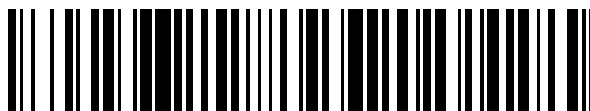


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 703 452**

51 Int. Cl.:

F16F 6/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.09.2015** **E 15382461 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.09.2018** **EP 3147534**

54 Título: **Amortiguador de vibraciones magnético mejorado con emparejamiento de impedancia mecánica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.03.2019

73 Titular/es:

MAG SOAR SL (100.0%)
Avda. Europa, 82
28341 Valdemoro (Madrid), ES

72 Inventor/es:

PÉREZ DÍAZ, JOSÉ LUIS;
VALIENTE BLANCO, IGNACIO;
CRISTACHE, CRISTIAN y
DÍEZ JIMÉNEZ, EFRÉN

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 703 452 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

Amortiguador de vibraciones magnético mejorado con emparejamiento de impedancia mecánica

5 Campo de la invención

La presente invención tiene su aplicación en el sector mecánico, especialmente, en el área industrial dedicada a proporcionar amortiguadores de vibraciones.

10 Estado de la técnica

Las vibraciones son ubicuas en dispositivos mecánicos, maquinaria y vehículos, siendo generadas por ejemplo por los motores, rotores desequilibrados, rugosidad de la carretera, turbulencias, etc. En la mayoría de los casos, estas vibraciones deben ser amortiguadas o atenuadas para un rendimiento adecuado de tales dispositivos. Por ejemplo, en el caso de que el motor de una aeronave pierda una pala y se desequilibre, las vibraciones en la aeronave deben ser amortiguadas suficientemente para que el piloto pueda seguir teniendo el control de la aeronave. En otros casos minoritarios, las vibraciones se generan por un propósito, tal como sillones de vibración, transporte de polvos, taladros percutores, etc.

Por lo tanto, la transmisión y amortiguación de vibraciones ha sido extensamente estudiada en el campo de la ingeniería mecánica. Cualquier estructura rígida o sistema mecánico se comporta como un camino o "circuito" para una excitación oscilante que se caracteriza por su impedancia mecánica, definida como la relación entre fuerza y velocidad. Se conocen tres tipos de elementos que pueden combinarse para proporcionar al sistema una impedancia mecánica total: elementos rígidos, masas y amortiguadores. La impedancia mecánica depende de la frecuencia de excitación. Para el caso de un amortiguador viscoso, su impedancia mecánica o relación de amortiguación entre la fuerza ejercida por el amortiguador y la velocidad a la que se alarga (o acorta) es constante en un amplio rango de frecuencias.

Un parámetro útil para determinar la transmisión de vibraciones resultante sobre una estructura o banco es la transmisibilidad, definida como la relación entre la fuerza ejercida por tal estructura o banco y su soporte dividido por la fuerza ejercida por la fuente de vibraciones en la estructura o banco.

Si se proporciona un amortiguador viscoso con una gran relación de amortiguación en una estructura, cuanto mayor sea su relación de amortiguación, mayor es la energía disipada y menor el factor de calidad de la resonancia. Es de sobra conocido que la amortiguación reduce el valor máximo de la transmisión – desplazando ligeramente la frecuencia de resonancia donde se produce dicho máximo – pero que incrementa el coeficiente de transmisión en el régimen de alta frecuencia. En otras palabras, el uso de un amortiguador viscoso reduce la transmisibilidad a frecuencias alrededor de la de resonancia, pero mejora la transmisibilidad en el régimen de alta frecuencia. Además, el uso de un amortiguador viscoso no afecta a la transmisibilidad en el régimen de muy baja frecuencia. Por ejemplo, los amortiguadores de aceite viscosos conocidos se utilizan en los automóviles con el fin de evitar la resonancia.

La forma más sencilla de reducir la transmisión de vibraciones, por ejemplo de una máquina rotativa al suelo, es reducir la rigidez de las conexiones a tierra. En este sentido, el acoplamiento elástico se utiliza ampliamente en la industria y edificios. Normalmente, se utiliza un banco flotante para soportar cualquier maquinaria que vibra. En general, un aislamiento de vibraciones realmente bueno se puede obtener mediante un diseño adecuado de estos bancos. Sin embargo, cuando las vibraciones de baja frecuencia necesitan ser suprimidas, este enfoque se vuelve ineficaz.

Una tecnología alternativa son los absorbedores de vibración dinámicos. Están diseñados para resonar, absorbiendo parte de la fuerza transmitida. Si se añade amortiguación al absorbedor, se ensancha el ancho de banda en el que el aislamiento de las vibraciones es efectivo. De nuevo, estos sistemas solo son eficaces a la frecuencia resonante y empeoran su comportamiento en otros regímenes

Además, hay entornos particularmente exigentes donde la amortiguación y el control de vibraciones siguen siendo problemas sin resolver. Por ejemplo, los turboventiladores montados en fuselaje requieren un sistema de aislamiento muy eficiente con el fin de asegurar una reducción en la transmisión de las vibraciones a la estructura de la aeronave, pero la alta temperatura del motor (que puede ser de hasta 650 °C cerca del motor) impide el uso de la mayoría de sistemas basados en materiales viscosos o viscoelásticos.

Los materiales elastoméricos con un alto coeficiente de amortiguación han sido también utilizados por ejemplo en el sistema divulgado en el documento US 4199128 A. Sin embargo, están limitados por condiciones ambientales tales como la temperatura de operación (normalmente, intervalo de temperatura operativa de -55 a 70 °C) o el ataque de fluidos del motor. Existen siliconas especiales que son capaces de funcionar por un corto tiempo a incluso 150 °C. Más allá de esa temperatura, presentan fluencia y fatiga, exhibiendo un comportamiento no lineal, que es fuertemente dependiente de la frecuencia, temperatura y condiciones de carga tales como precargas y amplitud de movimiento. Como alternativa, los documentos US 6491290 B2 y US 4938463 A presentan cámaras de vibración

con cámaras llenas de fluido, pero esos sistemas tienen limitaciones similares a los montajes con elastómeros en términos de intervalo de temperatura y vida útil. Los montajes de los motores aeroespaciales - como por ejemplo el descrito en el documento US 4875655- mantienen el motor en las condiciones de vuelo más severas con una alta rigidez pero sin amortiguación. Esto se traduce en un muy reducido aislamiento de vibraciones normalmente inferior a 10 dB para las frecuencias bajas. Existe una clara necesidad de un amortiguador adecuado para estas condiciones de vuelo tan extremas.

Otros dispositivos que se utilizan actualmente son sistemas activos, donde un accionador (habitualmente electromagnético o piezoeléctrico) es dirigido para compensar la vibración de entrada. Estos sistemas pueden ser instalados en paralelo o en serie con los elementos de conexión. Sin embargo, el diseño del bucle de control de realimentación no es un asunto sencillo y hace falta un conocimiento avanzado de control de señales y sistemas electrónicos de potencia. Estos tienen que estar provistos de un sensor de vibración y un procesador electrónico para generar la señal de compensación para dar órdenes al accionador activo. Algunos inconvenientes típicos de los sistemas activos electromecánicos incluyen su alto coste, el peso y el requisito de control y sistemas de detección para operar con un consumo de energía relativamente alto. También se utilizan accionadores piezoeléctricos capaces de proporcionar fuerzas superiores. Sin embargo, están limitados por la deformación que sufren. Por lo tanto, este tipo de accionador con frecuencia requiere dispositivos de amplificación del desplazamiento. Por lo general, se prefieren accionadores apilados, mecanismos compatibles o sistemas hidráulicos como sistemas de amplificación para aislar vibraciones "de gran amplitud". Cada uno de estos sistemas de amplificación tiene sus propias limitaciones, incluyendo la dependencia de la temperatura del esfuerzo de deformación (o deformación), las altas tensiones requeridas y las no linealidades resultantes y fluencia. Además, estos accionadores piezoeléctricos amplificados tienden a ser voluminosos, pesados y de diseño complejo, lo que limita su aplicabilidad.

Los sistemas semiactivos proporcionan un enfoque alternativo en el que solamente se cambia un parámetro en función de las condiciones de vibración, lo que ahorra energía y requiere dispositivos de control más pequeños -por ejemplo, la viscosidad y coeficiente de amortiguación usando materiales magnetorreológicos. A pesar de que los sistemas activos y semiactivos son más caros y complejos, logran reducciones de vibración del orden de 25 dB, mientras que los sistemas pasivos alcanzan normalmente aislamientos de vibraciones no mayores de 10-15 dB. Su principal limitación es de nuevo el limitado intervalo de temperatura en el que los sensores y accionadores activos pueden operar y sobrevivir.

Un enfoque alternativo es utilizar amortiguadores magnéticos basados en corrientes de Foucault donde la pérdida de potencia se da en un conductor expuesto a un campo magnético alterno, tales como los descritos en los documentos US 4517505 A o US 5736798 A. Las disposiciones de imanes permanentes que oscilan dentro de un elemento conductor son el diseño más común para este tipo de dispositivos. Algunas ventajas de los amortiguadores de corrientes de Foucault es que pueden operar desde muy bajas temperaturas hasta por encima de 300 °C, son totalmente pasivos y no necesitan el contacto entre las partes móviles, lo que minimiza el desgaste y la fatiga. En estos dispositivos, la energía cinemática de los elementos vibrantes se disipa como calor. Sin embargo, la pérdida de potencia es proporcional al cuadrado de la velocidad de la oscilación, lo que los hace útiles solo para frecuencias relativamente altas pero no muy útiles para la amortiguación de vibraciones de baja frecuencia.

El documento WO2012015488, considerado como la técnica anterior más cercana, divulga un generador magnético con varias series de imanes.

