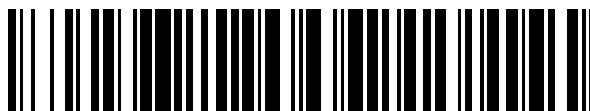


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 396 963**

51 Int. Cl.:

**G01Q 60/32** (2010.01)

**G01Q 10/06** (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2008 E 08874917 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.10.2012 EP 2359149**

54 Título: **Microscopio de sonda de barrido con accionador controlado por corriente**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**01.03.2013**

73 Titular/es:

**SPECS ZURICH GMBH (100.0%)**  
**Technoparkstrasse 1**  
**8005 Zürich, CH**

72 Inventor/es:

**RYCHEN, JÖRG**

74 Agente/Representante:

**GARCÍA-CABRERIZO Y DEL SANTO, Pedro**

**ES 2 396 963 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**

Microscopio de sonda de barrido con accionador controlado por corriente

**5 Campo técnico**

La invención se refiere a un microscopio de sonda de barrido con una sonda oscilada por un accionador piezoeléctrico.

**10 Antecedentes de la técnica**

En los documentos WO 2008/071013 y WO 2008/006229 se describen ejemplos de microscopios de sonda de barrido. Tienen una sonda que forma una punta que puede moverse a lo largo de una muestra. La sonda oscila continuamente por medio de una tensión oscilante aplicada sobre un accionador piezoeléctrico.

15 En la Fig. 1 se muestra un diseño típico para dirigir el accionador Q piezoeléctrico en un dispositivo convencional . Como se puede observar, se aplica una tensión oscilante sobre el accionador Q y la corriente que fluye a través del accionador Q se amplifica por medio de un amplificador A. La salida del amplificador A es una medida para la amplitud mecánica de la oscilación del accionador. Con el propósito de mantener constante esta amplitud mecánica, se necesita un bucle de retroalimentación que se esfuerza para mantener constante la amplitud de la salida del amplificador A controlando adecuadamente el oscilador. Ya que los accionadores piezoeléctricos se dirigen a una resonancia y un factor de alta calidad de esta resonancia es de especial interés para mejorar la sensibilidad a cambios de frecuencia, el control de la amplitud es bastante exigente con respecto al intervalo dinámico de la amplitud de la señal de excitación y con respecto al diseño del controlador.

25 El documento XP12093215 de Jensch et al. desvela un resonador de cristal de cuarzo oscilante auto-excitado para dirigir una sonda de un microscopio de sonda de barrido.

**30 Descripción de la invención**

Por consiguiente, es un objeto general de la invención proporcionar un microscopio de sonda de barrido que facilite el control de la amplitud de la oscilación del accionador.

35 Este objeto se consigue mediante el microscopio de sonda de barrido de la reivindicación 1. En consecuencia, se proporciona un amplificador invertido y el accionador es dirigido por una corriente que fluye a través de una rama de retroalimentación entre la salida del amplificador y la entrada de amplificador invertido. Además, una fuente de corriente alimenta una corriente oscilante a la entrada del amplificador invertido.

40 En un circuito de este tipo, el amplificador se esfuerza para mantener igual la corriente a través de la rama de retroalimentación a la corriente de la fuente de corriente. Ya que la amplitud de la corriente a través del accionador es, para una corriente oscilante, directamente proporcional a la amplitud mecánica del movimiento del accionador (cuando se descarta la corriente a través de la capacidad eléctrica parásita en paralelo con el elemento piezoeléctrico), la amplitud mecánica puede, por lo tanto, estar directamente controlada por la fuente de corriente. Mientras la corriente de la fuente de corriente tenga amplitud constante, la amplitud mecánica del accionador es también constante. No son necesarios medios adicionales para controlar la amplitud mecánica.

**Breve descripción de los dibujos**

50 La invención se entenderá mejor y objetos distintos de los expuestos anteriormente serán evidentes cuando se tiene en consideración la siguiente descripción detallada de la misma. Dicha descripción hace referencia a los dibujos adjuntos. En los que:

La Fig. 1 muestra un diseño de la técnica anterior,

La Fig. 2 muestra un circuito básico para hacer funcionar el accionador en la rama de retroalimentación,

55 La Fig. 3 muestra una alternativa con impedancia en paralelo,

La Fig. 4 muestra un diseño más complejo de la rama de retroalimentación,

La Fig. 5 muestra un bucle de control completo para hacer funcionar la sonda en resonancia,

La Fig. 6 muestra otro diseño alternativo más de la rama de retroalimentación.

