

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 626 623**

51 Int. Cl.:

H02K 35/02 (2006.01)

H02N 1/08 (2006.01)

H03H 9/02 (2006.01)

H01L 41/09 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.08.2010 PCT/EP2010/005088**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.02.2011 WO11020613**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.08.2010 E 10749602 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.03.2017 EP 2467924**

54 Título: **Resonador sintonizable en frecuencia y procedimiento para su funcionamiento**

30 Prioridad:

21.08.2009 DE 102009038306

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.07.2017

73 Titular/es:

**ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG
(100.0%)**

**Fahnenbergplatz
79085 Freiburg, DE**

72 Inventor/es:

**WISCHKE, MARTIN;
GOLDSCHMIDTBÖING, FRANK y
WOIAS, PETER**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 626 623 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

Resonador sintonizable en frecuencia y procedimiento para su funcionamiento

5 La invención se refiere a un resonador sintonizable en frecuencia según el preámbulo de la reivindicación 1 y a un procedimiento para el funcionamiento de un resonador de este tipo. Por resonador se entiende una estructura que por una oscilación de excitación mecánica puede ser estimulada a una oscilación de resonancia, cuya amplitud supera la amplitud de la oscilación de excitación. Por barra de flexión se entiende especialmente una barra en voladizo, es decir, una barra pasiva que por un extremo está soportada en el punto de fijación.

10 Un resonador de este tipo se dio a conocer por el documento US7471033B2. Presenta uno con una plaquita metálica que tiene aproximadamente la forma de una ballesta. La plaquita metálica tiene en uno de sus extremos un punto de fijación que está unido fijamente a un contrasoporte. En su otro extremo que está alejado del punto de fijación, la plaquita metálica tiene un punto de desviación en el que la plaquita metálica puede desviarse transversalmente con respecto a su plano de extensión desde una posición neutra con respecto a su punto de
15 contrasoporte. En la posición neutra, la plaquita metálica tiene una extensión recta, aproximadamente plana. La desviación de la barra de flexión es provocada por vibraciones que a través del contrasoporte se transmiten a la plaquita metálica.

20 Sobre la plaquita metálica está dispuesta una capa piezoeléctrica que se extiende de forma aproximadamente paralela con respecto al plano de extensión de la plaquita metálica y que está unida de forma plana a una zona de superficie, orientada hacia ella, de la plaquita metálica. En la capa piezoeléctrica, con la ayuda de un dispositivo de excitación se puede aplicar un campo eléctrico que tensa mecánicamente la barra de flexión de tal forma que presenta una extensión curvada, desviada de la posición neutra. Esta curvatura provoca un cambio de la frecuencia de resonancia de la barra de flexión. De esta manera, es posible adaptar la frecuencia de resonancia del
25 resonador a la frecuencia de las vibraciones que actúan sobre el resonador.

En el punto de desviación, a la barra de flexión está fijado un imán permanente que durante la desviación de la barra de flexión se mueve hacia una bobina de inducción o en sentido contrario a este. Durante ello, en la bobina de inducción se induce una tensión eléctrica con la que se hace funcionar un circuito electrónico.

30 El resonador descrito en el documento US7471033B2 tiene la desventaja de que su frecuencia de resonancia puede ajustarse sólo dentro de un intervalo relativamente pequeño. Además, resulta desventajoso que, cuando en la capa piezoeléctrica está aplicado un campo eléctrico, la barra de flexión oscila de forma asimétrica. Por ello, la energía mecánica contenida en las vibraciones no puede ser transformada de manera óptima en energía eléctrica.

35 Por el documento US20003/0209953A1 se dio a conocer además un resonador con una barra de flexión que presenta un punto de fijación y un punto de desviación situado a distancia con respecto a este. La barra de flexión está unida al punto de fijación con al menos dos contrasoportes, de tal forma que el punto de desviación se puede mover con respecto al al menos un punto de fijación en un sentido de desviación transversal con respecto a la extensión longitudinal de la barra de flexión, bajo la deformación de flexión de la barra de flexión. La barra de flexión presenta una primera capa piezoeléctrica dispuesta transversalmente con respecto al sentido de desviación y una segunda capa piezoeléctrica dispuesta de forma aproximadamente paralela con respecto a esta, que está unida mecánicamente a la primera capa de tal forma que las capas se tensan una respecto a otra durante la desviación del punto de desviación. Para la aplicación de campos eléctricos en las capas, el resonador presenta un
40 dispositivo de excitación.

45 El resonador sirve de amortiguador para suprimir vibraciones multimodo. Para producir momentos recuperadores que amortiguan las vibraciones, en las dos capas piezoeléctricas se aplican diferentes señales eléctricas. Con la ayuda de las señales aplicadas en la primera capa se amortiguan amplitudes de vibración de baja frecuencia y con la ayuda de las señales aplicadas en la segunda capa se amortiguan amplitudes de vibración de alta frecuencia.

Por el documento GB2425160A se dio a conocer un dispositivo no genérico para generar energía eléctrica a partir de una vibración de excitación.

55 En el documento WO03/003478A2 se describe un convertidor por flexión piezoeléctrico que presenta una pila de capas con varias capas piezoeléctricas. Estas deben tenerse unas respecto a otras de tal forma que se flexionen las capas y se produzca una elevación vertical del convertidor por flexión. Para evitar picos de tensión en la pila de capas, están adaptadas de manera correspondiente las alturas de las distintas capas.

60 En el documento DE102007003280A1 se describe un actor piezoeléctrico que presenta una estructura de pila. Este actor se compone de dos actores multicapas que están realizados uno al lado de otro en una pila de capas. Por lo

tanto, los actores individuales están formados por las mismas capas piezoeléctricas, pero los electrodos entre las capas están segmentados en parte. De esta manera, en los dos actores parciales se pueden aplicar diferentes tensiones de control para producir de manera correspondiente diferentes deformaciones por flexión.

