

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 705 054**

51 Int. Cl.:

**F16F 15/03** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.08.2015 PCT/EP2015/001637**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.02.2016 WO16023628**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.08.2015 E 15757131 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.10.2018 EP 3180542**

54 Título: **Amortiguador magnético para absorbedores de vibraciones**

30 Prioridad:

**13.08.2014 EP 14002824**

**16.12.2014 EP 14004235**

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

**21.03.2019**

73 Titular/es:

**ESM ENERGIE- UND SCHWINGUNGSTECHNIK  
MITSCH GMBH (100.0%)**

**Energiestrasse 1**

**64646 Heppenheim, DE**

72 Inventor/es:

**GLANZNER, SEBASTIAN**

74 Agente/Representante:

**ILLESCAS TABOADA, Manuel**

**ES 2 705 054 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 magnético para absorbedores de vibraciones

5 **Objeto y campo técnico de la invención**

La invención se refiere a amortiguadores con simetría de revolución para eliminar y evitar vibraciones en máquinas e instalaciones, en particular aerogeneradores, en los que la amortiguación se realiza mediante corrientes parásitas generadas magnéticamente. La invención se refiere en particular a amortiguadores de corriente parásita dispuestos con simetría de revolución con respecto a un eje longitudinal, que se componen de imanes de anillo individuales o varios dispuestos en su totalidad en forma de anillo alrededor de dicho eje longitudinal a modo de capa o de disposiciones magnéticas en forma de anillo de imanes permanentes y / o electroimanes orientados de manera correspondiente.

La invención se refiere además a absorbedores de vibraciones, en particular absorbedores de masa, que están equipados con amortiguadores magnéticos de este tipo, así como a instalaciones sometidas a fuerzas de vibración, en particular aerogeneradores, que presentan absorbedores de vibraciones de este tipo. Los amortiguadores magnéticos o de corrientes parásitas se conocen como tales por el estado de la técnica. El modo de funcionamiento de tales amortiguadores se basa en que en un conductor eléctrico que se mueve a través de un campo magnético variable se induce una corriente. Esta corriente inducida, también denominada corriente parásita genera igualmente un campo magnético. El campo magnético actúa contra el primer campo magnético y genera de este modo una fuerza de resistencia. Mediante un movimiento axial relativo entre conductor y campo magnético se induce en el conductor una corriente parásita circundante. Estas corrientes parásitas resultantes forman de nuevo campos magnéticos que se oponen al campo magnético original y frena el movimiento del conductor. Si la velocidad aumenta la corriente parásita en el conductor aumenta, lo que lleva a un campo magnético más intenso, por lo que el movimiento se frena adicionalmente y de modo intensificado.

El documento WO 99/63219 se considera como estado de la técnica más cercano y da a conocer las características del preámbulo de la reivindicación 1.

El documento FR 2 995 561 pertenece igualmente al estado de la técnica. En el documento DE 37 41 578 A1 se describe un dispositivo de amortiguación de vibraciones para máquinas de precisión que se basa en el movimiento de una placa entre el polo norte y polo sur de un campo magnético. El documento US 2007/0131504 describe un amortiguador de vibraciones en el que un dispositivo de péndulo transversal se mueve en el campo de campos magnéticos dispuestos de manera plana. En el documento EP 2 696 072 se describe una disposición de absorbedor de vibraciones para aerogeneradores con un péndulo de masa. El péndulo de masa se guía en este sentido en el caso de vibración en preferiblemente dos dispositivos de vibración, produciéndose un movimiento mediante un campo magnético dispuesto de manera plana que genera la corriente parásita de amortiguación.

Los amortiguadores magnéticos descritos en el estado de la técnica presentan la desventaja de que son muy dependientes de la velocidad y no pueden girarse axialmente. Además, con ellos a menudo no pueden alcanzarse densidades de amortiguación suficientemente elevadas de con frecuencia por encima de  $1000 \text{ kNs/m} \times \text{m}^3$ , que sin embargo en la utilización de aerogeneradores, en particular de aerogeneradores con torres de 100 m de altura y por encima.

Existía por lo tanto el objetivo de poner a disposición un amortiguador magnético, en particular para la utilización en aerogeneradores que no siga presentando las desventajas descritas. El objetivo se resolvió mediante la facilitación del amortiguador magnético especificado más adelante y en las reivindicaciones, así como mediante absorbedores de vibraciones que presentan un amortiguador magnético de este tipo.

50 **Resumen de la invención**

Se averiguó ahora que un amortiguador de vibraciones, que se compone esencialmente de un tubo de un material conductivo pero no magnetizable, que se mueve mediante anillos de materiales magnetizables dispuestos alrededor del tubo, en particular bobinas eléctricas que generan imanes permanentes y / o campos magnéticos, genera una corriente parásita ("Eddy-current"), que induce de nuevo un campo magnético, que se opone al campo magnético original, y por lo tanto provoca un frenado del movimiento del tubo o una amortiguación del movimiento. Si un tubo de este tipo por ejemplo está conectado con un dispositivo de vibración, en particular un péndulo, entonces la oscilación o movimiento pendular puede amortiguarse de manera eficaz.

Los amortiguadores de corriente parásita del estado de la técnica alcanzan solo densidades de amortiguación de como máximo  $1000 \text{ kNs/m} \times \text{m}^3$ . Mediante los amortiguadores de acuerdo con la invención representados en el presente documento pueden alcanzarse densidades de amortiguación entre 500 y  $3.000 - 5000 \text{ kNs/m} \times \text{m}^3$ , pero en general de claramente por encima de  $1000 \text{ kNs/m} \times \text{m}^3$ , preferiblemente  $\geq 1.500 \text{ kNs/m} \times \text{m}^3$ , en particular  $\geq 2.500 \text{ kNs/m} \times \text{m}^3$  correspondiendo al tipo y número de los elementos constructivos magnéticos empleados. Esto es una mejora considerable con respecto al estado de la técnica.

Por lo tanto, los amortiguadores magnéticos de este tipo de acuerdo con la invención son muy adecuados sobre todo para absorbedores de vibraciones en aerogeneradores de tamaño medio y grande, pero también en otros edificios altos e instalaciones propensas a vibraciones con el fin de reducir o evitar todos los tipos de vibraciones molestas que aparecen en tales instalaciones.

5 A continuación, y en las reivindicaciones se emplean algunos conceptos que van a explicarse brevemente en el presente documento.

10 Según la definición el concepto "anillo" o "anillo magnético" abarca todos los objetos concebibles en forma de anillo o aproximadamente en forma de anillo, es decir todas las disposiciones, que presentan una distancia definida igual o aproximadamente igual con respecto al punto central imaginario, estando también incluidos polígonos regulares con al menos seis lados.

15 Además, se diferencian anillos externos e internos, anillos magnéticos, o disposiciones de anillo. Los anillos externos son según la invención tales disposiciones de anillo magnéticas, que están guiadas con respecto al conductor- o tubo amortiguador (3) afuera alrededor del tubo (3) sin entrar en contacto en una zona determinada con la pared externa manteniendo una distancia determinada, aproximadamente igual. Los anillos internos son según la invención tales disposiciones de anillo magnéticas, que están guiadas con respecto al conductor- o tubo amortiguador (3) en el interior alrededor del tubo (3), es decir a lo largo de la resistencia interna, sin entrar en contacto en una zona  
20 determinada con la resistencia interna manteniendo una distancia determinada, aproximadamente igual.

25 Por lo demás se diferencian anillos radialmente magnetizados o magnetizables y anillos axialmente magnetizados o magnetizables. A este respecto "radialmente" y "axialmente" se refiere al eje longitudinal del tubo amortiguador (3) o de todo el amortiguador magnético de acuerdo con la invención. "anillos magnetizados" significa en este sentido que la orientación norte-sur de los imanes utilizados están dispuestos o axialmente o radialmente con respecto a dicho eje longitudinal. Una combinación de imanes orientados axialmente y radialmente con un orden determinado de la dirección de magnetización se denomina también "disposición de Halbach".

30 Además, se diferencia entre anillos o disposiciones de anillo de "imanes permanentes" y "electroimanes". En el caso de los imanes permanentes se trata de materiales de magnetismo permanente de por sí, que están configurados total o parcialmente en forma de anillo, o son imanes planos rectangulares o en forma de dado que están dispuestos los unos al lado de los otros en forma de círculo. En el caso de electroimanes se trata según la definición de bobinas o cuerpos de bobina en forma de anillos de bobina, estableciendo las bobinas o anillos de bobina hasta que no fluye la corriente un campo magnético. A menos que se diga lo contrario, un anillo de bobina se compone de un devanado  
35 de bobina que discurre en forma de anillo alrededor del diámetro del tubo (3).

En detalle se emplean los siguientes conceptos:

- imanes permanentes magnetizados radialmente externos (1)
- 40 • imanes permanentes magnetizados radialmente internos (4)
- electroimanes magnetizados radialmente externos en forma de bobinas devanadas (6)
- electroimanes magnetizados radialmente internos en forma de bobinas devanadas (16)
- imanes permanentes magnetizados axialmente externos (11)
- imanes permanentes magnetizados axialmente internos (12)
- 45 • disposición de Halbach: una disposición de imanes permanentes adyacentes del tipo (1) (11) o (4) (12), en los que la dirección de magnetización varía de imán a imán adyacente en 90° en cada caso en una dirección.

El objeto de la invención es por lo tanto un amortiguador magnético con simetría de revolución que comprende

- 50 (i) un tubo amortiguador (3) de un material conductivo no magnetizable, preferiblemente aluminio, cobre o aleaciones de estos metales,  
 (ii) un dispositivo de soporte (10) provisto con medios de fijación alrededor del eje longitudinal del amortiguador con simetría de revolución, que presenta al menos uno, preferiblemente de dos a diez, anillos externos magnéticos o de manera correspondiente disposiciones en forma de anillo de uno o varios imanes permanentes  
 55 (1) o bobinas (6) que funcionan como electroimanes que están dispuestas o están magnetizadas de modo que polo norte y polo sur del imán o de los imanes indican o radialmente hacia dentro o radialmente hacia fuera con respecto al eje longitudinal del tubo (3) del amortiguador magnético, estando desplazados dichos anillos externos magnéticos (1)(6) a través del tubo amortiguador (3), y pudiendo moverse anillo(s) y tubo los unos hacia los otros, y ascendiendo la distancia entre el al menos un anillo magnético (1)(6) y la superficie externa del tubo  
 60 amortiguador (3)  $\geq 0,1$  mm y  $\leq 2,0$  mm, preferiblemente 0,25 – 1,5 mm, en particular 0,5 – 1,0 mm, en el que en el uso de dos o más anillos (1)(6), o disposiciones en forma de anillo estos están dispuestos o magnetizados de modo que la polaridad orientada radialmente de un anillo magnético (1)(6) de un plano es opuesta a la polaridad orientada radialmente del anillo magnético (1)(6) dispuesto directamente por encima y /o por debajo, alternándose por lo tanto los planos de anillo radialmente magnetizados en su polaridad, y  
 65 (iii) opcional o preferiblemente al menos un anillo (2) que se compone de un material ferromagnético o de una

disposición en forma de anillo correspondiente, por ejemplo, de acero, preferiblemente acero con contenido de hierro relativamente alto, o de segmentos compuestos, rodeando directamente este anillo (2) el al menos un anillo externo magnético (1)(6) y correspondiendo el número de los anillos (2) al número de los anillos (1)(6).

5 En una forma de realización especial particularmente ventajosa el amortiguador magnético de acuerdo con la invención comprende un tubo de amortiguación (3) en cuyo interior se encuentra un tubo o una barra (15) adicional, que se compone de un material ferromagnético, es decir magnetizable que puede intensificar la magnetización y con ello la amortiguación en al menos el triple. Esta forma de realización puede reemplazar, en particular en caso de una demanda de espacio reducida la forma de realización adicional descrita abajo, que presenta al menos un anillo magnético (4) en el interior del tubo de amortiguación (3) no magnetizable pero conductivo. Dicho tubo interno (15) se compone de un material ferromagnético, como por ejemplo hierro o acero con un elevado porcentaje de hierro. El tubo interno (15) (o barra) se inserta fácilmente en el tubo (3) eléctricamente conductivo, y puede unirse con este dado el caso de manera firme (por ejemplo, mediante adhesión), en el caso de que fuera necesario. Por lo demás puede insertarse y extraerse de manera variable. No tiene lugar ningún movimiento relativo entre ambos tubos (3) y (15). De este modo puede realizarse o un amortiguador con potencia más elevada o un amortiguador más pequeño con la misma potencia. Al mismo tiempo se minimiza el número de los imanes necesarios. En la figura 14 se muestra un tubo interno de este tipo.

20 El objeto de la invención es por lo tanto un amortiguador magnético correspondiente que presenta un tubo amortiguador (3) y adicionalmente un tubo compuesto de un material ferromagnético o una barra redonda (15) correspondiente que está en contacto con la pared interna del tubo amortiguador (3) y está conectado con este de manera que realiza también el movimiento relativo del tubo amortiguador (3).

25 El objeto de la invención adicionalmente es un amortiguador magnético con simetría de revolución que comprende

- (i) un tubo amortiguador (3) de un material conductivo no magnetizable, preferiblemente aluminio, cobre o aleaciones de estos metales,
- (ii) un dispositivo de soporte (10) provisto con medios de fijación alrededor del eje longitudinal del amortiguador con simetría de revolución, que presenta al menos uno, preferiblemente de dos a diez, anillos internos magnéticos o disposiciones correspondientes en forma de anillo de uno o varios imanes permanentes (4) o bobinas (16) que funcionan como electroimanes que están dispuestas o magnetizadas de modo que polo norte y polo sur del o de los imanes indican o radialmente hacia dentro o radialmente hacia fuera con respecto al eje longitudinal o del tubo (3) del amortiguador magnético, estando metido el anillo o los anillo magnéticos internos (4)(16) en el tubo amortiguador (3), y pudiendo moverse anillo(s) y tubo unos respecto a otros, y ascendiendo la distancia entre el al menos un anillo magnético (4)(16) y la superficie interna del tubo amortiguador (3) a  $\geq 0,1$  mm y  $\leq 2,0$  mm, preferiblemente 0,25 – 1,25 mm, en particular 0,5 – 1,0 mm, donde en el uso de dos o más anillos (4)(16), estos están dispuestos o magnetizados de modo que la polaridad orientada radialmente de un anillo magnético (4)(16) de un plano es opuesta a la polaridad orientada radialmente del anillo magnético (4)(16) dispuesto directamente por encima y /o por debajo, por lo tanto los planos de anillo radialmente magnetizados alternan en su polaridad, y
- (iii) opcional o preferiblemente al menos un núcleo cilíndrico (5) macizo compuesto de un material ferromagnético, por ejemplo acero, preferiblemente acero con contenido de hierro relativamente alto o partes compuestas por el mismo, que está rodeado directamente por el al menos un anillo interno magnético (4)(16), correspondiendo preferiblemente el número de los núcleos (5) al número de los anillos (4)(16).

45 En una forma de realización especial de la invención se pone a disposición un amortiguador magnético que reúne las características de los dos amortiguadores magnéticos descritos anteriormente, es decir presenta imanes externos como internos tanto con respecto al tubo (3) conductivo no magnetizable / o bobinas que funcionan como electroimanes.

