

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 395 887**

51 Int. Cl.:

**H02K 33/04** (2006.01)

**H01F 7/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.05.2008 E 08805548 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.09.2012 EP 2156538**

54 Título: **Accionador electromagnético de reluctancia variable**

30 Prioridad:

**11.05.2007 FR 0703382**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**15.02.2013**

73 Titular/es:

**CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES  
(C.N.E.S.) (100.0%)  
2, PLACE MAURICE QUENTIN  
75039 PARIS CEDEX 01, FR**

72 Inventor/es:

**VANNIER, JEAN-CLAUDE;  
DUGUÉ, FRANÇOIS;  
ROUX, FRANÇOIS;  
GIBEK, ISABELLE y  
SCHWANDER, DENIS**

74 Agente/Representante:

**MIR PLAJA, Mireia**

**ES 2 395 887 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

Accionador electromagnético de reluctancia variable

5 **[0001]** La invención se refiere a un accionador electromagnético de reluctancia variable con desplazamiento lineal.

**[0002]** El documento EP 1 250 526 describe una electrobomba que comprende un accionador alternativo de reluctancia variable adaptado para accionar una bomba de hidracina para la alimentación con carburante de un sistema de propulsión de un satélite. El documento EP 1 250 526 indica que un accionador de este tipo está adaptado para ser controlado a una frecuencia superior a 100 Hz, particularmente próxima a 200 Hz.

10 **[0003]** El accionador descrito en el documento EP 1 250 526 acepta de manera totalmente satisfactoria caudales medianos de la bomba. Sin embargo, para los caudales más elevados de la bomba, es necesario hacer pasar un flujo de inducción magnética a una frecuencia elevada, del orden de entre 100 y 300 Hz y con un buen nivel de inducción para producir la fuerza necesaria para la creación de la fuerza de accionamiento de la bomba. Al ser los materiales ferromagnéticos eléctricamente conductores, las corrientes de Foucault inducidas por estas variaciones de inducción conducen a pérdidas de potencia y de limitación de las amplitudes de las variaciones de flujo. El accionador descrito en el documento EP 1 250 526 propone, para aumentar la resistencia eléctrica del circuito magnético, recurrir a una laminación del circuito magnético (apilamiento de chapas aisladas unas con respecto a otras por capas de barniz o por oxidación). Esta solución presenta diferentes inconvenientes.

15 **[0004]** Un primer inconveniente reside en el hecho de que la laminación se presta mal a una realización mecánica precisa. Además, en numerosas aplicaciones, en particular a bordo de un vehículo, especialmente a bordo de sistemas espaciales tales como satélites, se está permanentemente en busca de un volumen ocupado mínimo. Por tanto, conviene optimizar el volumen del accionador, lo cual implica una realización mecánica muy precisa.

20 **[0005]** Otro inconveniente de la laminación es que presenta una vida útil limitada, y puede verse sujeta a fenómenos de envejecimiento anticipado o mal control, teniendo en cuenta la presencia de barniz. Esto es así en particular cuando el accionador experimenta vibraciones y/o se coloca en un entorno agresivo, por ejemplo en el vacío espacial. En consecuencia, la presencia de una laminación limita la vida útil de un accionador de este tipo y no permite garantizar una vida útil significativa.

25 **[0006]** Además, una laminación debilita la estructura mecánica del accionador y no permite una mecanización de precisión, lo cual impide particularmente la realización de entrehierros muy reducidos. Por tanto, un accionador de este tipo no se puede utilizar a plena potencia, en particular con entrehierro reducido, tanto por los riesgos de aparición de fisuras como por las irregularidades de la superficie.

30 **[0007]** Se ha propuesto, por ejemplo en los documentos EP 1 250 526 y US 4 673 163, recurrir a un accionador que comprende armaduras macizas dotadas de por lo menos una ranura que se extiende radialmente de manera que se opone a la propagación de las corrientes de Foucault.

35 **[0008]** Esta solución permite paliar los inconvenientes de la laminación. En cambio, las pérdidas energéticas en las armaduras, particularmente aquellas inducidas por la propagación de las corrientes de Foucault, son entonces demasiado importantes para permitir el desarrollo de fuerzas suficientes, y en ese sentido convierten un accionador de este tipo en incompatible con numerosas aplicaciones, especialmente a bordo de vehículos, en particular vehículos espaciales.

40 **[0009]** Los accionadores de la técnica anterior ponen de manifiesto que una laminación produce dos fenómenos a priori contradictorios. En efecto, por una parte una laminación permite limitar las pérdidas energéticas, lo cual contribuye a garantizar el desarrollo de una fuerza suficiente; aunque por otra parte reduce la resistencia mecánica del accionador. El documento WO 91/06 109 da a conocer un electroimán utilizado en inyectores de carburante.

45 **[0010]** Por tanto, hasta el momento, era necesario elegir entre un accionador resistente aunque de rendimiento y de densidad de potencia limitados por pérdidas por corrientes de Foucault relativamente importantes, y un accionador que presentaba pocas pérdidas por corrientes de Foucault, aunque de densidad de potencia limitada por la resistencia mecánica reducida de las armaduras.

50 **[0011]** El objetivo de la invención es proporcionar un accionador electromagnético que permita paliar estos inconvenientes.

55 **[0012]** En ese sentido, la invención prevé un accionador electromagnético de reluctancia variable, con capacidad de desarrollar esfuerzos importantes por unidad de volumen o de masa del accionador – especialmente más importantes que los accionadores conocidos – y en el cual las pérdidas por corrientes de Foucault son reducidas.

**[0013]** La invención también pretende proponer un accionador electromagnético adaptado para su utilización en aplicaciones embarcadas a bordo de dispositivos de desplazamiento terrestre y/o acuático y/o aéreo y/o espacial.

5 **[0014]** La invención también pretende proponer un accionador electromagnético del tipo mencionado que sea compacto y ligero.

10 **[0015]** La invención también pretende proponer un accionador electromagnético adaptado para desarrollar esfuerzos importantes, especialmente fuerzas del orden de entre 150 y 250 N para una carrera de aproximadamente 1 mm y que puede presentar un volumen inferior a 150 cm<sup>3</sup>, en el cual las pérdidas por histéresis son reducidas - en concreto no significativas.