5 Por el documento US4093885A se dio a conocer además un actuador piezoeléctrico bimorfo que por la segmentación de electrodos está dividido de tal forma que una primera parte de la piezocerámica actúa como actuador, mientras que una segunda parte actúa como sensor que suministra carga. Se producen deformaciones por flexión del bimorfo y la medida de estas se detecta con la ayuda de los sensores integrados.

10 La invención tiene el objetivo de proporcionar un resonador sintonizable en frecuencia del tipo mencionado al principio, cuya frecuencia de resonancia se pueda ajustar dentro de un intervalo de frecuencia relativamente grande. Además, existe el objetivo de proporcionar un procedimiento para el funcionamiento de un resonador sintonizable en frecuencia, en el que la frecuencia de resonancia se pueda ajustar dentro de un amplio intervalo ahorrando energía.

15 En cuanto al resonador, este objetivo se consigue con las características indicadas en la reivindicación 1. Con la ayuda del dispositivo de excitación, en las capas se pueden aplicar campos eléctricos de tal forma que en las capas se generan fuerzas piezoeléctricas de acción antagonista. Las fuerzas producen momentos de flexión que están orientados en sentidos opuestos y que se compensan.

20 Preferentemente, los efectos de estas fuerzas y de los momentos de flexión resultantes se compensan totalmente, de manera que la barra de flexión situada en la posición neutra no queda desviada por la aplicación de los campos eléctricos. De esta manera, la barra de flexión puede oscilar respectivamente de forma simétrica alrededor de su posición neutra, tanto cuando está aplicado un campo eléctrico como cuando no está aplicado un campo eléctrico.
 25 Según la polaridad de los campos y según la polarización de las capas, las fuerzas ejercidas sobre las capas piezoeléctricas por los campos eléctricos pueden estar orientadas unas hacia otras o alejándose unas de otras, pero compensándose siempre en total. Las capas piezoeléctricas causan durante la aplicación de los campos eléctricos un cambio de la rigidez de la barra de flexión. Entre las capas piezoeléctricas puede estar una capa elástica, por ejemplo una capa de adhesivo que une las capas entre sí de forma plana. Las distintas capas piezoeléctricas se unen entre sí formando una pila de capas sólo después de su fabricación mediante una técnica de unión, por ejemplo piezopolímero.

30 En una realización preferible de la invención, las capas piezoeléctricas están polarizadas en sentidos contrarios unas respecto a otras y el dispositivo de control está realizado de tal forma que el campo eléctrico en la primera capa está orientado en sentido contrario que el campo eléctrico en la segunda capa. El campo eléctrico se puede generar entre dos capas de electrodos aplicadas sobre las capas piezoeléctricas.

35 En otra forma de realización ventajosa de la invención, las capas piezoeléctricas están polarizadas en el mismo sentido, estando realizado el dispositivo de excitación de tal forma que el campo eléctrico en la primera capa está orientado en el mismo sentido que el campo eléctrico en la segunda capa. Los vectores de intensidad de campo de los campos eléctricos pueden estar orientados unos hacia otros o en sentidos contrarios. También los vectores de la polarización eléctrica de las capas piezoeléctricas pueden estar orientados unos hacia otros o en sentidos contrarios.

40 En una variante de la invención, el dispositivo de excitación presenta un dispositivo de ajuste para ajustar la intensidad de campo de los campos eléctricos. La rigidez de la barra en voladizo y por tanto la frecuencia de resonancia del resonador se puede aumentar o reducir mediante la aplicación de campos eléctricos de distintas intensidades. En caso de necesidad, la frecuencia de resonancia por tanto se puede ajustar en ambos sentidos.

45 Resulta ventajoso si la barra de flexión presenta al menos una primera sección y una segunda sección dispuestas una detrás de otra en el sentido de extensión longitudinal de la barra de flexión, estando dispuestas las capas piezoeléctricas sólo en la primera sección y presentando la segunda sección preferentemente aproximadamente la misma rigidez a la flexión que la primera sección. La primera sección está dispuesta más cerca del punto de fijación que la segunda sección. De esta manera, con un elemento piezoeléctrico corto y económico se puede
 50 ajustar la frecuencia de resonancia en una banda de frecuencia relativamente ancha. Por las dimensiones compactas de la capa piezoeléctrica se reduce además la absorción de energía eléctrica de la capa piezoeléctrica durante el ajuste de la frecuencia de resonancia. La segunda sección de la barra de flexión sirve sustancialmente para establecer la longitud de la barra de flexión y por tanto la frecuencia de resonancia del resonador. La segunda sección de la barra de flexión está orientada con su sentido de extensión principal preferentemente en el sentido de
 55 extensión longitudinal de la barra de flexión. La dimensión de la segunda sección en el sentido de desviación de la barra de flexión es menor que en el sentido de extensión longitudinal de la barra de flexión.

En una forma de realización preferible de la invención, el dispositivo de excitación presenta un dispositivo de impulsos para generar un impulso de campo eléctrico de tiempo limitado. Sorprendentemente, tras retirar el campo eléctrico, la frecuencia de resonancia del resonador cambia sólo de forma relativamente lenta al valor que tiene cuando durante un largo período de tiempo no se ha aplicado ningún campo eléctrico en las capas piezoeléctricas. Por lo tanto, basta con aplicar el campo eléctrico en la capa piezoeléctrica sólo en forma de un impulso corto. El impulso puede estar seguido de una pausa de impulso, cuya duración puede elegirse por ejemplo en función de la velocidad a la que la frecuencia de resonancia cambia tras retirarse el campo eléctrico. En caso de necesidad, dado el caso, se puede realizar al menos un ciclo de excitación adicional que presente una fase de impulso y una pausa de impulso. De manera ventajosa, mediante la pulsación del campo eléctrico se consigue reducir considerablemente la energía eléctrica necesaria para el ajuste de la frecuencia de resonancia.