Sumario de la invención

La presente invención resuelve todos los problemas anteriormente mencionados mediante la divulgación de un amortiguador de vibraciones magnético con al menos tres elementos coaxiales:

- Un primer elemento coaxial con al menos una pluralidad de primeros imanes permanentes igualmente espaciados a lo largo de la dirección del eje.
- Un segundo elemento coaxial con al menos una pluralidad de primeros imanes blandos, tales como elementos ferromagnéticos, igualmente espaciados a lo largo de la dirección del eje.
- Un tercer elemento coaxial con al menos dos segundos imanes permanentes.

Dependiendo del número de imanes permanentes y de imanes blandos en los diferentes elementos, el desplazamiento de un elemento se multiplica o se reduce r veces, donde " r " es la relación de reducción de desplazamiento lineal que depende del número de imanes permanentes en el primer y tercer elemento coaxial y el número de imanes blandos en el segundo elemento coaxial, tal como se explicará a continuación. Con la configuración divulgada, cuando una fuerza axial intenta inducir un movimiento relativo entre el primer elemento coaxial y el segundo elemento coaxial, el tercer elemento coaxial también se desplaza, pero r veces más rápido.

La variación alternativa del flujo magnético generado por el movimiento del tercer elemento coaxial puede entonces ser disipada por la conversión de este flujo magnético alternativo en corriente eléctrica y/o calor a través de medios

de conversión tales como bobinas o materiales conductores. La velocidad del flujo magnético alternativo es r veces más rápida que la velocidad del elemento de entrada oscilatorio. Esta multiplicación de la velocidad asegura una disipación de corriente de Foucault mucho más efectiva que en un amortiguador de corriente de Foucault simplemente directo. Por lo tanto, la energía mecánica se convierte más efectivamente en calor, amortiguando cualquier vibración que afecte al dispositivo.

Además de la conversión de la energía cinética en energía eléctrica como se ha descrito previamente, otros medios de conversión de energía pueden ser conectados interna o externamente al tercer elemento coaxial como, por ejemplo, un convertidor de energía cinética a térmica, como un amortiguador viscoso o un elastómero; y/o un convertidor de energía cinética a elástica, como un sistema de masa-resorte.

El aumento en la velocidad del tercer elemento coaxial contribuye a la eficiencia de la amortiguación de las vibraciones de manera óptima emparejando impedancias mecánicas. Debido a la multiplicación de la velocidad del tercer elemento coaxial, cualquier sistema de amortiguación externo o interno destinado a aumentar la amortiguación del sistema total puede reducirse de tamaño, reduciendo el peso y el coste.

Esto puede entenderse mejor en términos de una analogía entre impedancias mecánicas e impedancias eléctricas. De la misma manera que los transformadores eléctricos dividen tensión y multiplican corriente o viceversa, el dispositivo divulgado en la presente invención divide la fuerza y multiplica la velocidad. No hay ningún dispositivo mecánico conocido en el estado de la técnica capaz de realizar un acoplamiento tal debido a una holgura.

En la presente invención, la multiplicación de la velocidad mecánica se realiza en ausencia de contacto. Por lo tanto, no existe ninguna holgura, ningún desgaste y no necesita lubricación. La ausencia de lubricación hace al dispositivo apropiado para funcionar a temperaturas muy altas y muy bajas en las que los lubricantes fallarían normalmente o en áreas limpias en las que no se desean lubricantes.

En algunas realizaciones, la distancia entre los segundos imanes permanentes es mayor que el espaciado entre los primeros imanes permanentes y mayor que el espaciado entre los primeros imanes blandos.

Preferiblemente, dentro de una longitud unitaria (L), definida como dos veces la distancia entre los centros de los dos segundos imanes permanentes del tercer elemento coaxial, hay un primer número entero de primeros imanes permanentes en el primer elemento coaxial y un segundo número entero de primeros imanes blandos en el segundo elemento coaxial. El primer número entero y el segundo número entero verifican que su diferencia absoluta es igual a uno. Es decir, dentro de la longitud unitaria, o bien hay un primer imán permanente más que los primeros imanes blandos o uno menos. Esta configuración permite emparejar las impedancias del amortiguador, es decir, la conversión de velocidad entre el primer elemento coaxial y el tercer elemento coaxial, siempre que el segundo elemento coaxial es fijo.

Es importante destacar que la presencia de los primeros imanes permanentes y los segundos imanes permanentes no se limita necesariamente a una longitud unitaria. Dichos primeros imanes permanentes y segundos imanes permanentes pueden extenderse hasta cualquier longitud arbitraria manteniendo el espaciado constante. Preferiblemente, los primeros imanes permanentes y segundos imanes permanentes se extienden en una longitud de $(N + 1/2) \cdot L$, siendo N el número de segundos imanes permanentes del tercer elemento coaxial. Dicho número de segundos imanes permanentes es preferentemente un número par, ya que retirar un imán permanente de un par reduciría la capacidad de fuerza del amortiguador, aunque las configuraciones con una N impar pueden ser implementadas dentro del alcance de la presente invención como se reivindica.

Los primeros imanes blandos están situados entre los primeros imanes permanentes y los segundos imanes permanentes. Por ejemplo, suponiendo una configuración preferente cilíndrica con el primer elemento coaxial en el centro del sistema, los primeros imanes permanentes del primer elemento coaxial son una pluralidad de anillos más cercanos al eje, los primeros imanes blandos del segundo elemento coaxial son una pluralidad de anillos con un diámetro interior mayor que el diámetro exterior de los primeros imanes permanentes y los segundos imanes permanentes del tercer elemento coaxial son una pluralidad de anillos con un diámetro interior mayor que el diámetro exterior de los primeros imanes blandos. Sin embargo, cabe destacar que en otras implementaciones preferentes, los terceros elementos coaxiales pueden o bien ser el elemento más cercano al eje o puede haber dos elementos coaxiales terceros, uno más cercano al eje y uno más alejado de dicho eje; con el resto de los elementos que estarían posicionados en consecuencia para garantizar la presencia de los primeros imanes blandos entre los primeros imanes permanentes y los segundos imanes permanentes. En otras realizaciones preferentes del amortiguador, el amortiguador puede comprender múltiples capas alternantes de primeros imanes permanentes y primeros imanes blandos.

Es importante destacar que son posibles otras geometrías equivalentes para los imanes permanentes y blandos más allá de la configuración anular, como geometrías poligonales con un eje central común.

Preferiblemente, los primeros imanes permanentes y los segundos imanes permanentes están polarizados axialmente, es decir, que están polarizados en una dirección paralela a la dirección del eje del amortiguador. Sin

embargo, otras implementaciones particulares de la invención pueden comprender imanes permanentes polarizados en una dirección perpendicular al eje, es decir, una polarización radial en el caso de los imanes anulares. Cabe destacar que ambas polarizaciones son similares en el rendimiento, pero una polarización puede ser más conveniente que la otra en función de la contaminación magnética externa, ya que una contamina radialmente y la otra, axialmente.

Las implementaciones particulares de la invención pueden comprender prismas y/o imanes planos en lugar de anillos, al mismo tiempo que se mantiene la distribución de los elementos de la invención como se reivindica. En este caso, la polarización axial también podría denominarse polarización longitudinal, mientras que la polarización perpendicular sería equivalente a la polarización radial de los imanes anulares.

Independientemente de la geometría particular de cada capa o elemento del amortiguador, como se indica antes, las opciones preferentes para disipar el flujo magnético generado son:

- Un elemento conductor externo, como por ejemplo, un cilindro de cobre hueco. El movimiento de los segundos imanes permanentes genera una variación del flujo magnético a través de la pared del cilindro hueco, generando corrientes de Foucault. Estas corrientes de Foucault se disipan a causa de la ley de Ohm y por lo tanto la energía se transforma en calor que se disipará con el medio ambiente por convección o radiación. Más preferiblemente, el elemento conductor exterior comprende una pluralidad de aletas para aumentar la transferencia de calor por convección.
- Una o más bobinas que convierten las variaciones de flujo magnético en corriente eléctrica. Estas bobinas están conectadas a cualquier tipo de carga o equipo eléctrico a través de cables eléctricos. Dicha carga o equipos eléctricos pueden estar lejos. Esta opción tiene la ventaja de que la energía es consumida o disipada en la carga eléctrica y no en el dispositivo. Por ejemplo, el dispositivo puede ser sumergido en agua o en una atmósfera explosiva, mientras que la carga o el equipo eléctrico pueden estar en un ambiente seco y no explosivo. También por ejemplo, en un entorno donde sea un gran inconveniente generar calor, como un criostato, el dispositivo puede operar con normalidad mientras que el calor es generado por la carga eléctrica fuera de este entorno crítico.

Independientemente de la geometría particular de la capa de amortiguador, se pueden incorporar imanes blandos adicionales al primer elemento coaxial y/o los segundos elementos coaxiales. También, en algunas realizaciones los imanes blandos se incorporan al primer o al tercer elemento coaxial, pero no al otro. Estos casos en los que se incorporan imanes blandos adicionales tienen la ventaja de que la fuerza de amortiguación es mayor:

- En el tercer elemento coaxial: al menos un segundo imán blando entre al menos los al menos dos segundos imanes permanentes, y dos terceros imanes blandos en los extremos de los al menos dos segundos imanes permanentes. Para un mayor número de segundos imanes permanentes, esta configuración, obviamente, se puede ampliar con la alternancia de los imanes permanentes y blandos, con imanes blandos en ambos extremos. Preferiblemente, el al menos un segundo imán blando y los dos terceros imanes blandos tienen el mismo diámetro interno que los al menos dos segundos imanes permanentes, y un diámetro exterior más pequeño que dichos al menos dos segundos imanes permanentes. Más preferiblemente, el espesor axial resultante de los segundos y terceros imanes blandos es de aproximadamente la mitad del espesor radial de los segundos imanes permanentes (esto es, el espesor a lo largo de una dirección perpendicular al eje). También preferiblemente, el espesor axial del segundo o de los segundos imán(imanes) blando(s) (es decir, los imanes blandos entre dos imanes permanentes) es el doble del espesor axial de los terceros imanes blandos (es decir, los imanes blandos en los extremos). Más preferiblemente, el espesor axial de los segundos imanes blandos cubre aproximadamente toda la distancia entre dos segundos imanes permanentes cercanos.
- En el primer elemento coaxial: alternando primeros imanes permanentes y cuartos imanes blandos a lo largo de la dirección axial.