**[0016]** Para ello, la invención se refiere a un accionador electromagnético de reluctancia variable, que comprende:

- 15 - un cuerpo de accionador,
- una armadura ferromagnética fijada a dicho cuerpo de accionador, comprendiendo dicha armadura fija por lo menos dos cilindros de revolución concéntricos, denominados respectivamente cilindro interior y cilindro exterior, espaciados radialmente uno con respecto a otro y que se extienden a lo largo de un eje, denominado eje de accionador, estando conectados dichos cilindros interior y exterior por una corona de unión que se extiende en un plano ortogonal a dicho eje de accionador,
- 20 - por lo menos un bobinado de imantación dispuesto entre dichos cilindros interior y exterior,
- 25 - por lo menos una armadura móvil ferromagnética dispuesta frente a una extremidad axial de dicha armadura fija, denominada extremidad de entrehierro, siendo guiada cada armadura móvil en traslaciones alternativas

30 **[0017]** con respecto a dicha armadura fija a lo largo de dicho eje de accionador, con la cual define un circuito magnético con un entrehierro cuya dimensión varía en el transcurso de las traslaciones alternativas de esta armadura móvil con respecto a la armadura fija,

35 caracterizado porque dicha armadura fija comprende por lo menos dos series de ranuras, una primera serie de ranuras dispuestas radialmente en dicho cilindro exterior y que se extienden por toda la altura de dicho cilindro exterior y una segunda serie de ranuras dispuestas radialmente en dichos cilindros exterior e interior y que se extienden únicamente por una parte de la altura de dichos cilindros a partir de cada extremidad de entrehierro, de tal manera que porciones no divididas de la armadura fija estén alejadas de cada entrehierro, estando intercalada cada ranura de dicha segunda serie de ranuras entre dos ranuras de dicha primera serie de ranuras.

40 **[0018]** Los inventores han determinado que un accionador que presenta una estructura de este tipo, aunque puede parecer en primera instancia extremadamente frágil, es en realidad muy resistente, y, en cualquier caso, suficientemente resistente para resistir esfuerzos repetidos con el fin de poder aprovechar toda la potencia eléctrica disponible. La doble serie de ranuras permite aumentar, igual que una laminación, la resistencia eléctrica del circuito magnético atravesado por las corrientes inducidas por las variaciones de inducción, lo cual permite impedir la propagación de las corrientes de Foucault. En cambio, por contraposición a la laminación, estas ranuras se realizan directamente en la masa, por ejemplo por electroerosión, lo cual permite una mecánica de precisión y sobre todo preserva la integridad mecánica de la armadura fija. La arquitectura con doble serie de ranuras, una de cuyas series se extiende integralmente por toda la altura del cilindro exterior, implica que las ranuras se extienden prácticamente por todas las zonas recorridas por el flujo magnético y que las porciones no divididas, muy poco numerosas, sensiblemente no son recorridas por el flujo magnético. Por lo menos una serie de ranuras no se extiende integralmente por toda la altura de los cilindros para poder constituir una porción no dividida que permite el mantenimiento de la estructura general de la armadura. Esta porción no dividida está dispuesta en oposición al entrehierro.

50 **[0019]** De forma ventajosa, y según la invención, dicha primera serie de ranuras de dicha armadura fija se extiende igualmente por una porción radial de dicha corona de unión, por toda su altura.

55 **[0020]** Los inventores también han determinado que es posible disponer ranuras en dicha corona de unión que conecta los cilindros interior y exterior de la armadura fija, aunque sin debilitar particularmente la armadura. Se comprueba que una solución de este tipo es particularmente eficaz dado que la armadura fija presenta así ranuras que se extienden por todas las zonas recorridas por el flujo magnético, con excepción únicamente de una porción de armadura dispuesta en oposición al entrehierro.

60 **[0021]** De manera ventajosa y según la invención, dicha segunda serie de ranuras de dicha armadura fija se extiende también de forma radial únicamente sobre una parte de la altura de dicha corona de unión.

5 **[0022]** Una estructura de este tipo permite suministrar una armadura fija que comprende ranuras en todas las zonas en las que circula el flujo magnético, con la excepción de una porción central de la corona de unión delimitada radialmente por una pared interior del cilindro interior y la extremidad radial de las ranuras de la primera serie de ranuras, y longitudinalmente a lo largo de dicho eje de accionador, por una extremidad de la corona de unión y la extremidad de las ranuras de la segunda serie de ranuras opuesta al entrehierro. Cabe indicar por otra parte que esta porción de la corona de unión no dividida está dispuesta a una distancia de cada entrehierro del circuito magnético.

10 **[0023]** La corona de unión que conecta los cilindros interior y exterior puede estar dispuesta en cualquier plano ortogonal al eje de accionador entre las extremidades axiales de los cilindros de la armadura fija. En particular, en el caso en el que el accionador comprende dos armaduras móviles dispuestas respectivamente frente a cada una de las extremidades axiales de la armadura fija, esta corona de unión está dispuesta de forma ventajosa de tal modo que se extiende en el plano central de los cilindros interior y exterior ortogonal al eje de accionador. En el caso más corriente en el que el accionador comprende una única armadura móvil frente a una extremidad axial de la armadura fija con la cual forma un circuito magnético con un solo entrehierro, la corona de unión que conecta los cilindros interior y exterior se extiende preferentemente en un plano dispuesto en la extremidad axial opuesta al entrehierro.

20 **[0024]** Así, de forma ventajosa, un accionador según la invención comprende una sola armadura móvil dispuesta en frente de una extremidad axial de dicha armadura fija, denominada extremidad de entrehierro, con la cual define un circuito magnético con un solo entrehierro, estando conectados dichos cilindros interior y exterior de dicha armadura fija en el nivel de la extremidad axial opuesta a dicha extremidad de entrehierro por dicha corona de unión.

**[0025]** En este caso, la porción no dividida de la corona de unión está dispuesta en una extremidad axial de la armadura fija.

25 **[0026]** Esta porción central no dividida garantiza el mantenimiento mecánico de los cilindros interior y exterior divididos.

30 **[0027]** Las ranuras de la segunda serie de ranuras de la armadura fija se pueden extender axialmente más o menos dentro de los cilindros interior y exterior, a partir de la extremidad de entrehierro. La longitud de las ranuras a lo largo de dicho eje de accionador se puede optimizar para, por una parte, limitar la propagación de las corrientes de Foucault, y, por otra parte, conservar la integridad mecánica de la armadura fija.

**[0028]** De forma ventajosa y según la invención, cada ranura de cada serie de ranuras se extiende en paralelo a dicho eje de accionador.

35 **[0029]** De forma ventajosa y según la invención, cada ranura de dicha segunda serie de ranuras de dicha armadura fija se extiende sobre más del 80 % de la altura de los cilindros interior y exterior.

40 **[0030]** Esta relación entre la longitud de los cilindros y la longitud de las ranuras de la segunda serie de ranuras permite garantizar que las porciones de la armadura no divididas no representan más del 20 % de la armadura total.

**[0031]** De forma ventajosa y según la invención, por lo menos una armadura móvil – especialmente cada armadura móvil - es discooidal y presenta por lo menos una serie de ranuras radiales dispuestas únicamente sobre una parte radial de esta armadura en toda la altura de esta armadura móvil.

45 **[0032]** Igual que la armadura fija, los inventores han determinado que una armadura móvil, en combinación con la armadura fija, puede presentar por lo menos una serie de ranuras dispuestas únicamente sobre una parte radial de la armadura móvil aunque sin debilitar la armadura. Los cortes que permiten crear las ranuras se realizan de forma ventajosa por electroerosión.

50 **[0033]** De forma ventajosa y según la invención, cada ranura de dicha primera serie de ranuras de por lo menos una armadura móvil – especialmente cada armadura móvil – se extiende radialmente sobre más del 30 % del radio de la armadura móvil.