50 El objeto de la invención por tanto es un amortiguador magnético correspondiente que presenta adicionalmente al mencionado al menos un anillo externo magnético (1)(6) (preferiblemente dos a diez anillos o disposiciones en forma de anillo), en el interior del tubo (3) al menos un anillo interno magnético, preferiblemente dos a diez anillos o disposiciones en forma de anillo, de en cada caso uno o varios imanes permanentes (4) o bobinas (16) que funcionan como electroimanes que están dispuestas o magnetizadas de modo que polo norte y polo sur del imán o de los imanes indican o radialmente hacia dentro o radialmente hacia fuera con respecto al eje longitudinal o del tubo (3) del amortiguador magnético, estando seleccionadas disposición y polaridad del anillo o de los anillos magnéticos internos (4)(16) de modo que está o están colocados en el mismo plano con respecto al al menos un anillo externo magnético (1)(6) y los polos enfrentados del anillo interno y externo, o de los anillos internos y externos se atraen a través de la pared del tubo (3), y dichos anillos (1)(6) y (4)(16) pueden moverse conjuntamente y con respecto al tubo amortiguador (3), ascendiendo la distancia entre el anillo magnético (1)(4) o (6)(16) y la superficie externa o la superficie interna del tubo amortiguador (3) a  $\geq 0,1$  mm y  $\leq 2,0$  mm, preferiblemente 0,25 – 1,25 mm, en particular 0,5 – 1,0 mm, y donde en el uso de dos o más anillos estos están dispuestos o magnetizados de modo que la polaridad orientada radialmente de los anillos magnéticos de un plano es opuesta a la polaridad orientada radialmente del anillos magnético dispuesto directamente por encima y /o por debajo, alternándose por lo tanto en su polaridad los planos de anillo radialmente magnetizados, que se componen preferiblemente de un mismo

número de anillos enfrentados que se atraen.

Esta forma de realización puede presentar además adicionalmente (i) al menos un núcleo cilíndrico (5) macizo compuesto de un material ferromagnético o partes compuestas por el mismo, que está rodeado directamente por el  
 5 al menos un anillo interno magnético (4), y / o (ii) al menos un anillo (2) que se compone de material ferromagnético o una disposición correspondiente en forma de anillo.

En una forma de realización adicional de la invención los amortiguadores magnéticos de acuerdo con la invención contienen además de planos de anillo (1) (4) radialmente magnetizados externos y/o internos también  
 10 adicionalmente planos de anillo magnetizados axialmente externos y / o internos con anillos magnéticos (11) y / o (12), que están dispuestos entre los planos de anillo (1)(4) o (6) (16) radialmente magnetizados y concretamente de modo que dos planos de anillo adyacentes axialmente magnetizados se atraen mediante la correspondiente polaridad. Por ello los campos magnéticos de los anillos magnéticos dispuestos radialmente se intensifican.

El objeto de la invención es por lo tanto un amortiguador magnético con simetría de revolución correspondientes, que adicionalmente a dichos imanes (1)(4) radialmente magnetizados presenta al menos un anillo externo magnético de uno o varios imanes permanentes (11), que están dispuestos en el exterior alrededor del tubo de amortiguación (3) o están magnetizados de modo que polo norte y polo sur del imán o de los imanes indican axialmente hacia arriba o hacia abajo con respecto al eje longitudinal del amortiguador magnético, presentando el amortiguador  
 15 20 magnético de acuerdo con la invención preferiblemente al menos dos anillos externos magnetizados axialmente (11) de imanes permanentes, que están separados unos de otros mediante un anillo (1)(6) externo magnetizado radialmente, alternándose la polaridad orientada axialmente de estos anillos magnéticos de plano de anillo magnetizado axialmente a plano de anillo magnetizado axialmente.

En una forma de realización preferida de la invención el amortiguador magnético de acuerdo con la invención presenta adicionalmente al menos un anillo interno magnético de uno o varios imanes permanentes (12) que están dispuestos y magnetizados en el interior del tubo amortiguador (3) de manera que polo norte y polo sur del imán o de los imanes indican axialmente hacia arriba o hacia abajo con respecto al eje longitudinal del amortiguador magnético, presentando preferiblemente el amortiguador magnético al menos dos anillos internos magnetizados  
 25 30 axialmente (12), que están separados unos de otros por un anillo (4) interno radialmente magnetizado, alternándose la polaridad axialmente orientada de estos anillos magnéticos de plano de anillo axialmente magnetizado a anillo axialmente magnetizado.

Preferiblemente el número de los anillos magnéticos (1) se corresponde con el número de los anillos (2) de material ferromagnético, preferiblemente acero. En estos casos los anillos (1) y (2) tienen el mismo grosor (en dirección axial como también en dirección radial), preferiblemente de 10 a 60 mm. En caso de uso de anillos magnéticos o disposiciones en forma de anillo de imanes de barra o de dado tales disposiciones con un grosor entre 30 y 50 mm son las más eficientes. Sin embargo, es también posible emplear los anillos (1) sin anillos externos correspondientes (2) en caso de que no tengan que alcanzarse densidades de amortiguación tan altas. Generalmente también es  
 35 40 posible empujar un único anillo (2) externo ancho por encima de varios anillos magnéticos (1) como manguito y unirlos fijamente con estos, por ejemplo, mediante adhesión.

En caso de formas de realización con anillos externos (1)(6) radialmente magnetizados y anillos internos (4)(16) radialmente magnetizados enfrentados con polaridad opuesta se utilizan preferiblemente tanto anillos externos como internos. Sin embargo, es también concebible que se utilicen más anillos externos o más anillos internos en el amortiguador magnético de acuerdo con la invención, habiéndose acreditado de manera excelente de 1 - 5 planos de anillo. Pueden presentarse circunstancias que hacen necesario facilitar solo formas de realización que presentan solo anillos externos (1)(6) o solo anillos internos (4)(16).

En una forma de realización preferida el amortiguador magnético de acuerdo con la invención presenta exclusivamente uno o varios imanes permanentes externos y / o internos, estando magnetizados los imanes permanentes radialmente hacia dentro o radialmente hacia fuera y cuando existen varios planos de anillo apilados los unos sobre los otros estos presentan dirección de magnetización norte-sur alterna. A este respecto se trata de un amortiguador magnético puramente pasivo.

En una forma de realización preferida adicional el amortiguador magnético de acuerdo con la invención presenta exclusivamente un electroimán o varios electroimanes externos y / o internos en forma de anillos de bobina, estando magnetizadas las bobinas radialmente de manera continua y cuando existen varios planos de anillo apilados los unos sobre los otros estos presentan una dirección de magnetización norte-sur alterna. Dado que las bobinas pueden hacerse funcionar activamente con corriente variable en su intensidad y fase, se trata a este respecto de un amortiguador magnético activo.

En otra forma de realización preferida el amortiguador magnético de acuerdo con la invención presenta una disposición de dos o varios planos de anillo externos y / o internos colindantes magnéticos de imanes permanentes exclusivamente, en el que siempre un plano de anillo, con respecto al amortiguador- o tubo conducto, se compone de imanes radialmente magnetizados, y el otro plano de anillo colindante se compone de imanes axialmente

5 magnetizados, y además cuando existen tres o más, en particular de cuatro a cinco planos de anillo, dos planos de anillo magnetizados radialmente del mismo tipo están separados un plano de anillo magnetizado axialmente y dos planos de anillo magnetizados axialmente del mismo tipo están separados por un plano de anillo magnetizado radialmente, y la dirección de magnetización norte-sur de un plano de anillo es opuesta a la dirección de magnetización norte-sur del siguiente plano de anillo del mismo tipo. En esta forma de realización los imanes se presentan en una disposición de Halbach.

10 En una forma de realización preferida adicional de la invención el amortiguador magnético presenta anillos de imanes permanentes magnetizados radialmente hacia dentro o hacia fuera, pero también uno o anillos de bobina que funcionan como electroimanes, que pueden hacerse funcionar con corriente continua de polaridad correspondiente o corriente alterna de frecuencia variable y diferente y / o desplazamiento de fase. Por ello pueden obtenerse amortiguadores magnéticos semiactivos y activos de acuerdo con la invención con amortiguación variable controlable.

15 Los imanes permanentes utilizados para los amortiguadores magnéticos de acuerdo con la invención pueden ser imanes de anillo compactos continuos o, porque estos con frecuencia son difíciles de fabricar, segmentos de anillo magnéticos o imanes de barra individuales dispuestos de manera correspondiente en forma de anillo en la unión o imanes individuales con otra forma diferente que están colocados unos junto a otros con idéntica polaridad de manera correspondiente.

20 En formas de realización con internos anillos radialmente magnetizados (con o sin anillos externos), que se deslizan a lo largo de la superficie interna cilíndrica del tubo de amortiguación durante el movimiento estos pueden presentar adicionalmente un manguito interno o un núcleo macizo (5) de acero o aleaciones ferromagnéticas correspondientes, estando unido este manguito o este núcleo preferiblemente de manera firme, por ejemplo mediante adhesión, con el anillo interno o los anillos internos. El núcleo o el manguito puede presentar en este sentido el mismo tamaño axial que el anillo interno en cuestión pero puede cubrir también varios anillos.

25 Los anillos magnéticos de acuerdo con la invención como anillos magnéticos de hierro o sus segmentos de anillo presentan habitualmente un grosor radial, así como axial entre 10 y 60 mm dependiendo de la instalación que va a amortiguarse y a la fuerza de amortiguación necesaria. En este sentido el anillo ferromagnético (2) puede presentar un grosor radial mayor que el anillo magnético (1) externo magnetizado radialmente dependiendo de la función de intensificación deseada del material ferromagnético.

30 En el caso de amortiguadores magnéticos de acuerdo con la invención el dispositivo de soporte (10) presenta medios de retención, de detención y fijación, así como dado el caso distanciadores y conexiones de corriente, estando diseñados estos medios geométrica y funcionalmente de modo que los anillos magnéticos y bobinas pueden estar alojados, guiados, apilados y fijados y ponerse en funcionamiento con precisión de ajuste en correspondencia con su diámetros, con simetría de revolución de manera individual o múltiple, y el tubo de amortiguación (3) que se encaja en ellos puede alojarse con precisión de ajuste.

35 En una forma de realización especial adicional de la invención puede facilitarse un amortiguador magnético con amortiguación ajustable de manera variable en la que el dispositivo de soporte (10) mencionado está diseñado de modo que según la amortiguación deseada pueden utilizarse e intercambiarse de manera diferente muchos anillos externos y/o internos magnéticos con simetría de revolución de disposiciones de imanes permanentes y /o bobinas electromagnéticas en el dispositivo de soporte, estando adaptados los anillos magnéticos con respecto a su diámetro interno y / o externo al diámetro externo y / o interno deseado del tubo amortiguador (3). Por lo tanto, el amortiguador magnético de acuerdo con la invención puede facilitarse como tipo de sistema de unidades de montaje, a partir del cual el usuario correspondiendo con la amortiguación deseada y a la instalación o máquina existente que va a amortiguarse puede componer la amortiguación individual por sí mismo y de manera sencilla y variable mediante la selección de los elementos constructivos necesarios.

40 En aquellas formas de realización de acuerdo con la invención en las que no se necesitan anillos magnéticos internos (imanes permanentes o bobinas) ni barras ferromagnéticas o manguitos (15) (en el caso de intensidades de campo magnético más reducidas), das tubo amortiguador (3) conductivo, no magnetizable puede estar configurado también como barra o varilla.

45 Los amortiguadores magnéticos de acuerdo con la invención son extraordinariamente adecuados para utilizarse en absorbedores de vibraciones, en particular absorbedores de vibraciones que se basan en un péndulo de masa (absorbedores de masa).

50 El objeto de la invención es por lo tanto un absorbedor de vibraciones, en particular absorbedor de masa (7) que comprende al menos un cable de péndulo o una varilla de péndulo con una masa de péndulo y al menos un amortiguador magnético con simetría de revolución, tal como se describe anteriormente y a continuación, estando fijado preferiblemente el amortiguador magnético en la varilla de péndulo o en la masa de péndulo. Por regla general es ventajoso utilizar dos absorbedores de vibraciones de acuerdo con la invención que están dispuestos de modo que cubren el plano de vibración horizontal.

- 5 En este sentido el dispositivo de soporte (10) del amortiguador magnético puede estar fijado a la masa de péndulo o varilla de péndulo, por ejemplo, bajo el uso de articulaciones esféricas o bisagras, mientras que el tubo de amortiguación (3) o la varilla de amortiguación está fijado directamente en la máquina o instalación que va a amortiguarse, por ejemplo, igualmente bajo el uso de bisagras o articulaciones esféricas. A la inversa, el tubo de amortiguación (3) o la varilla de amortiguación puede estar fijado a la masa de péndulo o varilla de péndulo mientras que el dispositivo de soporte (10) del amortiguador magnético, está fijado directamente a la máquina o instalación que va a amortiguarse.
- 10 Cabe mencionar otra vez que mediante la adaptación del espesor de pared del tubo (3) (preferiblemente entre 5 y 15 mm, en particular entre 8 y 12 mm) es posible modificar la amortiguación a través del recorrido de vibración. De este modo es posible realizar una curva característica progresiva y/o degesiva. Esto es por ejemplo muy interesante cuando el absorbedor de vibraciones (7) en la zona de vibración central debe tener una amortiguación óptima para reducir las resonancias de la torre de un aerogenerador o de otra construcción. De este modo en caso extremo, en
- 15 el caso de grandes recorridos de vibración del absorbedor de vibraciones, el mismo puede frenarse de manera más intensa. Además, es posible componer el tubo (3) de materiales diferentes, de este modo la amortiguación puede modificarse mediante la variación de la resistencia eléctrica específica.
- 20 Una combinación de imanes permanentes con electroimanes y una monitorización de vibraciones puede ayudar también a limitar los recorridos de vibración máximos del absorbedor (7) en caso extremo. En el funcionamiento normal los electroimanes no estarían conectados y la amortiguación se adaptaría de manera óptima a la torre. Tan pronto como la oscilación del absorbedor (7) pueda llegar a ser demasiado grande debido a cargas extremas, los electroimanes pueden conectarse con el fin de aumentar la amortiguación y de este modo frenara el absorbedor de vibraciones (7).
- 25 En la práctica es necesario en el caso de una oscilación del péndulo guiar el tubo amortiguador (3) sin contacto y por tanto exento de fricción mediante el sistema magnético con simetría de revolución (de imanes permanentes o bobinas electromagnéticas, que están dispuestos en forma de anillo alrededor del tubo de amortiguación) para que pueda conservarse la distancia reducida necesaria entre ambos elementos constructivos. Para impedir ahora que el
- 30 tubo de amortiguación (3) colisione con los imanes de afileo externos y / o internos, en el caso de una forma de realización adicional de la invención está previsto un centrado o un dispositivo de fijación de distancia que debería diseñarse con la menor fricción posible.
- 35 El amortiguador de vibraciones de acuerdo con la invención presenta por lo tanto por regla general y preferiblemente un dispositivo de guiado y/o dispositivo de distancia o dispositivo de centrado (13) (14) que está colocado delante y/o detrás de la zona en la que la corriente parásita se genera mediante el movimiento relativo entre sí. Por tanto, la distancia necesaria puede mantenerse exenta de fricción en esta zona de actividad funcional entre aproximadamente 0,1 mm y 2,0 mm. Como dispositivo espaciador o dispositivo de centrado puede servir por ejemplo un cojinete de bolas, un cojinete de deslizamiento, un rodamiento de rodillos (13) o un dispositivo de
- 40 rodadura (14) que al mismo tiempo para el mantenimiento de la posición (mediante un dispositivo de sujeción) también asume una guía segura del tubo (por ejemplo, mediante uno o varios rodillos guía). La ventaja es ahora que solo los pesos del tubo de amortiguación (3) actúan sobre el dispositivo (13(14) y este dura más tiempo
- 45 El amortiguador magnético de acuerdo con la invención puede emplearse correspondiendo a su utilización planeada, a la característica de amortiguación necesaria así como al espacio de montaje disponible en diferentes tamaños. Para aerogeneradores es adecuado utilizar un amortiguador magnético por ejemplo para un absorbedor de vibraciones con un diámetro de aproximadamente 50 a 200 mm, desviaciones hacia arriba o hacia abajo hasta el 200 % son igualmente posible. Tal como ya se ha mencionado, la distancia o el entrehierro entre un anillo magnético (4), o una disposición magnética en forma de anillo, independientemente de si están construida de imanes
- 50 permanentes o electroimanes (bobinas electromagnéticas), y la superficie externa y/o superficie interna del tubo amortiguador (3) está aproximadamente entre 0,1 mm y 2,0 mm, preferiblemente 0,25 – 1,25 mm, en particular 0,5 – 1,0 mm. Una distancia mayor o entrehierro es en principio posible y puede fabricarse también de manera más sencilla, aunque se reduce en este sentido la amortiguación global. De acuerdo con la invención la pérdida de amortiguación aproximadamente a 17,5 % (17 - 18 %) por mm hendidura.
- 55 El tubo de amortiguación (3) del amortiguador de acuerdo con la invención se compone, tal como ya se ha dicho, de un material conductivo, preferiblemente metal, por ejemplo, de aluminio o cobre o aleaciones de estos metales. Se ha demostrado que un espesor de pared de tubo entre 8 a 10 mm provoca la máxima eficiencia en el sentido de una amortiguación.
- 60 Para otros campos de aplicación, aparte de absorbedores de vibraciones, en particular para aerogeneradores, pueden ser óptimos diámetros, tamaños de imán y grosores de tubo menores y mayores.
- 65 Con el amortiguador magnético de acuerdo con la invención pueden alcanzarse según la calidad densidades de amortiguación preferiblemente entre 1500 y 3000 kNs/m x m<sup>3</sup>. Por ello puede ahorrarse material magnético y espacio de construcción.

