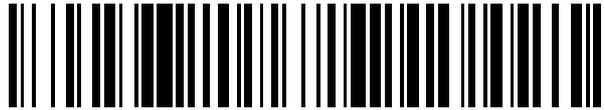


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 571 053**

51 Int. Cl.:

**G01C 19/56** (2012.01)

**G01C 19/5726** (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.07.2009** **E 09776978 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.03.2016** **EP 2316001**

54 Título: **Dispositivo de medición con un sensor capacitivo microelectromecánico**

30 Prioridad:

**07.07.2008 DE 102008031609**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**23.05.2016**

73 Titular/es:

**ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG  
(100.0%)  
Fahnenbergplatz  
79098 Freiburg, DE**

72 Inventor/es:

**HE, LIN;  
MANOLI, YIANNOS;  
BUHMANN, ALEXANDER;  
TASCHWER, ARMIN y  
NORTHEMANN, THOMAS**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 571 053 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

Dispositivo de medición con un sensor capacitivo microelectromecánico

5 La invención se refiere a un dispositivo de medición con al menos un sensor capacitivo microelectromecánico que, para la medición de una desviación mecánica de una masa de prueba, presenta electrodos que se pueden mover acercándose unos a otros y alejándose unos de otros, con un integrador de carga que presenta un amplificador de operación que tiene al menos una entrada de amplificador unida al sensor y al menos una salida de amplificador que, a través de al menos un condensador de integración, está acoplada retroactivamente con la entrada del amplificador.

10 Un dispositivo de medición de este tipo se conoce por Geen, J. *et al.* "Single-Chip Surface Micro-machined Integrated Gyroscope With 50°/h Allan Deviation", IEEE Journal of Solid-State Circuits, tomo 37, n.º 12 (2002), páginas 1860-1866. El dispositivo de medición es parte de un giroscopio que presenta una masa de prueba que, desde una posición de reposo, se puede desviar en contra de una fuerza de resorte de un primer resorte en dirección de un primer eje y, en ángulo recto con respecto a esto, en contra de una fuerza de resorte de un segundo resorte en dirección de un segundo eje. El giroscopio tiene un oscilador electromecánico que presenta un equipo de excitación, mediante el cual se provoca que la masa de prueba experimente una oscilación primaria en dirección del primer eje. El movimiento de la masa de prueba en dirección del primer eje se mide con ayuda de un sensor capacitivo primario. Mediante un bucle de acoplamiento retroactivo se genera, dependiendo de la señal de medición obtenida de este modo, una tensión rectangular y se aplica en un accionador capacitivo que impulsa la masa de prueba. A este respecto se selecciona la posición de fase de la tensión rectangular de tal manera que la masa de prueba oscila con la frecuencia de resonancia del resonador primario formado por el primer resorte y la masa de prueba.

25 Un giro de la masa de prueba alrededor de un eje de rotación que tiene un recorrido en ángulo recto con respecto al primer eje y el segundo eje genera una fuerza de Coriolis que causa una oscilación secundaria de la masa de prueba en dirección del segundo eje. La correspondiente desviación se mide con ayuda de un sensor capacitivo secundario. Ya que la desviación de Coriolis de la masa de prueba es menor de 2 Å, se amplifica la señal de medición del sensor secundario. Para esto, el sensor secundario está unido a una entrada de amplificador de un amplificador de operación, cuya salida de amplificador para la formación de un integrador de carga a través de un condensador de integración está acoplada retroactivamente hacia la entrada del amplificador. En paralelo con respecto al condensador de integración está conectado un tramo de fuente-drenador (*source-drain*) de un transistor de efecto de campo que forma un resistor de gigaohmios y contrarresta un desplazamiento del potencial de tensión continua en la entrada del amplificador. Gracias al resistor se evita que el amplificador de operación, a causa de la existencia de una tensión de desnivel de entrada, llegue a la acción limitadora. Sin embargo, en la práctica ocurre que el dispositivo de medición no está ajustado de manera óptima al resonador primario. Por tanto, la sensibilidad de medición del giroscopio aún es susceptible de mejorar.

40 Por tanto, existe el objetivo de crear un dispositivo de medición del tipo que se ha mencionado al principio que posibilite una elevada sensibilidad de la medición.

45 Este objetivo se resuelve al estar unida la al menos una entrada del amplificador a través de un resistor eléctrico de alto ohmioje con una conexión para un potencial eléctrico de referencia de modo común, al presentar el amplificador de operación, adicionalmente a la al menos una entrada de amplificador, al menos una entrada auxiliar y al estar unida la salida del amplificador a través de un filtro de paso bajo con la al menos una entrada auxiliar.

50 Por ello, de forma ventajosa, es posible adecuar el potencial de referencia de modo común a un valor predeterminado y ajustar, por ello, la frecuencia de resonancia de la masa de prueba y un resorte, en contra de cuya fuerza de retroceso se puede desviar la masa de prueba en dirección del movimiento de los electrodos que se pueden mover acercándose unos a otros y alejándose unos de otros. En un dispositivo de medición que sirve para la medición de la desviación de Coriolis en un giroscopio, por ello, la frecuencia de resonancia del oscilador secundario formado por la masa de prueba y el resorte se puede adaptar a la frecuencia de resonancia del resonador primario. Ya que, a causa de los resistores unidos con el potencial de referencia de modo común, no es necesario un retorno del condensador de integración, se puede aprovechar el condensador de integración sin interrupciones para la medición. Además, el dispositivo de medición posibilita un nivel definido de tensión continua en la salida del amplificador de operación. Además, es insensible frente a una tensión de desnivel del sensor. El punto de trabajo del amplificador de operación se ajusta con una señal filtrada con un filtro de paso bajo, de tal manera que la parte del circuito asignada a la entrada auxiliar del amplificador de operación puede estar diseñada con baja frecuencia.

