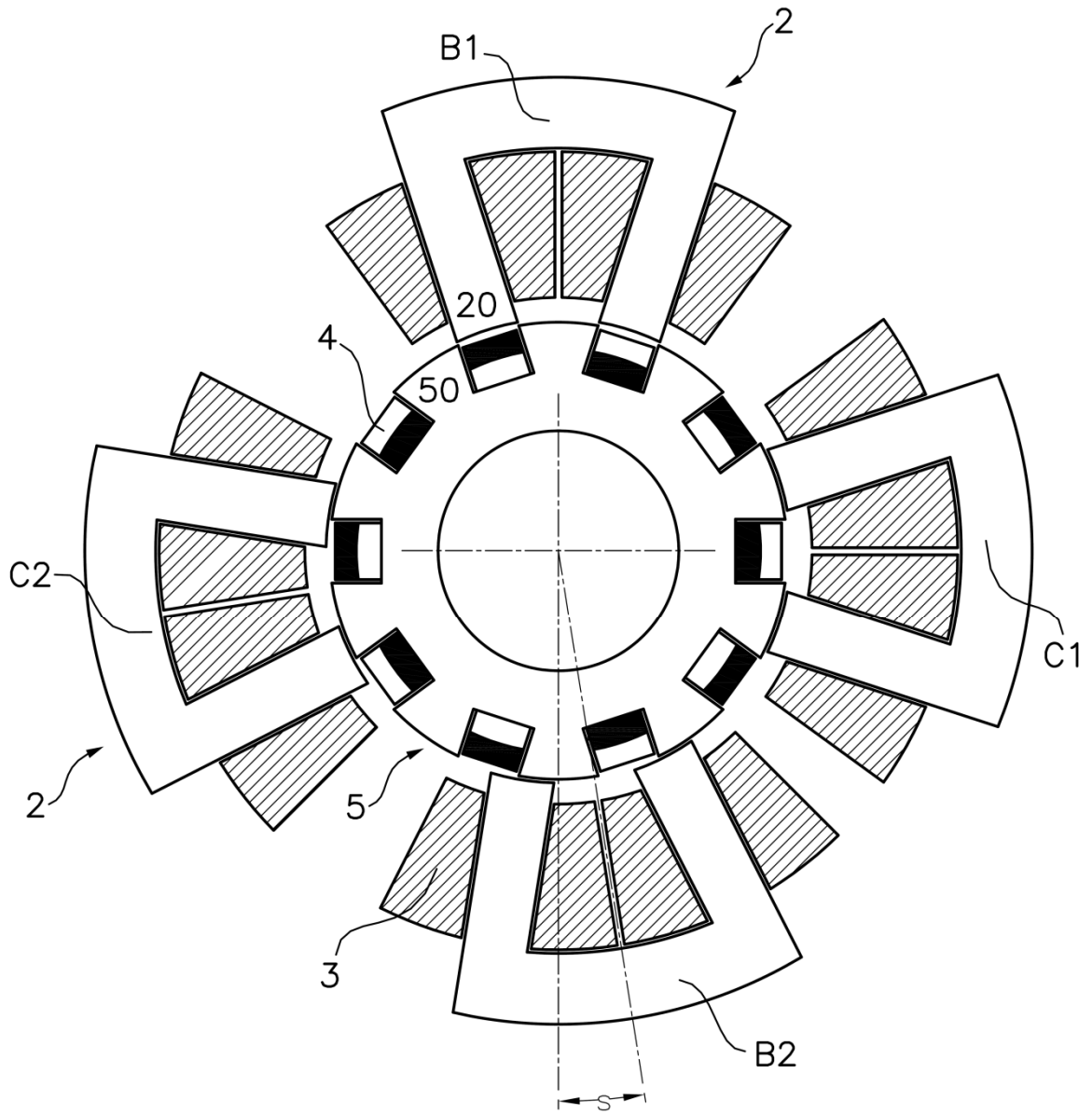


Fig. 7