Es también posible utilizar los amortiguadores magnéticos de acuerdo con la invención como cojinete magnético radial, pasivo: En caso de velocidades más altas las corrientes parásitas en el tubo (3) se desplazan en dirección axial. Mediante el desplazamiento de las corrientes parásitas hacia las disposiciones de imanes (1) en forma de anillo se forman fuerzas radiales entre el tubo (3) y las disposiciones de imanes (1). Estas fuerzas radiales actúan como un cojinete radial que quiere centrar los anillos magnéticos. Este efecto puede utilizarse para realizar un alojamiento sin contacto entre anillo magnético (1) y tubo (3). La disposición de imanes según la figura 8 (disposición de Halbach) es la más adecuada en este sentido. En prototipos de aerotrenes magnéticos este efecto ya se utiliza para crear la levitación solo con imanes permanentes (Inductrack). En esta los imanes están dispuestos de manera plana y crean a partir de una velocidad determinada una fuerza ascensional vertical. En horizontal la disposición plana es inestable y se necesita una disposición de imanes adicional para estabilizar también esta dirección. En este caso los imanes de anillo (1) del amortiguador son ventajosos dado que estos en cada dirección radial son estables y están centrados. Un cojinete magnético radial de este tipo es adecuado también para aliviar la carga de cojinetes deslizantes. Las fuerzas de actuación radial entre tubo (3) y anillos magnéticos (1) se absorberían durante la detención y en caso de bajas velocidades mediante cojinetes deslizantes convencionales. En caso de velocidades más altas, que generan el mayor desgaste, se alivia la carga de tales cojinetes deslizantes por completo mediante el cojinete magnético. Pueden combinarse por ejemplo dos cojinetes magnéticos radiales con disposición de Halbach con los anillos magnéticos (1). Por ello los cojinetes magnéticos pueden optimizarse a velocidades bajas mientras que los anillos magnéticos (1) proporcionan entre tanto la amortiguación axial propiamente dicha.

Una ventaja de la utilización de amortiguadores magnéticos en particular de imanes permanentes, en la tecnología de vibraciones y tecnología de rodamientos consiste en que siempre funcionan. No se requiere por regla general ningún control o abastecimiento de energía. La influencia de temperatura sobre las propiedades de amortiguación es mínima y no se necesita ninguna compensación de temperatura adicional.

A diferencia de los amortiguadores magnéticos hasta ahora conocidos, en el caso de los amortiguadores magnéticos de acuerdo con la invención las corrientes parásitas inducidas en el tubo (3) son circundantes. Por ello la corriente parásita es más uniforme y la eficiencia del amortiguador es superior. Las corrientes parásitas son circulares y forman un campo magnético que se asemeja al anillo magnético (1). A diferencia de esto las corrientes parásitas en el amortiguador magnético descrito en el documento EP 2 696 072 se forman alrededor de los bordes delanteros y bordes traseros de los imanes individuales descritos en el mismo con la consecuencia de que la placa de circuitos impresos debe fabricarse más ancha porque las corrientes parásitas generadas son más anchas que los imanes.

Además, la geometría con simetría de revolución del amortiguador de acuerdo con la invención es más sencilla de producir y permite una utilización allí donde anteriormente se empleaban amortiguadores normales con simetría de revolución, como por ejemplo amortiguadores de fluido. Según el tamaño los anillos magnéticos (1) radialmente magnetizados son técnicamente con frecuencia solo complejos o incluso ya no pueden fabricarse más. En este caso es ventajoso fabricar las disposiciones de imanes en forma anular de imanes individuales planos, por ejemplo, en forma de barra o de dado, por lo que pueden realizarse diámetros mayores.

El amortiguador tiene sobre todo ventajas en campos de aplicación con grandes diferencias de temperatura y aplicaciones con coeficientes de amortiguación constantes, como por ejemplo en caso de absorbedores de torre o absorbedores de pala de rotor en aerogeneradores. Los amortiguadores magnéticos de acuerdo con la invención o absorbedores de vibraciones que contiene estos son adecuados y están previstos para amortiguar vibraciones de todo tipo en particular entre 5 Hz y 200 o en el intervalo de ruido estructural en máquinas e instalaciones, en particular aerogeneradores.

Por lo tanto, finalmente también el objeto de la invención es un aerogenerador, que está equipado con amortiguadores magnéticos y absorbedores de vibraciones descritos anteriormente y en las reivindicaciones.

Sin embargo, el amortiguador magnético de acuerdo con la invención puede utilizarse como elemento de amortiguación también en absorbedores de vibraciones de alta frecuencia en el caso de otras instalaciones. Mediante la amortiguación sin contacto y exento de fricción el amortiguador magnético tiene una vida útil muy alta y no presenta fenómenos de desgaste. En el sector automovilístico y sector ferroviario los amortiguadores son adecuados para amortiguar todo tipo de golpes y vibraciones, dado que también en este caso pueden presentarse grandes diferencias de temperatura. Mediante la combinación del amortiguador magnético de acuerdo con la invención con por ejemplo un resorte de acero puede renunciarse a materiales amortiguadores como por ejemplo elastómeros. El amortiguador magnético de acuerdo con la invención puede utilizarse también en todos los lugares donde sea necesario evitar contaminaciones (por ejemplo, en la industria alimentaria), dado que funciona sin contacto y sin medio de amortiguación

Los amortiguadores magnéticos de acuerdo con la invención pueden facilitarse, tal como ya se ha mencionado anteriormente, de manera diferente según el tipo de amortiguación necesario:



	Tipo de amortiguación	Elemento funcional	Descripción
1	Pasiva	imanes permanentes	imanes frenan el movimiento relativo dependiendo de la velocidad
2	Semiactiva	bobinas con corriente continua	Mediante la intensidad de corriente pueden regularse los campos magnéticos y se hace posible una amortiguación variable
3	Activa	bobinas con corriente alterna	Mediante tensión alterna adecuada el amortiguador puede generar activamente un movimiento del absorbedor y controlar la amortiguación

*Pasiva:* Los anillos magnéticos externos (1) pueden apilarse según la amortiguación deseada y combinarse adicionalmente también con anillos magnéticos internos (5).

5 *Semiactiva:* Un segmento de anillo puede fabricarse con dos bobinas. Las bobinas (6) pueden apilarse de manera discrecional y combinarse con bobinas internas (4B) para alcanzar la amortiguación deseada.

10 *Activa:* Las bobinas abastecidas con corriente alterna pueden apilarse igualmente para alcanzar más corrientes parásitas y por tanto rendimientos de accionamiento mayores. Las bobinas internas aumentan en este sentido también las fuerzas y rendimientos.

15 *Combinaciones:* las amortiguaciones pasivas, semiactivas y activas pueden combinarse entre sí en cualquier momento. También es posible combinar todos los tipos en un amortiguador para posibilitar la amortiguación adecuada para los tipos de funcionamiento más diversos del absorbedor.

Los amortiguadores magnéticos de acuerdo con la invención pueden ponerse a disposición también en forma de un kit o sistema de unidades de montaje. Concretamente es adecuado desarrollar un sistema de unidades de montaje con un diámetro unitario. Los anillos magnéticos (1) con los anillos (2) pueden agruparse como una unidad. El anillo (2) dispone en este sentido de un rebaje adecuado en ambos lados para que los anillos puedan apilarse y al mismo tiempo centrarse. El mismo rebaje se emplea también para las bobinas con corriente continua y alterna. Por ello es posible sin más apilar los diferentes tipos y combinarlos entre sí. Además, por ello se simplifica la capacidad de intercambio, y una ampliación posterior con amortiguación activa, por ejemplo, no es ningún problema. Mediante este sistema de unidades de montaje es también posible instalar cojinetes magnéticos radiales pasivos delante y detrás de los elementos de amortiguación.

Además, también los anillos externos (1) pueden sujetarse entre sí con placas terminales y tornillos externos. Los anillos internos (4) pueden sujetarse entre sí con un tornillo central. En la figura 10 puede verse un ejemplo con en cada caso cinco anillos magnéticos externos e internos.

30 En principio es concebible en el caso de los amortiguadores magnéticos de acuerdo con la invención renunciar a una disposición en forma de anillo y emplear en su lugar tubos rectangulares, por ejemplo tubos cuadrados. Entonces los imanes son más fáciles de fabricar, sin embargo, las corrientes parásitas son más complicadas de calcular y en las esquinas del tubo cuadrado pueden producirse pérdidas dado que los campos magnéticos no se solapan de forma ideal. Un polígono de ocho o más esquinas se acerca cada vez más al círculo y el amortiguador magnético se vuelve más eficiente con respecto al tubo cuadrado. Sin embargo, con número creciente de esquinas cada vez es menos rentable frente a la solución con simetría de revolución. Una desventaja adicional de los polígonos es que debe impedirse sin falta una torsión del eje dado que si no los imanes con el tubo colisionarían. Esto no es ningún problema en la solución de simetría rotacional, allí el amortiguador puede girarse axialmente sin colisiones.

### Detalles de la invención

45 A continuación, se describen con más detalle las magnitudes de referencia empleadas en el texto y en las ilustraciones:

- 1 anillo magnético externo de imanes permanentes radialmente magnetizado
- 2 anillo externo ferromagnético
- 3 tubo de amortiguación (o barra de amortiguación)
- 50 4 anillo magnético interno de imanes permanentes radialmente magnetizado
- 5 núcleo ferromagnético o manguito para anillos magnéticos internos
- 6 anillo de bobina (bobina) externo electromagnético
- 7 absorbedor de vibraciones con cable/barra de péndulo y masa de péndulo
- 8 articulación esférica absorbedor de vibraciones-amortiguador
- 55 9 articulación esférica pared-amortiguador
- 10 dispositivo de soporte para amortiguadores de acuerdo con la invención, en particular de los dispositivos magnéticos 1, 4, 5, 6, 11, 12

- 11 anillo magnético externo de imanes permanentes magnetizado axialmente
- 12 anillo magnético interno de imanes permanentes magnetizado axialmente
- 13 dispositivo de guía /dispositivo espaciador dado el caso carcasa incluida
- 14 dispositivo de rodadura con soporte y rodillo(s) guía
- 5 15 tubo interno electromagnético o barra para tubo amortiguador (3)
- 16 anillo de bobina interno electromagnético o bobina

A continuación, la invención se describe con más detalle mediante las ilustraciones: la figura 1 (A) representa esquemáticamente un amortiguador magnético de acuerdo con la invención (A) incluyendo el campo magnético del anillo magnético cerrado (B). El amortiguador magnético comprende el tubo de amortiguación (3), que está fabricado de un material/metal conductor pero no ferromagnético, preferiblemente aluminio o cobre o aleaciones adecuadas correspondientes. El tubo manteniendo una escasa distancia está rodeado sin contacto y por tanto exento de fricción por un anillo magnético (1), este último a su vez directamente y sin contacto o unión firme por un anillo de un material ferromagnético, por ejemplo hierro, aleación de hierro o acero con un elevado contenido de hierro. Por ello se intensifica el efecto magnético del anillo magnético. Mediante el movimiento relativo del tubo de amortiguación (3) hacia la construcción de componente anillo magnético (1) - anillo (2) resulta una corriente parásita que origina un campo magnético orientado de manera correspondiente, por lo que el movimiento relativo se frena. En caso de que se desee una densidad magnética más reducida puede renunciarse al anillo intensificador (2).

El anillo magnético (1) es en el caso ideal un imán de anillo cerrado con magnetización radial. En este sentido, por ejemplo, el polo norte se encuentra sobre la superficie interna y el polo sur sobre la superficie externa. La dirección de magnetización puede también ser exactamente la contraria. Como materiales magnéticos son adecuados, por ejemplo, imanes permanentes de NdFeB, pero pueden emplearse también otros imanes. Como por ejemplo los imanes de SmCo, que no son tan intensos como el imán de NdFeB imán su resistencia a la temperatura es más alta y la dependencia a la temperatura es más reducida.

Dado que los imanes de anillo cerrados con magnetización radial deben fabricarse con una técnica complicada y son muy caros, el anillo magnético (1) puede estar construido también de imanes individuales (1A) como está representado en la figura 2. Estos imanes individuales son preferiblemente imanes de barra o de dado que están orientados con el polo norte o polo sur hacia dentro radialmente con respecto al tubo de amortiguación (3) (la figura 2). Es también posible fabricar segmentos circulares magnéticos planos (por ejemplo segmentos de 90°) y reunirlos hasta formar un anillo. Para el caso de que imanes individuales (1A) formen el anillo magnético (1) es además posible desplazar uno de cada dos imanes de barra de modo que se origine un patrón de tabla de ajedrez de polo norte y polo sur. De este modo puede influirse en el grado de la amortiguación.