60 El dispositivo de medición de acuerdo con la invención no está limitado a un uso en un giroscopio. Más bien se puede emplear también en otros sistemas microelectromecánicos (MEMS) capacitivos, tales como, por ejemplo, un sensor de aceleración o un micrófono. Dado el caso, el potencial de referencia de modo común puede ser programable. El valor de resistencia del resistor de alto ohmioje se encuentra, preferentemente, en el intervalo de gigaohmios. El integrador de carga de acuerdo con la invención presenta, en comparación con un amplificador de transimpedancia, un ruido muy bajo y posibilita, por ello, un consumo de corriente correspondientemente reducido

del dispositivo de medición. Por ello, el dispositivo de medición es muy adecuado para un funcionamiento con baterías, por ejemplo, cuando está montado en un aparato portátil. Se puede conseguir un ruido bajo y un consumo reducido de corriente también al estar configurado el integrador de carga como integrador de carga continuo en el tiempo. Frente a un integrador de carga sincronizado discreto en el tiempo se omite, por ello, el ruido de convolución.

Ya que la señal de modo común en la salida del amplificador está desacoplada del potencial de referencia de modo común en la entrada del amplificador, el amplificador de operación puede presentar una estructura de circuito telescópica.

Es ventajoso que el resistor eléctrico de alto ohmiaje esté formado por un FET, en particular un MOSFET, que con su tramo de fuente-drenador une la entrada del amplificador con la conexión para el potencial de referencia de modo común y esté aplicado con su compuerta en una tensión de control. Por ello, el resistor de alto ohmiaje se puede integrar de manera económica y con ahorro de espacio junto con el amplificador de operación y, dado el caso, otros componentes eléctricos del circuito, en un chip semiconductor.

De forma apropiada, la tensión de control es menor que la tensión umbral del MOSFET. Por ello se posibilita un resistor eléctrico de muy alto ohmiaje.

En una configuración preferente de la invención, el dispositivo de medición presenta, para la generación de la tensión de control, una fuente de tensión, cuya salida de fuente está unida con la compuerta del MOSFET, teniendo la fuente de tensión una entrada de control que se encuentra de tal manera en unión de control con la conexión para el potencial de referencia de modo común que, al aparecer un cambio en el potencial de referencia de modo común, la resistencia eléctrica del tramo de fuente-drenador del MOSFET permanece en esencia constante. Entonces se puede graduar de forma sencilla el potencial de referencia de modo común sin cambiar el valor del resistor eléctrico de alto ohmiaje.

En una forma de realización ventajosa de la invención, el sensor capacitivo está configurado como sensor diferencial con una primera salida de señal de medición no inversora y una segunda salida de señal de medición inversora y el amplificador de operación, como amplificador de operación diferencial con una primera entrada de amplificador no inversora, una segunda entrada de amplificador inversora, una primera salida de amplificador no inversora y una segunda salida de amplificador inversora, estando unida la primera salida de señal de medición con la primera entrada de amplificador y la segunda salida de señal de medición con la segunda entrada de amplificador, estando acoplada retroactivamente la primera salida de amplificador a través de un primer condensador de integración con la segunda entrada de amplificador y la segunda salida de amplificador a través de un segundo condensador de integración con la primera entrada de amplificador, y estando unida la primera entrada de amplificador a través de un primer resistor de alto ohmiaje y la segunda entrada de amplificador a través de un segundo resistor de alto ohmiaje con la conexión para el potencial de referencia de modo común. Por tanto, el dispositivo de medición está configurado como dispositivo de medición diferencial y posibilita, por ello, una sensibilidad de medición aún mayor. A este respecto, los resistores de alto ohmiaje presentan con preferencia aproximadamente el mismo valor de resistencia.

De forma apropiada, el amplificador de operación, adicionalmente a la primera entrada de amplificador, presenta una primera entrada auxiliar no inversora y, adicionalmente a la segunda entrada de amplificador, una segunda entrada auxiliar inversora, estando unida la segunda salida de amplificador con una primera conexión de entrada no inversora de un filtro de paso bajo y la primera salida de amplificador con una segunda conexión de entrada inversora del filtro de paso bajo y estando unida una primera conexión de salida no inversora del filtro de paso bajo con la primera entrada auxiliar y una segunda conexión de salida inversora del filtro de paso bajo con la segunda entrada auxiliar. A este respecto se ajusta el punto de trabajo del amplificador de operación con ayuda de una señal diferencial filtrada con un filtro de paso bajo.

Pero también es posible que el amplificador de operación presente, adicionalmente a la primera entrada de amplificador, una primera entrada auxiliar no inversora y, adicionalmente a la segunda entrada de amplificador, una segunda entrada auxiliar inversora, estando unida la primera salida de amplificador con una primera conexión de entrada no inversora de un filtro de paso bajo y la segunda salida de amplificador con una segunda conexión de entrada inversora del filtro de paso bajo y estando unida una primera conexión de salida inversora del filtro de paso bajo con la primera entrada auxiliar y una segunda conexión de salida no inversora del filtro de paso bajo con la segunda entrada auxiliar. También en esta configuración de la invención se ajusta el punto de trabajo del amplificador de operación mediante una señal diferencial filtrada con un filtro de paso bajo.

Es ventajoso que la segunda salida del amplificador esté unida a través de un primer elemento de resistor con la primera conexión de entrada del filtro de paso bajo y la primera salida del amplificador, a través de un segundo elemento de resistor con la segunda conexión de entrada del filtro de paso bajo y que la primera conexión de entrada del filtro de paso bajo esté unida a través de un tercer elemento de resistor con la segunda conexión de entrada del filtro de paso bajo. La red de resistores formada de este modo posibilita un dispositivo de medición cuya

señal de salida presenta una elevada amplitud. Por ello, incluso es posible emplear el dispositivo de medición para la medición de la oscilación primaria de una masa de prueba en un oscilador electromecánico.

