

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 688 827**

51 Int. Cl.:

G01C 19/5726 (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.12.2013 PCT/EP2013/075498**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.06.2014 WO14086836**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.12.2013 E 13802329 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.08.2018 EP 2929293**

54 Título: **Circuito de accionamiento y de compensación para estructuras-MEMS capacitivas**

30 Prioridad:

04.12.2012 DE 102012222225

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

07.11.2018

73 Titular/es:

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

**Fahnenbergplatz 1
79085 Freiburg, DE**

72 Inventor/es:

**ROMBACH, STEFAN;
MARX, MAXIMILIAN y
MANOLI, YIANNOS**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 688 827 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).

DESCRIPCION

Circuito de accionamiento y de compensación para estructuras-MEMS capacitivas

5 La presente invención se refiere a un circuito para controlar una estructura-MEMS capacitiva con al menos un elemento oscilante excitable en un movimiento oscilante y con una unidad de excitación, que posee al menos una primera y una segunda conexión de entrada. Además, la presente invención se refiere a un sensor de la velocidad angular-Coriolis con un elemento oscilante primario excitable electroestáticamente y con un elemento oscilante secundario excitable electroestáticamente, en el que el sensor de la velocidad angular-Coriolis presenta para la activación del elemento oscilante primario y para la recuperación del elemento oscilante secundario un circuito de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores. Por último, la invención se refiere a un procedimiento correspondiente para la activación de una estructura-MEMS capacitiva.

15 Las estructuras capacitivas se utilizan en sistemas-MEM (sistemas micro electromecánicos) para accionar, por medio de fuerza electrostática, micro espejos, conmutadores y sensores microestructurados.

20 Un ejemplo típico de un sensor, que utiliza estructuras microcapacitivas tanto para la compensación de fuerzas como también para la actuación, es el sensor de la velocidad angular. Los sensores de la velocidad angular se utilizan en sistemas de asistencia al conductor, sistemas de seguridad de la marcha como un programa electrónico de estabilidad, sistemas de navegación y cada vez más también en aparatos móviles como teléfonos móviles, ordenadores de Tableta y consolas de juegos. En este caso, estos sensores detectan velocidades angulares alrededor de un eje definido sobre la base del efecto-Coriolis.

25 Un sensor de la velocidad angular de este tipo comprende, por ejemplo, dos masas, una primaria así como una secundaria. Para poder detectar una velocidad angular con la ayuda del efecto-Coriolis, toda la masa debe desplazarse en movimiento. La masa primaria, en la que cuelga la masa secundaria, se desplaza en una oscilación constante a través de actuación electrostática con frecuencia constante. A través de una rotación del sensor alrededor de su eje sensible se articula la masa secundaria ortogonalmente al eje primario según la ecuación (1) siguiente.

$$30 \quad \vec{F}_c = -2 \cdot m \cdot \vec{\Omega} \times \vec{v}_p \quad (1)$$

En este caso F_c significa la fuerza-Coriolis, m la masa, Ω la velocidad angular, v_p la velocidad de la masa primaria.

35 La masa secundaria está suspendida en este caso mecánicamente, de tal manera que sólo se puede desviar ortogonalmente a la oscilación primaria. Para conseguir una alta linealidad, anchuras de banda grandes y sensibilidad reducida frente a oscilaciones de proceso, se reacomplan estos sensores.

En este caso, según la ecuación (2), a través de la aplicación de una fuerza capacitiva de recuperación F_{es} sobre la masa secundaria se compensa la fuerza de actuación-Coriolis F_c .

40 La aplicación de esta señal de compensación, que contrarresta la variable de entrada, se llama reacomplamiento de fuerza.

$$45 \quad \vec{F}_c = \vec{F}_{es} \quad (2)$$

De esta manera, la masa secundaria permanece en la posición de reposo y la fuerza capacitiva F_{es} generada es una medida directa para la velocidad angular que actúa sobre el sistema. Para generar fuerzas suficientemente altas para la actuación de la masa primaria y secundaria, es necesario utilizar tensiones eléctricas, que son un múltiplo mayores que las tensión de alimentación típicas de circuitos integrados. Por lo demás, estas tensiones altas se utilizan para poder reajustar la constante de resorte y con ello la frecuencia de resonancia de la masa secundaria.

50 Entre dos o más electrodos cargados eléctricamente opuestos (capacidad) actúa una fuerza atractiva electroestáticamente. Esta fuerza se puede determinar cuantitativamente a través de la modificación de la energía E almacenada en la capacidad con la distancia entre los electrodos x . En el caso de electrodos paralelos, como se emplean en el lado secundario de sensores de la velocidad angular, se calcula la fuerza $F_{es,p}$ según la Ecuación (3). En este caso, ϵ_r es la permisividad relativa, ϵ_0 es la constante de dielectricidad y V es la tensión entre los electrodos. A significa la superficie de los electrodos (ver la figura 1a).

55 Para el lado primario se utilizan en sensores de la velocidad angular típicamente actuadores de peine, en cuyo caso la fuerza $F_{es,k}$ se calcula según la ecuación (4). En la ecuación (4), N significa el número de los peines, d la distancia constante entre los electrodos y h la dilatación horizontal de los electrodos. Ambas configuraciones de los electrodos

se representan en la figura 1.

(3)

$$\vec{F}_{es,p} = \frac{dE}{dx} = -\frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{x^2} V^2$$

$$\vec{F}_{es,k} = \frac{dE}{dx} = -N \frac{\epsilon_0 \epsilon_r h}{d} V^2 \quad (4)$$

5 La fuerza $F_{es,p}$ generada a través de electrodos paralelos, en oposición a la fuerza $F_{es,k}$ sobre actuadores de peine depende de la distancia x . Pero puesto que en el caso del lado secundario se compensa el movimiento de la masa, se puede omitir esta dependencia. En ambos casos (figuras 1a y b), la fuerza depende del cuadrado de la tensión.