El amortiguador de vibraciones magnético divulgado convierte el movimiento mecánica de la vibración en un movimiento mecánico de vibración más rápido que se convierte de manera más eficiente en calor o energía eléctrica, proporcionando amortiguación ajustable y eficiente de cualquier vibración que afecte al amortiguador. Proporciona un emparejamiento de impedancias flexible. Opcionalmente puede incluirse amortiguación magnética asociada a la histéresis magnética y ajustarse por diseño. No hay desgaste y no hay necesidad de mantenimiento o lubricante. La falta de contacto proporciona una solución casi libre de mantenimiento para una vida de uso extendido. El amortiguador puede operar desde muy bajas a relativamente altas sin cambios significativos en su rendimiento. La interferencia electromagnética (EMI, por sus siglas en inglés) se puede reducir a casi cero con un sistema de aislamiento apropiado.

Una ventaja adicional de la presente invención es que reduce la transmisibilidad de forma simultánea en los regímenes de bajas y altas frecuencias.

En algunas realizaciones, el tercer elemento coaxial está conectado interna o externamente a otro amortiguador o sistema de amortiguación, tal como un amortiguador de masa-resorte o un amortiguador hidráulico. Debido a la

multiplicación de la velocidad del tercer elemento coaxial, estos sistemas adicionales de amortiguación pueden reducirse de tamaño, reduciendo el peso y el costo

5 Los diferentes aspectos y realizaciones de la invención definida en lo que antecede se pueden combinar entre sí, siempre que sean compatibles entre sí.

Las ventajas y características adicionales de la invención se harán evidentes a partir de la descripción detallada que sigue y que se señalan particularmente en las reivindicaciones adjuntas.

10 Breve descripción de las figuras

Con el propósito de ayudar al entendimiento de las características de la invención, de acuerdo con una realización práctica preferente de la misma y con el fin de complementar esta descripción, las figuras siguientes se adjuntan como parte integral de la misma, teniendo un carácter ilustrativo y no limitativo:

15 La Figura 1 muestra una sección transversal de una primera realización particular del amortiguador de la invención con un cilindro conductor hueco y el primer elemento coaxial como el elemento más interior.

20 La Figura 2 presenta en perspectiva la sección transversal mostrada en la figura 1, para una realización particular con imanes anulares.

25 La Figura 3 representa la sección transversal de una segunda realización particular del amortiguador de la invención que comprende imanes blandos adicionales en el primer y tercer elemento coaxial, así como un primer plano de dicha sección transversal.

30 La Figura 4 ilustra la sustitución del cilindro conductor por bobinas, de acuerdo con una tercera realización particular del amortiguador de la invención.

La Figura 5 muestra otra realización particular más de la invención con el tercer elemento coaxial ocupando la posición más interior.

35 La Figura 6 presenta otra realización particular de la invención con elementos coaxiales de terceros ocupando tanto la posición más interior como la más alejada. Se incluye una capa adicional de primeros imanes blandos entre el primer y tercer elemento coaxial.

La Figura 7 representa otra realización particular de la invención con múltiples capas consecutivas de primeros imanes permanentes y primeros imanes blandos.

40 La Figura 8 muestra el amortiguador de la Figura 3 conectado a otro amortiguador, tal como un amortiguador hidráulico o viscoso.

La Figura 9 muestra el amortiguador de la Figura 3, conectado a un sistema de amortiguación de masa-resorte.

45 La Figura 10 muestra una variante del amortiguador mostrado en la Figura 3, con el elemento de movimiento rápido restringido por un resorte.

Descripción detallada de la invención

50 Con el fin de simplificar la descripción de las realizaciones preferentes de la presente invención, el primer elemento coaxial (1) también se denomina elemento de movimiento lento (1), el segundo elemento coaxial (2) se denomina estator (2) y el tercer elemento coaxial (3) se denomina elemento de movimiento rápido (3). Sin embargo, puesto que 'estator' normalmente se refiere a un elemento cuya posición permanece fija, cualquier experto en la técnica reconocerá que la función real de cada elemento coaxial puede variar dependiendo de qué elemento coaxial se fija mecánicamente. Por ejemplo, en realizaciones particulares de la invención, el primer elemento coaxial (1) podría fijarse al suelo y, por lo tanto, utilizarse como estator, mientras que el segundo elemento coaxial (2) se mueve libremente a lo largo del eje. Por lo tanto, los siguientes ejemplos tienen el propósito de describir las relaciones entre los elementos coaxiales, pero no de limitar su conexión a otros elementos fijos o móviles externos.

60 La Figura 1 presenta una sección transversal de una primera implementación del amortiguador magnético de la invención. El amortiguador comprende tres elementos principales coaxiales con imanes, concretamente un elemento de movimiento lento (1), un estator (2) y un elemento de movimiento rápido (3). En este caso, el elemento de movimiento lento (1) es el elemento coaxial más interior, mientras que el elemento de movimiento rápido (3) es el elemento coaxial más exterior de los tres. Rodeando todos ellos, hay un elemento conductor (4), tal como un cilindro de cobre hueco. El elemento conductor está montado sobre el elemento de movimiento lento (1), aunque otras configuraciones mecánicas pueden ser implementadas siempre y cuando el elemento de movimiento rápido se pueda mover libremente con respecto a dicho elemento conductor (4). Por ejemplo, en realizaciones alternativas, el

elemento conductor (4) puede ser montado en el estator o en un montaje independiente separado de los otros elementos. El elemento de movimiento lento (1) comprende un primer medio de unión (5) y el estator (2) tiene un segundo medio de unión (6). Como medio de unión pueden considerarse diferentes soluciones convencionales como cojinetes esféricos, extremos de barra, ganchos, horquillas u orificios roscados. Para simplificar la explicación, consideramos que los primeros medios de unión (5) están conectados a la fuente de la vibración y porque los segundos medios de unión (6) están conectados a un punto fijo en donde las vibraciones se deben amortiguar.

El elemento de movimiento lento (1) comprende una pluralidad de primeros imanes permanentes (11), que están espaciados igualmente en la dirección del eje (7) del sistema. El estator (2) comprende una pluralidad de primeros imanes blandos (21), también igualmente espaciados en la dirección del eje (7), aunque cabe destacar que el espaciado es diferente al del caso del elemento de movimiento lento (1). Finalmente, el elemento de movimiento rápido (3) comprende dos segundos imanes permanentes (31), aunque como ya se ha mencionado previamente, un mayor número de segundos imanes permanentes (31) podría ser implementado.

Todos los elementos anteriormente mencionados se observan también en perspectiva de la sección transversal representada en la Figura 2. La forma anular de todos los imanes se observa claramente en la misma, aunque las variaciones en esta geometría, tales como un eje curvo o imanes poligonales también podrían implementarse.

Se puede considerar la longitud unitaria L como el doble de la distancia entre los dos segundos imanes permanentes (31) del elemento de movimiento rápido (3). Dentro de dicha distancia unitaria, el elemento de movimiento lento (1) comprende n_1 primeros imanes permanentes (11) y el estator (2) comprende n_2 primeros imanes blandos (21), donde n_1 y n_2 son enteros cuya diferencia absoluta es uno. Es decir, n_1 es o bien una unidad mayor o más pequeña que n_2 . Cuando se produce una vibración, se induce un desplazamiento relativo entre el elemento de movimiento lento (1) y el estator (2), resultando también en un desplazamiento del elemento de movimiento rápido (3).

Teniendo en cuenta la geometría y el espaciado de los imanes en el amortiguador, el ratio del emparejamiento de impedancia r se obtiene como sigue:

$$r = (n_1 - n_2) / n_1$$

Esta relación también define la relación entre la velocidad del elemento de movimiento lento (1) y el elemento de movimiento rápido (3). Si $|n_1 - n_2| = 1$, la velocidad del elemento de movimiento rápido (3) se aumenta por un factor de n_1 .

El movimiento del elemento de movimiento rápido hecho a partir de segundos imanes permanentes (31) genera corrientes de Foucault que luego pueden ser disipadas como calor en el medio ambiente por el elemento conductor (4). Como la energía disipada por la generación de corrientes de Foucault depende del cuadrado de la velocidad de los imanes que inducen el flujo magnético, el factor disipado se multiplica por un factor de $(1/r^2)$ con respecto a la energía directamente disipada si los segundos imanes permanentes se fijan directamente a la unión de vibración (5).

Cualquier inversión cinemática equivalente también se puede configurar fácilmente. Por ejemplo, si es el primer elemento coaxial (1) que es fijo, en calidad de estator, la relación r' definida como la relación entre la velocidad del segundo elemento coaxial (2) y la del tercer elemento coaxial (3) se determina por:

$$r' = (n_2 - n_1) / n_2$$

El amortiguador puede operar desde muy bajas temperaturas (-200 °C) hasta temperaturas relativamente altas. Por ejemplo, con el uso de imanes permanentes de NdFeB, podría operar desde -200 °C hasta 350 °C, mientras que imanes blandos basados en ferritas pueden operar hasta a 700 °C sin cambios significativos en su rendimiento. Cabe destacar que cualquier otro material magnético blando y/o permanente puede utilizarse igualmente. La interferencia electromagnética (EMI) se puede reducir hasta casi cero con un sistema de aislamiento adecuado, como un yugo magnético externo.

El amortiguador de la presente invención es capaz de reducir simultáneamente la transmisibilidad tanto a la baja frecuencia y el régimen de resonancia, así como en el régimen de alta frecuencia. Esto es absolutamente diferente de cualquier sistema de la técnica anterior.

