

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 788 103**

51 Int. Cl.:

H02K 23/18 (2006.01)

H02P 25/02 (2006.01)

F04B 35/04 (2006.01)

H02K 33/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.04.2012 E 12164882 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2020 EP 2521250**

54 Título: **Motor de tipo electrodinámico lineal, refrigerador criogénico que comprende dicho motor y procedimiento que lleva a la práctica dicho motor**

30 Prioridad:

02.05.2011 FR 1153719

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

20.10.2020

73 Titular/es:

**L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR
L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES
GEORGES CLAUDE (100.0%)
75, Quai d'Orsay
75007 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**AIGOUY, GÉRALD M.;
DEBRAY, BENOÎT;
REY, JEAN-CHRISTOPHE y
BUTTERWORTH, JAMES**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 788 103 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

Motor de tipo electrodinámico lineal, refrigerador criogénico que comprende dicho motor y procedimiento que lleva a la práctica dicho motor

5 La presente invención concierne a un motor de tipo electrodinámico lineal, para comprimir un fluido circulante por un refrigerador criogénico especialmente de ciclo de Stirling. Además, la presente invención concierne a un refrigerador criogénico de ciclo de Stirling que comprende tal motor. Por otro lado, la presente invención concierne a un procedimiento, para comprimir un fluido circulante por un refrigerador criogénico de este tipo.

10 La presente invención encuentra especialmente aplicación en el campo de las máquinas criogénicas de ciclo alterno, máquinas Stirling o tubos de gas pulsado, que llevan a la práctica motores electrodinámicos lineales de pistones, en particular las máquinas criogénicas destinadas a ser embarcadas en vehículos espaciales tales como los satélites de observación de la Tierra. En esta aplicación, un motor electrodinámico lineal es utilizado como compresor para comprimir un fluido tal como el helio, cuya expansión realiza una refrigeración.

15 Un motor electrodinámico lineal de la técnica anterior comprende generalmente dos bobinas inductoras dotadas de movimiento de traslación, un circuito de alimentación de las bobinas inductoras con corriente alterna y dos pistones respectivamente relacionados con las dos bobinas inductoras. Cada pistón está montado sobre un cojinete que desarrolla una fuerza de recuperación elástica axial proporcional al desplazamiento del pistón. Por efecto de las fuerzas magnéticas cíclicas, las bobinas inductoras imprimen a los pistones un movimiento lineal alternativo. Los pistones configuran masas móviles en traslación, lo cual permite comprimir el fluido.

20 Con el propósito de maximizar la amplitud del desplazamiento de cada pistón, por tanto, la compresión del fluido, el motor está pilotado de modo que los pistones trabajen a o cerca de su frecuencia de resonancia mecánica. Además, con este mismo propósito, el motor está diseñado para reducir las fuerzas de amortiguación de los pistones, en particular los rozamientos.

25 Sin embargo, esta reducción de las fuerzas de amortiguación hace el motor sensible a las vibraciones y a los choques, los cuales pueden provocar excesivas oscilaciones de los pistones que produzcan choques internos entre cada pistón y las partes fijas del motor, lo cual disminuye las prestaciones y/o la vida útil del motor. Ahora bien, en el campo de los vehículos espaciales, el lanzamiento induce abundantes choques y vibraciones.

30 Una solución consiste en equipar el motor con circuitos secundarios que unen los respectivos bornes de las bobinas inductoras, al objeto de cortocircuitarlas. De este modo, cuando choques o vibraciones desplazan los pistones, la variación de flujo magnético en las bobinas induce en ellas, según la ley de Lenz, una fuerza contraelectromotriz, que genera una fuerza magnética que se opone al desplazamiento de los pistones y amortigua su desplazamiento.

No obstante, la fuerza magnética generada es insuficiente para amortiguar las vibraciones elevadas, especialmente por venir determinada por el dimensionamiento de las bobinas inductoras. Adicionalmente, la inductancia de una bobina inductora provoca un corrimiento de fase que causa un retardo en la generación de la fuerza magnética amortiguadora de los pistones, los cuales, por tanto, se desplazan a pesar de todo con una excesiva amplitud.

35 La presente invención pretende especialmente solucionar, total o parcialmente, los problemas antes mencionados.

A tal efecto, la invención tiene por objeto un motor de tipo electrodinámico lineal, para comprimir un fluido circulante por un refrigerador criogénico especialmente de ciclo de Stirling, comprendiendo el motor:

- al menos un circuito de alimentación adaptado para suministrar una corriente de alimentación alterna bajo una tensión de alimentación alterna;
- 40 - al menos una masa móvil, tal como un pistón, según un movimiento de traslación entre una primera posición y una segunda posición en la que la masa móvil puede comprimir el fluido; y
- al menos una bobina inductora unida al circuito de alimentación y establecida al objeto de impartir el movimiento de traslación a una respectiva masa móvil;
- 45 - al menos un circuito secundario establecido para ser unido a los bornes de al menos una bobina inductora; y
- al menos un órgano de conmutación establecido al objeto de unir selectivamente el circuito secundario a al menos una bobina inductora
- incluyendo el circuito secundario al menos un componente de compensación adaptado para producir un corrimiento de fase entre dicha tensión de alimentación alterna y dicha corriente de alimentación alterna, al objeto de reducir el desfase que produce la inductancia de la bobina inductora entre dicha tensión de alimentación alterna y dicha corriente de alimentación alterna
- 50

cf. el documento JP 2010048150 A considerado el antecedente más próximo, cf. asimismo los documentos FR 2909493 A1 o WO 2008/016285 A2.