El tubo de amortiguación (3) se compone de un material eléctricamente muy conductor, preferiblemente metal, en particular aluminio o cobre o aleaciones de estos metales. Cuanto más grueso es el material del tubo de amortiguación, menor es la resistencia eléctrica y más elevadas serán las corrientes parásitas inducidas.

El anillo intensificador (2) se compone preferiblemente de acero normal con un contenido de hierro lo más elevado posible y de carbono bajo. El alto contenido de hierro es importante para que el material sea "magnéticamente blando". Esto significa que el material puede magnetizarse de manera sencilla. Pueden emplearse alternativamente también todos los demás materiales, que son "magnéticamente blandos". El anillo magnético (1) puede pegarse por ejemplo en el anillo (2); pero ambos anillos pueden también enclavarse unos frente a otros o unirse de manera firme entre sí. El anillo de acero (2) intensifica el campo magnético en el interior y blindo al mismo tiempo el campo magnético hacia fuera. El amortiguador magnético de acuerdo con la invención funciona también sin anillo de acero, aunque por ello la amortiguación resultará menor.

El entrehierro entre anillo magnético y el tubo de amortiguación debería ser pequeño para que la amortiguación sea lo más elevada posible. Mediante un entrehierro / distancia mayor el campo magnético es más débil en el tubo 3 y se originan corrientes parásitas menores. Según la invención una distancia entre aproximadamente 0,1 mm y 2,0 mm ha resultado ser especialmente efectiva.

Es también posible variar el entrehierro o distancia de forma intencionada para modificar de manera controlable la amortiguación. De este modo puede variar por ejemplo la distancia entre anillo magnético y el tubo de amortiguación dependiendo de la posición del anillo magnético con respecto al tubo de amortiguación (3). Esto es útil en particular en el uso de varias disposiciones de anillos magnéticos (1). Por ello pueden realizarse por ejemplo curvas características de amortiguación progresivas/degradativas.

Una posibilidad adicional para regular la amortiguación es la adaptación del espesor de pared del tubo (3) a través de la longitud. De este modo por ejemplo en el caso de un diámetro externo constante el diámetro interno puede variar y con ello modificarse la amortiguación dependiendo del diámetro interno a través de la longitud del tubo (3).

La figura 3(A) muestra un amortiguador magnético de acuerdo con la invención, que a diferencia de las formas de realización de la figura 1 y 2 presenta varios anillos magnéticos externos (1)(1A) con correspondientes anillos

intensificadores (2). Los anillos están apilados en este sentido de manera muy ceñida entre sí y presentan polaridad alterna de un anillo magnético (1) al anillo magnético (1) adyacente. Para aumentar la amortiguación pueden apilarse varios anillos magnéticos 1 (la figura 3). De anillo a anillo el polo magnético se alterna de modo que el polo norte o el polo sur se encuentra en el lado interno. Por ello los campos magnéticos se intensifican mutuamente y el rendimiento del amortiguador aumenta. Dos anillos magnéticos (1) son de esta manera el doble de intensos que un anillo magnético (1) individual (aproximadamente 3,5x). Esta intensificación reduce el número necesario de anillos magnéticos 1 a un mínimo. Con número creciente de anillos magnéticos puede aumentarse la amortiguación total por etapas, por lo que de nuevo la amortiguación del sistema oscilante puede controlarse. La figura 3 (B) representa el campo magnético de los cinco anillos magnéticos del amortiguador magnético de acuerdo con la invención de la figura 3 (A), y la figura 3(C) reproduce en el tubo (3) las corrientes parásitas inducidas en el movimiento relativo.

La figura 4 representa una forma de realización adicional del amortiguador magnético de acuerdo con la invención. A este respecto en lugar del anillo magnético externo (1) se emplea solo un anillo magnético interno (4)(4A) que está colocado en el interior del tubo de amortiguación (3) y presenta la distancia correspondiente sin contacto con respecto a la superficie interna del tubo (3). En lugar del anillo de intensificación (2) aparece una barra o núcleo, o un manguito (5) de material ferromagnético, preferiblemente de acero, que se ha desplazado mediante el anillo magnético interno (4) y se mueve con este. El anillo magnético interno (4)(4A) está unido en este sentido con (5) de manera firme, por ejemplo pegado. Esta construcción es adecuada para reemplazar los amortiguadores de fluido conocidos en el estado de la técnica.

Para aumentar todavía más el rendimiento de la amortiguación es posible emplear combinados un anillo magnético interno (4)(4A) y un anillo magnético externo (1)(1A), tal como está representado en la figura 5 en un par de anillos magnéticos. En este sentido ambos anillos magnéticos (1)(1A) y (4)(4A) enfrentados y separados por el tubo de amortiguación (3) se polarizan de modo que se atraen. Por ello el campo magnético en el tubo (3) es casi constante por todo el espesor de pared. De forma análoga a la figura 3 (A) el anillo magnético interno (4)(4A) y el anillo magnético externo (1) pueden apilarse con polaridad alterna para intensificar la amortiguación. Es también posible en este caso omitir el anillo externo (2) y/o el núcleo interno (5), en el caso de que fuera necesaria una amortiguación magnética menor. En la figura 5 está representada la variante con ambos elementos (2) y (5).

La figura 6(A) muestra una forma de realización adicional del amortiguador magnético de acuerdo con la invención con un anillo magnético externo (1) y un anillo ferromagnético (2). A este respecto sin embargo los imanes permanentes se han reemplazado por electroimanes en forma de dos anillos de bobina (6), que en el caso de la circulación de corriente generan un campo magnético. Cada anillo de bobina (6) puede estar construido de un devanado, o también estar compuesto de varias bobinas electromagnéticas (1B) unidas preferiblemente entre sí. Alrededor de un conductor por el que pasa la corriente se forma un campo magnético. Este campo magnético puede intensificarse mediante los devanados de la bobina. La dirección de corriente en ambos anillos de bobina (6) es opuesta y el campo magnético se asemeja al del anillo magnético (1) (la figura 6 (B), véase también la figura 1 (B)). Los campos magnéticos de los anillos de bobina (6) pueden aumentarse también en este sentido mediante anillos de refuerzo (2). Por ello la amortiguación puede conectarse y desconectarse fácilmente con la corriente. Además la amortiguación puede variarse mediante la modificación de la intensidad de corriente. Al igual que en los anillos magnéticos (1) (4) (1A) (4A) en una variante adicional no mostrada en este caso es también posible apilar los anillos de bobina (6) y emplear también combinados anillos de bobina internos (4B) y externos (1B). La figura 6B muestra el campo magnético de las bobinas por las que pasa la corriente.

En otra variante no mostrada de esta forma de realización pueden combinarse imanes permanentes (1A)(4A) con electroimanes (1B)(4B), produciéndose las siguientes posibilidades: (i) Los imanes permanentes proporcionan una amortiguación básica. Los electroimanes que pueden conectarse adicionalmente pueden aumentar la amortiguación adicionalmente para situaciones en las que es necesaria una amortiguación superior; y (ii) los imanes permanentes proporcionan una amortiguación básica. Los electroimanes que pueden conectarse adicionalmente pueden "desconectar" los imanes permanentes al estar orientado su campo magnético opuesto al campo magnético de los imanes permanentes. Por ello el amortiguador puede desconectarse cuando sea necesario.

La figura 7 y la figura 8 representan dos variantes (la figura 7(A), la figura 8(A)) de una forma de realización adicional del amortiguador magnético de acuerdo con la invención en la que no sólo se utilizan campos magnéticos orientados radialmente (con respecto al tubo de amortiguación (3)) (mediante imanes permanentes y / o electroimanes) sino también campos magnéticos orientados (11)(12) axialmente (con respecto al tubo de amortiguación (3)), lo que también es conocido *per se* como disposición de Halbach. La figura 7 se corresponde en este sentido exceptuando la disposición de Halbach mencionada de los imanes a la forma de realización de la figura 3, presenta por lo tanto imanes externos (1)(11). La figura 8 presenta adicionalmente a la figura 7 también imanes internos en disposición de Halbach (4)(12). Los campos magnéticos correspondientes están representados igualmente (la figura 7(B), la figura 8 (B)).

Los anillos magnéticos apilados pueden estar magnetizados en ambas variantes también de modo que el campo magnético se intensifica en un lado, mientras que en el otro lado casi desaparece. Las flechas en los anillos magnéticos indican en la dirección del polo norte respectivo. Los anillos magnéticos están magnetizados de manera alterna axialmente y radialmente.

La ventaja de esta disposición es que se genera un campo magnético más intenso allí donde se necesita y un campo magnético más débil donde no se necesita. Por ello se ahorra el blindaje mediante anillos externos (2). Además, es también posible realizar una disposición de Halbach en el interior del tubo 3 y combinarla con una disposición de Halbach externa. También en este caso puede reemplazarse los anillos magnéticos cerrados por imanes individuales. Con imanes de dado o imanes de barra pueden componerse todos los anillos (magnetizados axialmente y radialmente).

La figura 9 muestra una disposición individual del amortiguador magnético de acuerdo con la invención que está compuesto por una fila de anillos de bobina externos (6) o de disposiciones de bobinas y con la que puede realizarse una amortiguación activa. Si un anillo de bobina (6) es recorrido por corriente eléctrica alrededor de este se origina un campo magnético. Si los anillos de bobina (6) de una manera determinada se conectan y se desconectan de forma diferente, los campos magnéticos se desplazan a lo largo del tubo (3). Una posibilidad es aplicar en cada anillo de bobina individual (6) una corriente alterna propia. La corriente alterna de una a otra bobina tiene en este sentido un ángulo de fase determinado. Por ello cada bobina tiene en otro momento su corriente máxima. Como frecuencia es adecuada por ejemplo 50 Hz o 60 Hz y el ángulo de fase de bobina a bobina (6) se sitúa entre 30° y 120°. Mediante los campos magnéticos desplazados se inducen corrientes parásitas que igualmente comienzan a desplazarse. Las corrientes parásitas ejercen una fuerza axial sobre el tubo y lo aceleran. De este modo puede realizarse activamente una fuerza sobre el absorbedor de vibraciones para frenar por ejemplo de manera más intensa o dejar oscilar el absorbedor de vibraciones activamente en otra frecuencia. Para aumentar el rendimiento en diferentes velocidades la frecuencia y el ángulo de fase pueden adaptarse con convertidores de frecuencia. Una combinación con anillos de bobina internos (16) (no mostrada) aumenta las fuerzas en un múltiplo.

La figura 10 muestra un amortiguador magnético sujeto en un armazón de soporte con cinco internos y anillos magnéticos externos y un tubo de amortiguación (3), que se mueve mediante los dispositivos magnéticos sujetos.

La figura 11 muestra un absorbedor de vibraciones (7), que está equipado con un amortiguador magnético de acuerdo con la invención que presenta elementos de imán externo así como internos (1)(4) y un núcleo fijo (5). El absorbedor de vibraciones puede ser un péndulo simple o un péndulo transversal con una masa de péndulo en una barra de péndulo o cable de péndulo. Los movimientos oscilantes del absorbedor 7 crean ángulos pequeños que pueden compensarse mediante articulaciones esféricas (8) y (9) sencillas. Los amortiguadores magnéticos pueden estar incorporados en cada posición y situación, en la situación horizontal los amortiguadores son más eficientes. Para ello también el recorrido de desplazamiento necesario del amortiguador es máximo cuando este está incorporado en horizontal.

En la figura 12 está representado un absorbedor de vibraciones (7) que se corresponde con el de la figura 11. En oposición a este el amortiguador magnético integrado en esta forma de realización no presenta ningún anillo magnético (4) interno. Esto provoca que el recorrido en el que el tubo amortiguador puede moverse activamente se aumenta en más del doble.

La figura 13 reproduce esencialmente el absorbedor de vibraciones de la figura 12 aunque posee adicionalmente en ambos extremos de la zona de tubo en la que la amortiguación es efectiva un dispositivo de guiado y / o dispositivo espaciador o dispositivo de centrado (13) (14). Este debe garantizar que el tubo de amortiguación (3) no choque con los equipos magnéticos (1) (4) en el interior y / o afuera en el tubo (3), es decir pueda moverse exento de fricción y por lo tanto sin contacto en la zona en cuestión, y además se guía de manera segura a través de esta zona. El dispositivo (13) (14) puede ser por ejemplo un cojinete de deslizamiento o rodamiento de rodillos, por ejemplo un casquillo de deslizamiento o un cojinete de bolas, pero puede ser también un soporte simple que no esté unido con una parte inmóvil de la instalación.

La figura 14 muestra un absorbedor de vibraciones correspondiente según la figura 13 que está equipado con un amortiguador magnético de acuerdo con la invención que como variante adicional del dispositivo de centrado comprende un dispositivo de rodadura (14). Para el centrado del amortiguador magnético alrededor del tubo (3) se utiliza en este caso especialmente una guía de rodillos. Por ello pueden realizarse velocidades de rodadura superiores y recorridos de desplazamiento. La guía de rodillos se compone de uno o varios rodillos guía, que están distribuidos alrededor del tubo. Cada rodillo guía puede ajustarse individualmente con el soporte de rodillos ajustable con el fin de alcanzar un centrado y pretensión óptimos. El dispositivo de rodadura descritos puede combinarse también todavía con casquillos de guiado o casquillos de deslizamiento colocados fuera del amortiguador.

En la práctica ha resultado ser especialmente ventajoso un dispositivo de guiado y distanciador de tres rodillos guía con correspondientes soportes que están distribuidos de manera uniforme afuera en un ángulo de 120° alrededor del tubo de amortiguación. Opcionalmente puede lograrse una avería o un desgaste intenso de un rodillo guía, con ayuda de un casquillo de deslizamiento adicional antes de que se produzca una colisión entre tubo (3) y anillos magnéticos (1). Entre el casquillo de deslizamiento y el tubo (3) está previsto un entrehierro de modo que hasta que no falla un rodillo guía no se produce un contacto entre tubo y casquillo de deslizamiento. Durante el siguiente intervalo de mantenimiento el rodillo guía puede reajustarse con el soporte de rodillos ajustable o intercambiarse y el casquillo de deslizamiento queda descargado de nuevo. Para el centrado de los anillos magnéticos respecto al tubo ahora solo los rodillos guía del dispositivo son necesarios.

Para la optimización de los amortiguadores magnéticos de acuerdo con la invención con respecto al efecto de amortiguación es ventajoso registrar los campos magnéticos de manera cualitativa y cuantitativa. La simetría rotacional permite renunciar a simulaciones en 3D de los campos magnéticos y corrientes parásitas. Debe efectuarse solo una simulación de simetría axial en 2D para calcular por completo el amortiguador magnético que simplifica y acorta los cálculos. Se conocen programas correspondientes para la simulación y cálculo de tales campos en el estado de la técnica. Con el programa FEMM 4.2 que pueden conseguirse fácilmente pueden calcularse los campos magnéticos de las variantes individuales (la figura 1(B), la figura 3(B), 3(C), la figura 6(B), la figura 7(B), la figura 8(B)) En este sentido se trata de simulaciones magnetoestáticas con el fin de visualizar el desarrollo y la intensidad de los campos magnéticos. En este programa no puede calcularse ningún movimiento de los anillos magnéticos (1) con respecto al tubo (3).