55 **[0034]** Una armadura móvil puede comprender una o varias series de ranuras.

**[0035]** De forma ventajosa y según la invención, por lo menos una armadura móvil – especialmente cada armadura móvil – comprende por lo menos una segunda serie de ranuras dispuestas únicamente sobre una parte radial de esta armadura móvil por toda la altura de esta armadura móvil, extendiéndose radialmente cada ranura de dicha segunda serie de ranuras de esta armadura móvil sobre más del 60 % del radio de esta armadura móvil.

60 **[0036]** De forma ventajosa y según la invención, por lo menos una armadura móvil - especialmente cada armadura móvil – comprende por lo menos una tercera serie de ranuras dispuestas únicamente sobre una parte radial de esta armadura móvil por toda la altura de esta armadura móvil, extendiéndose radialmente cada ranura de dicha tercera serie de ranuras de esta armadura móvil sobre más del 75 % del radio de esta armadura móvil.

- 5 **[0037]** Así, un accionador de este tipo presenta prestaciones electromagnéticas similares a las de un accionador que presenta una laminación, incluso mejores, y prestaciones mecánicas similares a las de un accionador macizo. En cambio, presenta prestaciones mecánicas claramente superiores a las de un accionador que presenta una laminación y prestaciones electromagnéticas claramente superiores a las de un accionador macizo. Un accionador según la invención puede presentar así dimensiones optimizadas, un peso y una vida útil compatibles con aplicaciones embarcadas, particularmente espaciales. Un accionador según la invención puede generar una potencia por unidad de volumen y/o de masa claramente superior a los accionadores de la técnica anterior, y presenta un rendimiento energético óptimo.
- 10 **[0038]** La armadura fija según la invención es una armadura realizada preferentemente por electroerosión, que presenta dos cilindros concéntricos entre los cuales está alojado el bobinado de imantación. Asimismo, la armadura móvil es discoidal y preferentemente se realiza por electroerosión.
- 15 **[0039]** De forma ventajosa y según la invención, por lo menos una armadura móvil – especialmente cada armadura móvil – es discoidal y presenta un diámetro sensiblemente igual al diámetro de dicho cilindro exterior de dicha armadura fija.
- 20 **[0040]** Las armaduras de un accionador según la invención se pueden realizar con todo tipo de material ferromagnético. Se sabe que en el ámbito de un circuito magnético sometido a un campo magnético de alta frecuencia, las pérdidas por histéresis están limitadas por la utilización de materiales de ciclo estrecho, tal como materiales nanocristalinos. Las armaduras de un accionador según la invención también se pueden realizar con hierro dulce, con acero, XC 10, con AISI 430, con todo tipo de aleación de metales, etcétera. Sin embargo, las experiencias han demostrado que las pérdidas magnéticas generadas por la utilización de ciertos de estos materiales, especialmente el hierro dulce, pueden ser importantes.
- 25 **[0041]** Así, de forma ventajosa y según la invención, dicha armadura fija se realiza con una aleación de hierro-níquel que comprende hierro y níquel en proporciones sensiblemente idénticas. Se trata de una aleación de histéresis muy pequeña asociada a una inducción de saturación relativamente elevada. Presenta una permeabilidad inicial relativa de 7.500.
- 30 **[0042]** Asimismo, una armadura móvil también se puede realizar con todo tipo de material. Sin embargo, de forma ventajosa y según la invención, por lo menos una armadura móvil – especialmente cada armadura móvil – se realiza con una aleación de hierro-níquel que comprende hierro y níquel en proporciones sensiblemente idénticas.
- 35 **[0043]** En un accionador según la invención se pueden utilizar diferentes tipos de bobinados. El número de espiras de estos bobinados, la sección de cada espira y la alimentación de estos bobinados dependen de la utilización prevista.
- 40 **[0044]** Un accionador según la invención se puede utilizar, por ejemplo, para accionar una bomba de carburante para la alimentación de un sistema de propulsión de un satélite. Para ello, los inventores han determinado los volúmenes y secciones del accionador que permiten optimizar el volumen ocupado del accionador, dadas una bomba y las prestaciones. El conjunto de las dimensiones procede, por una parte, del diámetro del vástago de la bomba a accionar y, por otra parte, de la fuerza a desarrollar por la puesta en acción de la bomba.
- 45 **[0045]** De forma ventajosa y según la invención, el grosor de por lo menos una armadura móvil, especialmente cada armadura móvil, es sensiblemente igual al grosor de dicha corona de extremidad que conecta dicho cilindro interior y dicho cilindro exterior.
- 50 **[0046]** Las ranuras dispuestas en las diferentes armaduras pueden presentar dimensiones diferentes. Estas últimas deben permitir limitar las corrientes de Foucault manteniendo la integridad mecánica de las armaduras.
- 55 **[0047]** De forma ventajosa y según la invención, para cada una de las armaduras fija y móvil, las ranuras se realizan de tal manera que cada porción de armadura entre dos ranuras adyacentes, denominada lámina de armadura, presenta dimensiones adaptadas para que el primer modo propio de flexión de esta lámina sea de frecuencia superior a la frecuencia de funcionamiento del accionador.
- 60 **[0048]** Las frecuencias de utilización de un accionador según la invención son del orden de entre 100 Hz y 300 Hz. Por ello, las dimensiones de las láminas de armadura se determinan de tal manera que los primeros modos propios de flexión en el eje de inercia más pequeña e inercia más grande sean respectivamente del orden de 1.000 Hz y de más de 3.000 Hz.
- [0049]** La distribución de las ranuras en las armaduras puede cambiar de una aplicación a otra.

**[0050]** Sin embargo, de forma ventajosa y según la invención, para cada una de las armaduras fija y móvil, dichas ranuras se distribuyen uniformemente por toda la periferia de esta armadura.

5 **[0051]** El desplazamiento angular entre dos ranuras se puede adaptar para cada aplicación, en función de los requisitos mecánicos y magnéticos perseguidos.

**[0052]** Sin embargo, de forma ventajosa y según la invención, dos ranuras adyacentes de dicho cilindro exterior están separadas angularmente por al menos 3°, especialmente, 3,75°.

10 **[0053]** Los inventores han determinado que esta distribución de las ranuras permite limitar las corrientes de Foucault a la vez que manteniendo la integridad mecánica del cilindro exterior de la armadura fija.

15 **[0054]** Asimismo, de forma ventajosa y según la invención, dos ranuras adyacentes de por lo menos una armadura móvil - especialmente de cada armadura móvil - están separadas angularmente por al menos 3°, especialmente 3,75°.

**[0055]** La anchura de cada una de las ranuras se puede seleccionar según la aplicación pretendida.

20 **[0056]** Sin embargo, de forma ventajosa y según la invención, cada ranura presenta una anchura de por lo menos 0,3 mm, especialmente de 0,37 mm.

**[0057]** Los inventores han determinado que dichas ranuras permiten limitar las corrientes de Foucault al mismo tiempo que mantienen la integridad mecánica de las armaduras.