La Figura 3 presenta otra realización preferente de la presente invención en la que tanto el elemento de movimiento lento (1) como el elemento de movimiento rápido (3) están provistos de anillos adicionales de material magnético blando. En particular, el elemento de movimiento rápido (3) comprende un segundo imán blando (32) entre los dos segundos imanes permanentes (31) y terceros imanes blandos (33) encima y debajo de los segundos imanes permanentes superior e inferior (31), respectivamente. El segundo imán blando (32) y los terceros imanes blandos (33) tienen el mismo diámetro interno que los segundos imanes permanentes (31), pero un diámetro exterior más pequeño, óptimamente, la mitad del espesor radial de los segundos imanes permanentes (31). El espesor axial del segundo imán blando (32) es preferiblemente el del espacio entre los segundos imanes permanentes contiguos (31) y la mitad del espacio para los terceros imanes blandos (33). Estas geometrías optimizan la forma de flujo

magnético, la transmisión de la fuerza y el efecto de amortiguación.

Además, el elemento de movimiento lento (1) comprende imanes blandos (12) situados entre primeros imanes permanentes (11). Estos imanes blandos adicionales cierran las líneas de flujo entre los primeros imanes permanentes (11) y optimizan la fuerza de amortiguación máxima disponible.

La Figura 4 presenta una realización alternativa, en la que el elemento conductor (4) es sustituido por una serie de bobinas (8). Cuando se proporciona una vibración entre el primer medio de unión (5) y el segundo medio de unión (6) se induce una fuerza electromotriz en las bobinas (8). Las bobinas (8) comprenden terminales eléctricos que se pueden conectar a cualquier tipo de carga eléctrica, impedancia o circuito, usando, almacenando o disipando la fuerza electromotriz generada.

Partiendo de la configuración de la capa básica de las realizaciones preferentes anteriormente divulgadas, pueden implementarse estructuras más complejas dentro del alcance de la invención tal y como se reivindica. Estas estructuras complejas pueden comprender capas adicionales de imán en el elemento de movimiento lento (1) y/o el estator (2), así como múltiples elementos de movimiento rápido (3). El orden de los elementos coaxiales dentro del amortiguador también puede ser alterado. Cabe destacar que cualquier característica o configuración particular divulgada para la configuración básica, como alternar imanes blandos, elementos conductores (4), bobinas (8), etc., también puede aplicarse a las estructuras más complejas.

La Figura 5 ilustra otro ejemplo de configuración en el que se invierte el orden de los elementos coaxiales a lo largo de la dirección radial del amortiguador. Es decir, los primeros imanes permanentes (11) del elemento de movimiento lento (1) tienen un diámetro mayor que los primeros imanes blandos (21) del estator (2), y dichos primeros imanes blandos (21) del estator (2) tienen un diámetro mayor que los segundos imanes permanentes (31) del elemento de movimiento rápido (3).

La Figura 6 presenta un primer ejemplo de una configuración de múltiples capas con dos elementos de movimiento rápido (3), uno a cada lado de los primeros imanes permanentes (11) del elemento de movimiento lento (1). Es decir, hay un primer par de segundos imanes permanentes (31) con un diámetro más pequeño que el diámetro de los primeros imanes permanentes (11) y un segundo par de segundos imanes permanentes (31) con un diámetro mayor que dicho diámetro de los primeros imanes permanentes (11). Entre cada grupo de primeros imanes permanentes (11) y los segundos imanes permanentes (31), el estator (2) comprende un grupo de imanes blandos (21) con el fin de inducir la multiplicación de desplazamiento.

La Figura 7 muestra otra configuración con un único elemento de movimiento rápido (3), pero múltiples capas de primeros imanes permanentes (11) y primeros imanes blandos (21) alternantes. En este ejemplo particular, el elemento de movimiento rápido (3) ocupa la posición más exterior (en comparación con el elemento de movimiento lento (1) y el estator (2)), pero otras implementaciones pueden comprender el elemento de movimiento rápido (3), en la posición más interna, o ambos en la posición más interna y más externa.

Las Figuras 8 y 9 muestran el amortiguador representado en la Figura 3, que está conectado a un sistema adicional. En el caso mostrado en la Figura 8, el sistema adicional es un amortiguador hidráulico (61). Con esta configuración específica, el efecto de amortiguación se mejora a la vez que se puede mantener así el aceite (o el elemento viscoso correspondiente) en el amortiguador hidráulico (61) a temperaturas adecuadas. Y en el caso mostrado en la Figura 9, el sistema adicional es un absorbedor de vibración sintonizado de masa-resorte formado por un resorte (91) y una masa (62). El acoplamiento de impedancia dado entre los elementos lento y rápido permite una reducción significativa en el tamaño y los requisitos de los sistemas de amortiguación adicionales aumentando el rendimiento total del dispositivo.

La Figura 10 muestra una variante del amortiguador que se muestra en la Figura 3, con el movimiento del elemento de movimiento rápido (3) conectado a un resorte (92). Esta combinación aumenta la rigidez del elemento de movimiento rápido mejorando el efecto de la amortiguación de todo el dispositivo.

Cualquier experto en la técnica entenderá que estos son solo algunos ejemplos particulares de configuraciones de múltiples capas, y que las configuraciones alternativas con mayor número de capas de imanes permanentes y/o blandos, y/o diferentes órdenes de capas pueden implementarse dentro del alcance de la invención tal como se reivindica con el fin de lograr el efecto técnico deseado. Además, cuando un elemento coaxial comprende múltiples capas de imán, dichas capas pueden tener ya sea el mismo espaciado o espaciados diferentes de acuerdo con cada aplicación particular; igualmente estas capas pueden estar alineadas axialmente (es decir, cada imán de una capa que tiene otro imán en la posición axial equivalente en la otra capa), o presentar variaciones entre capas. Además, los medios de unión, la posición de la capa conductora y/o las bobinas pueden variar en realizaciones particulares de la invención.

Las materias definidas en esta descripción detallada se proporcionan para ayudar a un entendimiento global de la invención. En consecuencia, los expertos en la técnica reconocerán que los cambios de variación y modificaciones de las realizaciones descritas en el presente documento pueden realizarse. El alcance de protección está definido por las reivindicaciones adjuntas.

Cabe destacar que en este texto, el término "comprende" y sus derivaciones (tales como "que comprende", etc.) no deben ser entendidas en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deben interpretarse como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir otros elementos, etapas, etc.

- 5 En el contexto de la presente invención, debe entenderse que el término "aproximadamente" y sus derivados (como "aproximada", etc.) indica valores muy cerca de aquellos que acompañan el término anteriormente mencionado. Es decir, una desviación dentro de los límites razonables de un valor exacto debe ser aceptada, porque un experto en la técnica entenderá que tal desviación de los valores indicados es inevitable debido a las imprecisiones de medición, etc. Lo mismo ocurre con los términos "cerca de" y "alrededor de" y "sustancialmente".

10

REIVINDICACIONES

1. Amortiguador de vibraciones magnético que comprende un primer elemento coaxial (1), un segundo elemento coaxial (2), al menos un tercer elemento coaxial (3) y medios de conversión de energía configurados para disipar la energía mecánica, estando configurados mecánicamente el primer elemento coaxial (1), el segundo elemento coaxial (2) y el al menos un tercer elemento coaxial (3) para permitir movimientos relativos a lo largo de un eje común (7), **caracterizado por que**:
- el primer elemento coaxial (1) comprende al menos una pluralidad de primeros imanes permanentes (11) igualmente espaciados a lo largo de la dirección del eje (7);
 - el segundo elemento coaxial (2) comprende al menos una pluralidad de primeros imanes blandos (21) igualmente espaciados a lo largo de la dirección del eje (7);
 - el al menos un tercer elemento coaxial (3) comprende al menos dos segundos imanes permanentes (31), y
 - la al menos una pluralidad de primeros imanes blandos (21) está situada entre la al menos una pluralidad de primeros imanes permanentes (11) y los al menos dos segundos imanes permanentes (31) en una dirección perpendicular a la dirección del eje (7).
2. Amortiguador de vibraciones magnético según la reivindicación 1 **caracterizado por que** la al menos una pluralidad de primeros imanes permanentes (11) del primer elemento coaxial (1) y los al menos dos segundos imanes permanentes (31) del tercer elemento coaxial (3) están axialmente o radialmente polarizados.
3. Amortiguador de vibraciones magnético según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que**, dentro de una distancia (L) de dos veces una separación entre los al menos dos segundos imanes permanentes (31) del tercer elemento coaxial (3):
- la pluralidad de primeros imanes permanentes (11) del primer elemento coaxial (1) comprende un primer número entero (n_1) de imanes;
 - la pluralidad de primeros imanes blandos (21) del segundo elemento coaxial (2) comprende un segundo número entero (n_2) de imanes; y
 - la diferencia absoluta entre el primer número entero (n_1) y el segundo número entero (n_2) es igual a uno.
4. Amortiguador de vibraciones magnético según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios de conversión de energía comprenden un convertidor de energía cinética a energía eléctrica (4, 8), un convertidor de energía cinética a térmica (61) y/o un convertidor de energía cinética a elástica (62, 91).
5. Amortiguador de vibraciones magnético según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios de conversión de energía comprenden un elemento conductor exterior (4) que disipa las corrientes de Foucault generadas por las variaciones de flujo magnético.
6. Amortiguador de vibraciones magnético según la reivindicación 5, en el que el elemento conductor (4) comprende además una pluralidad de aletas que mejoran la disipación del calor de las corrientes de Foucault.
7. Amortiguador de vibración magnética según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tercer elemento coaxial (3) comprende además al menos un segundo imán blando (32) entre los al menos dos segundos imanes permanentes (31) y dos terceros imanes blandos (33) en los extremos de los al menos dos segundos imanes permanentes (31).
8. Amortiguador de vibraciones magnético según la reivindicación 7, en el que el al menos un segundo imán blando (32) y los dos terceros imanes blandos (33) del tercer elemento coaxial (3) tienen el mismo diámetro interior que los al menos dos segundos imanes permanentes (31) y un diámetro exterior más pequeño que dichos al menos dos segundos imanes permanentes (31).
9. Amortiguador de vibraciones magnético según cualquiera de las reivindicaciones 7 y 8, en el que el al menos un segundo imán blando (32) y los dos terceros imanes blandos (33) del tercer elemento coaxial (3) tienen la mitad del espesor radial de los al menos dos segundos imanes permanentes (31).
10. Amortiguador de vibraciones magnético según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que el al menos un segundo imán blando (32) tiene el doble de grosor axial de los dos terceros imanes blandos (33) del tercer elemento coaxial (3).
11. Amortiguador de vibraciones magnético según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer elemento coaxial (1) comprende además al menos una pluralidad de cuartos imanes blandos (12), estando dispuestos los cuartos imanes blandos (12) y los primeros imanes permanentes (11) alternativamente a lo largo de la dirección del eje (7).
12. Amortiguador de vibraciones magnético según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tercer

elemento coaxial (3) comprende al menos dos segundos imanes permanentes (31) con un diámetro más pequeño que el diámetro de la al menos una pluralidad de primeros imanes blandos (21) del segundo elemento coaxial (2).