El resonador sintonizable en frecuencia según la invención puede ser una parte de un dispositivo para generar energía eléctrica a partir de una oscilación de excitación mecánica, que presenta un generador eléctrico que está en conexión de accionamiento con la barra de flexión. El generador puede trabajar según el principio de inducción y presentar por ejemplo un imán permanente unido al punto de desviación, en cuyo campo magnético está dispuesta una bobina estacionaria con respecto al punto de fijación. Evidentemente, también es posible una disposición inversa, en la que la bobina está dispuesta en el punto desviable de la barra de flexión y el imán permanente está dispuesto de forma estacionaria. El generador también puede presentar un condensador con electrodos que se pueden mover unos hacia otros o alejándose unos de otros, que con la ayuda de la barra de flexión se mueven unos respecto a otros para modificar la capacidad eléctrica del condensador. También es posible que el generador presente un elemento piezoeléctrico, mediante el que la energía de oscilación mecánica se transforma en una tensión eléctrica aprovechando el efecto piezoeléctrico.

Resulta ventajoso si el dispositivo de excitación tiene una entrada de control para la aplicación de una señal de control que influye en la frecuencia de resonancia del resonador, presentando el dispositivo un sensor para detectar la potencia eléctrica emitida por el generador y/o la desviación de la barra de flexión, estando conectado el sensor, a través de un regulador, en un circuito de regulación con la entrada de control, de tal forma que el dispositivo se hace funcionar en un punto de trabajo en el que la potencia eléctrica emitida por el generador presenta un máximo local. El dispositivo permite entonces una eficacia especialmente alta durante la transformación de la energía de oscilación o de vibración en energía eléctrica.

En cuanto al procedimiento, el objetivo mencionado anteriormente se consigue mediante las características de la reivindicación 1.

En una forma de realización preferible del procedimiento, se aplican impulsos de tensión en capas de electrodos dispuestas en ambos lados de las capas piezoeléctricas. De esta manera, la frecuencia de resonancia del resonador puede ser ajustada ahorrando energía.

En el procedimiento según la invención, el resonador preferentemente se estimula a oscilaciones mecánicas y la energía de oscilación de la barra de flexión se transforma en energía eléctrica. La energía eléctrica se acumula y de esta manera se puede hacer funcionar de forma autónoma por ejemplo un circuito eléctrico o un consumidor eléctrico.

A continuación se describen en detalle ejemplos de realización de la invención. Muestran:

la figura 1, un alzado lateral de un primer ejemplo de realización de un dispositivo para generar energía eléctrica a partir de una oscilación de excitación mecánica,
 la figura 2, un alzado lateral de un segundo ejemplo de realización del dispositivo,
 la figura 3, un alzado lateral de un tercer ejemplo de realización del dispositivo,
 la figura 4, una representación gráfica de la frecuencia de resonancia de un resonador que presenta una barra de flexión con dos capas piezoeléctricas, después de la retirada de un campo eléctrico de las capas, estando representados en la abscisa el tiempo transcurrido desde la retirada del campo, en la ordenada la frecuencia de resonancia, y como parámetro la tensión eléctrica en voltios presente en las capas, y
 la figura 5, una representación gráfica de la potencia eléctrica inicial de un generador de energía acoplado a la barra de flexión, en función de la frecuencia de la oscilación de excitación durante la adaptación de la frecuencia de resonancia del resonador, estando aplicadas en la abscisa la oscilación de excitación y en la ordenada la potencia inicial.

Un resonador sintonizable en frecuencia designado por 1 en su conjunto en la figura 1 presenta una barra de flexión 2 que tiene en una de sus zonas finales un punto de fijación 3 en el que está sujeto en un contrasoporte 4.

El contrasorte 4 está dispuesto en una pieza base 5 en la que se producen oscilaciones mecánicas o vibraciones. Las oscilaciones o vibraciones pueden ser producidas por ejemplo por un motor de accionamiento de una máquina.

5 En una zona final alejada del punto de fijación 3, la barra de flexión 2 tiene un punto de desviación 6 que bajo la deformación de flexión de la barra de flexión 2 se puede mover transversalmente con respecto a la extensión longitudinal 7 de la barra de flexión 2, desde una posición neutra representada en la figura 1, con respecto al punto de fijación 3, en un sentido de desviación 8.

10 La barra de flexión 2 presenta dos capas piezoeléctricas 9, 10 que discurren de forma aproximadamente paralela entre sí y que en la posición neutra de la barra de flexión 2 se extienden en planos dispuestos normalmente con respecto al sentido de desviación 8. Entre las capas piezoeléctricas 9, 10 está dispuesta una capa elástica 11 que une las capas 9, 10 entre ellos de forma plana. La capa elástica 11 puede ser de una o varias capas y contener por ejemplo una o varias capas de adhesivo. Está unida a las capas 9, 10 de tal manera que, en la extensión longitudinal 7 de la barra de flexión 2, estas forman un conjunto de capas. Cuando la barra de flexión 2 se desvía en el punto de desviación 6 de la posición neutra en el sentido de desviación 8, una capa 9, 10 se comprime en el sentido de extensión longitudinal 7 y la otra capa 10, 9 se alarga en el sentido de extensión longitudinal 7.