Con el programa ANSYS Maxwell 15.0 se calcularon las corrientes parásitas y fuerzas de amortiguador. Tan pronto como se produzca un movimiento relativo entre el tubo (3) y los anillos magnéticos se inducen corrientes eléctricas circundantes hacia el tubo. Estas corrientes parásitas forman campos magnéticos que actúan contra los anillos magnéticos (1). La fuerza sobre el tubo (3) puede emitirse mediante el programa y con la velocidad relativa puede calcularse la constante de amortiguación.

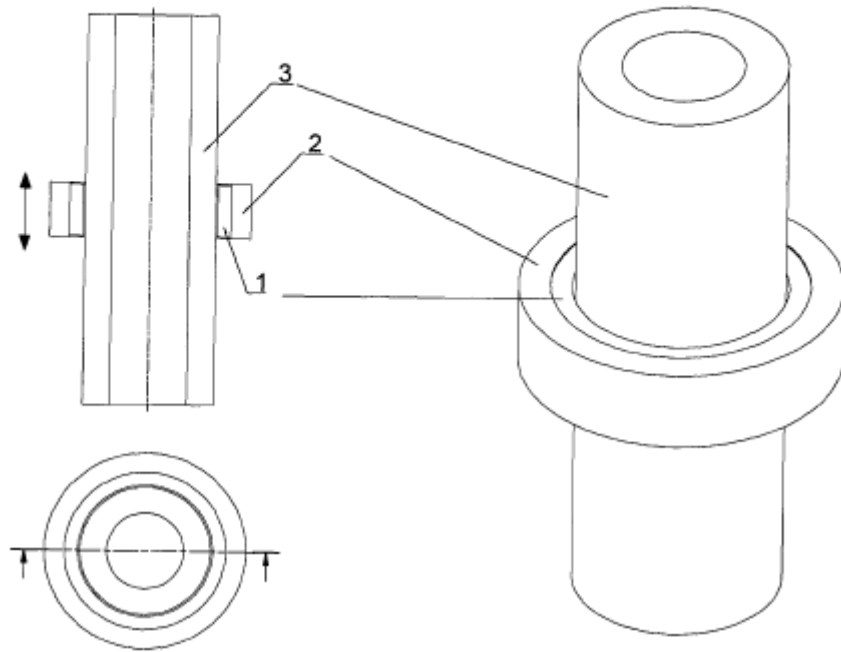
**REIVINDICACIONES**

1. Absorbedor de vibraciones para amortiguarlas que aparecen en máquinas, instalaciones y construcciones, que comprende al menos un cable de péndulo o una varilla de péndulo con una masa de péndulo y al menos un amortiguador magnético, **caracterizado por que** el amortiguador magnético presenta simetría de revolución y comprende los siguientes elementos constructivos
- (i) un tubo amortiguador (3) de un material conductivo no magnetizable,
- (ii) un dispositivo de soporte (10) provisto con medios de fijación con simetría de revolución alrededor del eje longitudinal del amortiguador, que presenta al menos una disposición externa magnética de anillo con respecto al tubo amortiguador (3) de uno o varios imanes permanentes (1) o de uno o varios electroimanes en forma de bobinas (6), que están dispuestas de modo que polo norte y polo sur de los imanes mencionados indican o radialmente hacia dentro o radialmente hacia fuera con respecto al eje longitudinal o al tubo (3) del amortiguador magnético, en el que el al menos un anillo externo magnético (1)(6) se ha desplazado a través del tubo amortiguador (3), y anillo y tubo pueden moverse el uno hacia el otro sin contacto y exentos de fricción, y la distancia entre el al menos un anillo magnético (1) (6) y la superficie externa del tubo amortiguador (3) está entre  $\geq 0,1$  mm y  $\leq 2,0$  mm, y
- (iii) al menos un anillo (2) que se compone de un material ferromagnético o de segmentos compuestos del mismo, que rodea directamente el al menos un anillo externo magnético (1) (6).
2. Absorbedor de vibraciones según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el amortiguador magnético presenta de dos a diez anillos externos magnéticos (1)(6), que están apilados los unos encima de los otros, en el que la polaridad orientada radialmente de estos anillos magnéticos (1)(6) alterna de plano de anillo radialmente magnetizado a plano de anillo radialmente magnetizado.
3. Absorbedor de vibraciones según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** el amortiguador magnético adicionalmente al tubo amortiguador (3) presenta un tubo compuesto de un material ferromagnético o una barra redonda (15) correspondiente, que está en contacto con la pared interna del tubo amortiguador (3) y está unido o unida con este de modo que es posible un movimiento común con el tubo amortiguador (3).
4. Absorbedor de vibraciones para amortiguar las que aparecen en máquinas, instalaciones y construcciones, que comprende al menos un cable de péndulo o una varilla de péndulo con una masa de péndulo y al menos un amortiguador magnético, **caracterizado por que** el amortiguador magnético presenta simetría de revolución y comprende los siguientes elementos constructivos
- (i) un tubo amortiguador (3) de un material conductivo no magnetizable,
- (ii) un dispositivo de soporte (10) con simetría de revolución alrededor del eje longitudinal del amortiguador provisto con medios de fijación, que presenta al menos una disposición interna magnética de anillo con respecto al tubo amortiguador (3) de uno o varios imanes permanentes (4) o de uno o varios electroimanes en forma de bobinas (16), que están dispuestas de modo que polo norte y polo sur del o de los imanes indican o radialmente hacia dentro o radialmente hacia fuera con respecto al eje longitudinal o al tubo (3) amortiguador magnético o, en el que el al menos un anillo interno magnético (4) (16) se ha desplazado hacia el tubo amortiguador (3), y anillo y tubo pueden moverse el uno hacia el otro sin contacto y exentos de fricción, y la distancia entre el al menos un anillo magnético (4) y la superficie interna del tubo amortiguador (3) está entre  $\geq 0,1$  mm y  $\leq 2,0$  mm, y
- (iii) al menos un núcleo cilíndrico (5) macizo compuesto de un material ferromagnético o de partes compuestas por el mismo, que está rodeado directamente por el al menos un anillo interno magnético (4) (16).
5. Absorbedor de vibraciones según la reivindicación 4, **caracterizado por que** el amortiguador magnético presenta dos a diez anillos internos magnéticos (4) (16), que están apilados los unos encima de los otros, en el que la polaridad orientada radialmente de estos anillos magnéticos (4)(16) alterna de plano de anillo radialmente magnetizado a plano de anillo radialmente magnetizado.
6. Absorbedor de vibraciones según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el amortiguador magnético adicionalmente a la al menos una disposición externa magnética de anillo (1)(6) presenta una disposición interna magnética de anillo de uno o varios imanes permanentes (4) o de uno o varios electroimanes en forma de bobinas (16), que están dispuestas de modo que polo norte y polo sur del imán o de los imanes indican o radialmente hacia dentro o radialmente hacia fuera con respecto al eje longitudinal o al tubo (3) amortiguador magnético, en el que disposición y polaridad de un anillo interno magnético (4) (16) están seleccionadas de modo que está colocado en el mismo plano con respecto a un anillo externo magnético (1)(4) y los polos enfrentados del anillo interno y externo se atraen a través de la pared del tubo amortiguador (3), y el tubo amortiguador (3) puede moverse con respecto a dichas disposiciones de anillo magnéticas sin contacto y exento de fricción, y la distancia entre el al menos un anillo interno magnético (4)(16) y la superficie interna del tubo amortiguador (3) está entre  $\geq 0,1$  mm y  $\leq 2,0$  mm.
7. Absorbedor de vibraciones según la reivindicación 6, **caracterizado por que** el amortiguador magnético presenta al menos un núcleo cilíndrico (5) macizo compuesto de un material ferromagnético o partes compuestas por el mismo, que está rodeado directamente por el al menos un anillo interno magnético (4)(16).

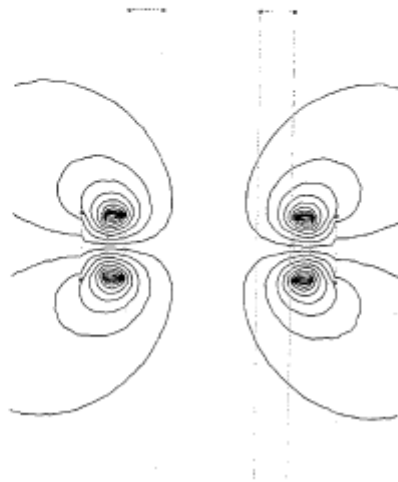
8. Absorbedor de vibraciones según la reivindicación 6 o 7, **caracterizado por que** el amortiguador magnético presenta dos a diez anillos externos magnéticos (1)(6) y de manera correspondiente muchos anillos internos magnéticos (4)(16) dispuestos enfrentados en el mismo plano en cada caso, que están apilados en cada caso axialmente los unos encima de los otros, en el que la polaridad orientada radialmente de estos anillos magnéticos (1)(6) y (4)(16) alterna de plano de anillo radialmente magnetizado a plano de anillo radialmente magnetizado.
9. Absorbedor de vibraciones según una de las reivindicaciones 1 - 8, **caracterizado por que** al menos un anillo magnético del amortiguador magnético es un imán permanente (1) (4), y / o al menos un anillo magnético es una bobina (6)(16) que funciona como electroimán.
10. Absorbedor de vibraciones según una de las reivindicaciones 1 - 9, **caracterizado por que** exclusivamente presenta uno o varios imanes permanentes (1)(4) externos (1) o internos (4).
11. Absorbedor de vibraciones según la reivindicación 10, **caracterizado por que** el amortiguador magnético (a) presenta al menos una disposición externa magnética de anillo de uno o varios imanes permanentes (1) radialmente magnetizados y presenta adicionalmente al menos una disposición externa magnética de anillo (11) de uno o varios imanes permanentes, que está dispuesta sin contacto afuera en el tubo amortiguador (3), o presenta (b) al menos una disposición interna magnética de anillo (4) de uno o varios imanes permanentes radialmente magnetizados y presenta adicionalmente al menos una disposición interna magnética de anillo (12) de uno o varios imanes permanentes, que está dispuesta sin contacto afuera en el tubo amortiguador (3), en el que en cada caso la dirección de magnetización norte-sur de los imanes (11)(12) indica axialmente hacia arriba o hacia abajo con respecto al eje longitudinal del amortiguador magnético.
12. Absorbedor de vibraciones según la reivindicación 11, **caracterizado por que** presenta una disposición de dos o más planos de anillo colindantes magnéticos externos (1) y / o internos (4) de imanes permanentes exclusivamente, en el que siempre un plano de anillo, con respecto al tubo amortiguador (3), se compone de imanes radialmente magnetizados, y el otro plano de anillo colindante se compone de imanes magnetizados (11)(12) externos y / o internos axialmente magnetizados, de modo que siempre un plano de anillo (1) limita con un plano de anillo (11), y un plano de anillo (4) con un plano de anillo (12), y cuando existen tres o más planos de anillo, dos planos de anillo magnetizados radialmente del mismo tipo están separados el uno del otro por un plano de anillo magnetizado axialmente y dos planos de anillo magnetizados axialmente del mismo tipo están separados el uno del otro por un plano de anillo magnetizado radialmente, y la dirección de magnetización norte-sur de un plano de anillo es opuesta a la dirección de magnetización norte-sur del siguiente plano de anillo del mismo tipo.
13. Absorbedor de vibraciones según una de las reivindicaciones 1 - 12, **caracterizado por que** presenta dispositivo de centrado y / o dispositivo espaciador (13)(14), que está instalado delante y / o detrás de la zona funcional del amortiguador magnético y garantiza un movimiento relativo exento de fricción del tubo de amortiguación (3) frente a los anillos magnéticos.
14. Absorbedor de vibraciones según la reivindicación 13, **caracterizado por que** el dispositivo (13)(14) comprende al menos un dispositivo de rodadura y / o un dispositivo de deslizamiento.
15. Absorbedor de vibraciones según una de las reivindicaciones 1 - 14, **caracterizado por que** presenta al menos dos amortiguadores magnéticos con simetría de revolución mencionados, que están dispuestos de modo que cubren el plano de vibración horizontal.
16. Absorbedor de vibraciones según una de las reivindicaciones 1 - 15, **caracterizado por que** (a) el amortiguador magnético o el dispositivo de soporte (10) del amortiguador magnético está fijado directamente a la masa de péndulo o a la varilla de péndulo, y el tubo de amortiguación (3) está fijado directamente a la máquina o instalación que va a amortiguarse, o (b) el tubo de amortiguación (3) está fijado directamente a la masa de péndulo o varilla de péndulo y el dispositivo de soporte (10) del amortiguador magnético, está fijado directamente a la máquina o instalación que va a amortiguarse.
17. Uso de un absorbedor de vibraciones según una de las reivindicaciones 1 - 16 para amortiguar vibraciones en máquinas e instalaciones, en particular aerogeneradores, con una densidad de amortiguación de  $> 1.500 \text{ kNs/m} \times \text{m}^3$ .
18. Aerogenerador que contiene al menos un absorbedor de vibraciones según las reivindicaciones 1 - 16.