5 De forma apropiada, el filtro de paso bajo tiene al menos una fuente de corriente controlada por tensión, cuya salida está unida con una entrada de integración de un integrador Miller. Por ello se puede integrar mejor el filtro de paso bajo en un chip semiconductor. A este respecto es posible el ahorro de un condensador externo complejo y caro.

10 En una forma de realización preferente de la invención, la primera conexión de entrada del filtro de paso bajo está unida con una entrada de un primer transistor y la segunda conexión de entrada del filtro de paso bajo, con una entrada del segundo transistor, estando unida la primera conexión de salida del filtro de paso bajo con una salida del primer transistor y la segunda conexión de salida del filtro de paso bajo con una salida del segundo transistor y estando unida la salida del segundo transistor a través de una primera rama de contrarreacción con una primera conexión de contrarreacción del primer transistor y la salida del primer transistor a través de una segunda rama de contrarreacción con una segunda conexión de contrarreacción del primer transistor. Por ello, el dispositivo de medición posibilita una elevada amplitud de salida y una amplificación esencialmente lineal de la señal de medición del sensor.

20 Es ventajoso que la primera conexión de salida del filtro de paso bajo esté unida a través de una primera pista, que comprende un tramo de fuente-drenador de un primer FET y una fuente de corriente conectada con ello en serie, con una conexión de potencial de referencia, que la segunda conexión de salida del filtro de paso bajo esté unida a través de una segunda pista, que comprende un tramo de fuente-drenador de un segundo FET y otra fuente de corriente conectada con ello en serie, con la conexión de potencial de referencia y que la compuerta del primer FET y la compuerta del segundo FET estén unidas, en cada caso, con un equipo de control que está configurado de tal manera que se hacen funcionar los FET por debajo de su tensión umbral. Por ello se puede evitar un gran condensador en el chip para el filtro de paso bajo.

30 El dispositivo de medición de acuerdo con la invención puede ser parte de un giroscopio que presenta una masa de prueba alojada en una sujeción de forma que se puede desviar a lo largo de un primer eje y un segundo eje que tiene un recorrido en ángulo recto con respecto a esto que, mediante un excitador de oscilación, se puede hacer oscilar alrededor de una posición de reposo en dirección del primer eje, interaccionando el sensor capacitivo de tal manera con la masa de prueba, que se puede detectar una desviación de la masa de prueba desde la posición de reposo en dirección del segundo eje. Entonces, el giroscopio posibilita una elevada sensibilidad, un consumo reducido de corriente y una gran amplitud de salida.

35 A continuación se explican con más detalle ejemplos de realización de la invención mediante el dibujo. Muestran:

- 40 La Figura 1, una representación esquemática de un giroscopio que presenta un oscilador electromecánico y un dispositivo de medición para la medición de una desviación de una masa de prueba causada por una fuerza de Coriolis,
- La Figura 2, un diagrama de conexiones del dispositivo de medición,
- 45 La Figura 3, un diagrama de conexiones de un circuito de amplificador para un integrador de carga, presentando el circuito de amplificador un amplificador de operación, cuya salida está acoplada retroactivamente a través de un filtro de paso bajo con la entrada de amplificador del amplificador de operación y
- 50 La Figura 4, un diagrama de conexiones de un amplificador de transconductancia (celda de gm) del filtro de paso bajo.

55 Un giroscopio, indicado en la Figura 1 en su totalidad con 1, tiene una masa de prueba 2 que está alojada de forma micromecánica en una sujeción, no representada con mayor detalle en el dibujo, de forma que se puede desviar desde una posición de reposo a lo largo de un primer eje 3 en contra de la fuerza de retroceso de un par de primeros resortes 40a y a lo largo de un segundo eje 4, que tiene un recorrido en ángulo recto con respecto a esto, en contra de la fuerza de retroceso de un par de segundos resortes 40b. La sujeción puede ser, por ejemplo, un chip semiconductor, sobre o en el que está dispuesta la masa de prueba 2.

60 La masa de prueba 2 se puede hacer oscilar mediante un excitador de oscilaciones alrededor de la posición de reposo en dirección del primer eje 3. El excitador de oscilaciones presenta accionadores capacitivos 5 con, en cada caso, un primer y un segundo electrodo. El primer electrodo está unido, en cada caso, con la sujeción y el segundo electrodo, en cada caso, con la masa de prueba 2.

65 Para la aplicación de una tensión alterna que excite la oscilación, los electrodos de los accionadores 5 están conectados a salidas de excitador de un equipo de control 6. El equipo de control 6 presenta entradas de señal de medición diferenciales que están unidas, para la medición del movimiento de oscilación de la masa de prueba 2, con sensores capacitivos primarios 7a, 7b. En la Figura 1 se puede ver que la masa de prueba 2 está dispuesta entre los

sensores primarios 7a, 7b. Cada sensor primario 7a, 7b tiene, respectivamente, un primer electrodo unido a la masa de prueba 2 y un segundo electrodo unido a la sujeción.

5 Cuando se desplaza la masa de prueba 2 en dirección del primer eje 3 desde su posición de reposo, se mueven los electrodos de uno de los sensores primarios 7a, 7b acercándose unos a otros y los electrodos del otro sensor primario 7b, 7a, alejándose unos de otros. Por ello cambian las señales de medición de los sensores primarios 7a, 7b en sentidos opuestos entre sí.