5 13. Amortiguador de vibraciones magnético según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que el tercer elemento coaxial (3) comprende al menos dos segundos imanes permanentes (31) con un diámetro mayor que el diámetro de la al menos una pluralidad de primeros imanes blandos (21) del segundo elemento coaxial (2).

10 14. Amortiguador de vibraciones magnético según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que el amortiguador comprende un primer tercer elemento coaxial (3) con un diámetro mayor que el diámetro de la al menos una pluralidad de primeros imanes blandos (21) del segundo elemento coaxial (2) y un segundo tercer elemento coaxial (3) con un diámetro más pequeño que el diámetro de la al menos una pluralidad de primeros imanes blandos (21) del segundo elemento coaxial (2).

15 15. Amortiguador de vibraciones magnético según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer elemento coaxial (1) comprende múltiples pluralidades de primeros imanes permanentes (11) y el segundo elemento coaxial (2) comprende múltiples pluralidades de primeros imanes blandos (21), estando dispuestas las múltiples pluralidades de primeros imanes permanentes (11) y las múltiples pluralidades de primeros imanes blandos (21) alternativamente a lo largo de una dirección perpendicular a la dirección del eje (7).

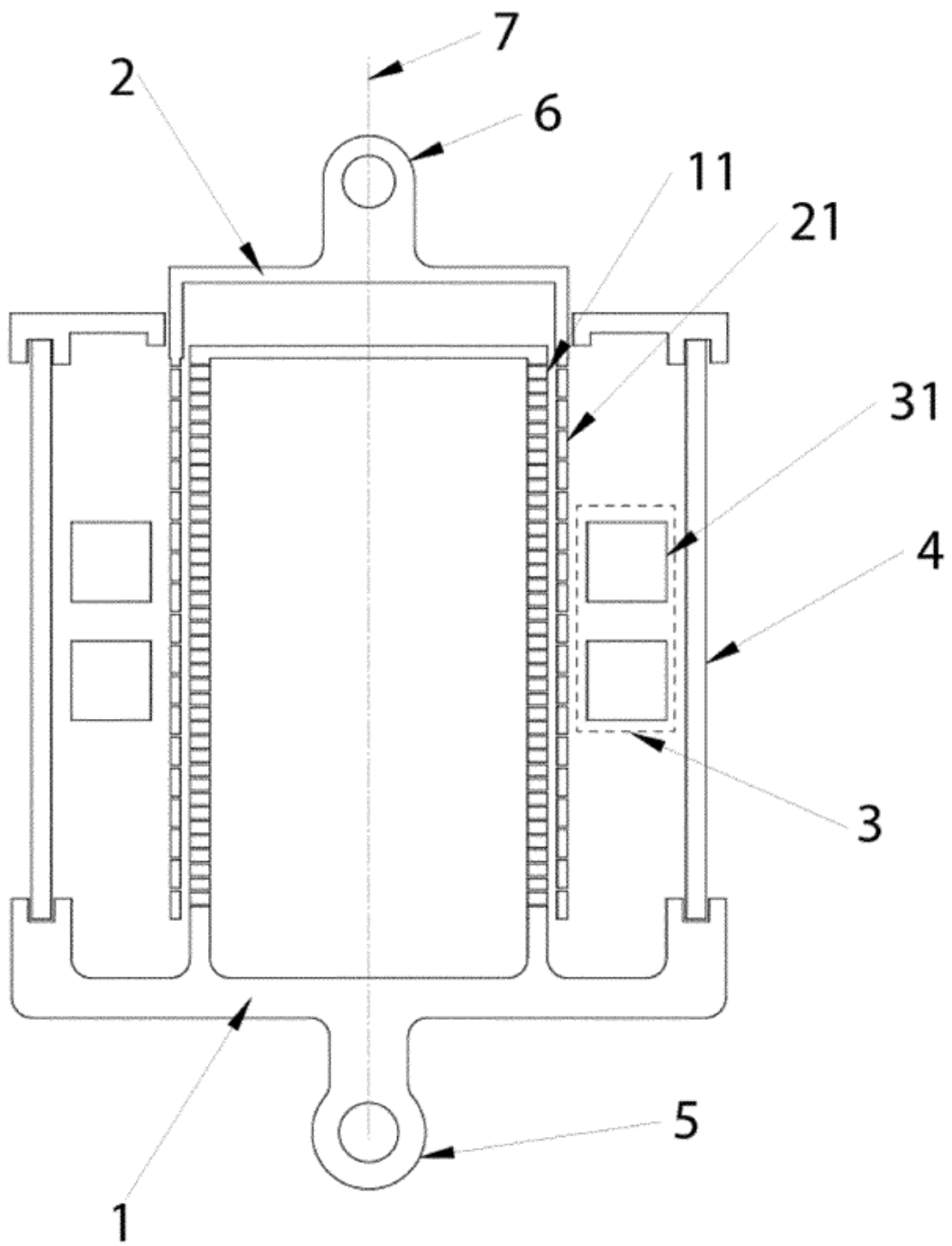