**Fig. 1**

(A)

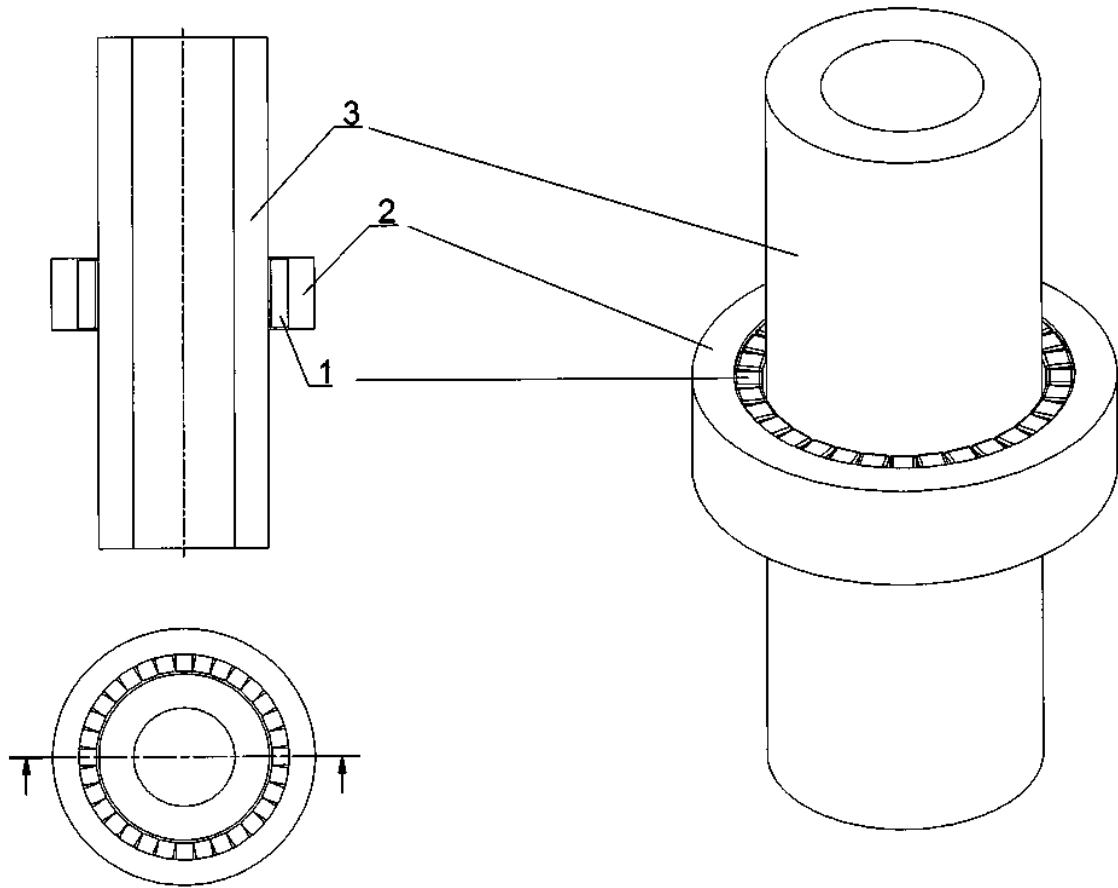


(B)

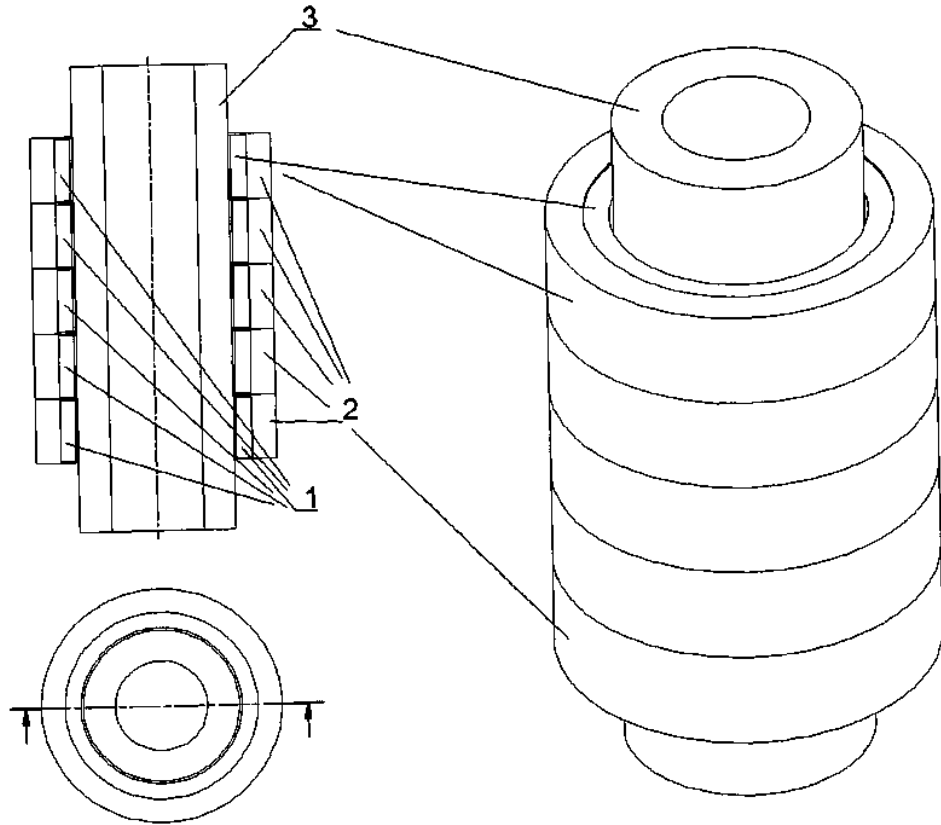




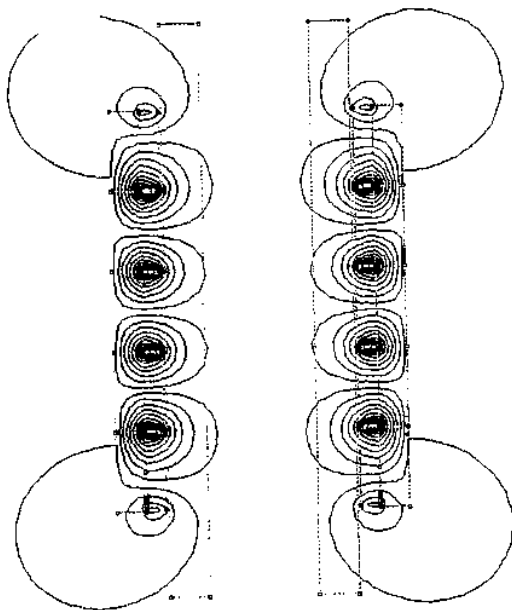
**Fig. 2**



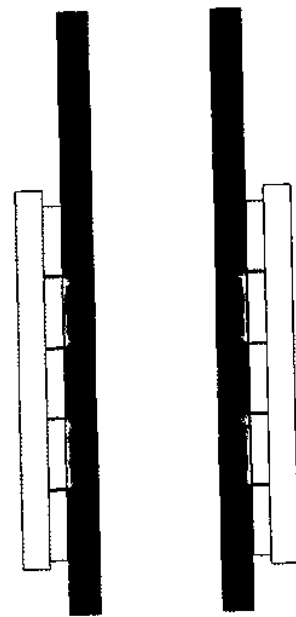
**Fig. 3**  
(A)



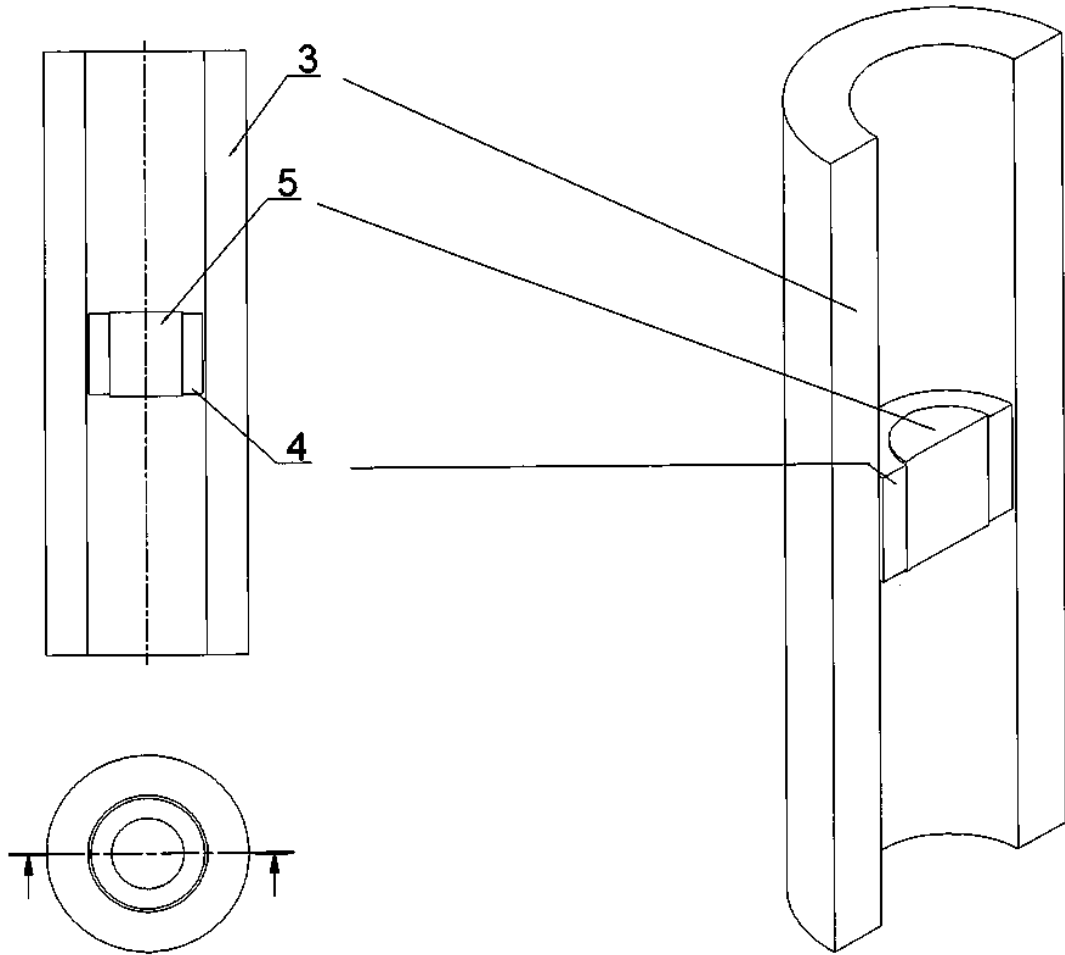
(B)



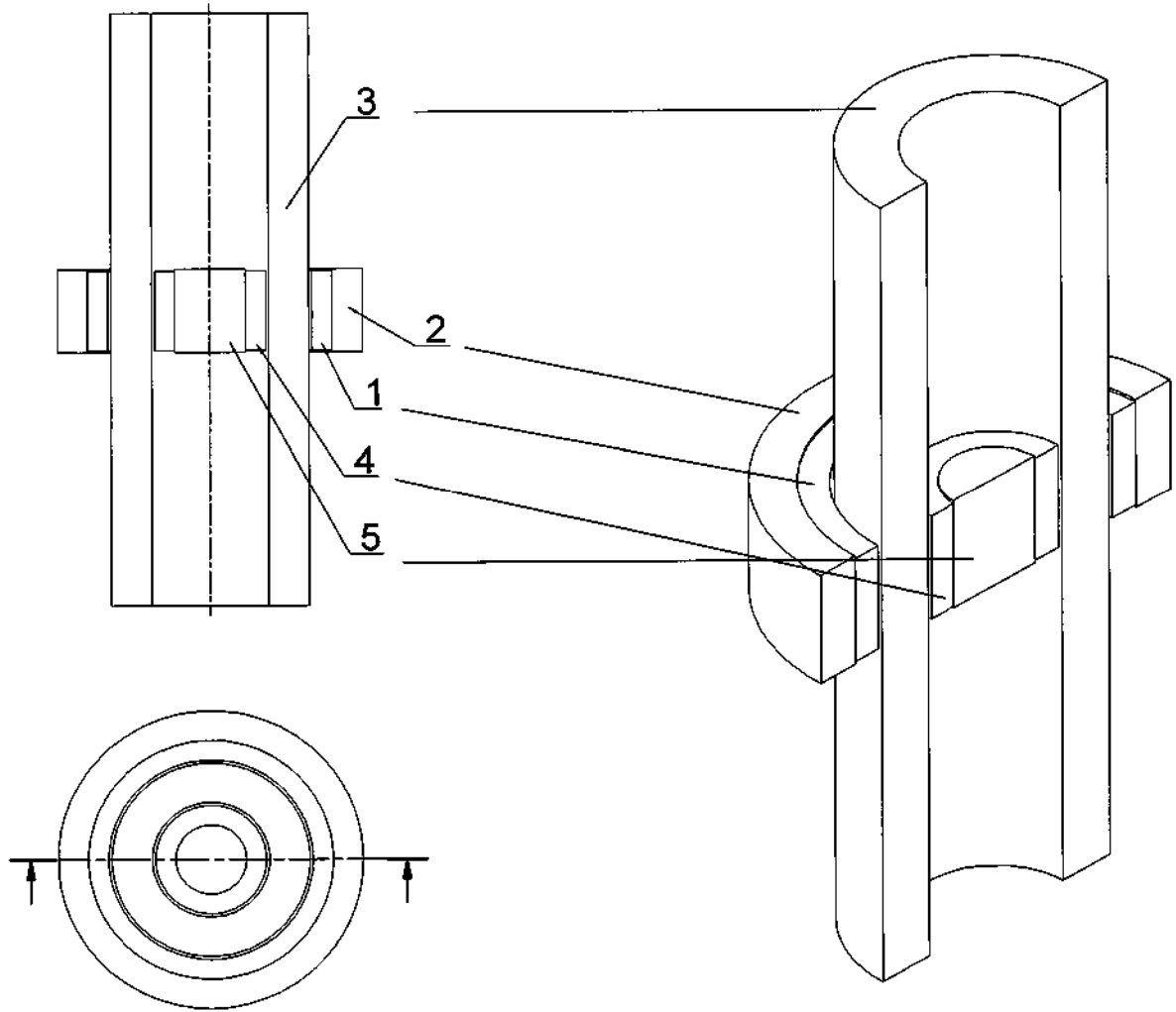
(C)



**Fig. 4**

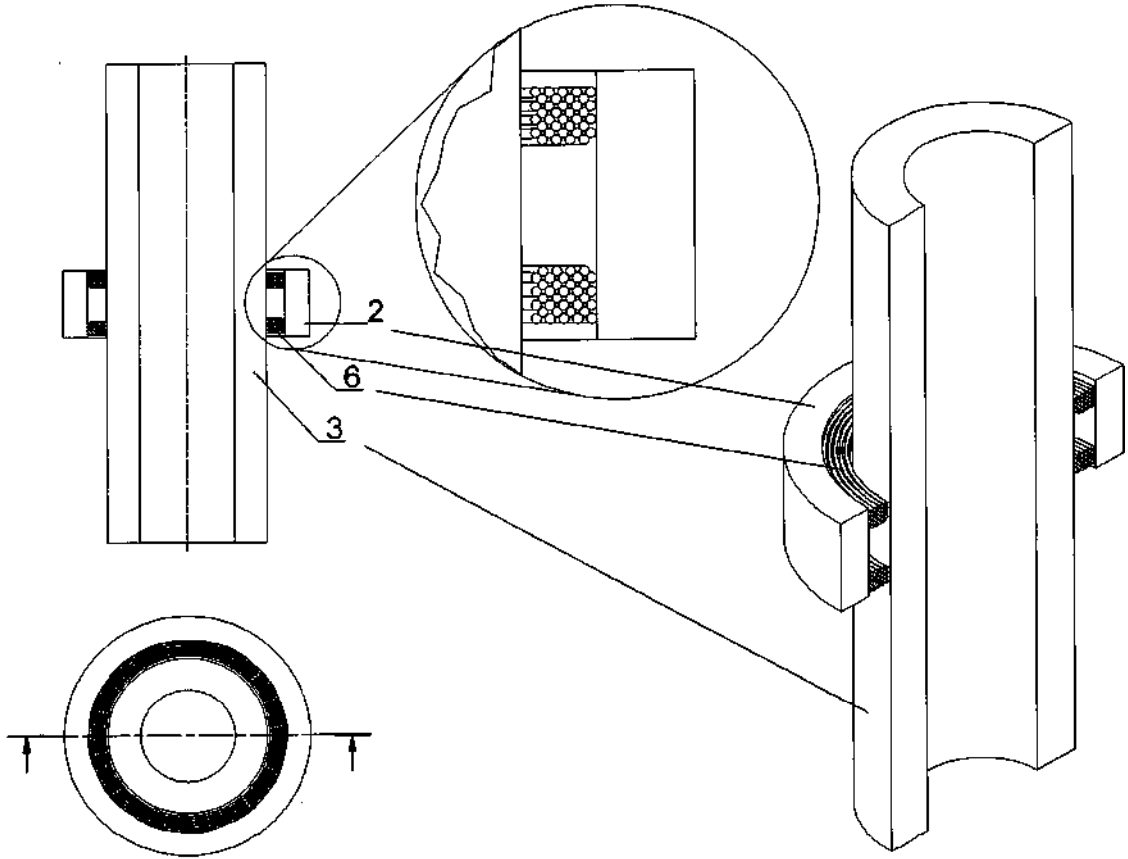


**Fig. 5**

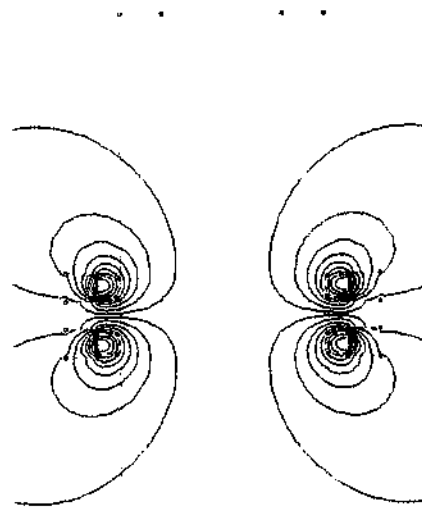


**Fig. 6**

(A)

