

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 779 991**

51 Int. Cl.:

G01P 15/135 (2006.01)

H01H 35/14 (2006.01)

G01P 15/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.04.2017 PCT/FR2017/050803**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.10.2017 WO17178732**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.04.2017 E 17720548 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.01.2020 EP 3443361**

54 Título: **Acelerómetro de baja potencia**

30 Prioridad:

12.04.2016 FR 1653228

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

21.08.2020

73 Titular/es:

**DELORME, NICOLAS, PIERRE (50.0%)
4 Bd Maréchal Foch
38000 Grenoble, FR y
SAIAS, DANIEL (50.0%)**

72 Inventor/es:

**DELORME, NICOLAS, PIERRE y
SAIAS, DANIEL**

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 779 991 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

Acelerómetro de baja potencia

5 Campo

La invención se refiere a acelerómetros, y más específicamente a acelerómetros fabricados con tecnología MEMS.

Antecedentes de la Invención

10

Los acelerómetros MEMS típicamente usan masas de prueba cuyo desplazamiento se mide por efecto capacitivo. Para medir una capacitancia, a menudo se usan componentes analógicos que funcionan a una frecuencia alta. Dichos componentes consumen una potencia significativa. El consumo de energía de los componentes analógicos en un acelerómetro MEMS puede representar más del 80 % del consumo total.

15

El artículo describe un acelerómetro MEMS que produce una salida binaria, que incluye tantas masas de prueba como bits a producir. Cada masa de prueba está suspendida de una pared fija por un resorte y está asociada con un tope que la masa de prueba contacta cuando la aceleración es suficiente. El tope y la masa de prueba están recubiertos de metal, de manera que la presión de la masa de prueba sobre el tope cierra un contacto eléctrico para representar un "1" binario.

20

Las masas de prueba tienen el mismo peso y las constantes de rigidez de los resortes siguen una progresión geométrica de relación 2. Con esta configuración, una masa de prueba determinada alcanza su tope respectivo bajo una aceleración dos veces mayor que la masa de prueba anterior para alcanzar su tope respectivo. Para hacer que el código proporcionado sea binario, el artículo propone asociar actuadores electrostáticos a las masas de prueba, controladas para levantar cada masa de prueba desde su tope respectivo cuando una masa de prueba de rango superior alcanza su tope respectivo.

25

Dicho acelerómetro binario, aunque no utiliza componentes analógicos para explotar la señal, requiere algo de energía eléctrica para controlar los actuadores. Además, es difícil dimensionar los actuadores y producir resortes con tecnología MEMS que tengan rigideces suficientemente precisas después de una progresión geométrica.

30

Breve Descripción de la Invención

35

Generalmente se proporciona un acelerómetro que comprende una pluralidad de masas de prueba móviles a lo largo de un eje de medición; un resorte respectivo unido a cada masa de prueba, configurado para ejercer un retorno elástico sobre la masa de prueba a lo largo del eje de medición; un tope fijo asociado con cada masa de prueba, dispuesto para interceptar la masa de prueba cuando la aceleración a lo largo del eje de medición aumenta en un paso; y un contacto eléctrico asociado con cada tope, configurado para cerrarse cuando la masa de prueba asociada alcanza el tope. Las masas de prueba están suspendidas una con respecto a la otra por los resortes, en serie a lo largo del eje de medición, y los topes están configurados para interceptar sucesivamente las respectivas masas de prueba para aumentar los umbrales de aceleración.

40

Cada una de las primeras y últimas masas de prueba de la serie puede estar suspendida en un punto fijo por un resorte.

45

Los topes se pueden organizar para interceptar alternativamente una masa de prueba de rango que disminuye a partir del último rango de la serie y una masa de prueba de rango que aumenta a partir del primer rango de la serie.

50

El acelerómetro puede comprender dos topes por masa de prueba, uno de los dos topes está dispuesto para interceptar la masa de prueba en una primera dirección de desplazamiento a lo largo del eje de medición, y el segundo tope está dispuesto para interceptar la masa de prueba en la dirección opuesta de desplazamiento.

55

El acelerómetro puede comprender un par de topes para cada masa de prueba, estando dispuestos los dos topes del par en los extremos opuestos de la masa de prueba transversalmente al eje de medición.

Cada masa de prueba y sus dos topes pueden configurarse para cerrar el contacto eléctrico respectivo cuando la masa de prueba descansa simultáneamente en los dos topes.