25 **[0058]** Un accionador electromagnético según la invención presenta un circuito magnético axisimétrico, lo cual permite utilizar la totalidad del campo electromagnético generado por una bobina cilíndrica dispuesta entre los cilindros interior y exterior de la armadura fija de este accionador.

30 **[0059]** Además, un accionador según la invención permite soportar desviaciones térmicas importantes sin generar esfuerzos termo-elásticos. En particular, un accionador según la invención puede soportar choques térmicos, lo cual permite la utilización de un accionador de este tipo en intervalos extendidos de temperatura. Por ello, un accionador según la invención se puede embarcar a bordo de diversos dispositivos, de desplazamiento terrestre y/o acuático y/o aéreo y/o espacial, destinados a evolucionar en condiciones diversas sin necesitar una modificación específica de la estructura del accionador, ni una adaptación del entorno en cuyo seno se sitúe el accionador.

35 **[0060]** La invención se refiere además a un accionador electromagnético de reluctancia variable, caracterizado en combinación por la totalidad o parte de las características mencionadas anterior o posteriormente en la presente.

40 **[0061]** Se pondrán de manifiesto otras características, finalidades y ventajas de la invención con la lectura de la siguiente descripción que presenta, a título de ejemplo no limitativo, un modo de realización de la invención, en referencia a los dibujos adjuntos; en estos dibujos:

- la figura 1 es una vista esquemática en perspectiva de un accionador según un modo de realización de la invención,
- 45 - la figura 2 es una vista esquemática en perspectiva de una armadura fija de un accionador según un modo de realización de la invención,
- la figura 3 es una vista esquemática en perspectiva de una armadura móvil de un accionador según un modo de realización de la invención,
- 50 - la figura 4 es una vista esquemática en perspectiva de una armadura fija de un accionador según un modo de realización de la invención que lleva un bobinado de imantación,
- la figura 5 es una vista esquemática en sección longitudinal en planos secantes de la armadura fija de la figura 2.

55 **[0062]** Un accionador electromagnético de reluctancia variable según la invención comprende, tal como se representa en la figura 1, un cuerpo 1 de accionador, un núcleo magnético y un bobinado 2 de imantación. El núcleo magnético comprende una armadura 3 fijada en el cuerpo 1 de accionador por medio de patas 8 de fijación y una armadura 4 móvil con respecto a la armadura 3 fija. La armadura 3 fija, la armadura 4 móvil y el bobinado 2 de imantación forman un circuito magnético con entrehierro 20 cuya dimensión varía por el desplazamiento de la armadura 4 móvil con respecto a la armadura 3 fija.

60 **[0063]** La armadura 3 fija comprende según la invención, y tal como se representa particularmente en la figura 2, por lo menos dos cilindros de revolución concéntricos espaciados radialmente uno con respecto al otro, un cilindro 5 exterior y

un cilindro 6 interior. Los cilindros 5 exterior y 6 interior se extienden a lo largo de un eje, denominado eje 7 de accionador. Este eje 7 de accionador se corresponde con el eje de guiado en traslaciones alternativas de la armadura 4 móvil con respecto a la armadura 3 fija. Los cilindros 5 exterior y 6 interior están conectados a una de su extremidad axial, denominada extremidad 10 de unión, por una corona 9 de unión.

5

**[0064]** Según el modo de realización de las figuras, el accionador comprende una sola armadura 4 móvil dispuesta en frente de una extremidad axial de los cilindros 5 exterior y 6 interior, denominada extremidad 11 de entrehierro, opuesta a la extremidad 10 de unión en donde se extiende la corona 9 de unión.

10

**[0065]** Sin embargo, según otros modos de realización de la invención, un accionador puede comprender dos armaduras móviles dispuestas en frente de cada una de las extremidades axiales de la armadura fija definiendo así dos entrehierros. Según este modo de realización, la corona de unión se extiende preferentemente en las proximidades de un plano central de la armadura fija, dispuesta a medio camino entre los dos entrehierros.

15

**[0066]** Preferentemente, las patas 8 de fijación de la armadura 3 fija en el cuerpo 1 de accionador se extienden en un plano ortogonal a dicho eje 7 de accionador que comprende por lo menos en parte la corona 9 de unión.

**[0067]** Cabe indicar que la armadura fija tal como se representa en las figuras 2, 4 y 5 está del revés con respecto a su representación en la figura 1.

20

**[0068]** El cilindro 6 interior comprende una pared 15 interior y una pared 17 exterior. El cilindro 5 exterior comprende una pared 18 interior en frente de la pared 17 exterior del cilindro 6 interior y separada con respecto a esta última, y una pared 16 exterior.

25

**[0069]** El bobinado 2 de imantación de un accionador según la invención está dispuesto entre la pared 17 exterior del cilindro 6 interior y la pared 18 interior del cilindro 5 exterior. Puede utilizarse cualquier tipo de bobinado para la realización de un accionador según la invención. Por ejemplo, el bobinado puede ser una bobina de 168 espiras con hilo de 0,9 mm prevista para funcionar a 50 V o una bobina de 328 espiras con hilo de 0,56 mm prevista para funcionar a 100 V. Evidentemente se pueden utilizar otros tipos de bobinado según el tipo de aplicación pretendido. La figura 4 presenta un bobinado 2 según la invención alojado entre los cilindros 6 interior y 5 exterior de la armadura 3 fija según la invención.

30

**[0070]** Según la invención, la armadura 3 fija comprende una primera serie de ranuras 12 dispuestas radialmente en el cilindro 5 exterior, desembocando cada ranura 12 en la pared 18 interior y en la pared 16 exterior del cilindro 5 exterior. Por otro lado, cada ranura 12 se extiende por toda la altura del cilindro 5 exterior en paralelo al eje 7 de accionador. Así, cada ranura se extiende en un plano radial. El cilindro 5 exterior queda cortado entonces integralmente por la primera serie de ranuras 12. Las ranuras 12 están distribuidas de forma ventajosa uniformemente por el cilindro 5 exterior. El número de ranuras 12 depende del diámetro del cilindro 5 y de la aplicación prevista para el accionador. Según el modo de realización de las figuras, dos ranuras 12 adyacentes están separadas por un ángulo de 7,5°. Evidentemente, según otros modos de realización, las ranuras 12 pueden estar separadas por un ángulo superior o inferior al ángulo citado previamente. Al realizarse preferentemente cada ranura por electroerosión, la misma presenta una anchura constante.

35

40

**[0071]** Según el modo de realización de las figuras, la armadura 3 fija comprende también una segunda serie de ranuras 13 dispuestas radialmente de forma conjunta en los cilindros 5 exterior y 6 interior. Cada ranura 13 se extiende radialmente desde la pared 15 interior del cilindro 6 interior a la pared 16 exterior del cilindro 5 exterior. En cambio, por contraposición a las ranuras 12 de la primera serie de ranuras, cada ranura 13 se extiende únicamente sobre una porción de la altura de los cilindros 5 exterior y 6 interior. Cada ranura 13 desemboca hacia la extremidad 11 de entrehierro. Así, cada ranura 13 está dispuesta entre la extremidad 11 de entrehierro de los cilindros 5, 6 y una zona en las proximidades de la extremidad 10 de unión de los cilindros. Las dimensiones de las porciones de los cilindros no divididos por estas ranuras 13 dependen de la aplicación prevista.