15 En ambos lados de las capas 9, 10 están dispuestos electrodos no representados en detalle en el dibujo, que para la aplicación de campos eléctricos en las capas 9, 10 están conectados a un dispositivo de excitación 12. En una primera capa piezoeléctrica 9 se puede aplicar un primer campo eléctrico y en una segunda capa piezoeléctrica 9 se puede aplicar un segundo campo eléctrico.

20 En el ejemplo de realización representado en la figura 1, los vectores de intensidad de campo del primer y del segundo campo eléctrico están orientados en sentidos contrarios y las capas 9, 10 están polarizadas en sentidos contrarios. El sentido de polarización se indica mediante flechas en la figura 1. Al aplicar los campos eléctricos en las capas 9, 10, el primer campo eléctrico ejerce sobre la primera capa 9 una primera fuerza y el segundo campo eléctrico ejerce sobre la segunda capa 10 una segunda fuerza. Las intensidades de los campos se ajustan de tal manera que la segunda fuerza está opuesta a la primera fuerza y la compensa sin que se produzca una desviación de la barra de flexión 2. Por la elastoestricción de las capas piezoeléctricas en la barra de flexión 2 cambia la rigidez de la barra de flexión 2. Por lo tanto, mediante la aplicación de intensidades eléctricas de distintas intensidades en las capas 9, 10 se puede ajustar la frecuencia de resonancia del resonador 1.

25 En el ejemplo de realización representado en la figura 2, los vectores de intensidad de campo del primer y del segundo campo eléctrico están orientados en el mismo sentido y las capas 9, 10 están polarizadas en el mismo sentido. Durante la aplicación de los campos eléctricos en las capas 9, 10 se produce un tensado de capas sin desviación de la barra de flexión 2.

30 En el ejemplo de realización representado en la figura 3, la barra de flexión 2 presenta una primera sección 13 y una segunda sección 14 que cuando la barra de flexión 2 se encuentra en la posición neutra está dispuesta como prolongación recta de la primera sección 13. La primera sección 14 es adyacente al punto de fijación 3 y la segunda sección 14 es adyacente al punto de desviación 6. Se puede ver claramente que las capas piezoeléctricas 9, 10 están dispuestas sólo en la primera sección 13. La segunda sección 14 presenta aproximadamente la misma rigidez a la flexión que la primera sección 13. La longitud de la primera sección 13 mide preferentemente aproximadamente entre un tercio y la mitad de la longitud total de la barra de flexión 2. Dado que las capas piezoeléctricas 9, 10 no se extienden por la longitud total de la barra de flexión 2, para la aplicación de los campos eléctricos en las capas 9, 10 o para la modificación de los campos se necesita sólo una energía eléctrica correspondientemente reducida. Aunque las capas 9, 10 tienen sólo unas dimensiones relativamente pequeñas en el sentido de extensión longitudinal de la barra de flexión 2, por la segunda sección 14 se hace posible una baja frecuencia de resonancia del resonador 1.

35 Para pulsar el campo eléctrico, el dispositivo de excitación 12 presenta un dispositivo de impulso no representado en detalle en el dibujo. Con la ayuda del dispositivo de impulso se aplica durante un período de tiempo predeterminado un impulso de tensión corto en las capas de electrodo. Después, hay una pausa en la que está interrumpido el flujo de corriente entre las capas de electrodo y el dispositivo de excitación 12. En caso de necesidad, tras finalizar la pausa se puede realizar de manera correspondiente al menos un ciclo de excitación adicional. En la figura 4 se puede ver que la frecuencia de resonancia del resonador 1 cambia sólo lentamente durante la pausa. Si las pausas se ajustan de manera corta, por ejemplo a menos de 30 segundos, durante las pausas no se produce ningún cambio esencial de la frecuencia de resonancia del resonador 1. Mediante los impulsos se consigue reducir considerablemente la energía eléctrica necesaria para el ajuste de la frecuencia de resonancia.

ES 2 626 623 T3

5 En las figuras 1 a 3 se puede ver que, para la generación de energía eléctrica a partir de las oscilaciones mecánicas transmitidas de la pieza base 5 al resonador 1, el punto de desviación 6 de la barra de flexión 2 está en conexión de accionamiento con un generador eléctrico 15. El generador 15 presenta un imán permanente 16 conectado al punto de desviación 6, en cuyo campo magnético está dispuesta una bobina de inducción 17 que está dispuesta en la pieza base 5. Durante la oscilación de la barra de flexión 2, el imán permanente 16 oscila junto a la barra de flexión 2 con respecto a la bobina de inducción 17, por lo que cambia la densidad de flujo magnético en la bobina de inducción 17. Durante ello, se induce una tensión eléctrica en la bobina de inducción 17, que puede ser tomada en las conexiones de bobina 18. A las conexiones de bobina 18 están conectados un depósito intermedio no representado en detalle en el dibujo, como por ejemplo un acumulador o un condensador, y/o un consumidor eléctrico.

15 Entre las conexiones de bobina 18 y el consumidor eléctrico y/o el depósito intermedio está dispuesto un sensor 20 para la detección de la potencia eléctrica emitida por el generador 15. Una salida del sensor 20 está conectada, a través de un regulador 21, a una entrada de control 19 del dispositivo de excitación. Mediante la aplicación de una señal de control eléctrica en la entrada de control 19 se puede ajustar la intensidad de campo de los campos eléctricos entre las capas de electrodo y, por tanto, la frecuencia de resonancia del resonador 1. El regulador 21 está realizado de tal manera que la frecuencia de resonancia se ajusta respectivamente de tal forma que la potencia emitida por el generador 15 presenta un máximo. En la figura 5 se puede ver que la potencia eléctrica P emitida por el generador es aproximadamente constante en un intervalo de frecuencia entre 270 y 360 Hz.