10 Puesto que las fuerzas electrostáticas actúan siempre con atracción, en el caso de sensores de la velocidad angular, la masa primaria es accionada diferencialmente y el movimiento de la masa secundaria se compensa también diferencialmente. Como se representa en la figura 2, se coloca a tal fin la masa y, por lo tanto, también los contra electrodos de las capacidades $C_{FB1,2}$ sobre un potencial fijo V_0 . En el segundo electrodo de las capacidades $C_{FB1,2}$ se aplica una tensión con porción fija de la tensión continua V_{DC} y porción variable de la tensión $V_{AC}(t)$. En este caso, la
15 tensión $V_{AC}(t)$ es, en general, una tensión rectangular con una fase desplazada 180 grados entre C_{FB1} y C_{FB2} .

De esta manera, de acuerdo con la ecuación (5) siguiente resulta toda la fuerza $F_{es,tot}$, que depende linealmente de las tensiones V_{DC} y $V_{AC}(t)$

$$\vec{F}_{es,tot} = F_{es1} - F_{es2} = -2 \frac{C_{FB1,2}}{x} V_{AC}(t)(V_{DC} - V_0) \quad (5)$$

20 La fuerza electrostática necesaria se puede generar, por una parte, por medio de un generador de alta tensión y amplificadores de alta tensión.

25 Las tensiones V_{DC} y $V_{AC}(t)$ necesarias para la generación de fuerzas capacitivas electroestáticas según la ecuación (5) se aplican, como se representa en la figura 3, normalmente por medio de amplificadores de la operación en estructuras capacitivas del sensor. Tal disposición de circuito se describe en detalle, por ejemplo, en el Artículo Lasse Aaltonen, Mikko Saukoski, Kari Halonen: "On-chip Digitally Tunable High Voltage Generator for Electrostatic Control of Micromechanical Devices", IEEE 2006 Custom Intergrated Circuits Conference (CICC), S. 583-586, y es objeto de la WO 2007/012518 A1.

30 La tensión máxima de salida de los amplificadores de operación se limita a través de su tensión de alimentación. Para poder generar fuerzas suficientemente altas, es necesario, por lo tanto, en general, utilizar amplificadores de operación de alta tensión (HV-OPV), que trabajan con tensiones por encima de la tensión de alimentación del chip V_{DD} . Por lo tanto, un generador de alta tensión genera a partir de la tensión genera a partir de la tensión V_{DD} una
35 tensión $V_{DD,HV}$ claramente más alta y la proporciona a la HV-OPV como tensión de alimentación. El generador de alta tensión debe preparar en este caso tanto la tensión estática para el funcionamiento de la HV-OPV como también la corriente dinámica para la carga o bien descarga de las capacidades C_{FB1} y C_{FB2} durante los procesos de conmutación de la tensión $V_{AC}(t)$. Las unidades de control alimentadas con baja tensión acondicionan la señal a
40 V_{AC}/k deseada y de la tensión DC V_{DC}/k . A través del funcionamiento de la HV-OPV en reacoplamiento, se pueden ajustar exactamente las tensiones V_{DC} y $V_{AC}(t)$

45 Además, se puede generar la fuerza electrostática también por medio de un generador de alta tensión en conexión directa con estructuras capacitivas para la activación, como se conoce, por ejemplo, a partir de WO 2012/130541 A1.

La solución conocida para la generación de altas tensiones definidas en estructuras capacitivas se representa en la figura 4. En este caso, se prescinde del empleo de HV-OPV y en su lugar se aplica la tensión de salida regulada del

5 generador de alta tensión V_{DD_HV} directamente en las capacidades C_{FB1} y C_{FB2} . El generador de alta tensión se regulado a través de una señal de control analógica a partir de una unidad de control (por ejemplo, convertidor digital a analógico). A pesar de esta posibilidad de regulación, en este caso en la alta tensión V_{DD_HV} se trata en el estado estabilizado de una tensión estática V_{DC} . Esto es conveniente en la aplicación, que se describe en WO 2012/130541 A1, puesto que, por ejemplo, para la compensación de la cuadratura de sensores de la velocidad angular no se necesitan tensiones variables $V_{AC}(t)$.

10 Las soluciones conocidas tienen, sin embargo, inconvenientes agravantes. Éstos están en el caso del circuito según la figura 3, por una parte, en la enorme necesidad de potencia HV-OPV y, por otra parte, en los altos requerimientos y la necesidad de potencia del generador de alta tensión. La generación de la tensión V_{DD_HV} se través del generador de alta tensión está afectada siempre con pérdida. Además, esta tensión debe estar, en virtud de la arquitectura-HV-OPV la mayoría de las veces por encima de la tensión de salida máxima utilizable de los amplificadores. Por lo demás, las altas corrientes dinámicas dificultan durante la conmutación de la tensión $V_{AC}(t)$ en las capacidades la regulación constante de la alta tensión V_{DD_HV} .

15 La corriente de reposo de la HV-OPV depende en el caso del amplificador de Clase-A utilizado de la pendiente de los flancos y de las capacidades $C_{FB1,2}$ de accionamiento. Puesto que para sensores de la velocidad angular se necesita una pendiente alta de los flancos y paralelamente a las capacidades $C_{FB1,2}$ existen normalmente todavía capacidades parasitarias grandes, la corriente de reposo en el sistema descrito es considerable. La necesidad de potencia de la HV-OPV se incrementa, por lo demás, linealmente, con la tensión de alimentación V_{DD_HV} , de manera que el circuito para la generación de fuerza aporta una porción considerable al consumo de potencia general del sistema lector del sensor.