45

50

**[0072]** Según el modo de realización de las figuras, la altura según el eje 7 de accionador de las porciones de cilindros 5 y 6 no recorridas por las ranuras 13 no supera el 15 % de la altura total de los cilindros 5 y 6.

55

**[0073]** Por ejemplo, los cilindros 5 y 6 pueden presentar, cada uno de ellos, una altura de 39 mm, las ranuras 12 se extienden por toda la altura del cilindro 5 exterior y las ranuras 13 se extienden únicamente durante 33 mm de la altura de los cilindros 5 y 6.

60

**[0074]** Estos cortes en la armadura 3 fija se realizan preferentemente por electroerosión.

**[0075]** Según el modo de realización de las figuras, las ranuras 12 se extienden también sobre una porción radial de la corona 9 de extremidad por toda la altura de esta corona 9 de extremidad mientras que las ranuras 13 se extienden radialmente desde la pared 15 interior del cilindro 6 interior a la pared 16 exterior del cilindro 5 exterior, únicamente sobre una porción de la altura de la corona 9 de extremidad.

- 5 [0076] Esta arquitectura permite garantizar un corte casi uniforme de la armadura 3 fija con la excepción de una porción 14 central no dividida delimitada radialmente por la pared 15 interior del cilindro 5 interior y la extremidad 16 radial de las ranuras 12 de la primera serie de ranuras 12, y longitudinalmente a lo largo de dicho eje 7 de accionador, por dicha extremidad 10 de unión y la extremidad de las ranuras 13 de la segunda serie de ranuras 13 opuesta a la extremidad 11 de entrehierro. Esta porción 14 central no dividida está dispuesta frente al entrehierro 20 del circuito magnético así realizado.
- 10 [0077] Cada pareja de ranuras inmediatamente adyacentes define una lámina de armadura.
- 15 [0078] Esta porción 14 no dividida permite mantener la integridad mecánica de la armadura 3 fija actuando como zona de ramificación de las diferentes láminas de la armadura fija. Los inventores han determinado que esta porción 14 central no dividida es suficiente para garantizar la integridad mecánica de la armadura 3 fija de tal manera que un accionador según la invención puede funcionar a plena potencia.
- 20 [0079] Por otro lado, la pluralidad de ranuras 12, 13 dispuestas en la armadura 3 fija permite aumentar la resistencia eléctrica del circuito magnético, lo cual impide la propagación de las corrientes de Foucault. Por tanto, un accionador según la invención posee un rendimiento excelente.
- 25 [0080] Según un modo de realización particularmente ventajoso de la invención, la armadura 4 móvil es discoidal.
- [0081] Esta armadura 4 móvil discoidal comprende, tal como se representa en la figura 3, una cara 22 dispuesta en frente de la extremidad 11 de entrehierro de la armadura 3 fija, una vez que la armadura 4 móvil está montada en el cuerpo 1 de accionador, y una cara 23 opuesta a la cara 22 y paralela a esta última. La armadura 4 móvil está adaptada para ser accionada en traslaciones alternativas a lo largo del eje 7 de accionador.
- [0082] Según un modo ventajoso de realización de la invención, la armadura 4 móvil comprende también una pluralidad de series de ranuras.
- 30 [0083] Según el modo de realización de la figura 3, la armadura 4 móvil comprende tres series de ranuras, extendiéndose cada ranura de cada serie de ranuras por toda la altura de la armadura 4 móvil entre sus caras 23, 24. Una primera serie de ranuras 21 se extiende únicamente sobre una porción radial de la armadura, a partir de la periferia de la armadura, que representa del orden del 33 % del radio de la armadura 4 móvil. Una segunda serie de ranuras 24 se extiende únicamente sobre una porción radial de la armadura, a partir de la periferia de la armadura, que representa del orden del 60 % del radio de la armadura 4 móvil. Una tercera serie de ranuras 25 se extiende únicamente sobre una porción radial de la armadura, a partir de la periferia de la armadura, que representa del orden del 75 % del radio de la armadura 4 móvil.
- 35 [0084] Según el modo de realización de la figura 3, dos parejas de ranuras 21 sucesivas están dispuestas respectivamente a un lado y otro de una ranura 24 y de una ranura 25. Por tanto, según este modo de realización, la segunda serie de ranuras 25 comprende tantas ranuras como la tercera serie de ranuras 24. En cambio, la primera serie de ranuras 21 comprende el doble del número de ranuras de la segunda serie de ranuras 24 y de la tercera serie de ranuras 25.
- 40 [0085] Esta estructura permite obtener una armadura 4 móvil resistente ya que las ranuras 24 más numerosas son las más cortas, es decir, aquellas cuyos cortes quitan menos materia a la armadura 4 móvil. Por otro lado, la armadura comprende ranuras que se extienden radialmente sobre la casi totalidad de la armadura de tal manera que solamente una pequeña porción central de la armadura en la cual pasa la inducción no comprende ranuras. Así, una estructura de este tipo permite disponer de una armadura en la cual la influencia de las corrientes de Foucault es insignificante, beneficiándose de una resistencia mecánica que no limita la potencia electromagnética utilizable.
- 45 [0086] Según el modo de realización de la figura 3, la porción central no dividida presenta una dimensión radial del orden del 10 % del radio de la armadura 4 móvil.
- 50 [0087] Según este modo de realización, dos ranuras sucesivas, sea cual sea la serie de la que dependen, están separadas por un ángulo de 3,75°. Cada pareja de ranuras adyacentes define una lámina de armadura. Según el modo de realización de la figura 3, dos láminas de armaduras adyacentes están separadas por un ángulo de 3,75°.
- 55 [0088] Sin embargo, según otros modos de realización, el número de series de ranuras, las dimensiones de las ranuras y la disposición de estas últimas pueden ser diferentes.
- 60 [0089] Según un modo de realización de la invención, una o varias ranuras de una o varias series de ranuras se pueden rellenar con una resina, del tipo resina epoxídica, para reforzar la resistencia mecánica del accionador.

**[0090]** La armadura 4 móvil presenta un mandrinado axial central pasante en el cual se puede alojar, por ejemplo, el pistón de una bomba, de tal manera que los desplazamientos de la armadura 4 móvil con respecto a la armadura 3 fija accionan el desplazamiento del pistón de la bomba. Para ello, el mandrinado axial central presenta, según el modo de realización de la figura 3, un radio del orden del 15 % del radio de la armadura 3 móvil discoidal.

5

**[0091]** Según otros modos de realización, las ranuras de la armadura fija y de la armadura móvil pueden estar dispuestas de forma diferente y presentar entre ellas separaciones angulares diferentes.