El motor se caracteriza por que el o cada órgano de conmutación presenta:

- 5
- una primera posición, en la que el respectivo circuito secundario está unido a la respectiva bobina inductora; y
 - una segunda posición, en la que el respectivo circuito secundario está desconectado de la respectiva bobina inductora, y

el o cada órgano de conmutación se establece de modo que:

- 10
- en la primera posición, el respectivo circuito de alimentación está desconectado de la respectiva bobina inductora; y
 - en la segunda posición, el respectivo circuito de alimentación está unido a la respectiva bobina inductora.

Dicho de otro modo, la bobina inductora se alimenta temporalmente por medio de un circuito secundario que incluye componentes que compensan el corrimiento de fase provocado por la inductancia de la bobina inductora y que, por tanto, limitan o evitan el retardo en la generación de la fuerza magnética que amortigua el o cada pistón.

- 15
- De este modo, en un motor conforme a la invención, la amortiguación del pistón es rápida y óptima, lo cual permite aumentar las prestaciones y/o la vida útil de tal motor.

En la presente solicitud, los verbos “unir”, “conectar” y sus derivados se refieren a una unión eléctrica realizada por mediación de algún, de un solo o de varios componentes eléctricos. En la presente solicitud, el verbo “relacionar” y sus derivados se refieren a una unión mecánica.

- 20
- De acuerdo con una forma de realización, al menos un componente de compensación es un componente eléctrico pasivo.

De este modo, tal componente de compensación permite compensar el corrimiento de fase, de manera fiable y ocupando poco espacio.

- 25
- De acuerdo con una forma de realización, al menos un componente de compensación se selecciona del grupo constituido a partir de un componente esencialmente resistivo, un componente esencialmente inductivo, un componente esencialmente capacitivo, un transistor y un amplificador operacional.

De este modo, tal componente de compensación permite compensar eficazmente el corrimiento de fase provocado por la inductancia de la bobina inductora.

- 30
- De acuerdo con una forma de realización, al menos un circuito secundario incluye dos componentes de compensación.

De este modo, tal circuito secundario permite compensar eficazmente el corrimiento de fase provocado por la inductancia de la bobina inductora.

- 35
- De acuerdo con una forma de realización, al menos un circuito secundario incluye un componente esencialmente resistivo y un componente esencialmente capacitivo, estando el componente esencialmente resistivo y el componente esencialmente capacitivo unidos en serie.

De este modo, tal circuito secundario permite compensar, con una gran reactividad, el corrimiento de fase provocado por la inductancia de la bobina inductora.

- 40
- De acuerdo con una forma de realización, al menos un circuito secundario incluye un componente esencialmente resistivo y un componente esencialmente capacitivo, estando el componente esencialmente resistivo y el componente esencialmente capacitivo unidos en paralelo.

De este modo, tal circuito secundario permite compensar, con una gran reactividad, el corrimiento de fase provocado por la inductancia de la bobina inductora.

De este modo, tal órgano de conmutación puede ser accionado con facilidad para unir o desconectar el circuito secundario a o de la respectiva bobina inductora.

- 45
- De este modo, tal órgano de conmutación puede ser accionado con facilidad para unir o desconectar el circuito de alimentación a o de la respectiva bobina inductora.

De acuerdo con una forma de realización, el motor comprende además al menos un imán de tipo permanente.

De este modo, tal imán permanente permite inducir un flujo magnético en la bobina inductora.

De acuerdo con una forma de realización, el respectivo imán es fijo, y la respectiva bobina inductora está dotada de movimiento de traslación con respecto al imán respectivo.

5 De este modo, tal construcción permite limitar los riesgos de deterioro del imán fijo, el cual puede ser relativamente frágil.

De acuerdo con una forma de realización, la respectiva bobina inductora es fija, y el imán está dotado de movimiento de traslación con respecto a la bobina inductora.

De este modo, tal construcción reduce la masa arrastrada, en el caso en que el imán es menos pesado que la bobina inductora.

10 En tal forma de realización, cada imán está portado por una masa móvil, por ejemplo por un pistón.

De acuerdo con una forma de realización, el motor comprende dos bobinas inductoras, dos circuitos de alimentación y dos masas móviles, estableciéndose las dos masas móviles al objeto de desplazarse según direcciones paralelas, preferentemente según direcciones colineales, y en respectivos sentidos opuestos.

De este modo, tal motor permite maximizar la compresión, pues sus masas móviles se desplazan en contrafase.

15 Por otro lado, la presente invención tiene por objeto un refrigerador criogénico de ciclo de Stirling, comprendiendo el refrigerador criogénico un compresor para comprimir un fluido y un elemento de expansión para expansionar el fluido, estando caracterizado el refrigerador criogénico por que el compresor comprende, además, al menos un motor tal y como se ha expuesto anteriormente. Tal refrigerador presenta una alta fiabilidad.

20 Además, la presente invención tiene por objeto un procedimiento, para comprimir un fluido circulante por un refrigerador criogénico de ciclo de Stirling, de acuerdo con la reivindicación 14.

Se entenderá perfectamente la presente invención y también se desprenderán sus ventajas a la luz de la descripción subsiguiente, dada únicamente a título de ejemplo no limitativo y hecha con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

25 la figura 1 es una vista en sección parcial de un refrigerador criogénico que es conforme a una primera forma de realización de la invención y que comprende un motor conforme a una primera forma de realización de la invención; y

la figura 2 es una vista similar a la figura 1 de un refrigerador criogénico que es conforme a una segunda forma de realización de la invención y que comprende un motor conforme a una segunda forma de realización de la invención.