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Resonador sintonizable en frecuencia (1) con una barra de flexión (2) que presenta al menos un punto de fijación (3) y al menos un punto de desviación (6) situado a una distancia de este, en donde la barra de flexión (2) está unida en el al menos un punto de fijación (4) a al menos un contrasoporte (4) de tal forma que el punto de desviación (6) se puede mover con respecto al al menos un punto de desviación (3) en un sentido de desviación (8) transversal con respecto a la extensión longitudinal (7) de la barra de flexión (2) con deformación de flexión de la barra de flexión (2), en donde la barra de flexión (2) presenta una capa piezoeléctrica (9) dispuesta transversalmente con respecto al sentido de desviación (8), y en donde el resonador (1) presenta un dispositivo de excitación (12) para la aplicación de un campo eléctrico en la capa (9), **caracterizado porque** la barra de flexión (2) presenta adicionalmente a la primera capa (9) al menos una segunda capa piezoeléctrica (10) dispuesta de forma aproximadamente paralela con respecto a esta, que está unida mecánicamente a la primera capa (9), de tal forma que las capas (9, 10) se pueden tensar mutuamente durante la desviación del punto de desviación (6) y porque con la ayuda del dispositivo de excitación (12) se pueden aplicar campos eléctricos en las capas (9, 10), de tal forma que en las capas (9, 10) se generan fuerzas piezoeléctricas, cuyos efectos están orientados en sentidos contrarios, como momentos de flexión que se compensan, y ejercen sobre las capas (9, 10) un tensado previo, y de tal forma que la barra de flexión situada en posición neutra no queda desviada por la aplicación de los campos eléctricos.
- 10 2.- Resonador sintonizable en frecuencia (1) según la reivindicación 1, **caracterizado porque** las capas piezoeléctricas (9, 10) están polarizadas en sentidos contrarios y porque el dispositivo de excitación (12) está realizado de tal forma que el campo eléctrico en la primera capa (9) está orientado en el sentido contrario al campo eléctrico en la segunda capa (10).
- 15 3.- Resonador sintonizable en frecuencia (1) según la reivindicación 1, **caracterizado porque** las capas piezoeléctricas (9, 10) están polarizadas en la misma dirección y porque el dispositivo de excitación (12) está realizado de tal forma que el campo eléctrico en la primera capa (9) está orientado en la misma dirección que el campo eléctrico en la segunda capa (10).
- 20 4.- Resonador sintonizable en frecuencia (1) según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** el dispositivo de excitación (12) presenta un dispositivo de ajuste para el ajuste de la intensidad de campo de los campos eléctricos.
- 25 5.- Resonador sintonizable en frecuencia (1) según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** la barra de flexión (2) presenta al menos una primera sección (13) y una segunda sección (14) que están dispuestas una detrás de otra en el sentido de extensión longitudinal (7) de la barra de flexión (2), porque las capas piezoeléctricas (9, 10) están dispuestas sólo en la primera sección (13) y porque la segunda sección (14) preferentemente presenta aproximadamente la misma rigidez a la flexión que la primera sección (1, 3).
- 30 6.- Resonador sintonizable en frecuencia (1) según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** el dispositivo de excitación (12) presenta un dispositivo de impulso para generar un campo eléctrico pulsado.
- 35 7.- Dispositivo para la generación de energía eléctrica a partir de una oscilación de excitación mecánica, con un resonador sintonizable en frecuencia (1) según una de las reivindicaciones 1 a 5 y con un generador eléctrico (15) que está en conexión de accionamiento con la barra de flexión (2).
- 40 8.- Dispositivo según la reivindicación 7, en el que el dispositivo de excitación (12) tiene una entrada de control (19) para la aplicación de una señal de control que influye en la frecuencia de resonancia del resonador (1), y en donde el dispositivo presenta un sensor (20) para detectar la potencia eléctrica emitida por el generador (15) y/o la desviación de la barra de flexión (2), y en donde el sensor (20) está conectado, a través de un regulador (21), en un circuito de regulación con la entrada de control (19), de tal forma que el dispositivo se hace funcionar en un punto de trabajo en el que la potencia eléctrica emitida por el generador (15) presenta un máximo local.
- 45 9.- Procedimiento para el funcionamiento de un resonador sintonizable en frecuencia (1), en el que se proporciona una barra de flexión (2) que presenta al menos dos capas piezoeléctricas (9, 10) que se extienden de forma aproximadamente paralela una respecto a otra y que están unidas mecánicamente entre sí, en donde la barra de flexión (2) está apoyada, en al menos un punto de fijación (3), contra un punto de contrasoporte, y en un punto de desviación (6) situado a una distancia del punto de fijación (3) se pone en oscilación con respecto al punto de fijación (3) transversalmente a los planos de las capas piezoeléctricas (9, 10), de tal forma que las capas (9, 10) se tensan una respecto a otra y en las capas piezoeléctricas (9, 10) se aplican campos eléctricos que están orientados y ajustados en cuanto a sus intensidades de campo de tal forma que ejercen sobre las capas (9, 10)
- 50 55 60

fuerzas mecánicas, cuyos efectos están orientados en sentidos contrarios, como momentos de flexión que se compensan, y ejercen sobre las capas (9, 10) un tensado previo mecánico sin que se produzca una desviación de la barra de flexión.

5 **10.-** Procedimiento según la reivindicación 9, en el que se aplican impulsos de tensión en capas de electrodo dispuestas en ambos lados de las capas piezoeléctricas (9, 10).

11.- Procedimiento según las reivindicaciones 9 o 10, en el que el resonador (1) es estimulado a oscilaciones mecánicas y la energía de oscilación de la barra de flexión (2) se transforma en energía eléctrica.