**[0092]** Sin embargo, según un modo de realización particularmente ventajoso, las ranuras se realizan de tal manera que cada lámina de armadura definida por una porción de armadura dispuesta entre dos ranuras adyacentes presenta dimensiones adaptadas para que el primer modo propio de flexión de esta lámina sea de frecuencia superior a la frecuencia de funcionamiento del accionador.

10

**[0093]** Un accionador según la invención puede funcionar de manera óptima a frecuencias elevadas, del orden de entre 100 Hz y 300 Hz. Por tanto, las dimensiones de las láminas de armadura se determinan ventajosamente de tal manera que los primeros modos de flexión en el eje de inercia más pequeña y más grande sean, por ejemplo, respectivamente del orden de 1.000 Hz y de más de 3.000 Hz.

15

**[0094]** Para ello, y tal como se representa en las figuras 2 y 5, las láminas del cilindro 5 exterior de la armadura 4 fija definidas por una pareja de ranuras – una ranura 12 de la primera serie de ranuras y una ranura 13 de la segunda serie de ranuras - presentan una dimensión radial de 3,25 mm, una dimensión angular en el nivel de la pared 18 interior de 1 mm y una dimensión angular en el nivel de la pared 16 exterior de 1,25 mm. La altura de una lámina de este tipo queda definida por la altura de las ranuras que, como se ha visto anteriormente, y según el modo de realización de las figuras 2 y 5, es de 33 mm.

20

25

**[0095]** Según el modo de realización de las figuras 2 y 5, las láminas del cilindro 6 interior de la armadura 4 fija definidas por una pareja de ranuras 13 de la segunda serie de ranuras presentan una dimensión radial de 8,25 mm, una dimensión angular en el nivel de la pared 15 interior de 0,25 mm y una dimensión angular en el nivel de la pared 17 exterior de 1,5 mm. La altura de una lámina de este tipo queda definida por la altura de las ranuras que, tal como se ha visto anteriormente, y según el modo de realización de las figuras 2 y 5, es de 33 mm.

30

**[0096]** Evidentemente, otras dimensiones permiten obtener láminas cuyo modo propio de flexión es superior a la frecuencia de funcionamiento del accionador. Estos últimos se determinan de forma ventajosa por simulación.

35

**[0097]** Un accionador según la invención también puede estar previsto para funcionar fuera del intervalo de frecuencias de 100 Hz a 300 Hz.

**[0098]** Un accionador según la invención se puede realizar con diferentes tipos de materiales, tal como acero inoxidable, acero XC 10, hierro dulce, materiales nanocristalinos, aleaciones de metales, etcétera.

40

**[0099]** Según un modo particularmente ventajoso de la invención, el núcleo magnético se realiza con una aleación de hierro-níquel que comprende proporciones sensiblemente idénticas de hierro y de níquel.

**[0100]** En efecto, una aleación de metales de este tipo posee una histéresis muy reducida asociada a una inducción de saturación relativamente elevada.

45

**[0101]** Además, una aleación de hierro-níquel de este tipo procura un nivel reducido de inducción remanente. Por tanto, por contraposición a lo que se produce particularmente con accionadores que comprenden armaduras de hierro, una armadura móvil realizada con una aleación de hierro-níquel de este tipo no llega a pegarse contra la armadura fija en ausencia de una corriente en el bobinado de imantación. En particular, con un accionador según la invención que comprende armaduras realizadas con una aleación de hierro-níquel en proporciones sensiblemente idénticas, no es necesario limitar el entrehierro mínimo del accionador a un valor del orden de algunas centésimas de milímetro para evitar experimentar la fuerza remanente que bloquearía cualquier movimiento del accionador mientras no se aplique una fuerza suficiente. Así, un accionador según este modo de realización ofrece una gran flexibilidad de utilización.

50

55

**[0102]** Un accionador según la invención permite desarrollar en un volumen reducido una potencia importante.

**[0103]** Según el modo de realización de las figuras, el accionador ocupa un volumen inferior a 140 cm<sup>3</sup> y permite desarrollar más de 200 N para una carrera de 1 mm de la armadura móvil.

60

**[0104]** Por tanto, un accionador según la invención está adaptado particularmente para las aplicaciones embarcadas para las cuales se busca una potencia por unidad de volumen importante. Un accionador según la invención presenta una pluralidad de ranuras que permiten limitar fuertemente las corrientes de Foucault al mismo tiempo que se preserva la estructura mecánica rígida y resistente de las armaduras. Por tanto, un accionador según la invención se puede

utilizar a plena potencia eléctrica sin riesgo de deterioro de las armaduras. Por ello, un accionador según la invención está particularmente adaptado a aplicaciones que presentan esfuerzos mecánicos importantes.

- 5 **[0105]** Un accionador según la invención no se limita a los modos individuales de realización descritos. En particular, un accionador según la invención puede comprender un número diferente de ranuras, una arquitectura general diferente y un bobinado diferente, aunque sin desviarse del objetivo de la presente invención según se define en las reivindicaciones.