**60 Modos para realizar la invención**

El dispositivo de la Fig. 2 comprende una sonda que tiene un accionador 1 piezoeléctrico y una punta 2 de sonda. El accionador 1 piezoeléctrico sirve para hacer oscilar la sonda y, en particular, su punta 2 de sonda como conoce el experto. Se dispone en la rama 3 de retroalimentación de un amplificador 4 invertido. El amplificador 4 es un amplificador analógico. Está diseñado como un amplificador operacional y tiene una entrada 5 de amplificador invertido, una entrada 6 de amplificador no invertido y una salida 7 de amplificador.

La entrada 6 de amplificador no invertido está conectada a un potencial de referencia constante, tal como a tierra. La rama 3 de retroalimentación está situada entre la salida 7 de amplificador y dicha entrada 5 de amplificador invertido.

5 Una fuente 10 de corriente está formada por un oscilador 8 que genera una tensión oscilante y un resistor 9 de alta impedancia de por ejemplo 10 MΩ, es decir, la impedancia del resistor 9 es mucho más pequeña que la impedancia de entrada del amplificador 4 pero mayor que la impedancia del elemento piezoeléctrico en la resonancia.

10 La amplitud de la tensión del oscilador 8 es constante o al menos conocida. Por lo tanto, la corriente de la fuente 10 de corriente tiene también una amplitud constante o al menos conocida.

El amplificador 4 se esfuerza para controlar la tensión sobre el bucle 3 de retroalimentación de tal manera que la corriente a través del bucle 3 de retroalimentación es exactamente igual a la corriente de la fuente 10 de corriente.

15 La carga en el accionador 1 es proporcional a su desviación o deformación mecánica. Por lo tanto, para una oscilación periódica del accionador 1, la amplitud mecánica del movimiento del accionador 1 es proporcional a la amplitud de la corriente que fluye a través del accionador 1. Por consiguiente, en el circuito de la Fig. 2, la amplitud de la corriente de la fuente 10 de corriente es proporcional a la amplitud mecánica del accionador 1.

20 Por lo tanto, en el circuito de la Fig. 2 una determinada amplitud de la corriente de la fuente 10 de corriente conduce a una amplitud de oscilación mecánica definida. No son necesarios medios adicionales para controlar la amplitud de oscilación mecánica.

25 El bucle 3 de retroalimentación puede comprender componentes adicionales además del accionador 1. En la realización de la Fig. 3, la rama 3 de retroalimentación comprende una primera impedancia 12 dispuesta en paralelo al accionador 1. Tal impedancia puede usarse para controlar las propiedades de la rama de retroalimentación.

30 Ventajosamente, la impedancia 12 se elige de manera que extrae solo una corriente relativamente pequeña cuando el accionador 3 está oscilando en resonancia, es decir, la corriente a través del accionador 3 debe ser mucho mayor que la corriente a través de la impedancia 12. Por lo tanto, si el valor Z de impedancia de la impedancia 12 se escribe

$$Z = R + 1 / (j \cdot \omega \cdot C)$$

35 siendo R la resistencia de la impedancia Z, siendo  $1 / (j \cdot \omega \cdot C)$  su reactancia capacitiva y siendo  $\omega$  la frecuencia de resonancia, la resistencia y/o reactancia deberían ser mucho mayores que la resistencia y/o reactancia del accionador 1.

40 Para accionadores típicos, esto se cumple si la resistencia R es al menos 1 MΩ porque una resistencia típica del accionador 1 en resonancia es 10-100 kΩ. Por otro lado, la resistencia no debe ser demasiado grande para definir adecuadamente un punto de funcionamiento CC del amplificador 4, por ejemplo la resistencia R debe ser menor de 1 GΩ. Por consiguiente, ventajosamente, la resistencia R debería estar entre 1 MΩ y 1 GΩ. Se ha encontrado que un valor ventajoso de la resistencia R es aproximadamente 1 MΩ.

45 Por otra parte, la reactancia capacitiva  $1 / (j \cdot \omega \cdot C)$  no debe ser mayor que  $1 / (j \cdot \omega \cdot 100 \text{ pF})$ . Pero no deber ser demasiado grande, por ejemplo menor que  $1 / (j \cdot \omega \cdot 1 \text{ pF})$  porque de otra manera la salida del amplificador tendería a ser inestable. Se ha encontrado que un valor ventajoso de la reactancia es  $1 / (j \cdot \omega \cdot 5 \text{ pF})$ .