10 **12.-** Procedimiento según la reivindicación 11, en el que se detecta una magnitud física dependiente de la oscilación mecánica del resonador (1) y/o de la potencia eléctrica generada, y en donde las intensidades de campo de los campos eléctricos se ajustan de tal manera que la magnitud física detectada presenta un máximo.

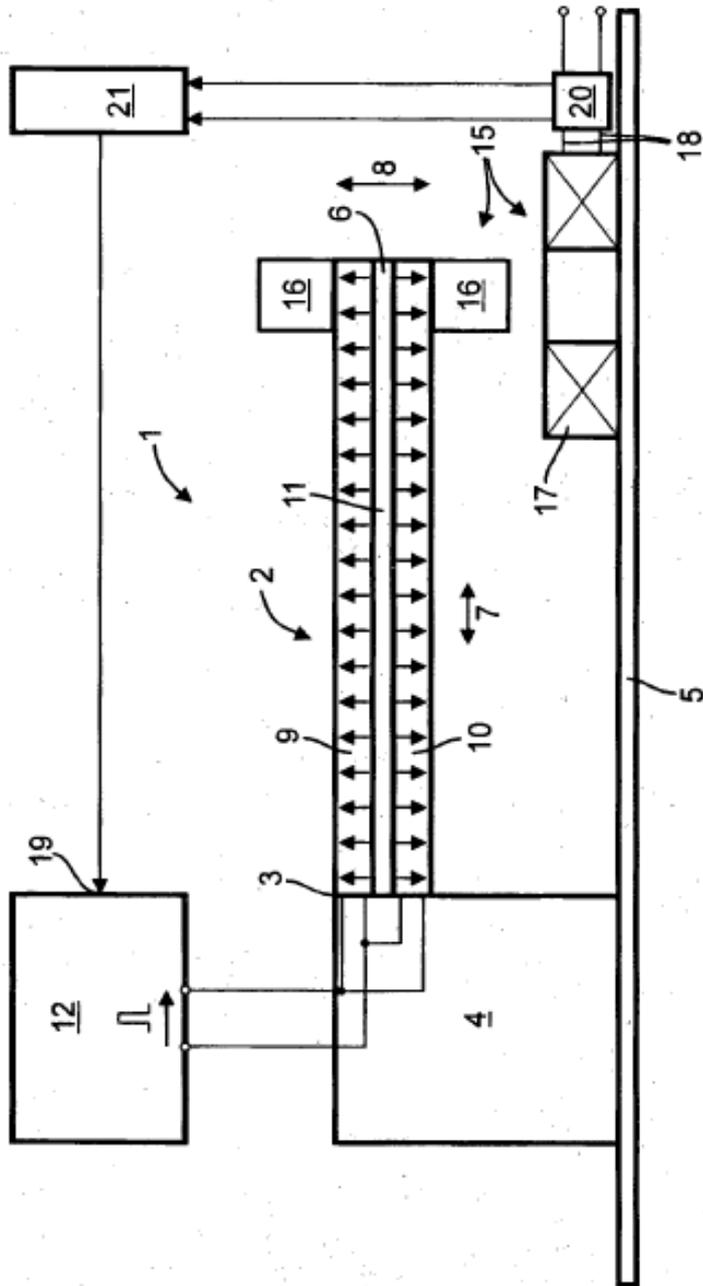


Fig.1