10 Dependiendo de las señales de medición de los sensores primarios 7a, 7b, con ayuda del equipo de control 6 se regula la posición de fase de la tensión alterna aplicada en los electrodos del accionador 5, de tal manera que la masa de prueba oscila con una frecuencia de resonancia en dirección del primer eje 3 alrededor de la posición de reposo.

15 Cuando se gira la sujeción y, con ello, la posición de la masa de prueba 2 alrededor de un eje de rotación dispuesto de manera normal con respecto al primer eje 3 y con respecto al segundo eje 4, aparece en la masa de prueba 2 una fuerza de Coriolis que actúa en dirección del segundo eje 4 y que desvía la masa de prueba 2 en contra de las fuerzas de retroceso de los segundos resortes 40b en dirección del segundo eje 4 desde la posición de reposo.

20 Para la medición de esta desviación, el giroscopio 1 presenta un dispositivo de medición 8 que comprende dos sensores capacitivos microelectromecánicos secundarios 9a, 9b y un circuito de evaluación 10 unido a ello. En la Figura 1 se puede ver que la masa de prueba 2 está dispuesta entre los sensores secundarios 9a, 9b. Cada sensor secundario 9a, 9b tiene, respectivamente, un primer electrodo unido a la masa de prueba 2 y un segundo electrodo unido a la sujeción.

25 Cuando se desplaza la masa de prueba 2 en dirección del segundo eje 4 desde su posición de reposo, se mueven los electrodos de uno de los sensores secundarios 9a, 9b acercándose unos a otros y los electrodos del otro sensor secundario 9b, 9a, alejándose unos de otros. Por ello cambian las señales de medición de los sensores secundarios 9b, 9a en sentidos opuestos entre sí.

30 Como se puede ver en la Figura 2, un primer electrodo, que forma una primera salida de señal de medición, de un primer sensor secundario 9a está unido a través de un primer circuito de protección 12a con una entrada de amplificador 13a no inversora de un amplificador de operación 11. Un segundo electrodo del primer sensor secundario 9a está unido con una conexión 14 para un potencial de referencia.

35 De forma correspondiente, un primer electrodo, que forma una segunda salida de señal de medición, de un segundo sensor secundario 9b está unido a través de un segundo circuito de protección 12b con una entrada de amplificador inversora 13b del amplificador de operación 11. Un segundo electrodo del segundo sensor secundario 9b está unido con la conexión 14 para el potencial de referencia.

40 El amplificador de operación 11 es parte de un integrador de carga. Para esto, una salida de amplificador no inversora 15a está acoplada retroactivamente a través de un primer condensador de integración 16a con la entrada de amplificador inversora 13b. Una salida de amplificador inversora 15b está acoplada retroactivamente a través de un segundo condensador de integración 16b con la entrada de amplificador no inversora 13a. Se puede ver claramente que ni con el primer condensador de integración 16a ni con el segundo condensador de integración 16b  
45 está conectado en paralelo un resistor eléctrico.

La entrada de amplificador no inversora 13a está unida a través de un primer resistor eléctrico 17a con una conexión 18 para un potencial eléctrico de referencia de modo común. De forma correspondiente, la entrada de amplificador inversora 13b está unida a través un segundo resistor eléctrico 17b con la conexión 18 para el potencial eléctrico de referencia de modo común.  
50

Los resistores 17a, 17b están formados, en cada caso, por el tramo de fuente-drenador de un MOSFET. Los electrodos de compuerta de los MOSFET están unidos con una fuente de tensión 19 que facilita una tensión de control que, en cuanto a la magnitud, es menor que la tensión umbral del MOSFET.  
55

El potencial de referencia de modo común se puede ajustar y se genera con ayuda de una fuente de tensión de referencia no representada en el dibujo. Mediante el cambio del potencial de referencia de modo común se puede adecuar la frecuencia de resonancia del oscilador secundario formado por los segundos resortes 40b y la masa de prueba a la frecuencia de resonancia del resonador primario formado por los primeros resortes 40a y la masa de prueba 2. Por ello se posibilita una elevada sensibilidad del dispositivo de medición 8.  
60

El amplificador de operación 11 presenta, adicionalmente a la entrada de amplificador no inversora 13a, una entrada auxiliar no inversora 20a y, adicionalmente a la entrada de amplificador inversora 13b, una entrada auxiliar inversora 20b. La salida de amplificador inversora 15b está unida a través de un primer elemento de resistor 21a a una conexión de entrada no inversora 23a de un filtro de paso bajo 22. La salida de amplificador no inversora 15a está unida a través de un segundo elemento de resistor 21b con una conexión de entrada inversora 23b del filtro de paso  
65

bajo. Un tercer elemento de resistor 21c une la conexión de entrada no inversora 23a con la conexión de entrada inversora 23b del filtro de paso bajo. Por ello se posibilita una mayor amplitud de salida del amplificador de operación 11.

5 Para el ajuste del punto de trabajo del amplificador de operación 11, una conexión de salida no inversora 24a del filtro de paso bajo 22 está unida a la entrada auxiliar no inversora 20a del amplificador de operación 11 y una segunda conexión de salida inversora 24b del filtro de paso bajo 22, a la entrada auxiliar inversora 20b del amplificador de operación 11.

10 En la Figura 3 se puede ver que la entrada auxiliar no inversora 20a del amplificador de operación 11 está formada por la compuerta de un primer MOSFET 26a, con cuyo tramo de fuente-drenador está conectada en paralelo una primera fuente de corriente 27a. La fuente del primer MOSFET 26a está unida con una primera conexión de tensión de alimentación. Con el tramo de fuente-drenador del primer MOSFET 26a está conectado en serie el tramo de fuente-drenador de un segundo MOSFET 28a, cuya compuerta forma la entrada de amplificador inversora 13b. En una primera rama de circuito que une el drenador del primer MOSFET 26a con el drenador del segundo MOSFET 15 28a está dispuesta la salida de amplificador no inversora 15a. La fuente del segundo MOSFET 28a está unida a través de una segunda fuente de corriente 27b con una segunda conexión de tensión de alimentación.