El diseño del bucle de retroalimentación puede ser más complejo, tal como se muestra en la realización de la Fig. 4. Por consiguiente, una segunda impedancia 14 se dispone en serie en el accionador 3 y se proporcionan las impedancias 15, 16 adicionales para formar un filtro con cualquier propiedad deseada.

50 Ventajosamente, la segunda impedancia 14, es decir, la impedancia en serie en el accionador 1, debería tener una resistencia mucho menor que la resistencia del accionador 1 en resonancia, es decir, debería ser típicamente menor que 1 kΩ.

55 La Fig. 5 muestra un microscopio de sonda de barrido que tiene un bucle 17 para controlar la frecuencia de la fuente 10 de corriente como una función de la tensión presente en la salida 7 de amplificador. El bucle 17 comprende un amplificador 18 de aislamiento que tiene una salida 19 de fase que transporta una señal indicativa de la fase  $\phi$  de la tensión en la salida 7 de amplificador con respecto a la señal de referencia generada por el oscilador 8. La salida 19 de fase se alimenta a la entrada 21 de señal de un controlador 20 de bucle, concretamente un controlador PI o PID. El controlador 20 de bucle tiene una entrada 22 de referencia que transporta una señal indicativa de un desfase  $\phi_0$  deseado y se esfuerza para controlar la tensión en su salida 23 de manera que la fase  $\phi$  sea igual al desfase  $\phi_0$ . La salida 23 del controlador 20 de bucle controla la frecuencia del oscilador 8 de la fuente 10 de corriente.

60

Para hacer funcionar el dispositivo de la Fig. 5, el desfase  $\phi_0$  deseado se ajusta al desfase cuando el accionador 1 funciona en resonancia. Entonces, el bucle 17 mantendrá el accionador 3 oscilando en resonancia.

5 La Fig. 6 muestra otra clase más de diseños para el bucle 3 de retroalimentación. Ahora, el bucle 3 de retroalimentación comprende un transformador 28 con un bobinado 29 primario y un bobinado 30 secundario. El accionador 1 está dispuesto en serie con el bobinado 30 secundario. La corriente de retroalimentación discurre a través del bobinado 29 primario, induciendo una corriente correspondiente en el bucle 30 secundario y, por lo tanto, en el accionador 1 para el accionamiento del mismo.

10 La ventaja del diseño de la Fig. 6 reside en el hecho de que una corriente de túnel que discurre a través de la punta 2 de sonda y hacia/desde la muestra que se está investigando puede medirse de forma separada de la corriente de excitación del accionador 1, incluso aunque la punta 2 de sonda esté conectada eléctricamente a uno de los electrodos del accionador 1. Para este fin, un electrodo del accionador 1 puede estar conectado, por ejemplo, a un amplificador 33, que mide selectivamente la corriente de túnel.

15 Se debe tener en cuenta que el diseño de la Fig. 6 puede aplicarse también en el diseño de la técnica anterior de la Fig. 1.

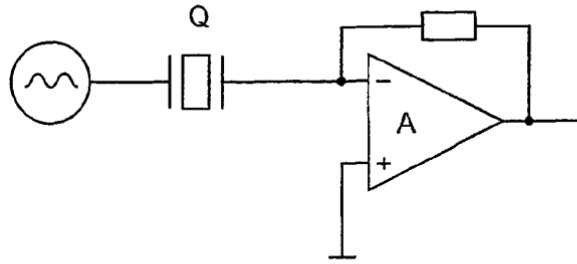
20 En las realizaciones anteriores, la fuente 10 de corriente consistía en una fuente de tensión y un resistor 9 en serie. Se pueden usar también otros tipos de fuentes de corriente, como sabe el experto.

Aunque se han mostrado y descrito actualmente realizaciones preferidas de la presente invención, se debe entender claramente que la invención no está limitada a estas, sino que puede expresarse y realizarse de forma práctica de forma diversa dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