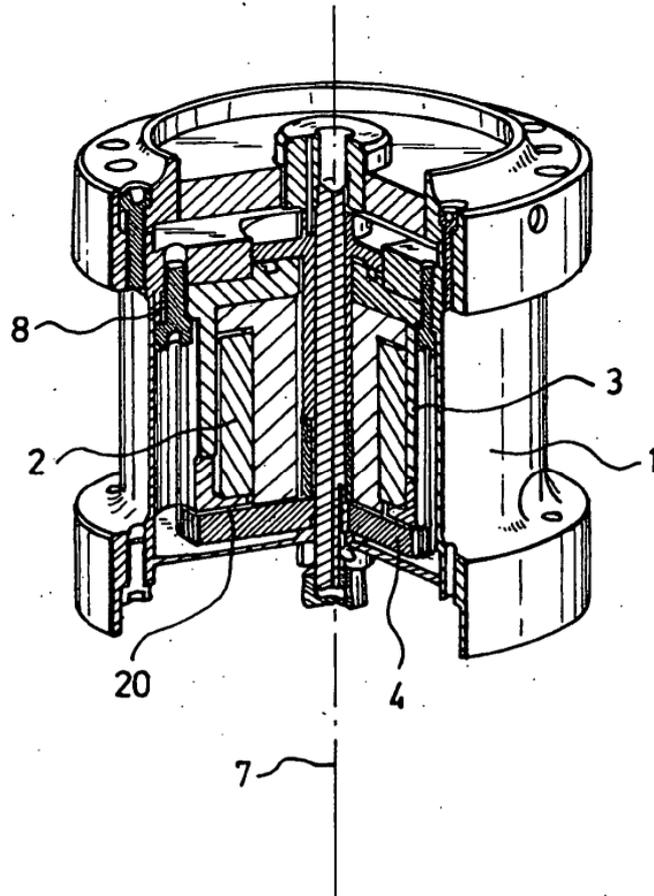
**REIVINDICACIONES**

1. Accionador electromagnético de reluctancia variable, que comprende:
  - 5 - un cuerpo (1) de accionador,
  - una armadura ferromagnética fijada a dicho cuerpo de accionador, comprendiendo dicha armadura (3) fija por lo menos dos cilindros de revolución concéntricos, denominados respectivamente cilindro (6) interior y cilindro (5) exterior, espaciados radialmente uno con respecto a otro y que se extienden a lo largo de un eje, denominado eje (7) de accionador, estando conectados dichos cilindros (5, 6) interior y exterior por una corona (9) de unión que se extiende en un plano ortogonal a dicho eje (7) de accionador,
  - 10 - por lo menos un bobinado (2) de imantación dispuesto entre dichos cilindros (5, 6) interior y exterior,
  - 15 - por lo menos una armadura (4) móvil ferromagnética dispuesta frente a una extremidad axial de dicha armadura (3) fija, denominada extremidad (11) de entrehierro, siendo guiada dicha armadura (4) móvil en traslaciones alternativas con respecto a dicha armadura (3) fija a lo largo de dicho eje (7) de accionador, con la cual define un circuito magnético con un entrehierro (20) cuya dimensión varía en el transcurso de las traslaciones alternativas de esta armadura (4) móvil con respecto a la armadura (3) fija,
  - 20 comprendiendo dicha armadura (3) fija por lo menos dos series de ranuras, una primera serie de ranuras (12) que desemboca en la pared (18) interior y en la pared (16) exterior del cilindro (5) exterior y que se extiende por toda la altura de dicho cilindro (5) exterior, y una segunda serie de ranuras (13), estando intercalada cada ranura (13) de la segunda serie de ranuras (13) entre dos ranuras (12) de dicha primera serie de ranuras (12) y extendiéndose radialmente las ranuras (13) de la segunda serie de ranuras (13) desde la pared (15) interior del cilindro (6) interior a la pared (16) exterior del cilindro (5) exterior, únicamente sobre una parte de la altura de dichos cilindros (5, 6) a partir de cada extremidad (11) de entrehierro de tal manera que porciones no divididas de la armadura (3) fija estén alejadas del entrehierro (20).
  - 25
  - 30 2. Accionador según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha primera serie de ranuras (12) de dicha armadura (3) fija se extiende igualmente por una porción radial de dicha corona (9) de unión, por toda su altura.
  3. Accionador según una de las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque dicha segunda serie de ranuras (13) de dicha armadura (3) fija se extiende también de forma radial únicamente sobre una parte de la altura de dicha corona (9) de unión.
  - 35
  4. Accionador según una de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende una sola armadura (4) móvil dispuesta en frente de una extremidad axial de dicha armadura (3) fija, denominada extremidad (11) de entrehierro, con la cual define un circuito magnético con un solo entrehierro (20), caracterizado porque dichos cilindros (6) interior y (5) exterior de dicha armadura (3) fija están conectados por dicha corona (10) de unión, en el nivel de la extremidad axial de dicha armadura (3) fija opuesta a dicha extremidad (11) de entrehierro, denominada extremidad (10) de unión.
  - 40
  5. Accionador según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque cada ranura de cada serie de ranuras se extiende en un plano radial en paralelo a dicho eje (7) de accionador.
  - 45
  6. Accionador según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque cada ranura (13) de dicha segunda serie de ranuras de dicha armadura (3) fija se extiende sobre más del 80 % de la altura de los cilindros (6) interior y (5) exterior.
  - 50
  7. Accionador según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque por lo menos una armadura (4) móvil es discoidal, presenta un diámetro sensiblemente igual al diámetro de dicho cilindro (5) exterior de dicha armadura (3) fija, y comprende por lo menos una primera serie de ranuras (21) dispuestas sobre una mayor parte radial de esta armadura (4) móvil, por toda la altura de esta armadura (4) móvil, y porque cada ranura (21) de dicha primera serie de ranuras de por lo menos una armadura (4) móvil se extiende radialmente sobre más del 30 % del radio de esta armadura (4) móvil.
  - 55
  8. Accionador según la reivindicación 7, caracterizado porque por lo menos una armadura (4) móvil comprende por lo menos una segunda serie de ranuras (24) dispuestas únicamente sobre una parte radial de esta armadura (4) móvil por toda la altura de esta armadura (4) móvil, extendiéndose radialmente cada ranura (24) de dicha segunda serie de ranuras de esta armadura (4) móvil sobre más del 60 % del radio de esta armadura (4) móvil.
  - 60
  9. Accionador según una de las reivindicaciones 7 u 8, caracterizado porque por lo menos una armadura (4) móvil comprende por lo menos una tercera serie de ranuras (25) dispuestas únicamente sobre una parte radial de esta

armadura (4) móvil por toda la altura de esta armadura (4) móvil, extendiéndose radialmente cada ranura (25) de dicha tercera serie de ranuras de esta armadura (4) móvil sobre más del 75 % del radio de esta armadura (4) móvil.

- 5 10. Accionador según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque dicha armadura (3) fija está realizada con una aleación de hierro-níquel que comprende hierro y níquel en proporciones sensiblemente idénticas, y porque por lo menos una armadura (4) móvil está realizada con una aleación de hierro-níquel que comprende hierro y níquel en proporciones sensiblemente idénticas.
- 10 11. Accionador según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado porque cada armadura (4) móvil presenta un grosor sensiblemente igual al grosor de dicha corona (9) de unión que conecta dicho cilindro (6) interior y dicho cilindro (5) exterior.
- 15 12. Accionador según una de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado porque, para cada una de las armaduras (3) fija y (4) móvil, las ranuras (12, 13, 21, 24, 25) están realizadas de tal manera que cada porción de armadura entre dos ranuras adyacentes, denominada lámina de armadura, presenta dimensiones adaptadas para que el primer modo propio de flexión de esta lámina sea de frecuencia superior a la frecuencia de funcionamiento del accionador.
- 20 13. Accionador según una de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado porque, para cada una de las armaduras (4) fija y (3) móvil, dichas ranuras (12, 13, 21, 24, 25) están distribuidas uniformemente por toda la periferia de esta armadura.
- 25 14. Accionador según la reivindicación 13, caracterizado porque dos ranuras adyacentes de dicho cilindro (5) exterior están separadas angularmente por al menos 3°, especialmente 3,75°.
15. Accionador según las reivindicaciones 7 y 14 consideradas en conjunto, caracterizado porque, para cada armadura (4) móvil, dos ranuras adyacentes están separadas angularmente por al menos 3°, especialmente 3,75°.