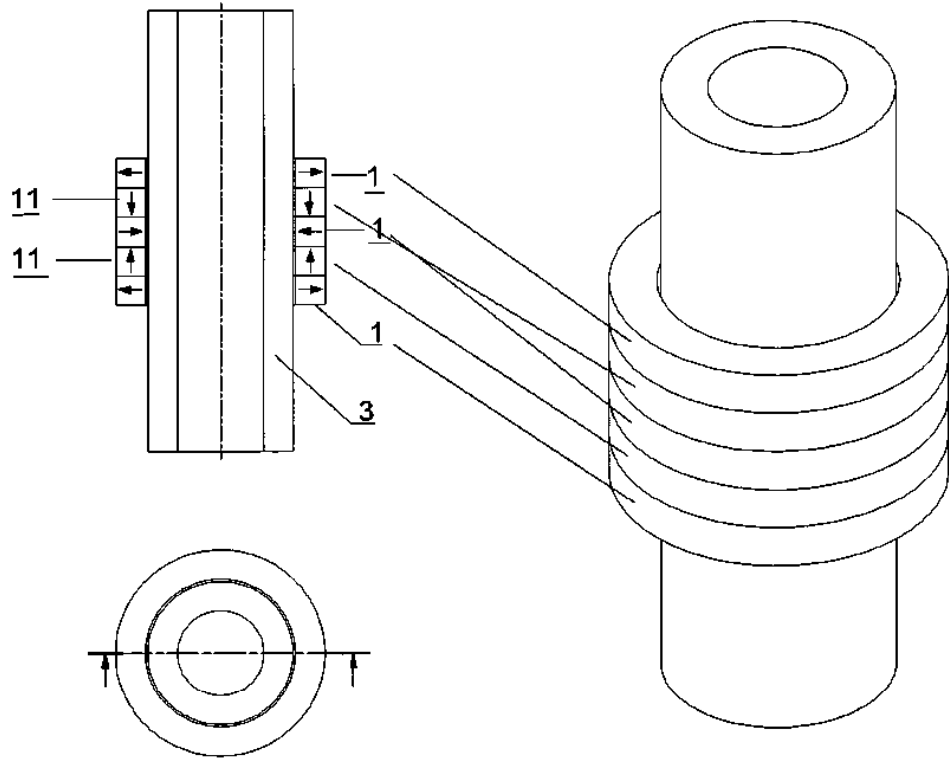


(B)

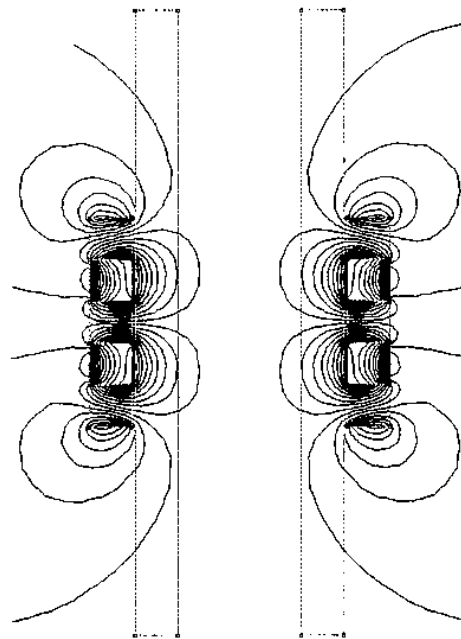


**Fig. 7**

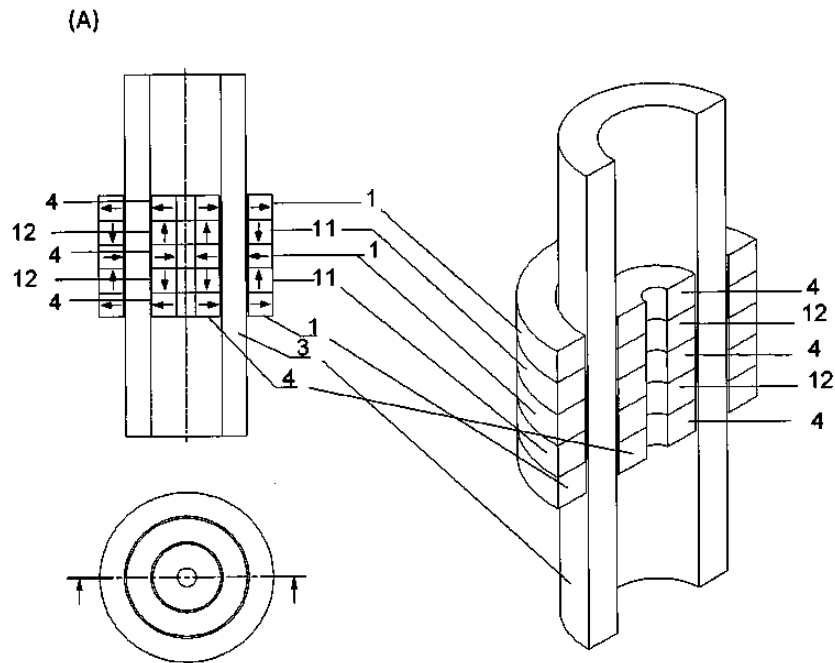
(A)



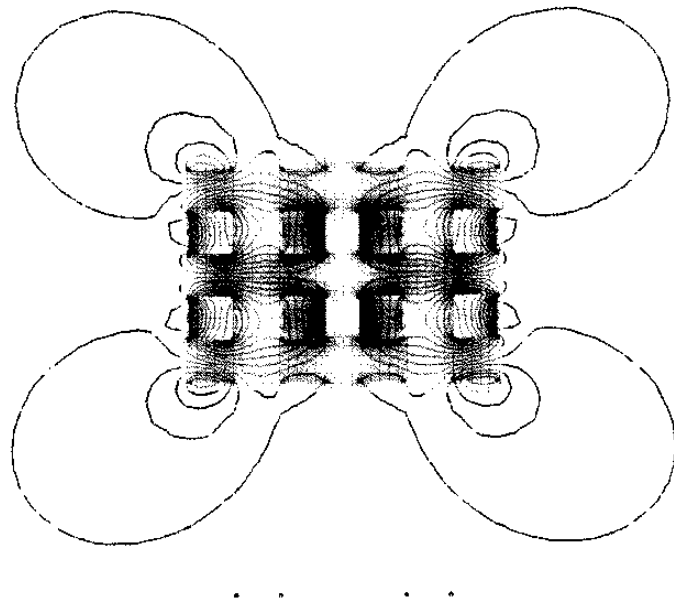
(B)



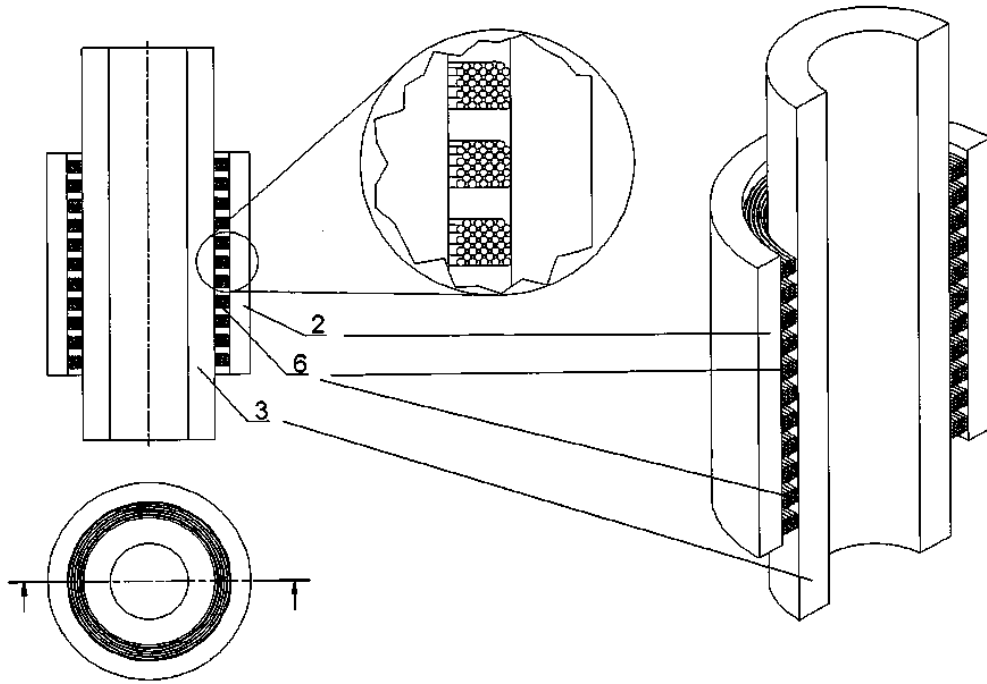
**Fig. 8**



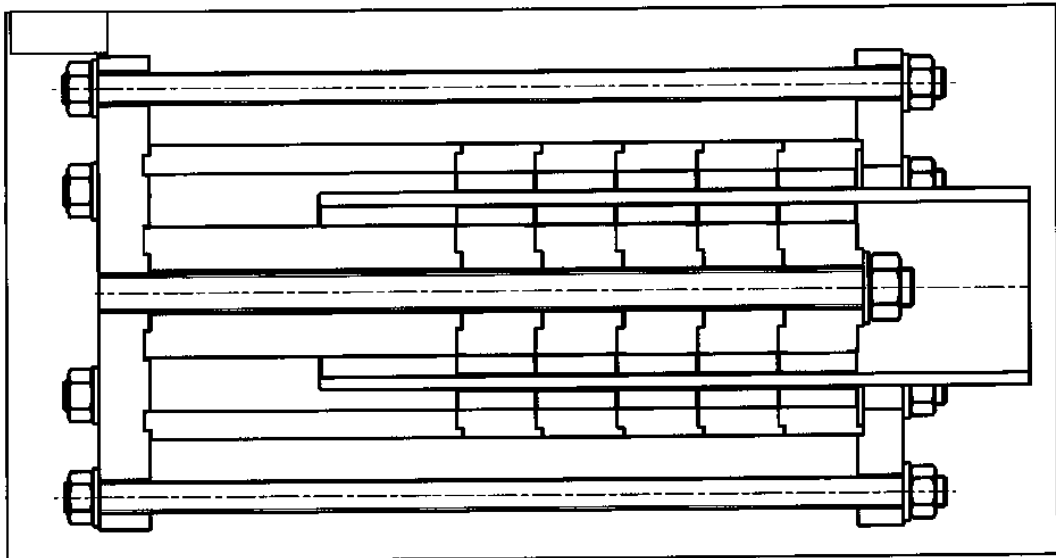
(B)