60

Los dos topes de un par asociado con una masa de prueba pueden, por el contrario, estar desplazados entre sí a lo largo del eje de medición.

Las masas de prueba pueden tener el mismo peso y los resortes tienen la misma rigidez constante.

65

Las masas de prueba y los resortes pueden estar hechos íntegramente de silicio, las masas de prueba tienen un factor de forma alargado transversalmente al eje de medición, y los resortes son resortes de hoja transversales al eje de medición.

Breve descripción de los dibujos

Otras ventajas y características se harán más evidentes a partir de la siguiente descripción de modalidades particulares de la invención proporcionadas únicamente con fines ilustrativos y representadas en los dibujos adjuntos, en los que:

- Las Figuras 1A a 1D son diagramas esquemáticos de una primera modalidad de un acelerómetro de código unario, en configuraciones que resultan de diferentes valores de aceleración;
- Las Figuras 2A a 2D son diagramas esquemáticos de una segunda modalidad de un acelerómetro de código unario, en configuraciones que resultan de diferentes valores de aceleración;
- La Figura 3 representa a escala una modalidad detallada de un acelerómetro de código unario de acuerdo con el principio de las Figuras 2A a 2D, producido con tecnología MEMS;
- La Figura 4 es un gráfico que ilustra la respuesta del acelerómetro de la Figura 3 para dos series de separaciones de los topes; y
- Las Figuras 5A a 5D son diagramas esquemáticos de un acelerómetro de código unario alternativo, en configuraciones que resultan de diferentes valores de aceleración.

Descripción de las modalidades

Se busca en la presente descripción lograr un acelerómetro que proporcione, como el del artículo antes mencionado de Varun Kumar, mediciones de aceleración discretas a través de los estados de los interruptores mecánicos. Se desea además que el acelerómetro sea completamente pasivo y presente pocas dificultades de diseño para proporcionar una medición confiable.

La Figura 1A es un diagrama operativo de una primera modalidad de dicho acelerómetro, en una posición de reposo, es decir, bajo aceleración cero indicada 0g. Comprende varias masas de prueba, aquí cuatro, M1 a M4, suspendidas entre sí en serie a lo largo del eje de la aceleración a medir, aquí el eje norte-sur. Cada masa de prueba está suspendida de la anterior por un resorte respectivo K1 a K4, estando suspendida la primera masa de prueba M1 desde un punto fijo A por el resorte K1.

Cada masa de prueba M_i está asociada con un tope conductor Sia dispuesto para interceptar la masa de prueba en una dirección de desplazamiento a lo largo del eje de medición, aquí hacia el sur. Dado que las masas de prueba son libres de girar, se prefiere proporcionar un par de topes Sia, Sib para cada masa de prueba, a cada lado del eje de medición, que eviten que la masa de prueba gire.

Los dos topes conductores Sia y Sib asociados con una masa de prueba M_i forman dos terminales de un interruptor mecánico. La masa de prueba M_i incluye una zona conductora 10 opuesta a los topes, que conecta eléctricamente los dos topes cuando la masa de prueba descansa sobre ellos. Como se muestra, los topes Sia pueden ser alimentados por un voltaje común Vdd correspondiente, por ejemplo, al nivel lógico "1". Los topes Sib luego forman terminales desde los cuales se toma el nivel de aceleración de acuerdo con un código unario. El código unario puede ser lineal u otro dependiendo de la elección de las separaciones de los topes en relación con las posiciones de descanso de las masas de prueba.

Las masas de prueba pueden tener el mismo peso m y los resortes la misma rigidez constante k . Suponiendo que $mg/k = 1$, un resorte K se extiende en 1 para una aceleración de 1g (donde g es la constante gravitacional). Un ejemplo de separaciones para los topes S1a a S4a se indica en la Figura 1A, concretamente 4, 10, 16 y 20, que proporcionan en estas condiciones un código unario lineal para una aceleración de 0 a 4g.

La Figura 1B ilustra la configuración del acelerómetro sometido a una aceleración de 1 g hacia el sur. Los resortes K1 a K4 se extienden en 4, 3, 2 y 1 respectivamente. La masa de prueba M1 se detiene en los topes S1a y S1b, cerrando el interruptor correspondiente, que se ilustra con topes en negro. El acelerómetro indica una aceleración de 1g por el código unario 0001 tomado de los topes S1b a S4b.