Fig 1



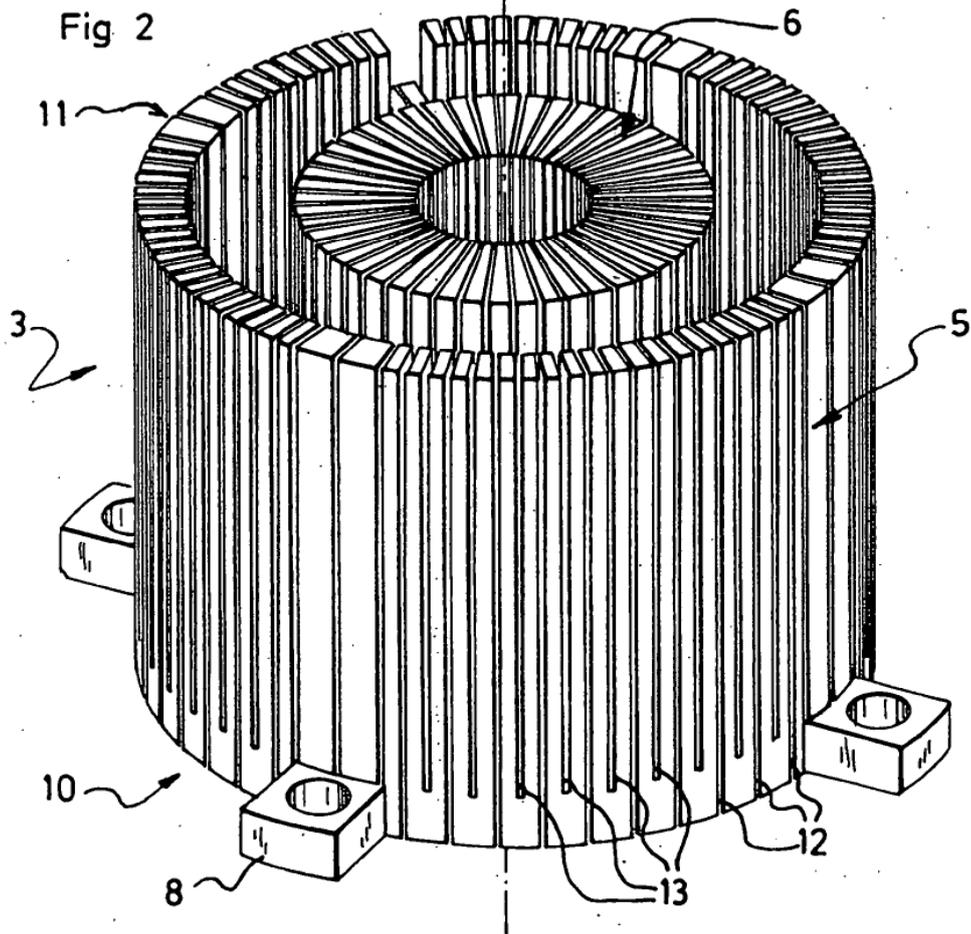
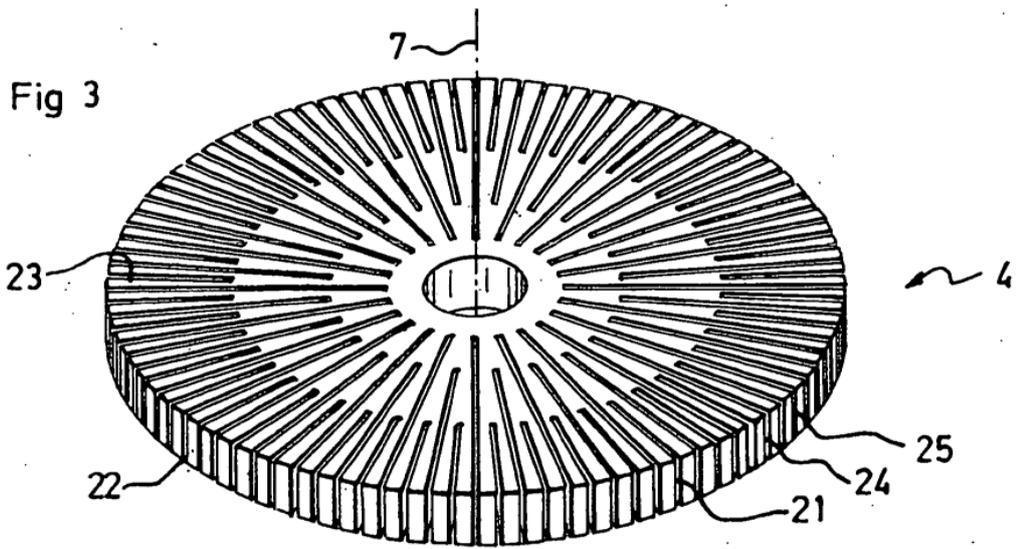


Fig 4

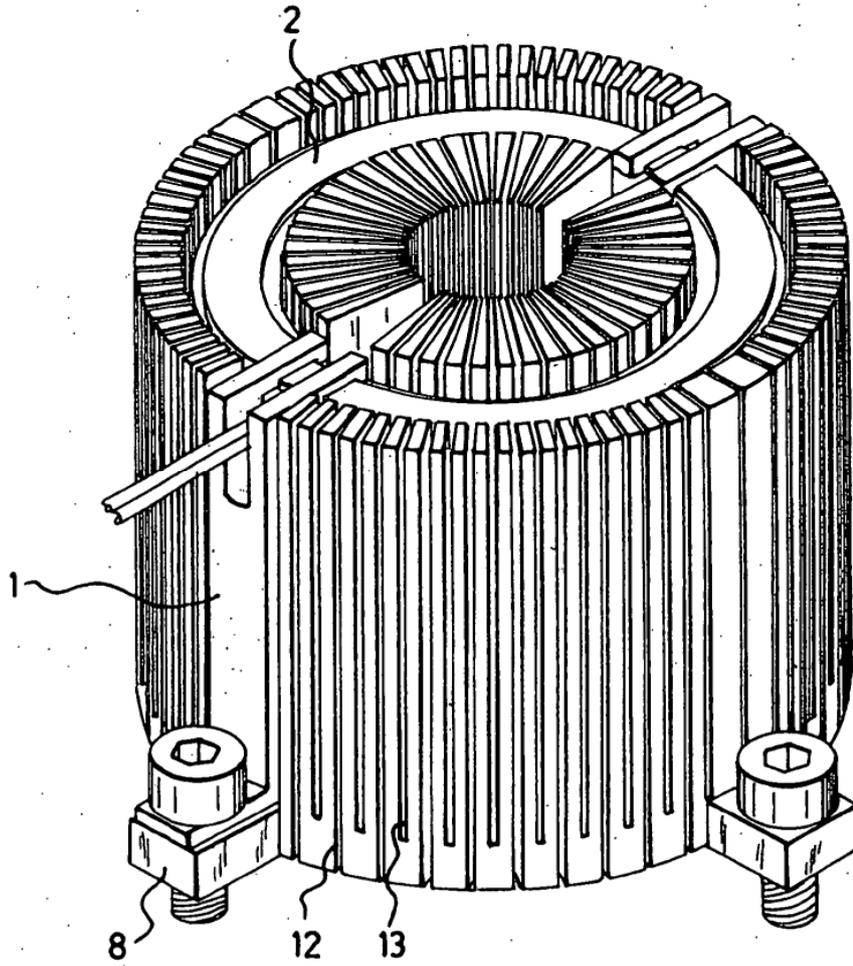


Fig 5