20 La entrada auxiliar inversora 20b del amplificador de operación 11 está formada por la compuerta de un tercer MOSFET 26b, con cuyo tramo de fuente-drenador está conectada en paralelo una tercera fuente de corriente 27c. La fuente del tercer MOSFET 26b está unida con la primera conexión de tensión de alimentación. Con el tramo de fuente-drenador del tercer MOSFET 26b está conectado en serie el tramo de fuente-drenador de un cuarto MOSFET 28b, cuya compuerta forma la entrada de amplificador no inversora 13a. En una segunda rama de circuito que une el drenador del tercer MOSFET 26b con el drenador del cuarto MOSFET 28b está dispuesta la salida de amplificador 25 inversora 15b. La fuente del cuarto MOSFET 28b está unida a través de la segunda fuente de corriente 27b con la segunda conexión de tensión de alimentación.

30 En la Figura 3 se puede ver, además, que el filtro de paso bajo 22 presenta una fuente de corriente 29 controlada por tensión (celda gm) con una entrada no inversora 30a y una entrada inversora 30b. La entrada no inversora 30a está conectada en la salida de amplificador inversora 15b y la entrada inversora 30b, en la salida de amplificador no inversora 15a.

35 La fuente de corriente 29 controlada por tensión presenta, además, una salida no inversora 31a y una salida inversora 31b. La salida no inversora 31a está unida a través del tramo de fuente-drenador de un quinto MOSFET 32a con la primera conexión de tensión de alimentación y la salida inversora 31b, a través del tramo de fuente-drenador de un sexto MOSFET 32b con la primera conexión de tensión de alimentación. La salida no inversora 31a está conectada a una primera entrada de un integrador Miller 33 y la salida inversora 31b, a una segunda entrada del integrador Miller 33. Las dos salidas 31a, 31b están unidas, además, en cada caso con una conexión de un 40 circuito auxiliar 34. Al circuito auxiliar 34 están conectadas también las compuertas del quinto MOSFET 32a y del sexto MOSFET 32b.

45 En la Figura 4 se puede ver que la fuente de corriente 29 controlada por tensión presenta un primer transconductor 35a y un segundo transconductor 35b. La conexión de entrada no inversora 23a del filtro de paso bajo 22 está unida con una entrada del primer transconductor 35a y la conexión de entrada inversora 23b del filtro de paso bajo 22, con una entrada del segundo transconductor 35b.

50 La conexión de salida no inversora 24a del filtro de paso bajo 22 está unida con la salida no inversora 31a del primer transconductor 35a y la conexión de salida inversora 24b del filtro de paso bajo 22, con la salida inversora 31b del segundo transconductor 35b. La salida 31b del segundo transconductor 35b está unida a través de una primera rama de contrarreacción 36a con una primera conexión de contrarreacción 37a del primer transconductor 35a y la salida 31a del primer transconductor 35a, a través de una segunda rama de contrarreacción 36b con una segunda 55 conexión de contrarreacción 37b del segundo transconductor 35b. Gracias a las contrarreacciones se posibilita una mejor linealización de las señales de medición de los sensores secundarios 9a, 9b.

60 La salida 31a está unida a través de una primera pista, que comprende un tramo de fuente-drenador de un primer FET 25a y una cuarta fuente de corriente 38a conectada con ello en serie, con una conexión de potencial de referencia 39. La salida 31b está unida a través de una segunda pista, que comprende un tramo de fuente-drenador de un segundo FET 25b y una quinta fuente de corriente 38b conectada con ello en serie, con la conexión de potencial de referencia 39. La compuerta del primer FET 25a y la compuerta del segundo FET 25b están unidas, respectivamente, con un equipo de control que está configurado de tal manera que se hacen funcionar los FET 25a, 25b por debajo de su tensión umbral.

## REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de medición (8) con al menos un sensor capacitivo microelectromecánico (9a, 9b) que, para la medición de una desviación mecánica de una masa de prueba (2), presenta electrodos que se pueden mover acercándose unos a otros y alejándose unos de otros, con un integrador de carga que presenta un amplificador de operación (11) que tiene al menos una entrada de amplificador (13a, 13b) unida al sensor (9a, 9b) y al menos una salida de amplificador (15a, 15b) que, a través de al menos un condensador de integración (16a, 16b), está acoplada retroactivamente con la entrada de amplificador (13a, 13b), caracterizado por que la al menos una entrada de amplificador (13a, 13b) está unida a través de un resistor eléctrico de alto ohmiaje (17a, 17b) con una conexión (18) para un potencial eléctrico de referencia de modo común, estando unida la conexión (18) a una fuente de tensión de referencia, por que el amplificador de operación (11), adicionalmente a la al menos una entrada de amplificador (13a, 13b), presenta al menos una entrada auxiliar (20a, 20b) y por que la salida de amplificador (15a, 15b) está unida a través de un filtro de paso bajo (22) con la al menos una entrada auxiliar (20a, 20b).
2. Dispositivo de medición (8) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el resistor eléctrico de alto ohmiaje (17a, 17b) está formado por un FET, en particular un MOSFET, que con su tramo de fuente-drenador une la entrada de amplificador (13a, 13b) con la conexión para el potencial de referencia de modo común y está aplicado con su compuerta en una tensión de control.
3. Dispositivo de medición (8) de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por que la tensión de control es menor que la tensión umbral del MOSFET.
4. Dispositivo de medición (8) de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 3, caracterizado por que presenta, para la generación de la tensión de control, una fuente de tensión (19), cuya salida de fuente está unida con la compuerta del MOSFET, y por que la fuente de tensión (19) tiene una entrada de control que se encuentra de tal manera en unión de control con la conexión (18) para el potencial de referencia de modo común que, al aparecer un cambio en el potencial de referencia de modo común, la resistencia eléctrica del tramo de fuente-drenador del MOSFET permanece en esencia constante.
5. Dispositivo de medición (8) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que el sensor capacitivo (9a, 9b) está configurado como sensor diferencial con una primera salida de señal de medición no inversora y una segunda salida de señal de medición inversora y el amplificador de operación (11), como amplificador de operación (11) diferencial con una primera entrada de amplificador no inversora (13a), una segunda entrada de amplificador inversora (13b), una primera salida de amplificador no inversora (15a) y una segunda salida de amplificador inversora (15b), por que la primera salida de señal de medición está unida con la primera entrada de amplificador (13a) y la segunda salida de señal de medición, con la segunda entrada de amplificador (13b), por que la primera salida de amplificador (15a) está acoplada retroactivamente a través de un primer condensador de integración (16a) con la segunda entrada de amplificador (13b) y la segunda salida de amplificador (15b) a través de un segundo condensador de integración (16b), con la primera entrada de amplificador (13b), y por que la primera entrada de amplificador (13a) está unida a través de un primer resistor de alto ohmiaje (9a) y la segunda entrada de amplificador (13b), a través de un segundo resistor de alto ohmiaje (9b) con la conexión (18) para el potencial de referencia de modo común.
6. Dispositivo de medición (8) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que el amplificador de operación (11), adicionalmente a la primera entrada de amplificador (13a), presenta una primera entrada auxiliar no inversora (20a) y, adicionalmente a la segunda entrada de amplificador (13b), una segunda entrada auxiliar inversora (20b), por que la segunda salida de amplificador (15b) está unida con una primera conexión de entrada no inversora (23a) del filtro de paso bajo (22) y la primera salida de amplificador (15a), con una segunda conexión de entrada inversora (23b) del filtro de paso bajo (22) y por que una primera conexión de salida no inversora (24a) del filtro de paso bajo (22) está unida con la primera entrada auxiliar (20a) y una segunda conexión de salida inversora (24b) del filtro de paso bajo (22), con la segunda entrada auxiliar (20b).
7. Dispositivo de medición (8) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que el amplificador de operación (11) presenta, adicionalmente a la primera entrada de amplificador (13a), una primera entrada auxiliar no inversora (20a) y, adicionalmente a la segunda entrada de amplificador (13b), una segunda entrada auxiliar inversora (20b), por que la primera salida de amplificador (15a) está unida con una primera conexión de entrada no inversora (23a) de un filtro de paso bajo (11) y la segunda salida de amplificador (15b), con una segunda conexión de entrada inversora (23b) del filtro de paso bajo y por que una primera conexión de salida inversora del filtro de paso bajo (24b) está unida con la primera entrada auxiliar (20a) y una segunda conexión de salida no inversora (24a) del filtro de paso bajo (22), con la segunda entrada auxiliar (20b).
8. Dispositivo de medición (8) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que la segunda salida de amplificador (15b) está unida a través de un primer elemento de resistor (21a) con la primera conexión de entrada (23a) del filtro de paso bajo (22) y la primera salida de amplificador (15a), a través de un segundo elemento de resistor (21b) con la segunda conexión de entrada (23b) del filtro de paso bajo (22) y por que la primera conexión

de entrada (23a) del filtro de paso bajo (22) está unida a través de un tercer elemento de resistor (21c) con la segunda conexión de entrada (23b) del filtro de paso bajo (22).

5 9. Dispositivo de medición (8) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que el filtro de paso bajo (22) presenta al menos una fuente de corriente (29) controlada por tensión, cuya salida (31a, 31b) está unida con una entrada de integración de un integrador Miller (33).

10 10. Dispositivo de medición (8) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que la primera conexión de entrada (23a) del filtro de paso bajo (22) está unida con una entrada de un primer transconductor (35a) y la segunda conexión de entrada del filtro de paso bajo (23b), con una entrada de un segundo transconductor (35b), por que la primera conexión de salida (24a) del filtro de paso bajo (22) está unida con una salida (31a) del primer transconductor (35a) y la segunda conexión de salida (24b) del filtro de paso bajo (22), con una salida del segundo transconductor (35b) y por que la salida (31b) del segundo transconductor (35b) está unida a través de una primera rama de contrarreacción (36a) con una primera conexión de contrarreacción (37a) del primer transconductor (35a) y la salida (31a) del primer transconductor (35a) a través de una segunda rama de contrarreacción (36a), con una  
15 segunda conexión de contrarreacción (37b) del segundo transconductor (35b).

20 11. Dispositivo de medición (8) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por que la primera conexión de salida (24a) del filtro de paso bajo (22) está unida a través de una primera pista, que comprende un tramo de fuente-drenador de un primer FET (25a) y una fuente de corriente (38a) conectada con ello en serie, con una conexión de potencial de referencia (39), por que la segunda conexión de salida (24b) del filtro de paso bajo (22) está unida a través de una segunda pista, que comprende un tramo de fuente-drenador de un segundo FET (25b) y otra fuente de corriente (38b) conectada con ello en serie, con la conexión de potencial de referencia (39) y por que la compuerta del primer FET (25a) y la compuerta del segundo FET (25b) están unidas, en cada caso, con un equipo  
25 de control que está configurado de tal manera que se hacen funcionar los FET (25a, 25b) por debajo de su tensión umbral.