30 La figura 1 ilustra un refrigerador criogénico 1 que es de los de ciclo de Stirling y que puede ir embarcado en un vehículo espacial, no representado, tal como un satélite de observación de la Tierra.

El refrigerador criogénico 1 comprende un compresor 2, para comprimir un fluido de refrigeración, y un elemento de expansión, no representado, para expansionar el fluido. El compresor 2 comprende un cárter 3 y un motor 4 de tipo electrodinámico lineal. El motor 4 está montado dentro del cárter 3.

35 El motor 4 tiene como función la de comprimir el fluido. El motor 4 comprende dos bobinas inductoras 5.1 y 5.2, que en el ejemplo de las figuras son similares. Cada bobina inductora 5.1 y 5.2 se configura a partir de un arrollamiento de espiras que tiene la forma general de un cilindro de eje X.

40 El motor 4 comprende además dos imanes 6.1 y 6.2 de tipo permanente. En el ejemplo de las figuras, los imanes 6.1 y 6.2 son similares. Cada imán 6.1 ó 6.2 tiene una forma anular en su conjunto. Cada imán 6.1 ó 6.2 es fijo con respecto al cárter 3. Cada imán 6.1 ó 6.2 se establece para inducir un flujo magnético en la respectiva bobina inductora 5.1 ó 5.2. En el ejemplo de las figuras, los imanes 6.1 y 6.2 se hallan dispuestos radialmente en el exterior de las bobinas 5.1 y 5.2.

45 El motor 4 comprende además dos circuitos de alimentación 8.1 y 8.2, a los que están respectivamente unidas las bobinas inductoras 5.1 y 5.2. De este modo, los circuitos de alimentación 8.1 y 8.2 pueden suministrar, respectivamente hacia las bobinas inductoras 5.1 y 5.2, unas corrientes de alimentación I1 e I2 que son alternas y que se suministran bajo tensiones de alimentación U1 y U2 igualmente alternas.

A tal efecto, cada circuito de alimentación 8.1 u 8.2 comprende un respectivo generador 9.1 ó 9.2 unido a unos bornes 15.1, 16.1 ó 15.2, 16.2 de las bobinas inductoras 5.1 y 5.2.

50 Por efecto de la corriente de alimentación I1 ó I2, cada bobina inductora 5.1 ó 5.2 está dotada de movimiento de traslación según el eje X. Cada bobina inductora 5.1 ó 5.2 está dotada de movimiento de traslación con respecto al cárter 3 y a los imanes 6.1 y 6.2.

5 El motor 4 comprende además dos pistones 10.1 y 10.2 que son similares y que son respectivamente solidarios de las bobinas inductoras 5.1 y 5.2 y con posibilidad de traslación según el eje X. Cada pistón 10.1 ó 10.2 configura una masa móvil que está relacionada con una respectiva bobina inductora 5.1 ó 5.2, de modo que la bobina inductora 5.1 ó 5.2 desplaza el pistón 10.1 ó 10.2 según un movimiento de traslación que tiene, en el ejemplo de las figuras, una trayectoria lineal de eje X. Así, cada bobina inductora 5.1 ó 5.2 se establece al objeto de impartir un movimiento de traslación a un respectivo pistón 10.1 ó 10.2.

Las partes estáticas del motor 4 definen una cámara 12 en la que se encuentra fluido que va a comprimirse. Los pistones 10.1 y 10.2 son móviles entre una primera posición, visible en la figura 1, y una segunda posición, en la que los pistones 10.1 ó 10.2 pueden comprimir el fluido dentro de la cámara 12.

10 Los pistones 10.1 y 10.2 se establecen al objeto de desplazarse según direcciones colineales al eje X y en respectivos sentidos opuestos. Dicho de otro modo, cuando están en movimiento, los pistones 10.1 y 10.2 se aproximan o se alejan entre sí. La figura 1 ilustra su segunda posición, en la que los pistones 10.1 y 10.2 se hallan lo más cerca posible uno del otro y de la cámara 12.

15 Su primera posición es aquella en la que los pistones 10.1 y 10.2 se hallan en máximo alejamiento uno del otro. En esta primera posición, unos órganos de recuperación elástica pertenecientes al motor 4, tales como membranas flexibles, ejercen esfuerzos que devuelven los pistones 10.1 y 10.2 hacia su segunda posición. Estos esfuerzos son proporcionales a los desplazamientos de los pistones 5.1 y 5.2.

El motor 4 comprende además dos circuitos secundarios 14.1 y 14.2 que son similares y que se establecen para ser unidos respectivamente a los bornes 15.1, 16.1 y 15.2, 16.2 de las bobinas inductoras 5.1 ó 5.2.

20 El motor 4 comprende dos órganos de conmutación o conmutadores 21 y 22, respectivamente establecidos al objeto de unir selectivamente cada circuito secundario 14.1 ó 14.2 a una respectiva bobina inductora 5.1 ó 5.2. Cada conmutador 21 ó 22 puede estar configurado a partir de un relé, de un transistor de efecto de campo de puerta aislada que más corrientemente recibe el nombre de MOSFET (acrónimo inglés de la expresión "*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*"), de un componente activo, etc.

25 En el ejemplo de las figuras, cada conmutador 21 ó 22 es biestable, de tal modo que presenta:

- una primera posición, representada por la posición 21.14 en la figura 1, en la que el respectivo circuito secundario 14.1 ó 14.2 está unido a la respectiva bobina inductora 5.1 ó 5.2; y
- una segunda posición, representada por la posición 21.8 en la figura 1, en la que el respectivo circuito secundario 14.1 ó 14.2 está desconectado de la respectiva bobina inductora 5.1 ó 5.2.