20 En el caso del circuito según la figura 4, un inconveniente grande es que sólo se pueden generar tensiones estáticas V_{DC} . Para el accionamiento de la masa primaria y la compensación del movimiento de la masa secundaria es indispensable, sin embargo, una tensión variable en el tiempo $V_{AC}(t)$. Para transferir con la con figuración de la figura 4 a pesar de todo tal señal $V_{AC}(t)$ a la zona de alta tensión, debería seguirse la tensión V_{DD_HV} con suficiente rapidez. De ello resultan altos requerimientos a la dinámica del generador de alta tensión y, por lo tanto, un consumo elevado de potencia. Además, en el caso de una pluralidad de generadores de alta tensión sólo es posible elevar activamente la tensión. La reducción de la tensión se realiza, en cambio, la mayoría de las veces pasivamente sobre la corriente de carga de la aplicación. Este hecho eleva más la complejidad del circuito para la generación de alta tensión.

25 Por lo demás, en los generadores de alta tensión empleados se trata normalmente de fuentes de alimentación conmutada, cuya tensión de salida está superpuesta siempre con una ondulación en función de la frecuencia de conmutación. Para sensores de la velocidad angular de alta resolución, esta ondulación debe mantenerse muy reducida, para no acoplar señales de interferencia adicionales en el sistema. Esto es posible en el caso de la conexión directa del generador de alta tensión y el sensor, en general, sólo a través del empleo de frecuencias de conmutación muy altas. De esta manera, se eleva la necesidad de potencia de tal sistema.

30 El documento US 2009/0309613 A1 publica un sensor de aceleración-MEMS capacitivo con una barra móvil, un condensador diferencial con un electrodo móvil, que se mueve en respuesta a la desviación de la viga móvil y está dispuesto entre dos electrodos estacionarios así como un circuito de tensión, que aplica una primera tensión en el primer electrodo estacionario y una segunda tensión en el segundo electrodo estacionario así como una tercera tensión en el electrodo móvil.

35 El sensor de aceleración tiene, además, una instalación de supervisión para detectar la desviación de la barra móvil. Además, se supervisa la distancia entre el electrodo móvil y al menos uno de los electrodos estacionarios. Finalmente, el sensor de aceleración tiene un circuito reductor de la tensión, que está conectado con la instalación de supervisión, el electrodo móvil y los electrodos estacionarios. El circuito reductor de la tensión reduce la diferencia entre la tercera tensión y las tensiones en los electrodos estacionarios, cuando la instalación de supervisión detecta que la desviación de la barra móvil es mayor o igual a un valor umbral.

40 El cometido, en el que se basa la presente invención, consiste, por lo tanto, en indicar una disposición de circuito para una detección fiable de la señal de la velocidad angular y el accionamiento constante del sensor de la velocidad angular necesario para ello. La detección de la señal de la velocidad angular y el accionamiento de la masa debe posibilitarse en este caso con un consumo mínimo de energía.

45 Este cometido se soluciona por medio del objeto de las reivindicaciones independientes de la patente. Los desarrollos ventajosos de la presente invención son objeto de las reivindicaciones dependientes de la patente.

50 En este caso, la presente invención se basa en la idea de preparar para la generación de las fuerzas electroestáticas en un condensador diferencial la tensión continua alta necesaria y la porción alterna necesaria para la regulación por medio de componentes separados unos de los otros, de manera que el generador de alta tensión debe cargar en

condiciones ideales las capacidades del condensador diferencial y de los condensadores de bomba sólo durante el arranque a un potencial definido y no se carga ya en el modo duradero. En particular, la corriente dinámica para cargar o bien descargar las capacidades del condensador diferencial durante los procesos de conmutación de la oscilación en el modo duradero no es suministrada ya por el generador de alta tensión. En condiciones reales, aparecen evidentemente efectos parásitos y pérdidas.

Según la presente invención, se indica un circuito para controlar un estructura-MEMS capacitiva (estructura de sistema micro electro mecánico (llamada en el ámbito de habla alemana también a menudo con Estructura-MTS, estructura de técnica de microsistemas) con al menos un elemento oscilante excitable en un movimiento oscilante y con una unidad de excitación electroestática, que posee al menos una primera y una segunda conexiones de entrada. El circuito presenta un generador de alta tensión para generar una alta tensión a partir de una tensión de alimentación, pudiendo conectarse el generador de alta tensión con las dos conexiones de entrada, y al menos un primero y un segundo condensador de bomba para cargar la unidad de excitación electroestática, de manera que una conexión del primer condensador de bomba está conectada con el generador de alta tensión y se puede conectar con la primera conexión de entrada, y una primera conexión del segundo condensador de bomba está conectada con el generador de alta tensión y se puede conectar con la segunda conexión de entrada.

Una unidad de control está conectada para imprimir una señal alterna con segundas conexiones de cada condensador de bomba, y está previsto al menos un amplificador de la operación de baja tensión, que está conectado para la generación de una porción de corrección, que se superpone a la señal alterna, con la unidad de control. La porción de corrección se genera en función de por ejemplo una posición actual del elemento oscilante o de otra variable de ajusta adecuada. A través de esta porción de corrección se modifica la tensión en la segunda conexión de los condensadores de bomba, por ejemplo, a través de la porción continua adicional o también en su relación entre una duración de conexión y desconexión de acuerdo con una modulación del código del pulso.