**Fig. 9**

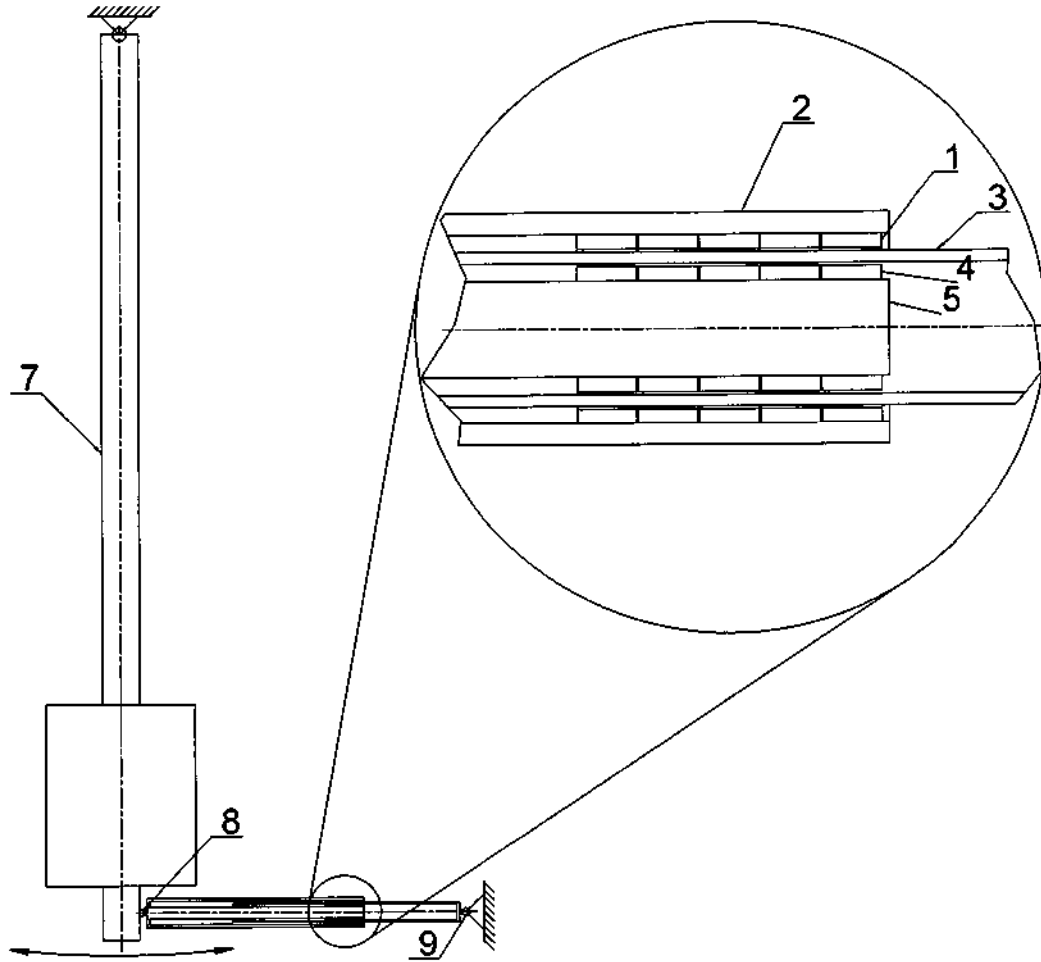


**Fig. 10**

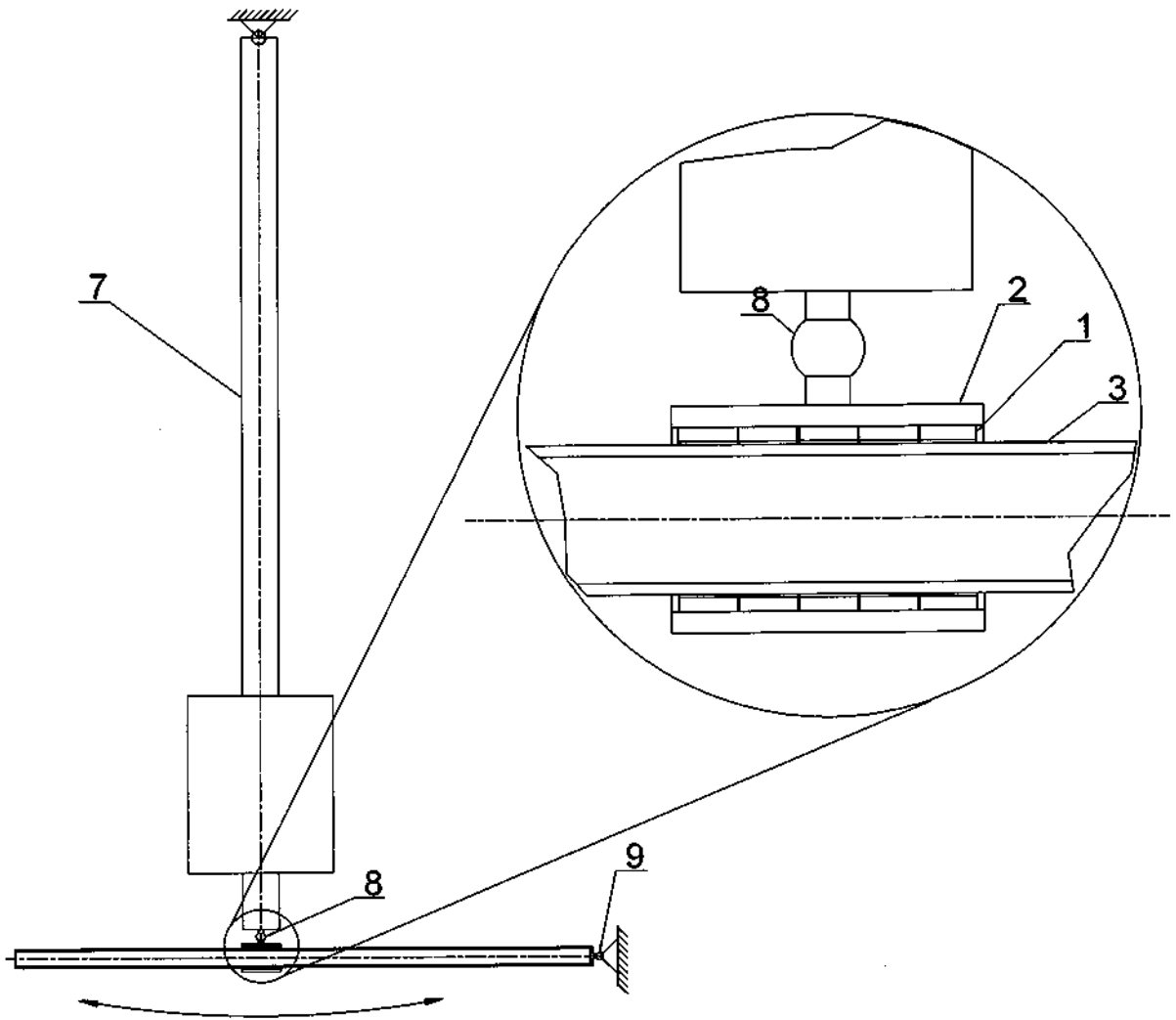




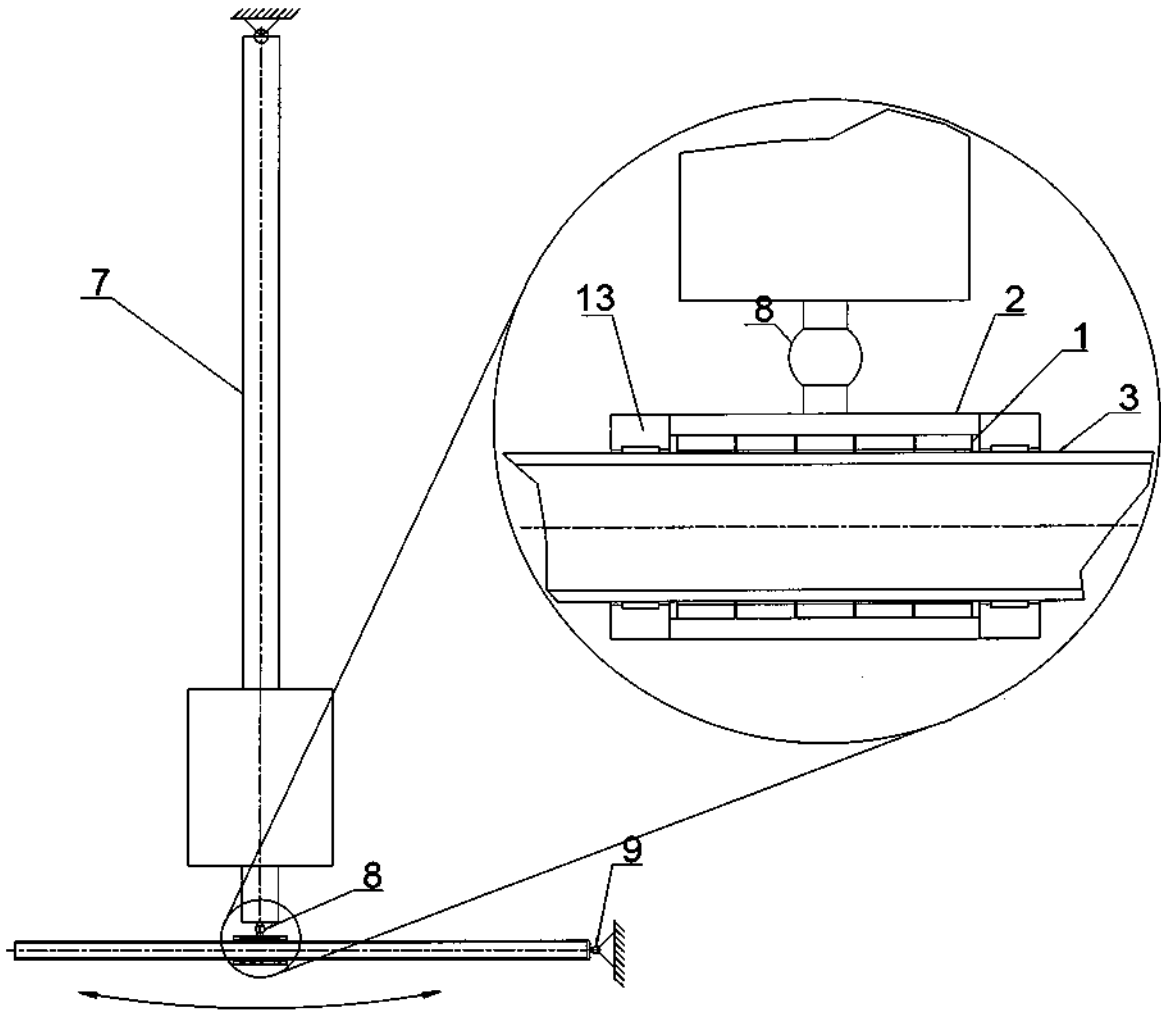
**Fig. 11**



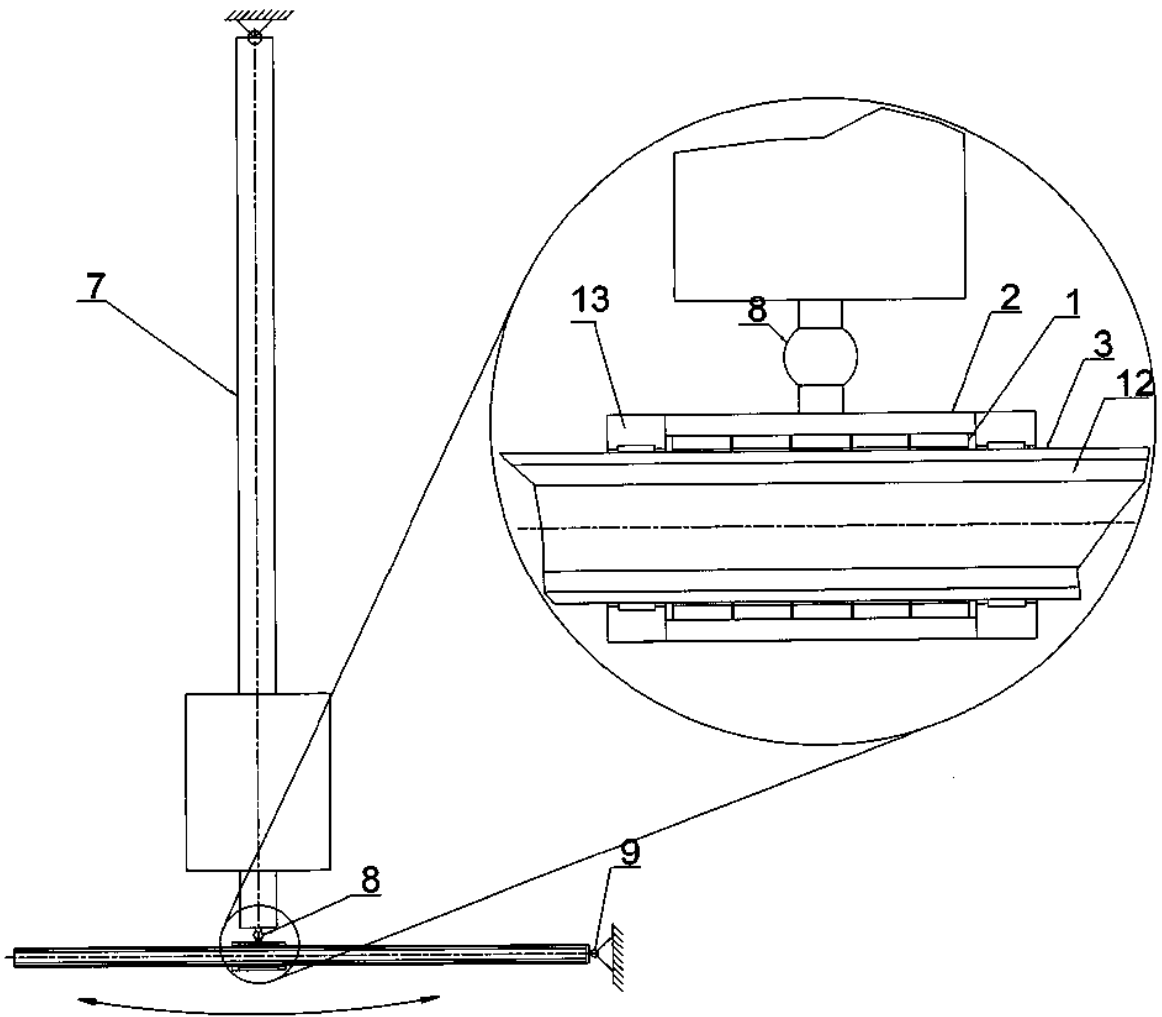
**Fig. 12**



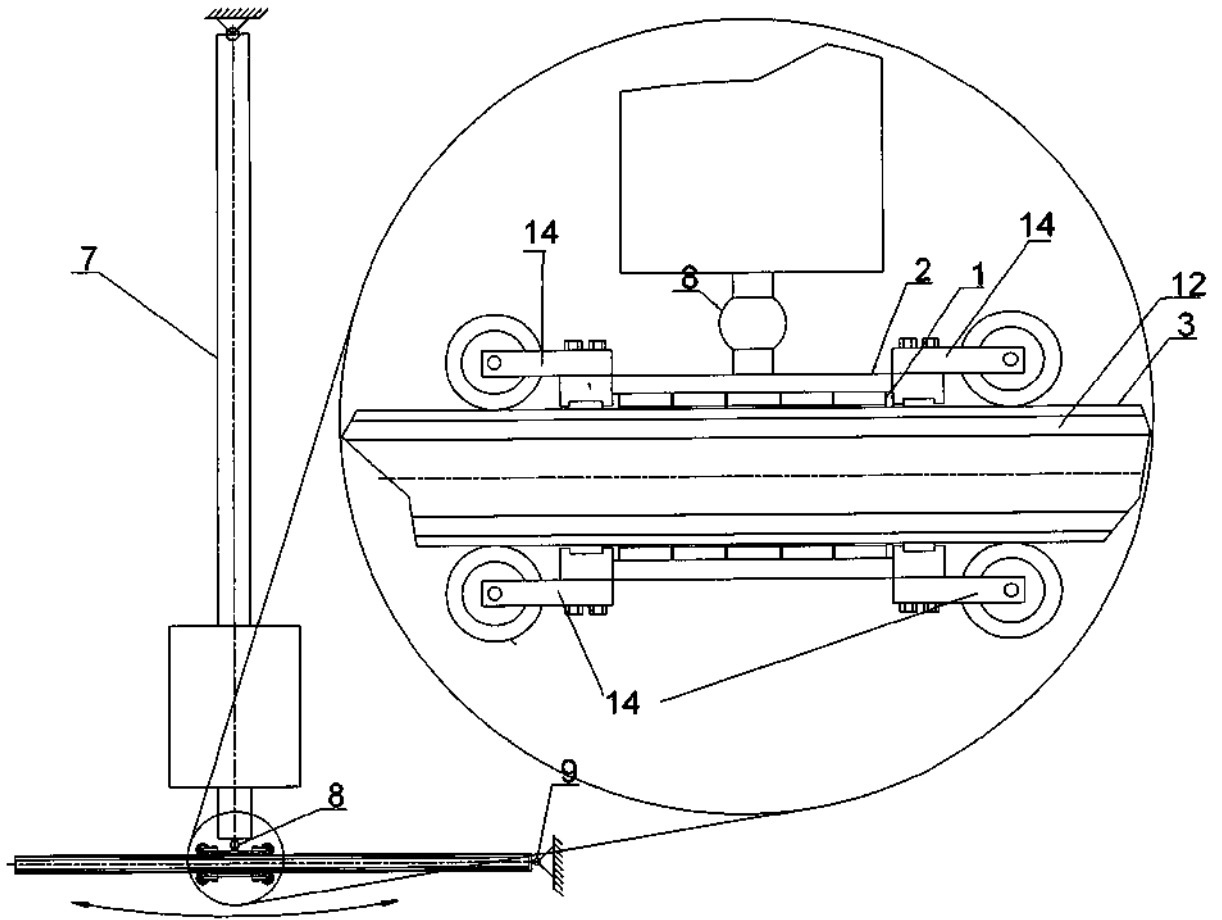
**Fig. 13**



**Fig. 14**



**Fig. 15**



**REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN**

La lista de referencias citadas por el solicitante es para la conveniencia del lector solamente. No forma parte del documento de patente europea. Aunque se ha puesto gran cuidado para la recopilación de las referencias, no se puede excluir la existencia de errores u omisiones y la Oficina de Patentes Europea declina toda responsabilidad al respecto.

5

**Documentos de patente citados en la descripción**

- WO 9963219 A [0003]
- FR 2995561 [0004]
- DE 3741578 A1 [0004]
- US 20070131504 A [0004]
- EP 2696072 A [0004] [0051]