30 Cada conmutador 21 ó 22 se establece de modo que:

- en la primera posición (21.14), el respectivo circuito de alimentación 8.1 u 8.2 está desconectado de la respectiva bobina inductora 5.1 ó 5.2; esta primera posición (21.14) se lleva a la práctica cuando el motor 4 está en funcionamiento, es decir, generalmente cuando el motor 4 no está sometido a choques ni a vibraciones transmitidos por el vehículo espacial que lo sustenta (fase estacionaria, en vuelo); y
- 35 - en la segunda posición (21.8), el respectivo circuito de alimentación 8.1 u 8.2 está unido a la respectiva bobina inductora 5.1 ó 5.2; esta segunda posición (21.8) se lleva a la práctica cuando el motor 4 está parado o en espera, es decir, generalmente cuando el motor 4 está sometido a choques o a vibraciones transmitidos por el vehículo espacial que lo sustenta (fase transitoria, en despegue).

40 El circuito secundario 14.1 incluye un componente resistivo o resistencia R1 y un componente capacitivo o condensador C1. En el ejemplo de la figura 1, la resistencia R1 y el condensador C1 están unidos en paralelo.

La resistencia R1 y el condensador C1 configuran dos componentes eléctricos pasivos, que son llamados "de compensación", pues están adaptados para producir un corrimiento de fase entre la tensión de alimentación U1 y la corriente de alimentación I1, al objeto de reducir el desfase que la inductancia de la bobina inductora 5.1 produce entre la tensión de alimentación U1 y la corriente de alimentación I1.

45 Igualmente, el circuito secundario 14.2 incluye un componente resistivo o resistencia R2 y un componente capacitivo o condensador C2. En el ejemplo de la figura 1, la resistencia R2 y el condensador C2 están unidos en paralelo.

50 La resistencia R2 y el condensador C2 configuran dos componentes eléctricos pasivos, que son llamados "de compensación", pues están adaptados para producir un corrimiento de fase entre la tensión de alimentación U2 y la corriente de alimentación I2, al objeto de reducir el desfase que la inductancia de la bobina inductora 5.2 produce entre la tensión de alimentación U2 y la corriente de alimentación I2.

De manera en sí conocida, la inductancia de la bobina inductora 5.1 produce un desfase entre la tensión de alimentación U1 y la corriente de alimentación I1, estando la tensión de alimentación U1 adelantada en fase

respecto a la corriente de alimentación I1. Igualmente, la inductancia de la bobina inductora 5.2 produce un desfase entre la tensión de alimentación U2 y la corriente de alimentación I2, estando la tensión de alimentación U2 adelantada en fase respecto a la corriente de alimentación I2.

5 Hasta tanto el circuito secundario 14.1 es similar al circuito secundario 14.2, la descripción del circuito secundario 14.1, que a continuación se da en relación con la figura 1, puede extrapolarse al circuito secundario 14.2.

El circuito secundario 14.1, con la resistencia R1 y el condensador C1 en paralelo, produce un corrimiento de fase Delta.Fi.14.1 evaluado en grados como sigue:

$$\text{Delta.Fi.14.1 (grados)} = -\arctan(2\pi f R1 C1)$$

siendo:

- 10
- f, la frecuencia de la fuente de vibración mecánica exterior
 - arctan: función arco tangente
 - pi: número irracional aproximadamente igual a 3,141593...

15 El valor de la resistencia R1 y de la capacidad del condensador C1 se determina al objeto de compensar total o parcialmente el desfase producido por la inductancia de la bobina inductora 5.1 ó 5.2. En el ejemplo de las figuras, el valor de la resistencia R1 y la capacidad del condensador C1 son respectivamente iguales a 1 ohmio y 1 milifaradio (mF).

En servicio, el motor 4 se lleva a la práctica según un procedimiento conforme a la invención para comprimir un fluido circulante por el refrigerador criogénico 1.

20 Cada circuito de alimentación 8.1 u 8.2 alimenta una bobina inductora 5.1 ó 5.2, pues cada generador 9.1 ó 9.2 suministra una corriente de alimentación I1 ó I2 bajo una tensión de alimentación U1 ó U2.

25 Cada bobina inductora 5.1 ó 5.2 genera unas fuerzas magnéticas cíclicas, que imprimen a cada pistón 10.1 ó 10.2 un movimiento lineal alternativo, según el eje X, y en sentidos opuestos. Los pistones 10.1 y 10.2 comprimen el fluido cuando llegan simultáneamente a la segunda posición, es decir, lo más cerca posible de la cámara 12. El fluido fluye entonces hacia un conducto 17 que lo lleva fuera del compresor 2 y hacia un elemento de expansión, no representado.

Para maximizar la amplitud del desplazamiento de cada pistón 10.1 ó 10.2, por tanto, para maximizar la compresión del fluido, el motor 4 está pilotado de modo que los pistones 10.1 y 10.2 trabajen a o cerca de su frecuencia de resonancia mecánica.

30 De este modo, en un modo de servicio, se suministra la corriente de alimentación alterna I1, I2 a cada bobina inductora 5.1, 5.2 al objeto de impartir un movimiento de traslación a una respectiva masa móvil 10.1, 10.2 entre una primera posición y una segunda posición en la que la respectiva masa móvil 10.1, 10.2 puede comprimir el fluido.