La señal alterna comprende componente sinusoidales y tiene especialmente una curva de tiempo rectangular, pero también puede presentar cualquier otra curva adecuada.

De acuerdo con un desarrollo ventajoso de la presente invención, entre cada condensador de bomba y el generador de alta tensión está dispuesto, respectivamente, un diodo de bloqueo, de manera que su ánodo está conectado con el generador de alta tensión y su cátodo se puede conectar con las primeras y segundas conexiones de entrada. Estos diodos de bloqueo forman, además, con los condensadores de bomba, respectivamente, un filtro de paso bajo, de manera que se reduce el requerimiento de ondulación de la tensión de salida y, por lo tanto, también de la frecuencia de pulso de reloj del generador de alta tensión y se puede reducir más el consumo de potencia. Pero también se pueden utilizar transistores conectados de forma correspondiente.

Para posibilitar una regulación especialmente exacta en la utilización del circuito según la invención en una configuración con bucle de regulación cerrado, la unidad de control presenta una entrada para un pulso de reloj alimentado externo o interno.

Cuando la capacidad de los condensadores de bomba se seleccionan para que sea esencialmente mayor que la capacidad de la unidad de excitación electrostática, toda la fuerza electrostática depende, como se indica en la ecuación (5), de la alta tensión y de la señal alterna.

La presente invención se puede emplear de manera especialmente ventajosa para un sensor de la velocidad angular-Coriolis con un elemento oscilante primario excitable electroestáticamente y un elemento oscilante secundario excitable electrostáticamente. En este caso, el sensor de la velocidad angular-Coriolis puede presentar para el control del elemento oscilante primario y/o para la recuperación del elemento oscilante secundario un circuito de este tipo según la invención.

Un bucle de regulación para la activación del elemento oscilante primario excitable electroestáticamente comprende, por ejemplo, un bucle de regulación bloqueado de fases (phase locked loop, PLL), como se explica en el Artículo Northemann, T. et al.: "Drive and Sense Interface for Gyroscopes based on Bandpass Sigma-Delta Modulators", Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), Mayo 30 2010 - Junio 2 2010, 3264-3267, en particular con respecto a la figura 1 mostrada allí. De manera correspondiente, además, también (o alternativamente) el bucle de regulación para la recuperación del elemento oscilante secundario excitable electroestáticamente puede presentar un circuito según la presente invención y, además, puede comprender un filtro de pasabanda (o un filtro de paso bajo) un compensador de plomo. Pero el compensador de plomo puede ser también parte del filtro.

El sensor de la velocidad angular-Coriolis según la invención se puede fabricar de manera especialmente economizadora de espacio, a prueba de fallos y eficiente como microsistema integrado, estando fabricados los elementos oscilantes como componentes fabricados micromecánicamente integrados con al menos una parte de los elementos de circuito para la activación y evaluación.

La presente invención se refiere, además, a un procedimiento para la activación de una estructura-MEMS capacitiva con al menos un elemento oscilante excitable en un movimiento oscilante y con una unidad de excitación electroestática, que comprende, por ejemplo, al menos, una primera y una segunda capacidad acoplada, en el que el procedimiento presenta las siguientes etapas:

cargar, respectivamente, un electrodo positivo de un primero y un segundo condensador de bomba y un electrodo positivo de la unidad de excitación electroestática, por ejemplo de las dos capacidades acopladas, por medio de un generador de alta tensión;

aplicar una primera tensión alterna en el electrodo negativo del primer condensador de bomba y aplicar una segunda tensión alterna inversa a la primera tensión alterna en el electrodo negativo del segundo condensador de bomba;

superponer la primera y la segunda tensión alterna con una tensión de compensación, que depende de un valor real de la posición real del elemento oscilante o de otra variable de ajuste.

Las dos capacidades acopladas pueden estar acopladas especialmente diferenciales.

De manera ventajosa, se prepara la tensión de compensación desde un amplificador de operación de baja tensión. En el estado de funcionamiento estabilizado se realiza un intercambio de carga entre el primer condensador de bomba y la primera capacidad acoplada diferencial así como en el segundo compensador de bomba y la segunda capacidad acoplada diferencia sobre el control de una unidad de control.

Para la generación de una señal del valor real para el valor real de la posición real del elemento oscilante se pueden utilizar electrodos de medición separados, con lo que se puede elevar la exactitud de la medición.

Con la ayuda de las configuraciones ventajosas representadas en los dibujos adjuntos, se explica en detalle la presente invención. Los detalles similares o correspondientes del objeto de la invención están provistos con los mismos signos de referencia. Además, también características individuales o combinaciones de características de las formas de realización mostradas y descritas se presentan por sí mismas soluciones autónoma, inventivas o según la invención.

La figura 1 muestra representaciones de principio de una generación de fuerza electroestática capacitiva a) por medio de electrodos paralelos y b) por medio de actuadores de peine.

La figura 2 muestra una representación de principio de la actuación electroestática capacitiva diferencial de una masa m.

La figura 3 muestra un circuito para la activación de actuadores capacitivos por medio de amplificadores operativos de alta tensión.

La figura 4 muestra un circuito para la activación de actuadores capacitivos por medio de un generador de alta tensión regulada conectado directamente con el actuador.

La figura 5 muestra una representación esquemática de un sistema sensor de la velocidad angular basado en el efecto-Coriolis.

La figura 6 muestra un circuito para la activación de actuadores capacitivos por medio de un generador de alta tensión, un amplificador de operación de baja tensión y dos condensadores de bomba.