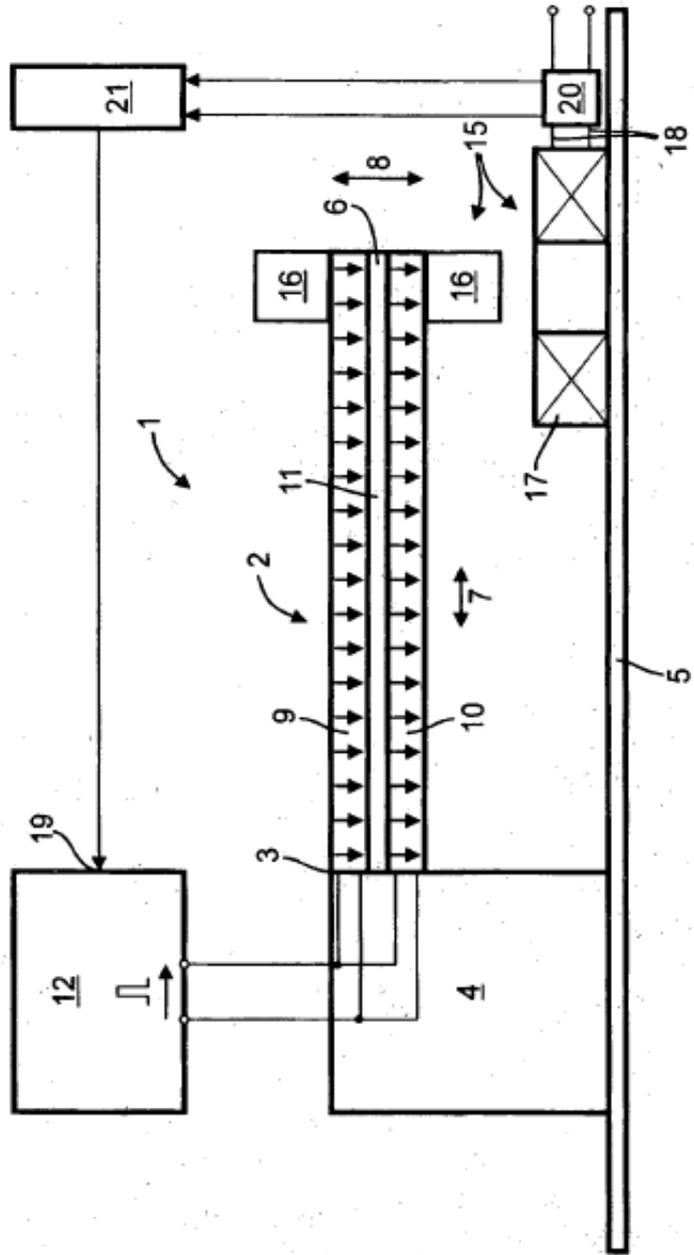


Fig.2

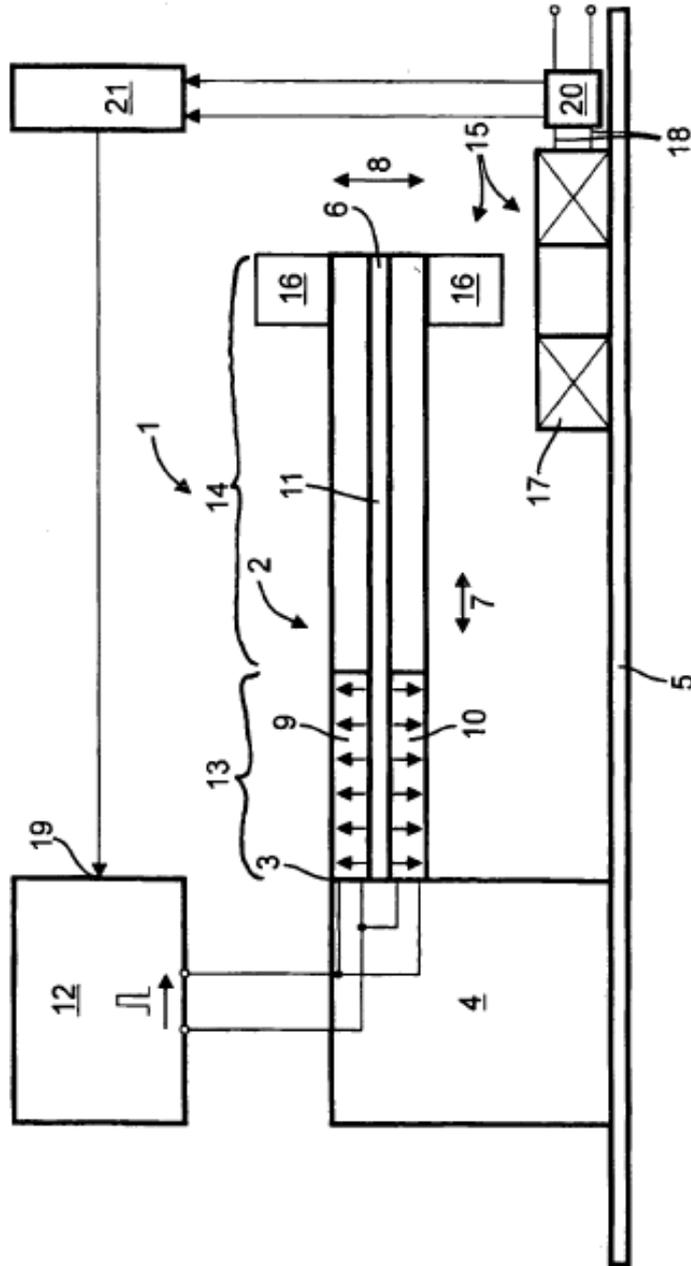


Fig. 3

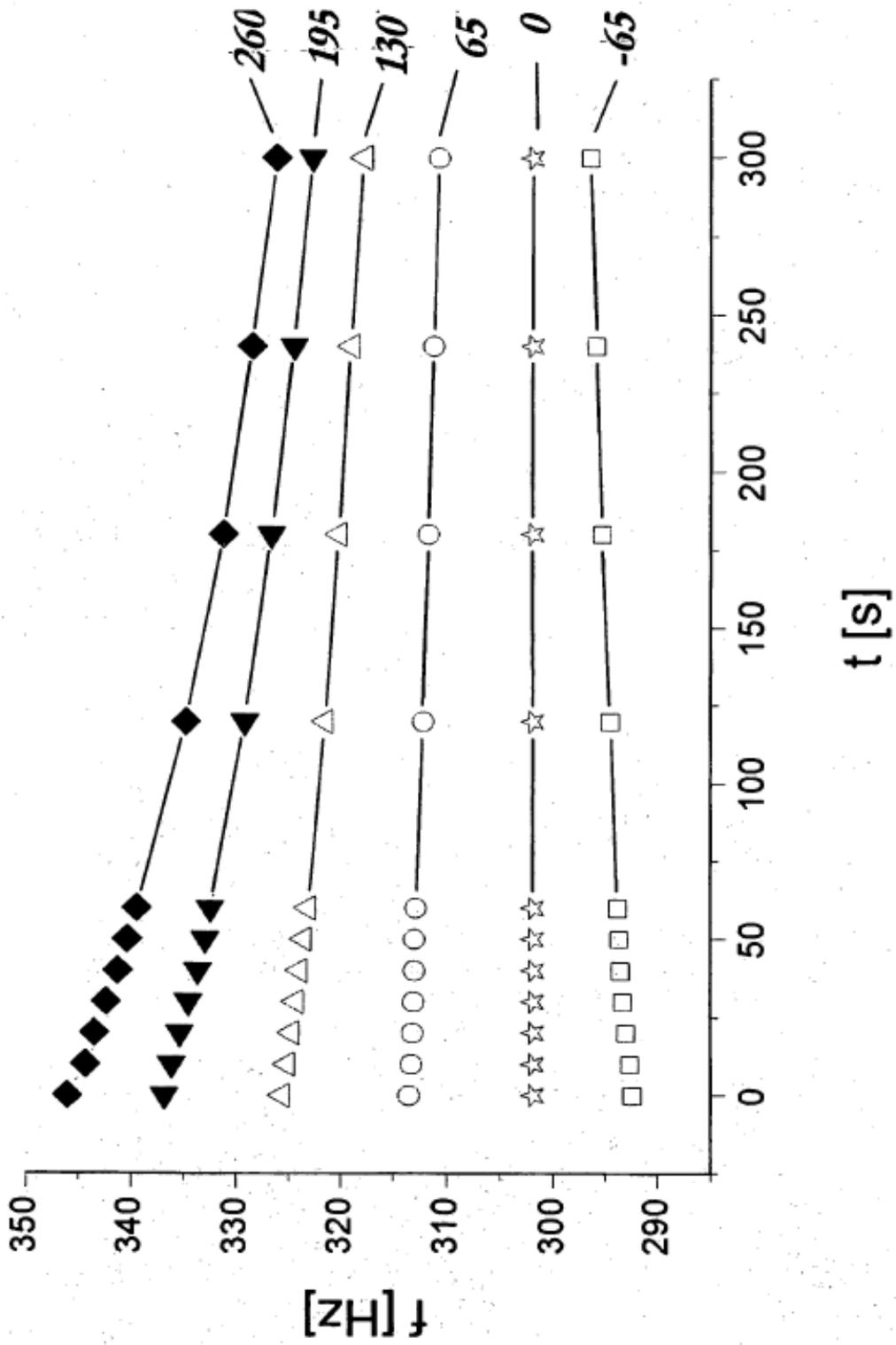


Fig.4

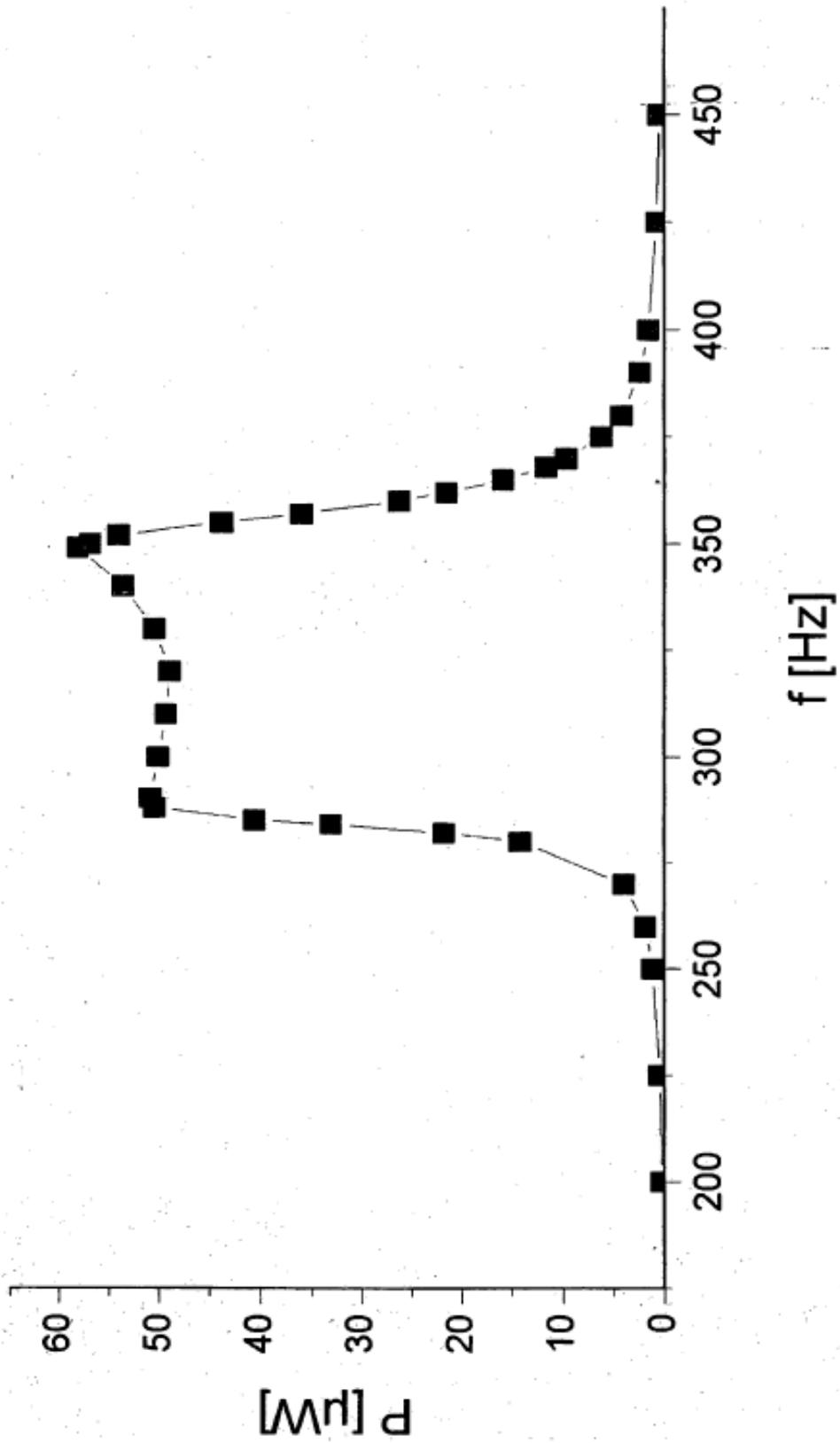


Fig.5