Cuando ocurre un choque o vibraciones, la variación de flujo magnético en las bobinas inductoras 5.1 y 5.2 induce en ellas, según la ley de Lenz, una fuerza contraelectromotriz que genera una fuerza magnética que se opone al desplazamiento de los pistones 10.1 y 10.2 y amortigua su desplazamiento.

35 Como se ha puntualizado anteriormente, el circuito secundario 14 compensa el desfase, de tal modo que la fuerza magnética es generada con poco o ningún retardo sobre las vibraciones o el choque acontecido, en particular a la frecuencia de resonancia de los pistones.

40 En un modo de amortiguación, cuando se detecta un choque y/o una vibración, se reduce el desfase que produce la inductancia de la bobina inductora 5.1, 5.2 entre la tensión de alimentación alterna U1, U2 y la corriente de alimentación alterna, al objeto de generar una fuerza magnética adaptada para amortiguar o anular un desplazamiento de una respectiva masa móvil 10.1, 10.2 resultante del choque y/o de la vibración.

De este modo, el desplazamiento de los pistones 10.1 y 10.2 queda debidamente amortiguado.

45 La figura 2 ilustra un refrigerador criogénico 101 y un motor 104 semejantes al refrigerador criogénico 1 y al motor 4. La descripción del refrigerador criogénico 1 y del motor 4 dada anteriormente en relación con la figura 2 se puede extrapolar al refrigerador criogénico 101 y al motor 104, a excepción de las diferencias que seguidamente se reseñan.

50 Un elemento del refrigerador criogénico 101 semejante o correspondiente a un elemento del refrigerador criogénico 1 lleva la misma referencia numérica aumentada en 100. Así, se define el refrigerador criogénico 101, un compresor 102, un cárter 103, el motor 104, unas bobinas inductoras 105.1 y 105.2, unos imanes 106.1 y 106.2, unos circuitos de alimentación 108.1 y 108.2, unos generadores 9.1 y 9.2, unas tensiones de alimentación U1 y U2 y

unas corrientes de alimentación I1 e I2, unos pistones 10.1 y 10.2, una cámara 112, unos circuitos secundarios 114.1 y 114.2, unos bornes 115.1, 116.1 y 115.2, 116.2, unas resistencias R101 y R102 y unos condensadores C101 y C102, un conducto 117 y unos conmutadores 121 y 122.

5 El refrigerador criogénico 101 difiere del refrigerador criogénico 1 porque la resistencia R101 y el condensador C101 están unidos en serie y porque la resistencia R102 y el condensador C102 están unidos en serie.

Hasta tanto el circuito secundario 114.1 es similar al circuito secundario 114.2, la descripción del circuito secundario 114.1, que a continuación se da en relación con la figura 2, puede extrapolarse al circuito secundario 114.2.

10 El circuito secundario 114.1, con la resistencia R101 y el condensador C101 en serie, produce un corrimiento de fase Delta.Fi.114.1 evaluado en grados como sigue:

$$\text{Delta.Fi.114.1 (grados)} = -90 + \arctan(2 \cdot \pi \cdot f \cdot R101 \cdot C101)$$

siendo:

f, la frecuencia de la fuente de vibración mecánica exterior

arctan: función arco tangente

15 pi: número irracional aproximadamente igual a 3,141593...

El valor de la resistencia R1 y de la capacidad del condensador C1 se determina al objeto de compensar total o parcialmente el desfase producido por la inductancia de la bobina inductora 105.1 ó 105.2. En el ejemplo de las figuras, el valor de la resistencia R101 y la capacidad del condensador C101 son respectivamente iguales a 1 ohmio y 1 milifaradio (mF).

20 De acuerdo con otras características ventajosas pero facultativas de la presente invención, tomadas aisladamente o según cualquier combinación técnicamente admisible:

- al menos un circuito secundario comprende más de dos componentes de compensación, por ejemplo tres.
- Al menos un componente de compensación se selecciona del grupo constituido a partir de un componente esencialmente inductivo, un transistor y/o un amplificador operacional.

25 - En lugar de un conmutador, el motor comprende dos conmutadores establecidos para gobernar cada uno de ellos un respectivo ramal del circuito de alimentación, al objeto de unir selectivamente el circuito secundario a al menos una bobina inductora.

30 - En lugar de dos respectivos imanes fijos y dos respectivas bobinas inductoras móviles, el motor puede comprender dos respectivas bobinas inductoras móviles y dos respectivos imanes fijos. En tal variante, cada imán está portado por una masa móvil, por ejemplo por un pistón.

- En una variante que comprende un conmutador biestable, cabe prever, entre las dos posiciones de contacto, una posición neutra en la que la bobina inductora no está unida a ningún circuito.

35

REIVINDICACIONES

1. Motor (4; 104) de tipo electrodinámico lineal, para comprimir un fluido circulante por un refrigerador criogénico (1; 101), especialmente de ciclo de Stirling, comprendiendo el motor (4; 104):