La invención se explica en detalle a continuación con referencia a las figuras. En este caso, la figura 5 muestra en representación esquemática un sensor-Coriolis, que comprende, por una parte, un bucle de regulación para la masa primaria 102 y, por otra parte, un bucle de regulación para la recuperación de la masa secundaria 104 (las masas primaria y secundaria 102, 104 están simbolizadas aquí por su comportamiento de pasabanda). Tanto para el bucle de regulación 106 de la masa primaria como también para el bucle de regulación 108 de la masa secundaria, para la activación o bien recuperación de las masas oscilante 102, 104 se puede emplear un circuito de activación según la presente invención. Además, la disposición de circuito de regulación especial del sensor-Coriolis puede estar configurada, por ejemplo, como en el Artículo ya mencionado Northemann, T. et al.: "Drive and Sense Interface for Gyroscopes based on Bandpass Sigma-Delta Modulators", Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), Mayo 30 2010 - Junio 2 2010, 3264-3267.

Aunque a continuación sólo se describe el entorno de aplicación de un sensor-Coriolis, el campo de aplicación no se limita sólo a sensores de la velocidad angular. Las invención encuentra aplicación también en el funcionamiento

fiable y de poca potencia de otros actuadores MEM electroestáticos capacitivos, como microespejos, sensores de aceleración y conmutadores microestructurados.

5 Como se representa en la figura 5, según la presente invención para el circuito de evaluación y de accionamiento se emplea un bucle de regulación cerrado, en el que está contenido, respectivamente, un circuito para la generación de fuerza electroestática capacitiva, como principio de la estructura. En este caso, el accionamiento de la estructura mecánica así como la compensación de una señal de la velocidad angular aparecida se puede aplicar de manera muy eficiente de energía con la ayuda de la invención.

10 Para generar con gasto de fuerza mínimo las tensiones V_{DC} y $V_{AC}(t)$ para la generación de las fuerzas electrostáticas $F_{es1,2}$, se carga, como se representa en la figura 6, respectivamente, un lado (el electrodo cargado positivo) de los condensadores de bomba C_{FC1} , C_{FC2} y de las capacidades de accionamiento diferenciales C_{FB1} , C_{FB2} a través de un generador de alta tensión 110 silencioso, regulado con exactitud, accionado en reacoplamiento, sobre la tensión continua V_{DC} , V_{AC} .

15 Por medio de un amplificador de la operación (OPV) 112 alimentado con una baja tensión V_{DD} y una unidad de control 114 se aplica en el electrodo negativo de los condensadores de bomba C_{FC1} , C_{FC2} la tensión $V_{AC} \pm V_{AC}(t)$. Las capacidades C_{FC1} , C_{FC2} son accionadas, por lo tanto, como condensadores de bomba. De esta manera, se intercambia la carga entre los condensadores de bomba C_{FC1} , C_{FC2} y las capacidades de accionamiento diferenciales C_{FB1} , C_{FB2} controlada a través de la unidad de control 114.

20

Resulta para $C_{FG1} \gg C_{FB1}$ y $C_{FG2} \gg C_{FB2}$ en los electrodos positivos de los condensadores de bomba C_{FC1} , C_{FC2} y las capacidades de accionamiento diferenciales C_{FB1} , C_{FB2} aproximadamente la tensión $V_{DC} \pm V_{AC}(t)$ y la fuerza $F_{es,tot}$ según la ecuación (5).

25

Además, están previstos dos diodos D_1 , D_2 que sirven como bloqueo de reflujo y, además, forman junto con las capacidades $C_{FC1,2}$ un filtro de paso bajo para la tensión de salida del generador de alta tensión $V_{DD,HV}$. Los diodos D_1 , D_2 están conectados, respectivamente, con su conexión de ánodo con el generador de alta tensión 110 y con su conexión de cátodo, respectivamente, con uno de los condensadores de bomba C_{FC1} , C_{FC2} . De manera alternativa, se pueden utilizar también en este lugar transistores.

30

La idea, en la que se basa la invención, es la utilización de un amplificador de operación 112 de baja tensión en combinación con condensadores de bomba C_{FC1} , C_{FC2} para la generación de señales de alta tensión exactamente definidas para la generación exacta de fuerzas electroestáticas capacitivas. El generador de alta tensión 110 empleado debe cargar en condiciones ideales y para movimientos pequeños de la masa m los condensadores de bomba C_{FC1} , C_{FC2} y las capacidades de accionamiento diferenciales C_{FB1} , C_{FB2} sólo una vez a un potencial definido y no se carga ya a continuación.

35

En particular, el generador de alta tensión 110 en el circuito según la figura 6 no tiene que suministrar ya la corriente dinámica para cargar o descargar las capacidades de accionamiento C_{FB1} , C_{FB2} durante los procesos de conmutación de la tensión $V_{AC}(t)$. De esta manera, la potencia necesaria en el estado estabilizado es extremadamente reducida.

40

Puesto que los diodos D_1 , D_2 forman con los condensadores de bomba C_{FC1} , C_{FC2} un filtro de paso bajo, se reduce, además, el requerimiento de la ondulación de la tensión de salida y, por lo tanto, también de la frecuencia de pulso de reloj del generador de alta tensión y se puede reducir más el consumo de potencia. Además, se reduce la necesidad de potencia del amplificador de operación 112 a través del funcionamiento con tensión más baja en comparación con la variante con dos amplificadores de operación de alta tensión.

45

Debido a la demanda cada vez mayor de sensores inerciales especialmente en el campo de los sensores inerciales móviles, no son insignificantes las ventajas de la invención con respecto a un consumo de potencia reducido.