Fig.1

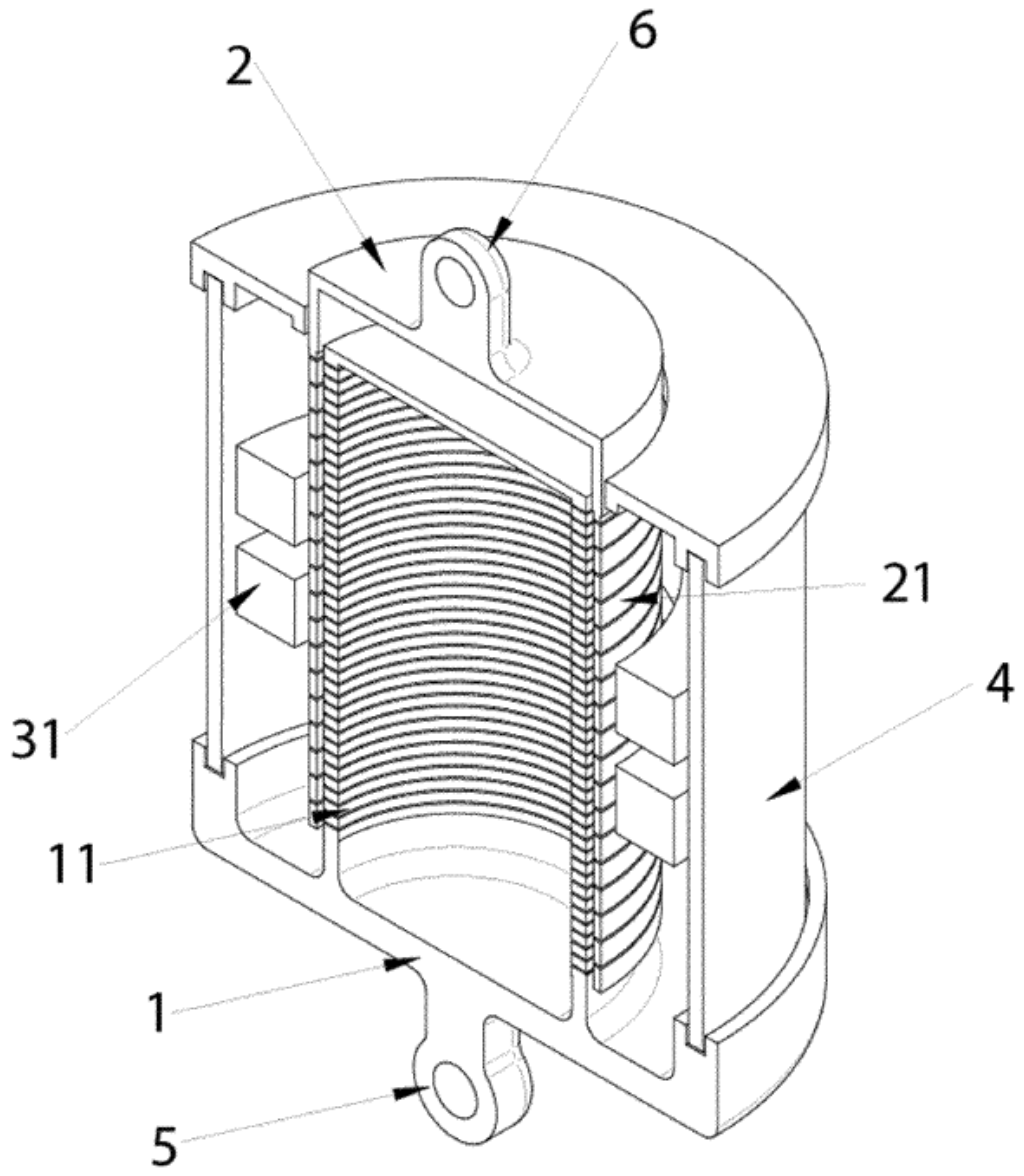


Fig.2

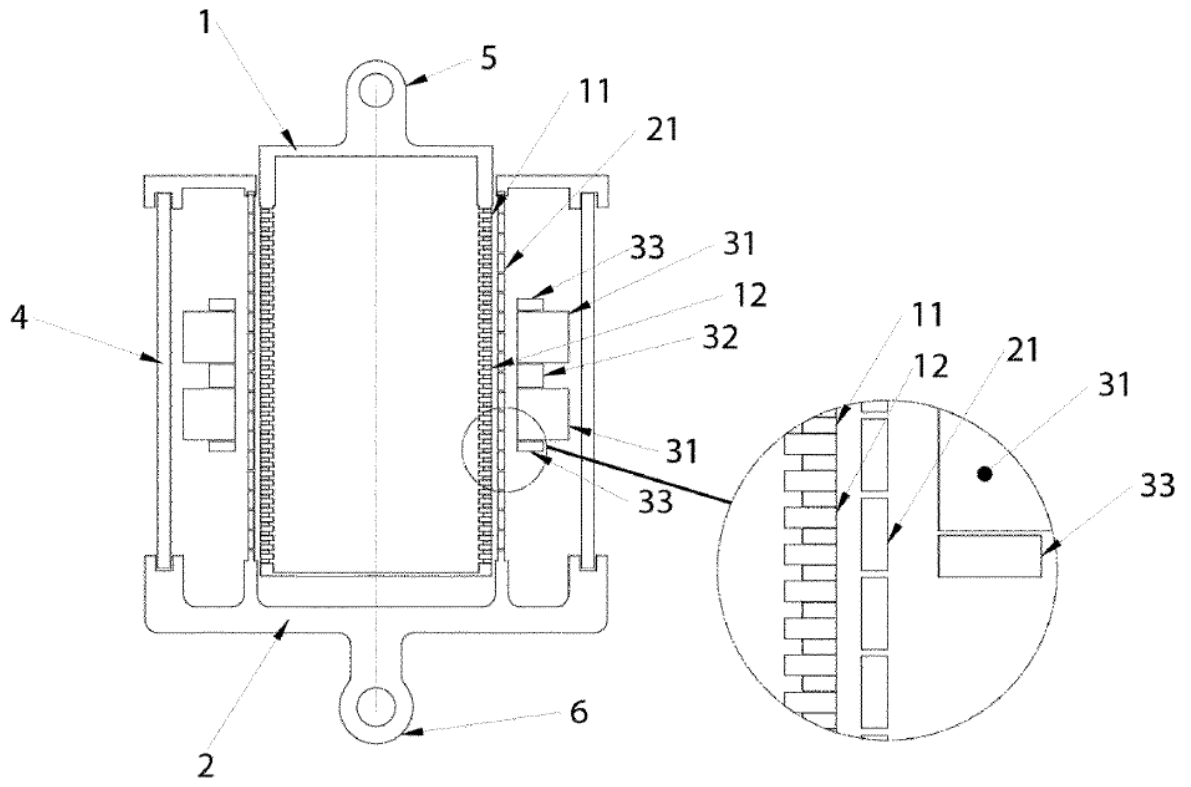


Fig. 3

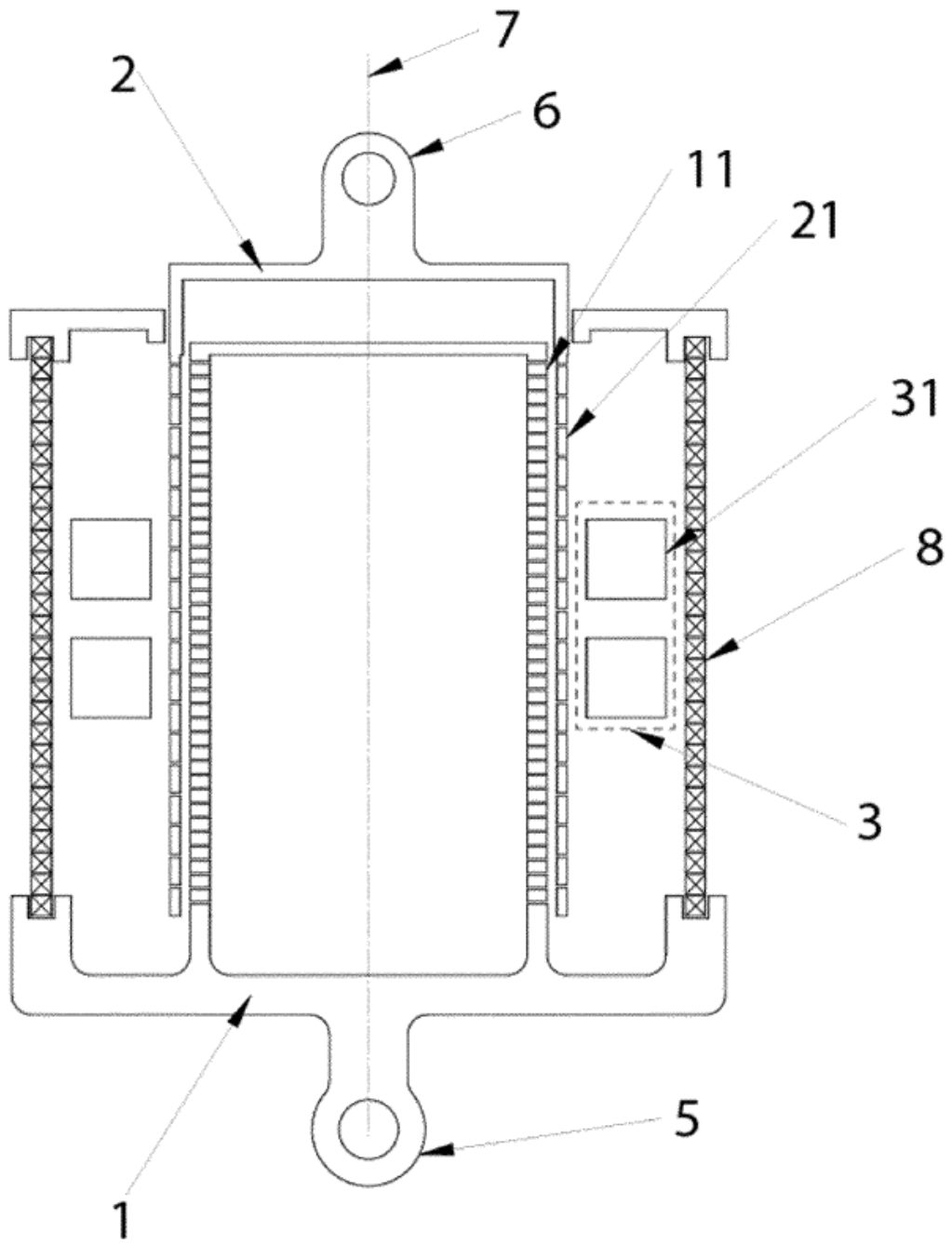


Fig. 4

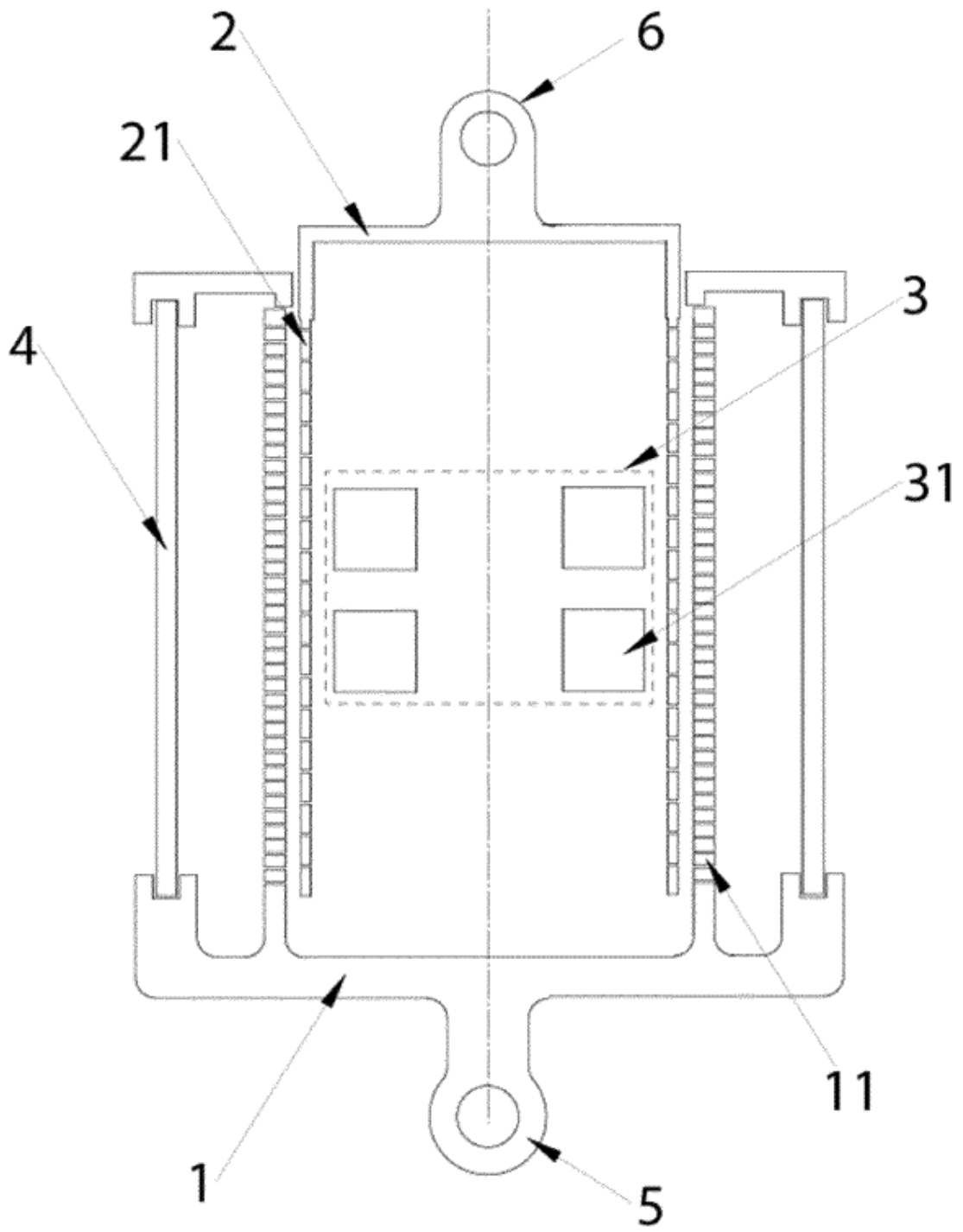


Fig. 5

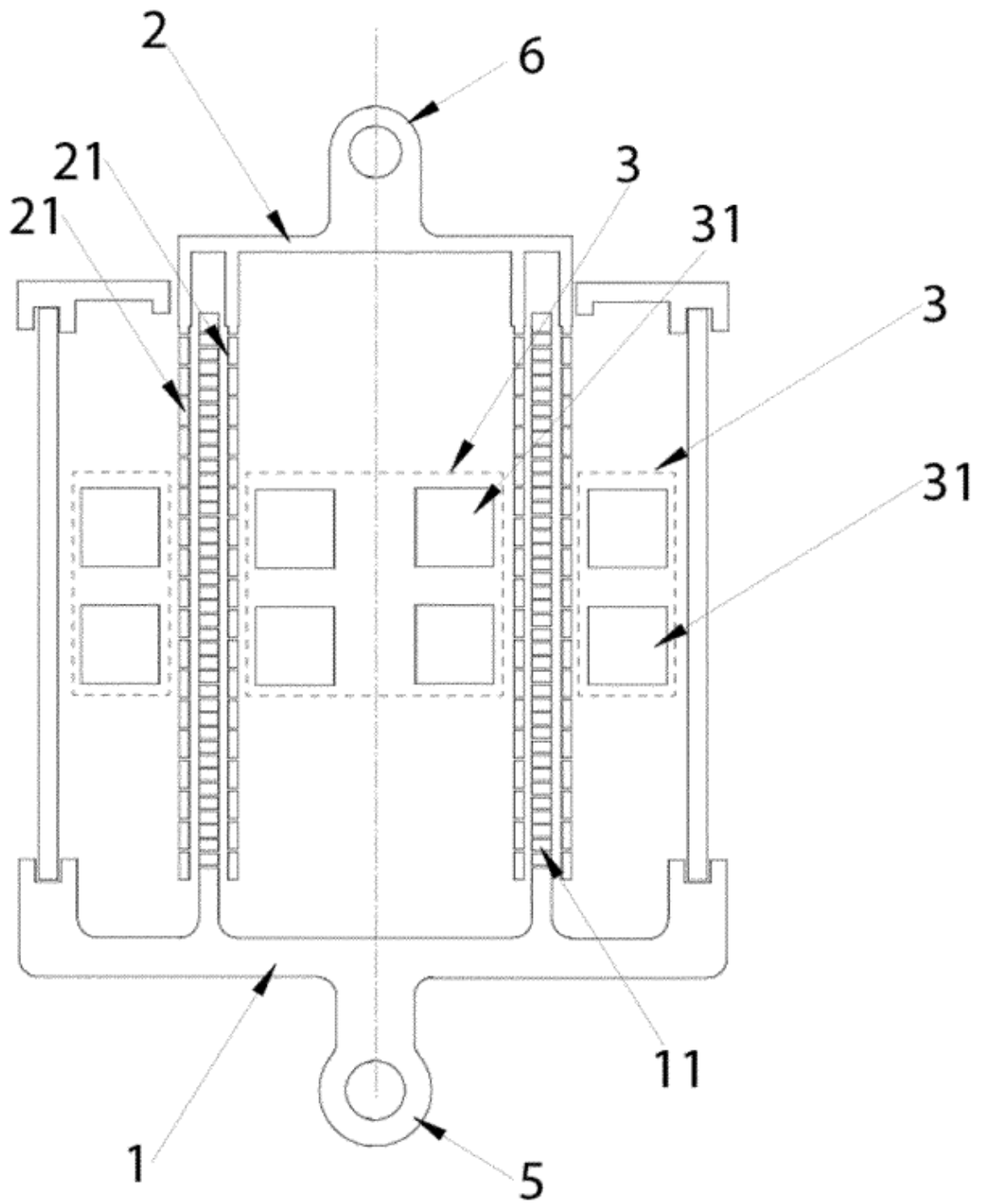


Fig. 6

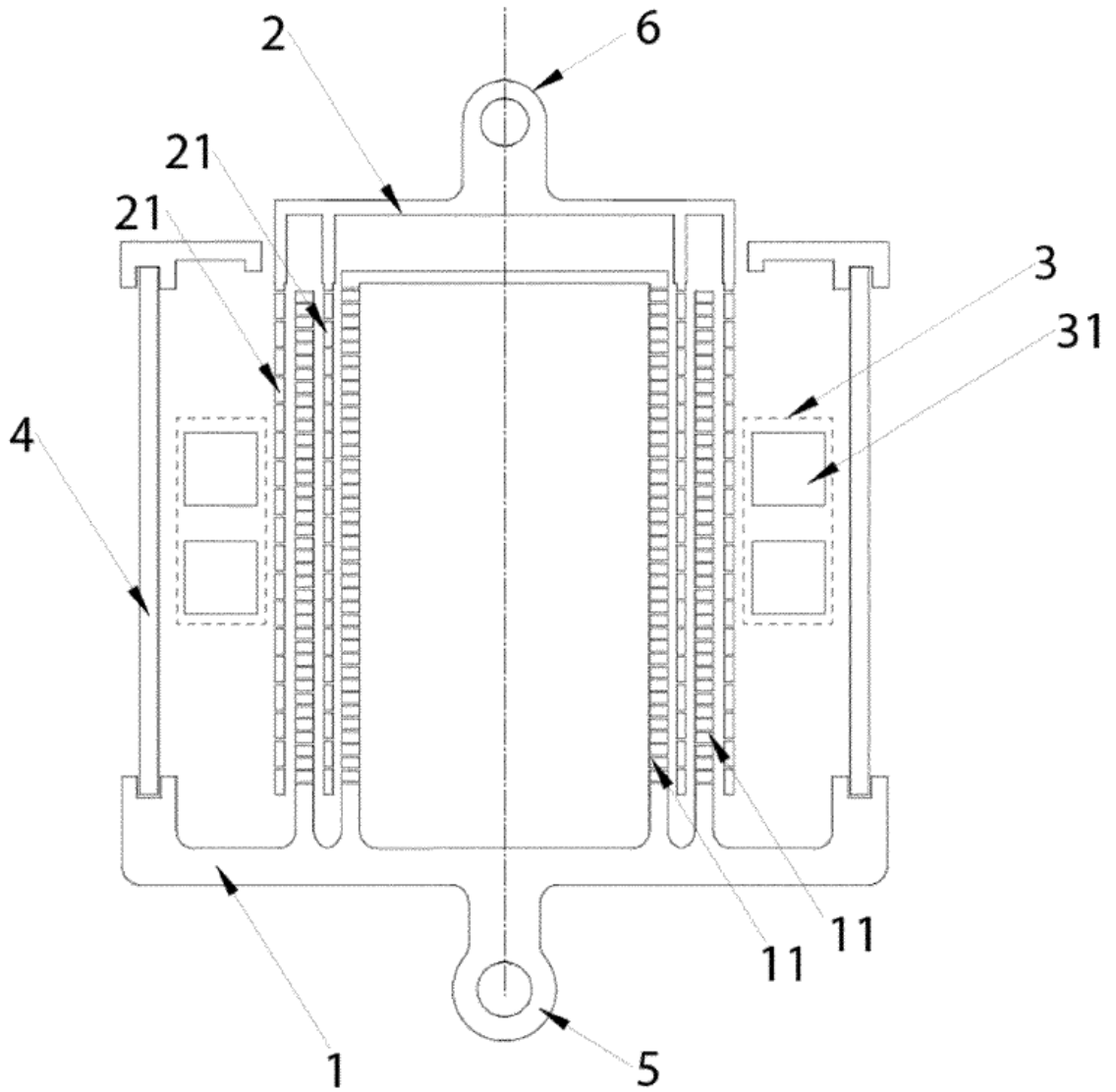


Fig. 7

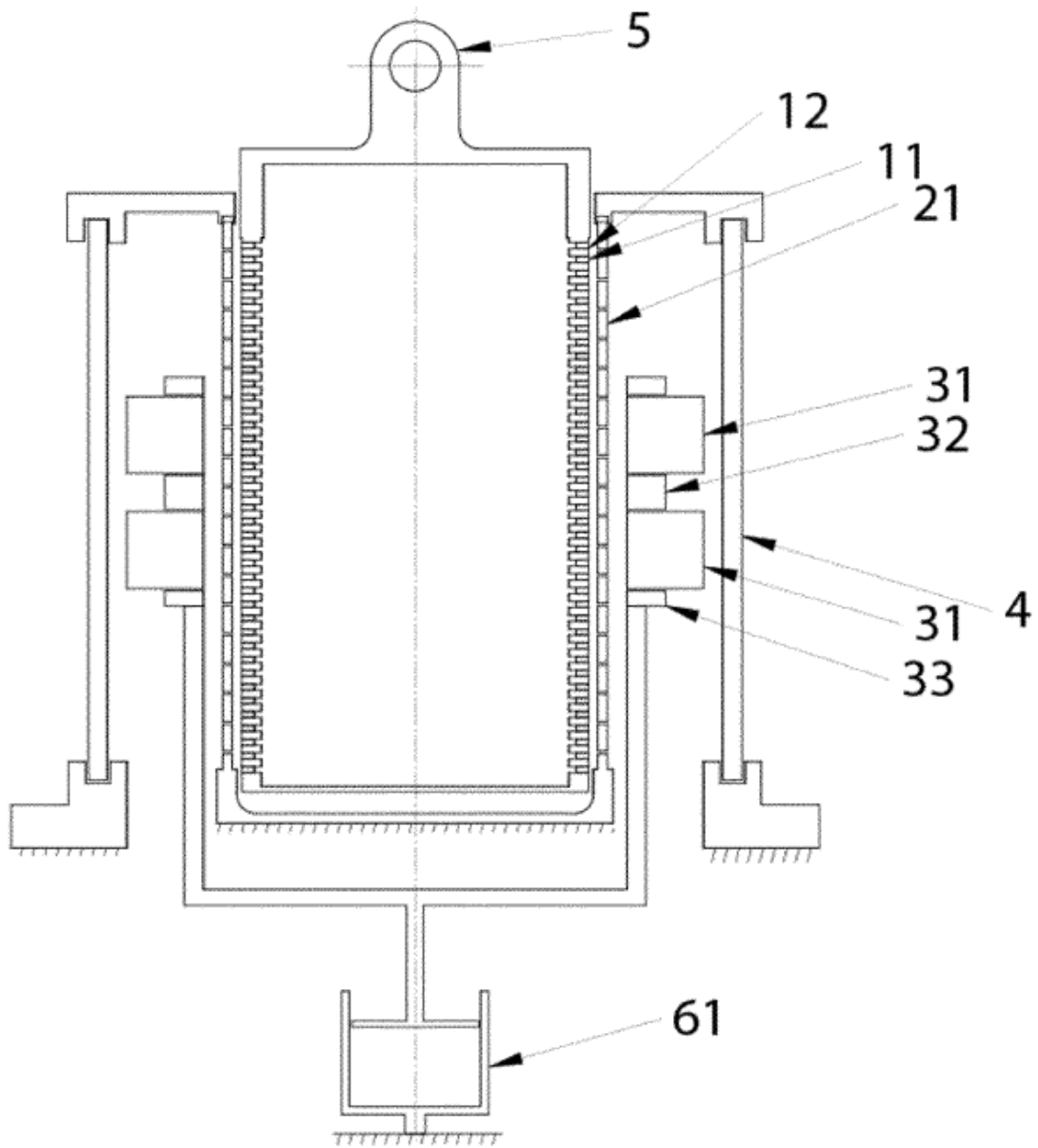


Fig. 8

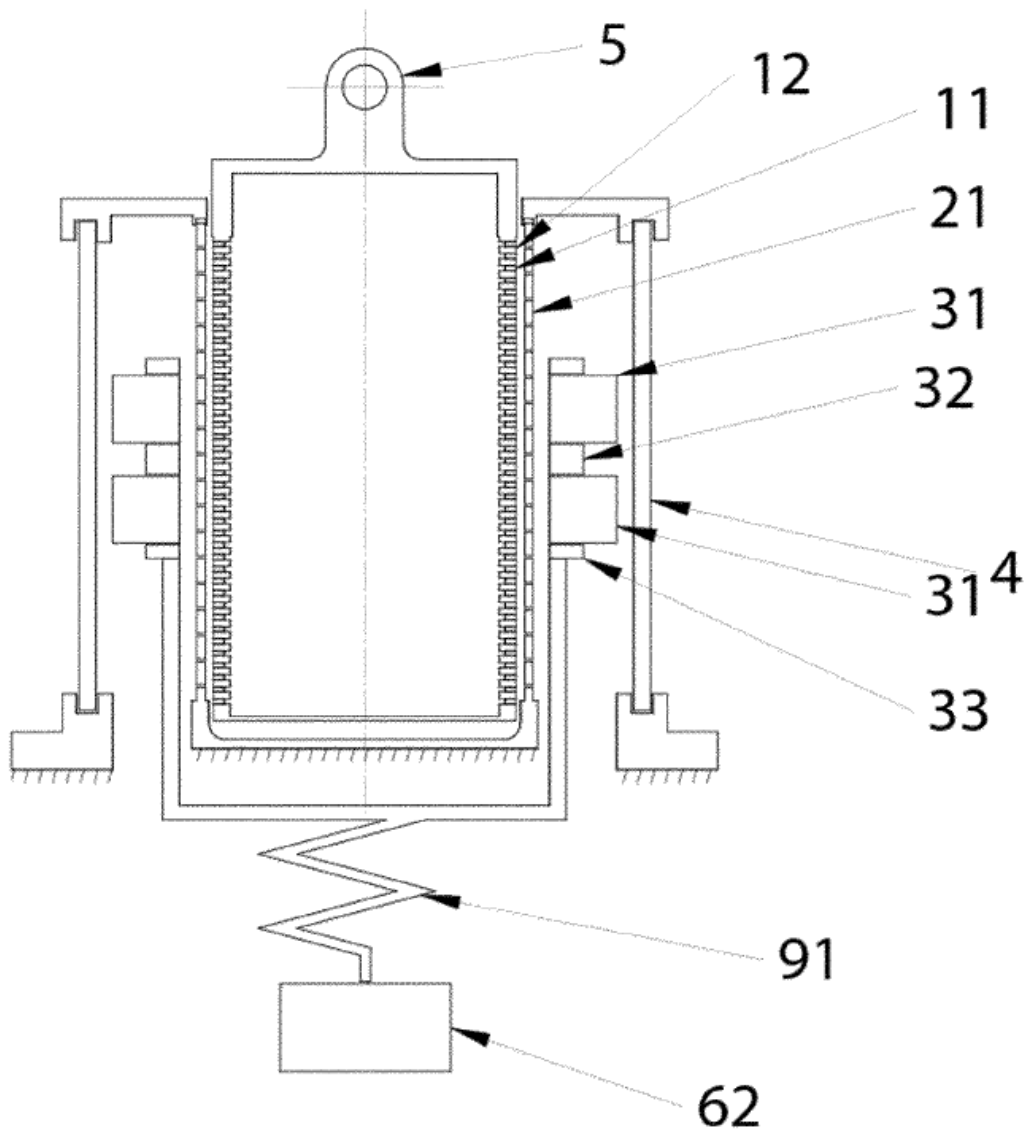


Fig. 9

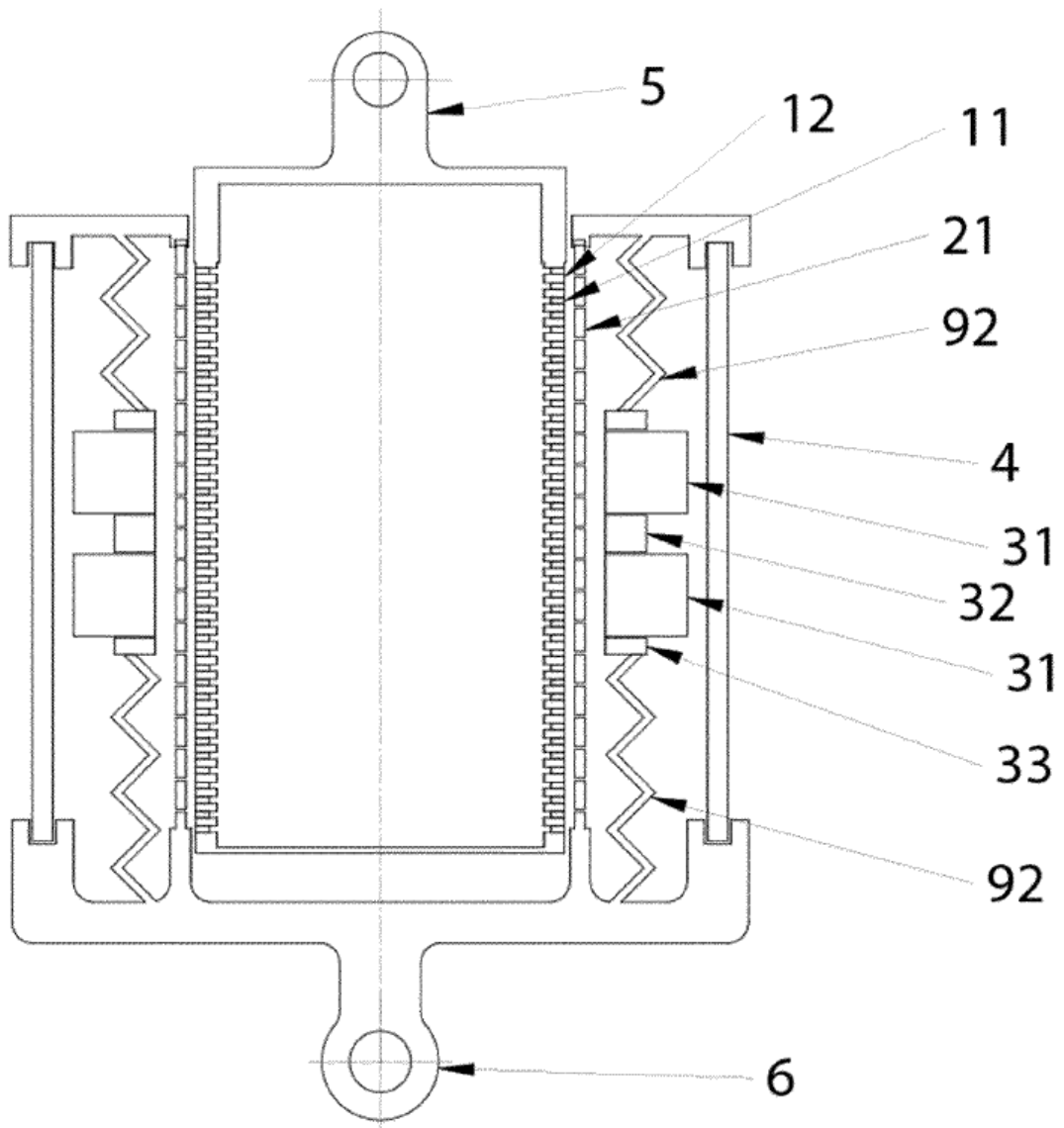


Fig. 10