- 5 - al menos un circuito de alimentación (8.1, 8.2; 108.1, 108.2) adaptado para suministrar una corriente de alimentación alterna (I1, I2; I101, I102) bajo una tensión de alimentación alterna (U1, U2; U101, U102);
- al menos una masa móvil (10.1, 10.2; 110.1, 110.2), tal como un pistón, según un movimiento de traslación entre una primera posición y una segunda posición en la que la respectiva masa móvil (10.1, 10.2; 110.1, 110.2) puede comprimir el fluido; y
- 10 - al menos una bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2) unida al circuito de alimentación (8.1, 8.2; 108.1, 108.2) y establecida al objeto de impartir el movimiento de traslación a una respectiva masa móvil (10.1, 10.2; 110.1, 110.2);
- al menos un circuito secundario (14.1, 14.2; 114.1, 114.2) establecido para ser unido a los bornes (15.1, 15.2; 16.1, 16.2) de al menos una bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2); y
- 15 - al menos un órgano de conmutación (21, 22; 121, 122) establecido al objeto de unir selectivamente el circuito secundario (14.1, 14.2; 114.1, 114.2) a al menos una bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2);
- incluyendo el circuito secundario (14.1, 14.2; 114.1, 114.2) al menos un componente de compensación (R1, R2, C1, C2; R101, R102, C101, C102) adaptado para producir un corrimiento de fase entre dicha tensión de alimentación alterna y dicha corriente de alimentación alterna (I1, I2; I101, I102), al objeto de reducir el desfase que produce la inductancia de la bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2) entre dicha tensión de alimentación alterna (U1, U2; U101, U102) y dicha corriente de alimentación alterna (I1, I2; I101, I102),
- 20

estando el motor (4, 104), caracterizado por que el o cada órgano de conmutación (21, 22; 121, 122) presenta:

- una primera posición, en la que el respectivo circuito secundario (14.1, 14.2; 114.1, 114.2) está unido a la respectiva bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2); y
- 25 - una segunda posición, en la que el respectivo circuito secundario (14.1, 14.2; 114.1, 114.2) está desconectado de la respectiva bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2); y

en el que el o cada órgano de conmutación (21, 22; 121, 122) se establece de modo que:

- en la primera posición, el respectivo circuito de alimentación (8.1, 8.2; 108.1, 108.2) está desconectado de la respectiva bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2); y
- 30 - en la segunda posición, el respectivo circuito de alimentación (8.1, 8.2; 108.1, 108.2) está unido a la respectiva bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2).

2. Motor (4; 104) según la reivindicación 1, en el que al menos un componente de compensación (R1, R2, C1, C2; R101, R102, C101, C102) es un componente eléctrico pasivo.

3. Motor (4; 104) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos un componente de compensación (R1, R2, C1, C2; R101, R102, C101, C102) se selecciona del grupo constituido a partir de un componente esencialmente resistivo, un componente esencialmente inductivo, un componente esencialmente capacitivo, un transistor y un amplificador operacional.

4. Motor (4; 104) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos un circuito secundario (14.1, 14.2; 114.1, 114.2) incluye dos componentes de compensación (R1, R2, C1, C2; R101, R102, C101, C102).

5. Motor (4) según las reivindicaciones 3 y 4, en el que al menos un circuito secundario (14.1, 14.2) incluye un componente esencialmente resistivo y un componente esencialmente capacitivo, estando el componente esencialmente resistivo y el componente esencialmente capacitivo unidos en serie.

6. Motor (104) según las reivindicaciones 3 y 4, en el que al menos un circuito secundario (114.1, 114.2) incluye un componente esencialmente resistivo y un componente esencialmente capacitivo, estando el componente esencialmente resistivo y el componente esencialmente capacitivo unidos en paralelo.

7. Motor (4; 104) según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende además al menos un imán (6.1, 6.2; 106.1, 106.2) de tipo permanente.

8. Motor (4; 104) según la reivindicación 7, en el que el respectivo imán (6.1, 6.2; 106.1, 106.2) es fijo, y la respectiva bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2) está dotada de movimiento de traslación con respecto al imán respectivo (6.1, 6.2; 106.1, 106.2).

9. Motor (4; 104) según la reivindicación 7, en el que la respectiva bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2) es fija, y el imán (6.1, 6.2; 106.1, 106.2) está dotado de movimiento de traslación con respecto a la bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2).

5 10. Motor (4; 104) según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende dos bobinas inductoras (5.1, 5.2; 105.1, 105.2), dos circuitos de alimentación (8.1, 8.2; 108.1, 108.2) y dos masas móviles (10.1, 10.2; 110.1, 110.2), estableciéndose las dos masas móviles (10.1, 10.2; 110.1, 110.2) al objeto de desplazarse según direcciones paralelas (X), preferentemente según direcciones colineales, y en respectivos sentidos opuestos.

10 11. Motor según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por que el circuito secundario está diferenciado del circuito de alimentación y es del tipo eléctrico pasivo, es decir, el circuito secundario no incluye órgano de alimentación eléctrica del tipo activo tal como un generador de corriente.

12. Motor según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por que el circuito principal es del tipo eléctrico activo, es decir, contiene un órgano de alimentación eléctrica del tipo activo tal como un generador de corriente.

15 13. Refrigerador criogénico (1; 101) de ciclo de Stirling, comprendiendo el refrigerador criogénico (1; 101) un compresor (2; 102) para comprimir un fluido y un elemento de expansión para expandir el fluido, estando caracterizado el refrigerador criogénico (1; 101) por que el compresor (2; 102) comprende al menos un motor (4; 104) según una de las reivindicaciones anteriores.