50

REIVINDICACIONES

- 1.- Circuito para controlar una estructura-MEMS capacitiva con al menos un elemento oscilante (102, 104) excitable a un movimiento oscilante y con una unidad de excitación (C_{FB1} , C_{FB2}) electroestática, que posee al menos una primera y una segunda conexión de entrada, en el que el circuito presenta:
- 5 un generador de alta tensión (110) para la generación de una alta tensión a partir de una tensión de alimentación, en el que el generador de alta tensión (110) se puede conectar con las dos conexiones de entrada,
- 10 al menos un primero y un segundo condensador de bomba (C_{FC1} , C_{FC2}) para cargar la unidad de excitación electroestática (C_{FB1} , C_{FB2}), en el que una primera conexión del primer condensador de bomba está conectada con el generador de alta tensión y se puede conectar con la primera conexión de entrada, y una segunda conexión del segundo condensador de bomba está conectada con el generador de alta tensión (110) y se puede conectar con la segunda conexión de entrada,
- 15 una unidad de control (114), que está conectada para la impresión de una señal alterna con dos conexiones de cada condensador de bomba (C_{FC1} , C_{FC2}), y
- 20 caracterizado por al menos un amplificador de operación de baja tensión (112), que está conectado para la generación de una porción de corrección de la señal alterna con la unidad de control.
2. Circuito según la reivindicación 1, en el que entre cada condensador de bomba (C_{FC1} , C_{FC2}) y el generador de alta tensión (110) está dispuesto, respectivamente un diodo de bloqueo (D_1 , D_2), de manera que su ánodo está conectado con el generador de alta tensión y su cátodo está conectado con la primera y segunda conexiones de entrada.
- 25 3.- Circuito según la reivindicación 1 ó 2, en el que la señal alterna tiene una curva de tiempo rectangular o sinusoidal.
- 30 4.- Circuito según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la unidad de control (114) presenta una entrada para un pulso de reloj alimentado interno o externo.
- 5.- Circuito según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el amplificador de operación de baja tensión (112) presenta un factor de reacoplamiento k regulable.
- 35 6.- Circuito según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la capacidad de los condensadores de bomba (C_{FC1} , C_{FC2}) es esencialmente mayor que la capacidad de la unidad de excitación electroestática (C_{FB1} , C_{FB2}).
- 40 7.- Sensor de velocidad angular-Coriolis con un elemento oscilante primario (102) excitable electrostáticamente y un elemento oscilante secundario (104) excitable electrostáticamente, en el que el sensor de velocidad angular-Coriolis presenta para la activación del elemento oscilante primario y para la recuperación del elemento oscilante secundario un circuito según una de las reivindicaciones anteriores.
- 45 8.- Sensor de velocidad angular-Coriolis según la reivindicación 7, en el que un bucle de regulación para la activación del elemento oscilante primario excitable electrostáticamente un bucle de regulación de fases (phase locked loop, PLL).
- 50 9.- Sensor de velocidad angular-Coriolis según la reivindicación 7 u 8, en el que un bucle de regulación para la recuperación del elemento oscilante secundario excitable electrostáticamente comprende un filtro pasabanda o filtro de paso bajo y un compensador de plomo.
- 55 10.- Sensor de velocidad angular-Coriolis según una de las reivindicaciones 7 a 9, en el que los elementos oscilantes están fabricados como componentes fabricados micromecánicamente integrados con al menos una parte de los elementos de circuito para la activación y evaluación.
- 60 11.- Procedimiento para controlar una estructura-MEMS capacitiva con al menos un elemento oscilante excitable para un movimiento oscilante y con una unidad de excitación electroestática, que comprende una unidad de excitación electroestática, con preferencia al menos una primera y una segunda capacidad acoplada, en el que al procedimiento presenta las siguientes etapas:
- cargar, respectivamente, un electrodo positivo de un primero y un segundo condensador de bomba y un electrodo positivo de la unidad de excitación electroestática, por ejemplo de las dos capacidades acopladas, por medio de un generador de alta tensión;

aplicar una primera tensión alterna en el electrodo negativo del primer condensador de bomba y aplicar una segunda tensión alterna inversa a la primera tensión alterna en el electrodo negativo del segundo condensador de bomba;

5 caracterizado por superponer la primera y la segunda tensión alterna con una tensión de compensación, que depende de un valor real de la posición real del elemento oscilante o de otra variable de ajuste.

10 12.- Procedimiento según la reivindicación 11, en el que la tensión de compensación es acondicionada por un amplificador de operación de baja tensión.

10 13.- Procedimiento según la reivindicación 11 ó 12, en el que en un estado estabilizado se realiza un intercambio de carga entre un primer condensador de bomba y la primera capacidad acoplada así como entre el segundo condensador de bomba y la segunda capacidad acoplada a través del control de una unidad de control.

15 14.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 a 13, en el que para la generación de una señal del valor real para el valor real de la posición real del elemento oscilante se utilizan electrodos de medición separados.