30 12. Giroscopio (1) con un dispositivo de medición (8) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, con una masa de prueba (2) alojada en una sujeción de forma que se puede desviar a lo largo de un primer eje (3) y un segundo (4) eje que tiene un recorrido en ángulo recto con respecto a esto que, mediante un excitador de oscilación, se puede hacer oscilar alrededor de una posición de reposo en dirección del primer eje (3), interaccionando el sensor capacitivo (9a, 9b) de tal manera con la masa de prueba (2), que se puede detectar una desviación de la masa de prueba (2) desde la posición de reposo en dirección del segundo eje (4).

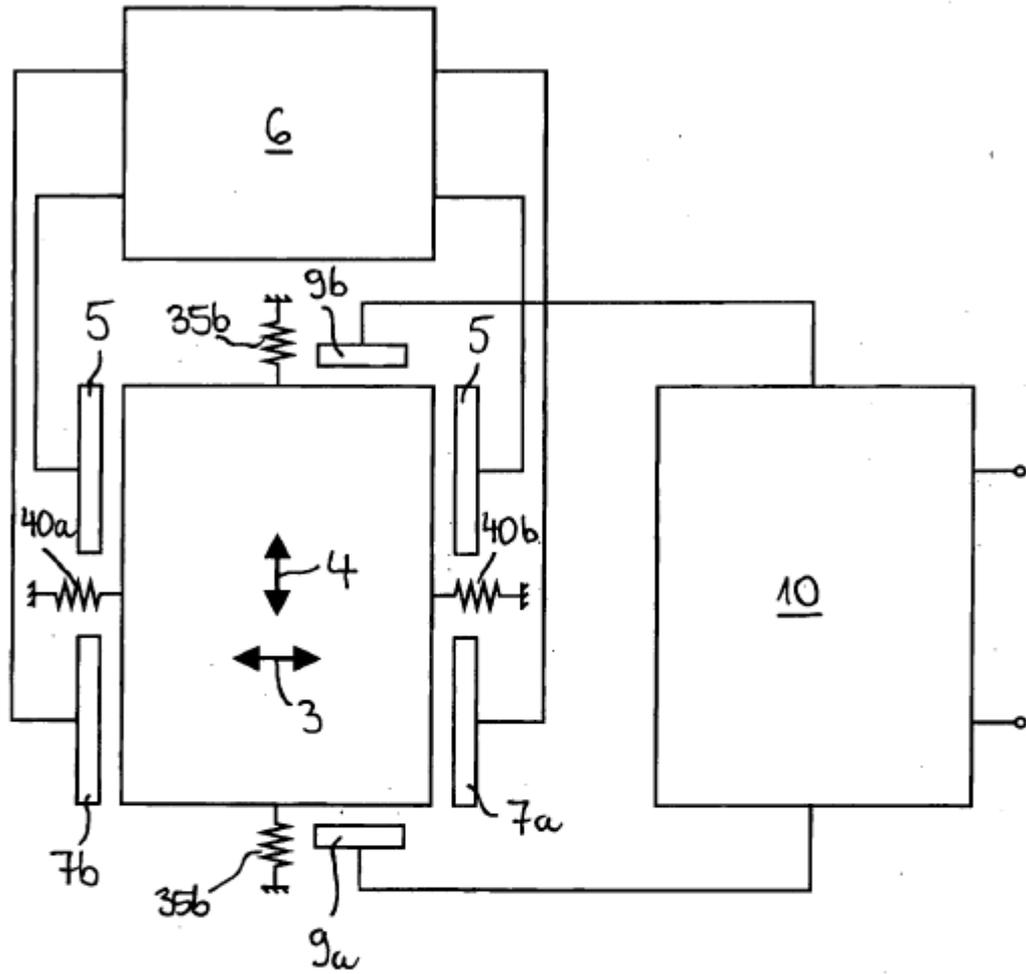


Fig. 1



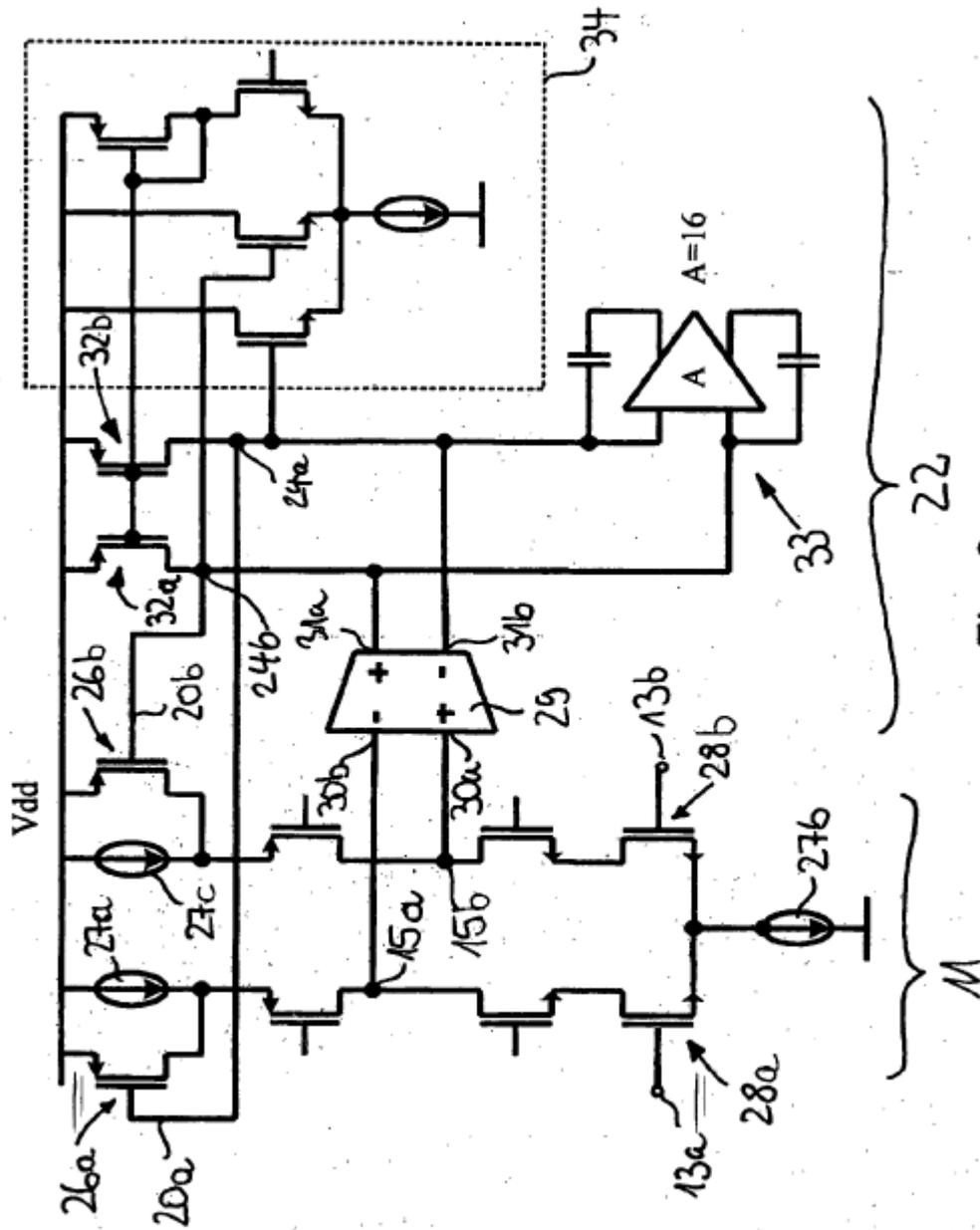


Fig. 3

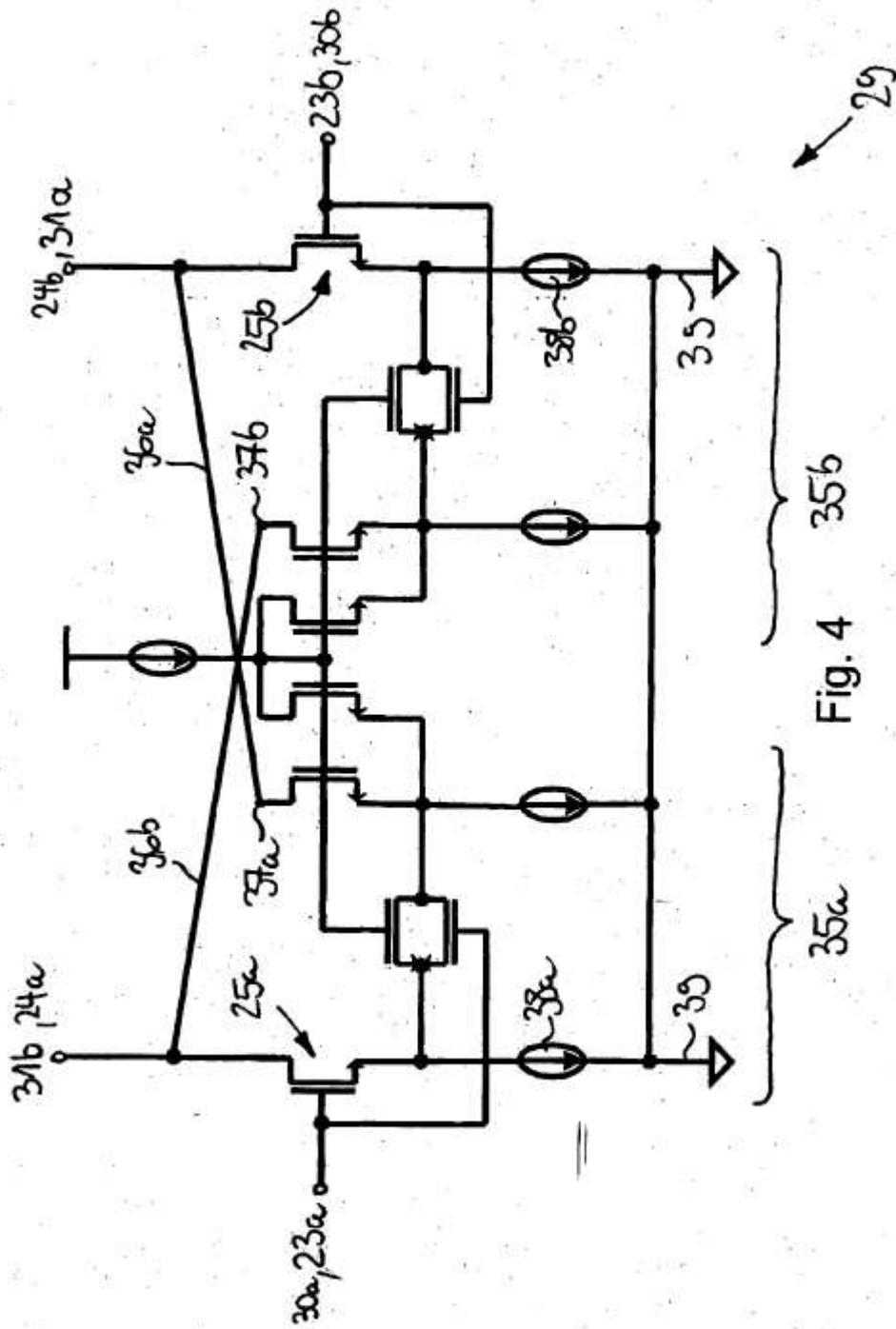


Fig. 4