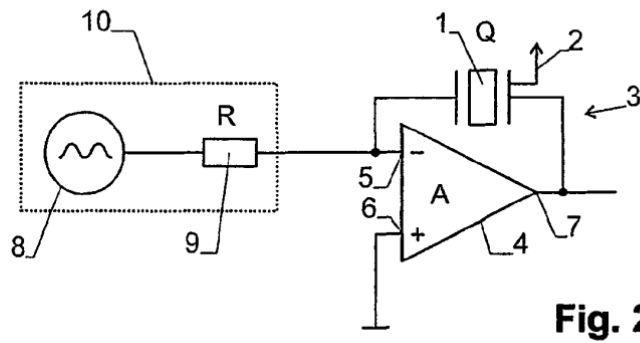
25

**REIVINDICACIONES**

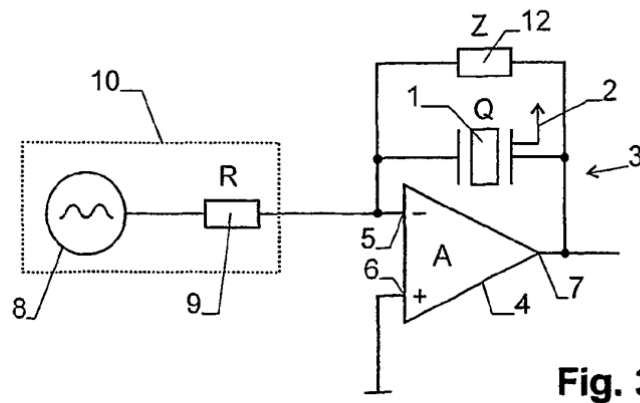
1. Un microscopio de sonda de barrido que comprende una sonda (2),  
 5 un accionador (1) piezoeléctrico para hacer oscilar la sonda (2), un amplificador (4) invertido que tiene una entrada (5) de amplificador invertido, una salida (7) de amplificador y una rama (3) de retroalimentación entre dicha salida (4) de amplificador y dicha entrada (4) de amplificador invertido, **caracterizado por que** el accionador (1) piezoeléctrico es accionado por una corriente de retroalimentación a través de dicha rama (3) de retroalimentación, y  
 10 una fuente (10) de corriente para alimentar una corriente de entrada oscilante a dicha entrada (4) de amplificador invertido.
2. El microscopio de sonda de barrido de la reivindicación 1 que comprende adicionalmente una primera impedancia (12) que está dispuesta en dicha rama (3) de retroalimentación en paralelo a dicho accionador (1).  
 15
3. El microscopio de sonda de barrido de la reivindicación 2 en el que dicha primera impedancia (12) tiene una resistencia entre 1 MΩ y 1 GΩ.
4. El microscopio de sonda de barrido de cualquiera de las reivindicaciones 2 o 3 en el que dicha primera impedancia (12) tiene una reactancia entre  $1 / (j \cdot \omega \cdot 100 \text{ pF})$  y  $1 / (j \cdot \omega \cdot 1 \text{ pF})$ , siendo  $\omega$  una frecuencia de resonancia de dicha sonda (2).  
 20
5. El microscopio de sonda de barrido de cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende adicionalmente una segunda impedancia (14) que está dispuesta en dicha rama (3) de retroalimentación en serie con dicho accionador (1).  
 25
6. El microscopio de sonda de barrido de la reivindicación 5 en el que dicha segunda impedancia (14) tiene una resistencia menor que 1 kΩ.
- 30 7. El microscopio de sonda de barrido de cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende adicionalmente un transformador (28) que tiene un bobinado (29) primario y un bobinado (30) secundario, en el que dicha corriente de retroalimentación está discurriendo a través de dicho bobinado (29) primario y en el que dicho accionador (1) está en serie con dicho bobinado (30) secundario.
- 35 8. El microscopio de sonda de barrido de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que dicho amplificador (4) es un amplificador operacional que tiene una entrada (6) de amplificador no invertido además de dicha entrada (5) de amplificador invertido, en el que dicha entrada (6) de amplificador no invertido está conectada a un potencial de referencia.
- 40 9. El microscopio de sonda de barrido de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que dicho amplificador (4) es un amplificador analógico.
10. El microscopio de sonda de barrido de cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende adicionalmente un bucle (17) que controla una frecuencia de dicha fuente (10) de corriente como una función de una tensión presente en dicha salida (7) de amplificador.  
 45
11. El microscopio de sonda de barrido de la reivindicación 10 en el que dicho buche (17) comprende un amplificador (18) de aislamiento conectado a dicha salida (7) de amplificador y una salida (19) de fase indicativa de una fase de una tensión en dicha salida (7) de amplificador y un controlador (20) de bucle, en particular un controlador PI o PID, que controla una frecuencia de dicha fuente (10) de corriente con el propósito de mantener constante dicha fase.  
 50



**Fig. 1** (técnica anterior)



**Fig. 2**



**Fig. 3**