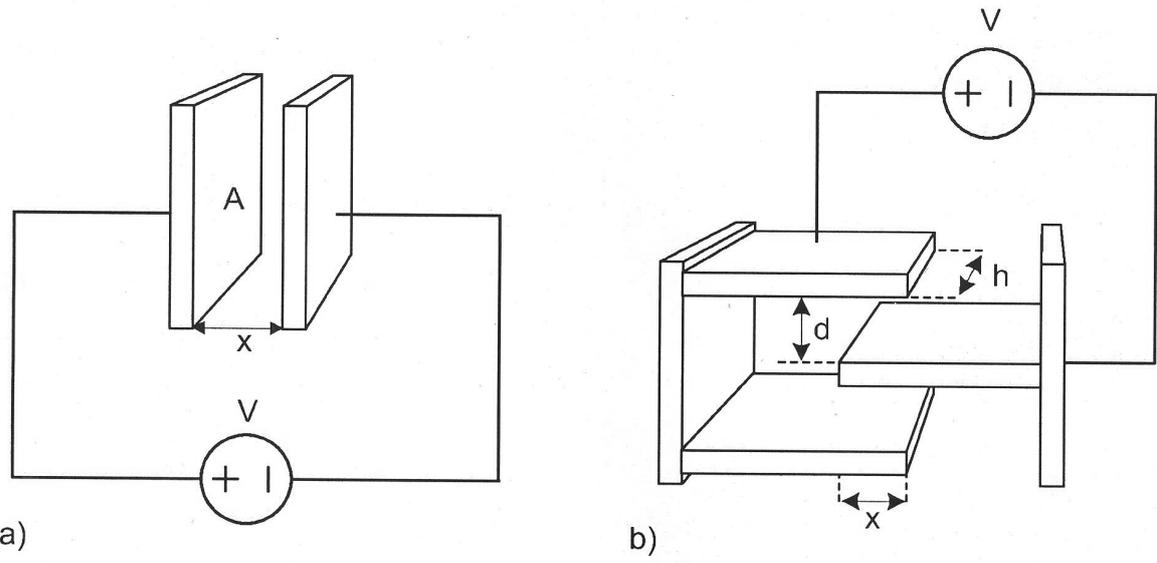


FIGURA 1

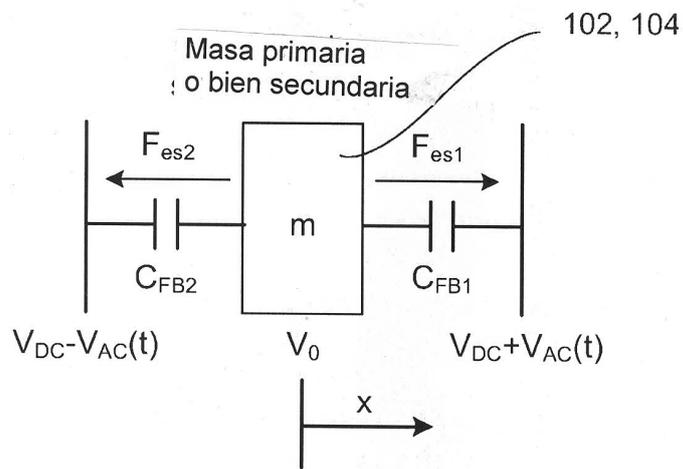


FIGURA 2

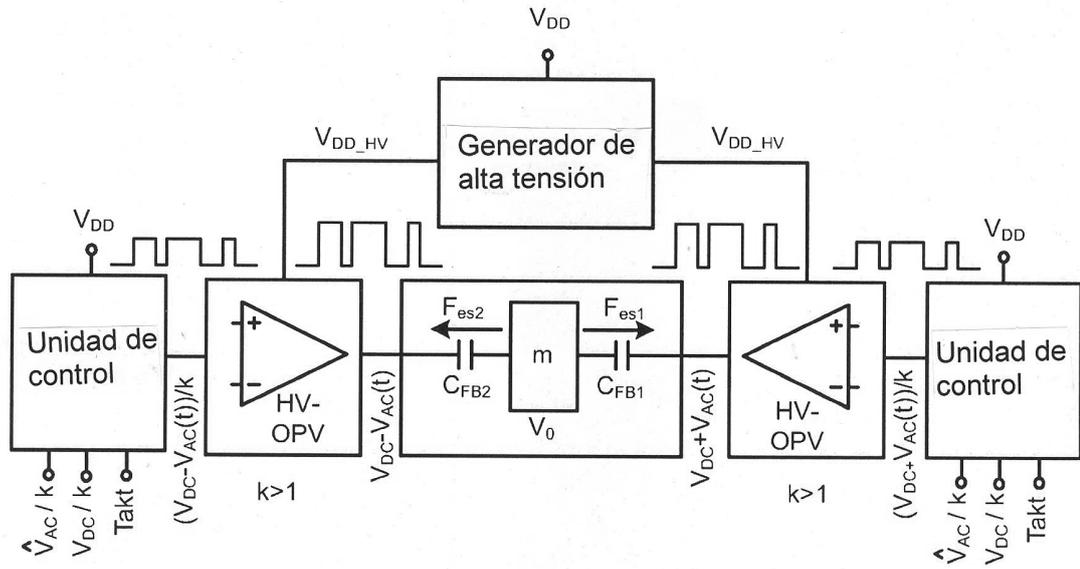


FIGURA 3