20 14. Procedimiento, para comprimir un fluido circulante por un refrigerador criogénico (1; 101) de ciclo de Stirling, llevando el procedimiento a la práctica un motor (4; 104) de tipo electrodinámico lineal, para comprimir un fluido circulante por un refrigerador criogénico (1; 101), especialmente de ciclo de Stirling, comprendiendo el motor (4; 104):

- al menos un circuito de alimentación (8.1, 8.2; 108.1, 108.2) adaptado para suministrar una corriente de alimentación alterna (I1, I2; I101, I102) bajo una tensión de alimentación alterna (U1, U2; U101, U102);
- 25 - al menos una masa móvil (10.1, 10.2; 110.1, 110.2), tal como un pistón, según un movimiento de traslación entre una primera posición y una segunda posición en la que la respectiva masa móvil (10.1, 10.2; 110.1, 110.2) puede comprimir el fluido; y
- al menos una bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2) unida al circuito de alimentación (8.1, 8.2; 108.1, 108.2) y establecida al objeto de impartir el movimiento de traslación a una respectiva masa móvil (10.1, 10.2; 110.1, 110.2);
- 30 - al menos un circuito secundario (14.1, 14.2; 114.1, 114.2) establecido para ser unido a los bornes (15.1, 15.2; 16.1, 16.2) de al menos una bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2); y
- al menos un órgano de conmutación (21, 22; 121, 122) establecido al objeto de unir selectivamente el circuito secundario (14.1, 14.2; 114.1, 114.2) a al menos una bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2);
- 35 - incluyendo el circuito secundario (14.1, 14.2; 114.1, 114.2) al menos un componente de compensación (R1, R2, C1, C2; R101, R102, C101, C102) adaptado para producir un corrimiento de fase entre dicha tensión de alimentación alterna y dicha corriente de alimentación alterna (I1, I2; I101, I102), al objeto de reducir el desfase que produce la inductancia de la bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2) entre dicha tensión de alimentación alterna (U1, U2; U101, U102) y dicha corriente de alimentación alterna (I1, I2, I101, I102),

caracterizado por que el o cada órgano de conmutación presenta:

- 40 - una primera posición, en la que el respectivo circuito secundario (14.1, 14.2; 114.1, 114.2) está unido a la respectiva bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2); y
- una segunda posición, en la que el respectivo circuito secundario (14.1, 14.2; 114.1, 114.2) está desconectado de la respectiva bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2); y

en el que el o cada órgano de conmutación (21, 22; 121, 122) se establece de modo que:

- 45 - en la primera posición, el respectivo circuito de alimentación (8.1, 8.2; 108.1, 108.2) está desconectado de la respectiva bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2); y
- en la segunda posición, el respectivo circuito de alimentación (8.1, 8.2; 108.1, 108.2) está unido a la respectiva bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2),

y por comprender el procedimiento:

50

- en un modo de servicio, la etapa de suministrar una corriente de alimentación alterna (I1, I2; I101, I102) a al menos una respectiva bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2), al objeto de impartir un movimiento de traslación a una respectiva masa móvil (10.1, 10.2; 110.1, 110.2) entre una primera posición y una segunda posición en la que la respectiva masa móvil (10.1, 10.2; 110.1, 110.2) puede comprimir el fluido.
- 5 15. Procedimiento según la reivindicación 14, caracterizado por que el procedimiento comprende, en un modo de amortiguación, cuando se detecta un choque y/o una vibración, la etapa de reducir el desfase que produce la inductancia de la bobina inductora (5.1, 5.2; 105.1, 105.2) entre la tensión de alimentación alterna (U1, U2; U101, U102) y la corriente de alimentación alterna, al objeto de generar una fuerza magnética adaptada para amortiguar o anular un desplazamiento de una respectiva masa móvil (10.1, 10.2; 110.1, 110.2) resultante de dicho choque y/o de dicha vibración.
- 10