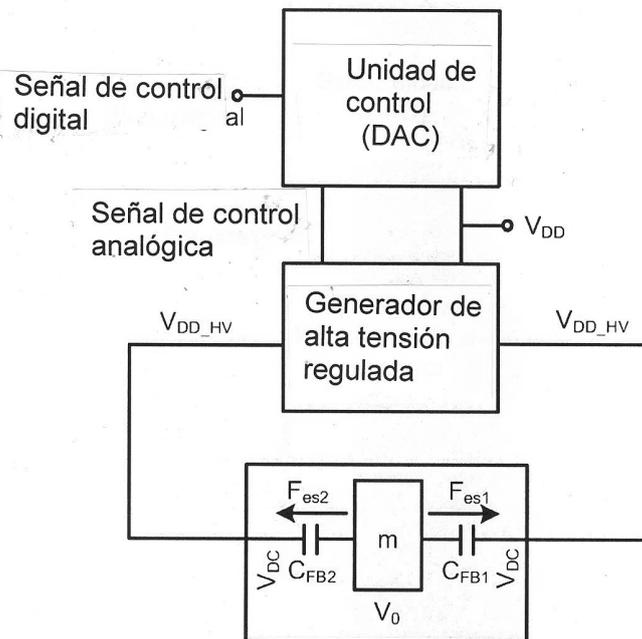


FIGURA 4

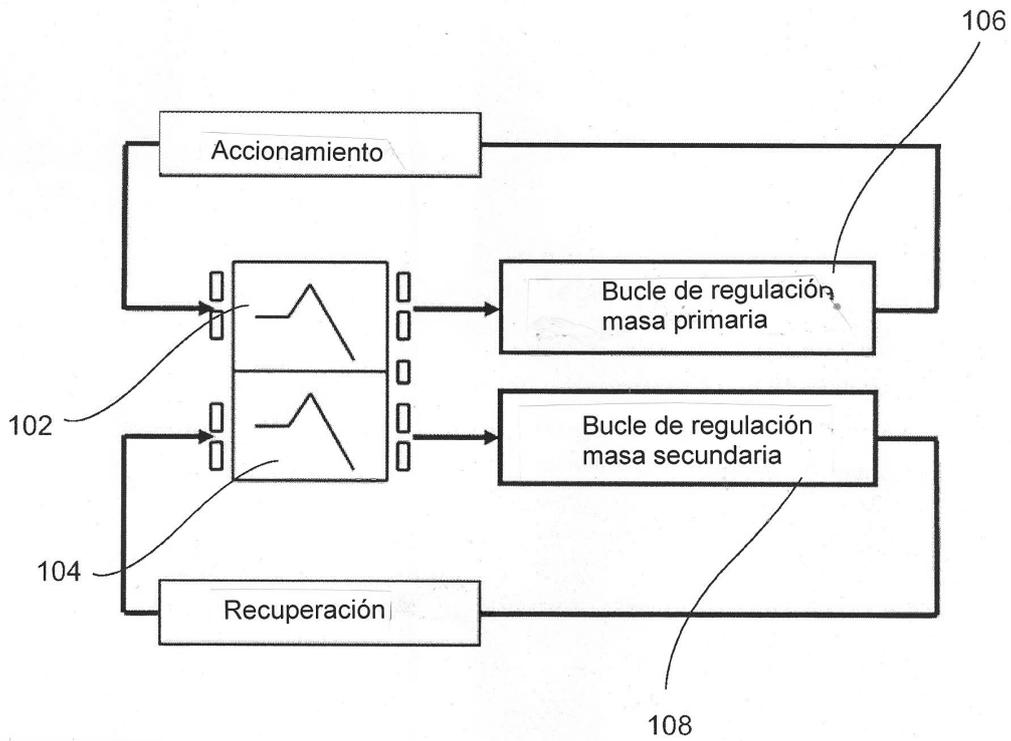


FIGURA 5

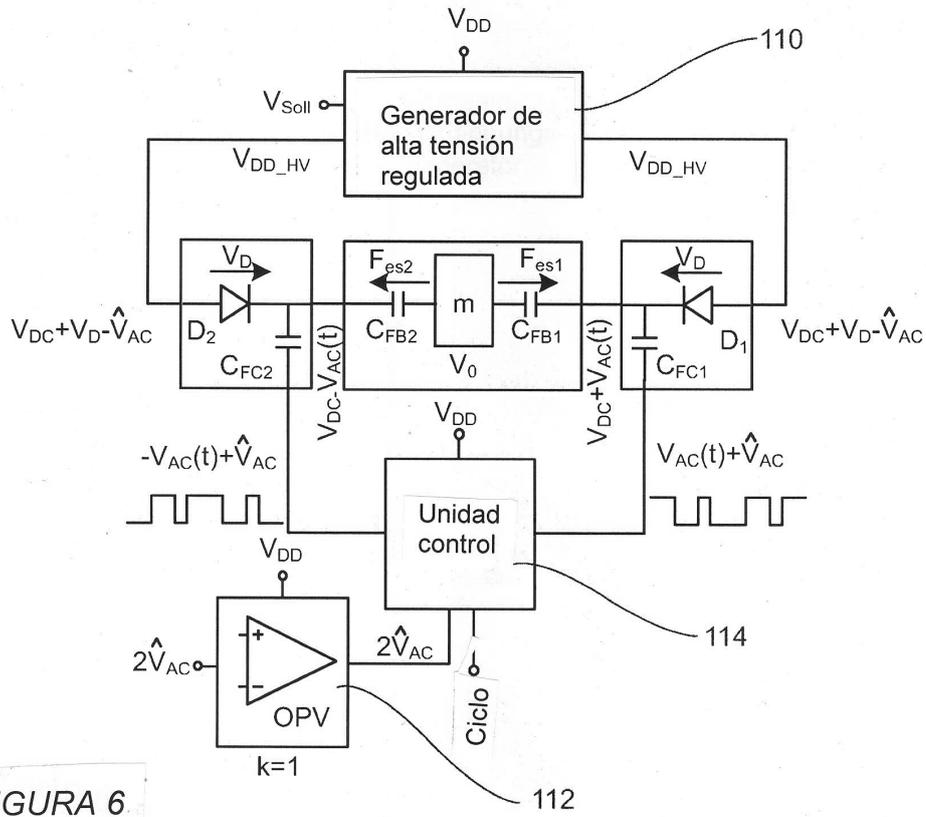


FIGURA 6