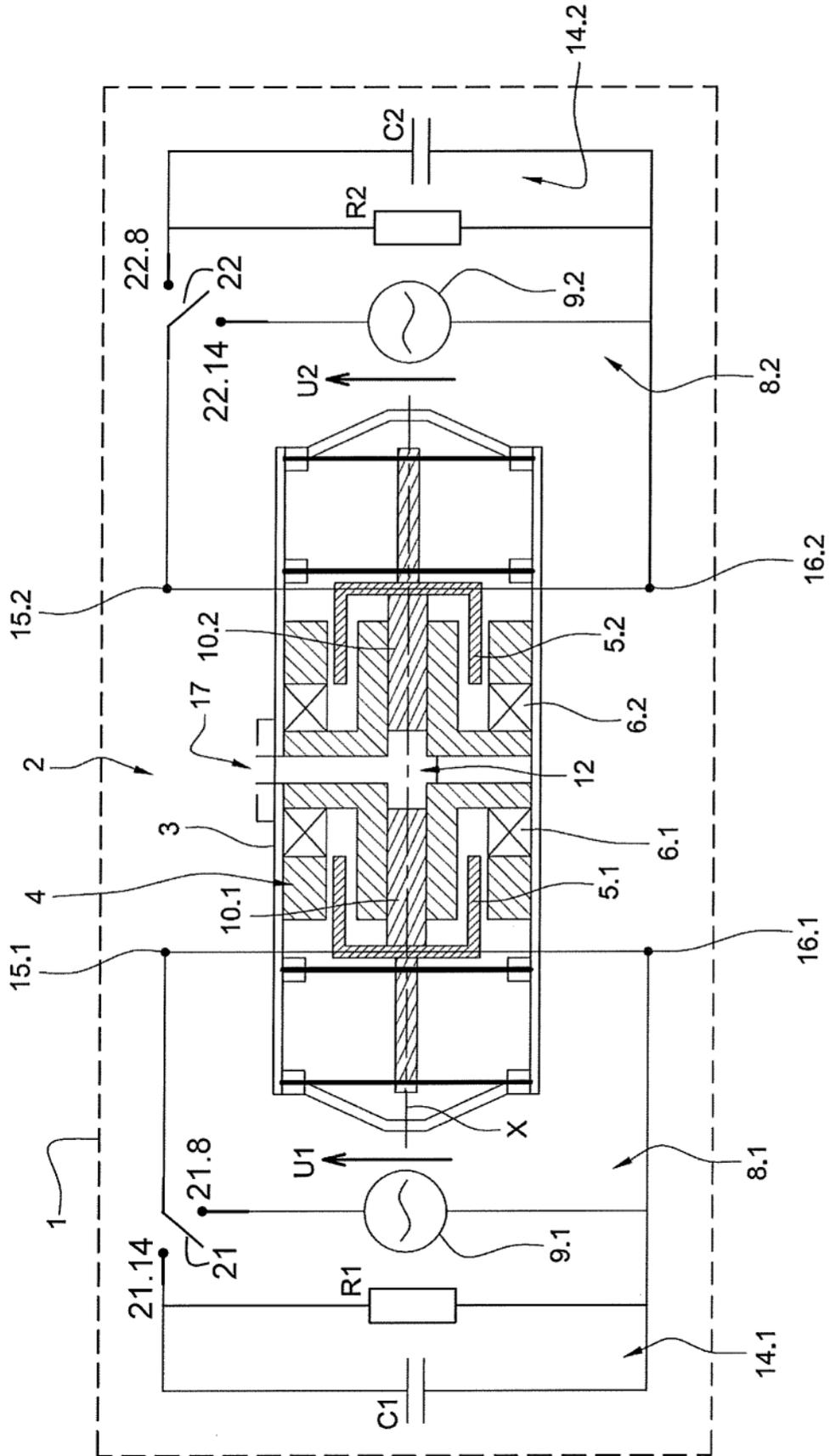


Fig. 1

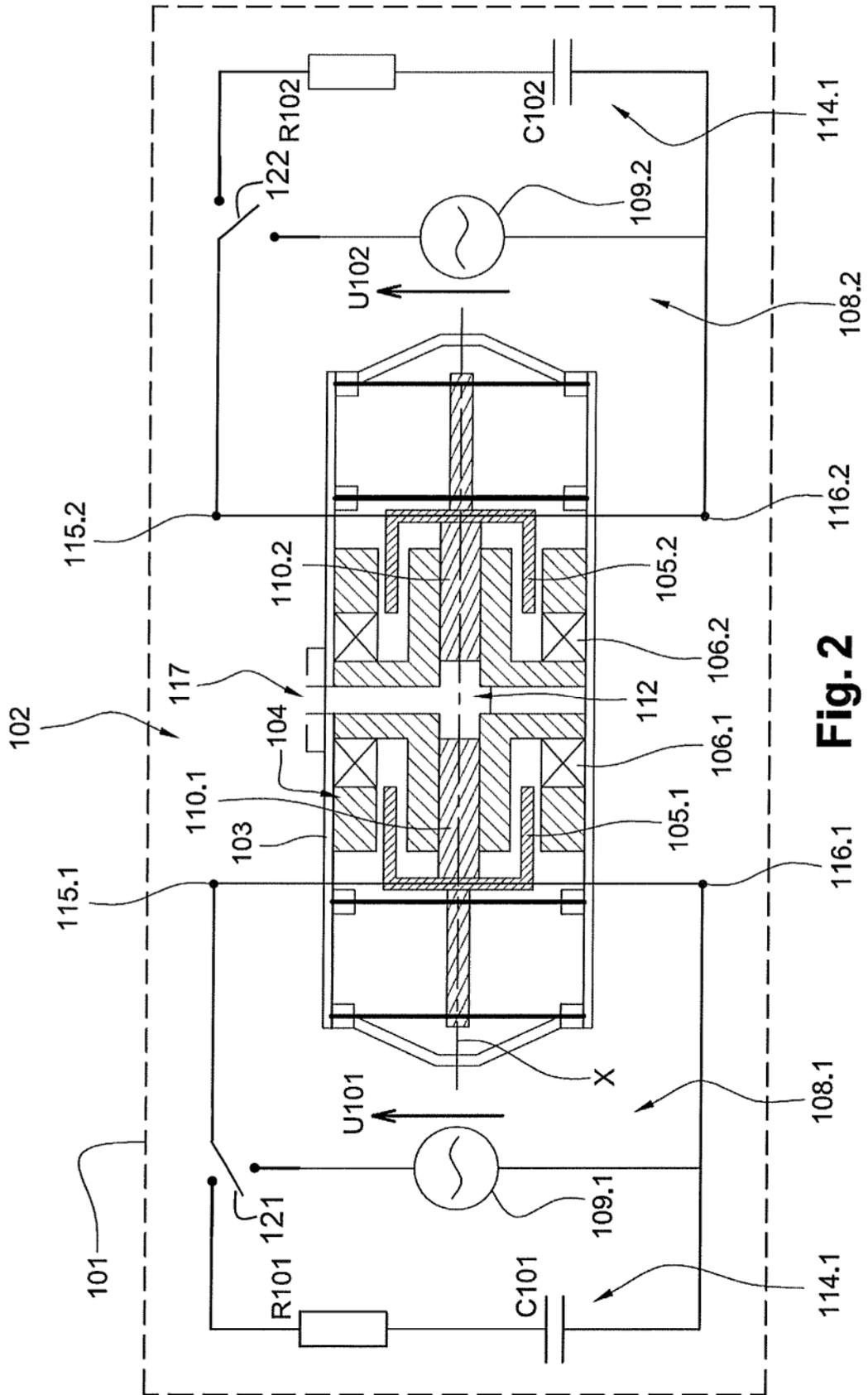


Fig. 2