La Figura 1C ilustra la configuración del acelerómetro sometido a una aceleración de 2g hacia el sur. Al bloquearse la masa de prueba M1, el resorte K1 ya no se extiende. Los resortes K2 a K4 continúan extendiéndose y sus alargamientos alcanzan respectivamente 6, 4 y 2. La masa de prueba M2 se detiene en los topes S2a y S2b, cerrando el interruptor correspondiente. El acelerómetro indica una aceleración de 2g por el código unario 0011 tomado de los topes S1b a S4b.

La Figura 1D ilustra la configuración del acelerómetro sometido a una aceleración de 3g hacia el sur. Al bloquearse las masas de prueba M1 y M2, los resortes K1 y K2 ya no se extienden. Los resortes K3 y K4 continúan extendiéndose y sus alargamientos alcanzan respectivamente 6 y 3. La masa de prueba M3 se detiene en los topes S3a y S3b, cerrando el interruptor correspondiente. El acelerómetro indica una aceleración de 3g por el código unario 0111 tomado de los topes S1b a S4b.

Cuando el acelerómetro se somete a 4g, la última masa de prueba M4 se detiene en los topes S4a y S4b, y el resorte K4 alcanza un alargamiento de 4. El código unario muestra 1111.

El alargamiento total del sistema es 20, correspondiente a la separación entre el último par de topes S4a, S4b y la posición de reposo de la última masa de prueba M4.

5 La Figura 2A es un diagrama de operación de una segunda modalidad de un acelerómetro de código unario adecuado para medir aceleraciones que pueden estar en ambas direcciones a lo largo del eje de medición. En comparación con la modalidad anterior, la última masa de prueba M4 está conectada a un punto fijo B por un resorte adicional K5 que puede tener la misma constante de rigidez que los otros resortes. Los puntos A y B definen el eje de medición de la aceleración, denotado AB. Por lo tanto, la estructura se comporta simétricamente con respecto a las dos direcciones de
10 aceleración, de A a B y de B a A.

Suponiendo nuevamente que $mg/k = 1$, se puede calcular que los alargamientos de los resortes bajo una aceleración de 1g son respectivamente 2, 1, 0, -1, -2 para los resortes K1 a K5. Un alargamiento negativo significa que el resorte está comprimido. En general, para un sistema con N masas de prueba y N+1 resortes, los alargamientos son $N/2$, $N/2 - 1$,
15 $N/2 - 2$, ... $N/2 - i$, ... $-N/2 + i$, ... $-N/2$.

La Figura 2B ilustra la configuración del acelerómetro sometido a una aceleración de 1g de A a B. Como se indicó anteriormente, los resortes K1 a K5 se extienden respectivamente en 2, 1, 0, -1, -2. Aquí se eligen las separaciones de los topes para que la última masa de prueba M4 se intercepte primero.
20

De hecho, los topes están configurados para interceptar alternativamente una masa de prueba de rango decreciente (a partir del último rango de la serie) y una masa de prueba de rango creciente (a partir del primer rango de la serie). Esta configuración limita el alargamiento de los resortes. La elección de la masa de prueba inicial (la última o la primera) es indiferente. Para producir el código unario, se reorganizan los rangos de los topes S1b a S4b. El código unario se toma en el orden de los terminales T1 a T4, que corresponden respectivamente a los topes S4b, S1b, S3b y S2b.
25

Por lo tanto, la masa de prueba M4 se detiene en los topes S4a y S4b, cerrando el interruptor correspondiente, que se ilustra con topes en negro. El acelerómetro indica una aceleración de 1g por el código unario 0001 tomado de los terminales T1 a T4. Los topes S4a y S4b tienen, por lo tanto, una separación de 2 con respecto a la posición de reposo de la masa de prueba M4.
30

La Figura 2C ilustra la configuración del acelerómetro sometido a una aceleración de 2g hacia el sur. Al bloquearse la masa de prueba M4, el resorte K5 ya no está operativo. El sistema ahora solo incluye 3 masas de prueba y 4 resortes. Los resortes K1 a K4 continúan funcionando y sus alargamientos alcanzan respectivamente 3,5, 1,5, -0,5 y -2,5. La masa de prueba M1 se detiene en los topes S1a y S1b, cerrando el interruptor correspondiente. El acelerómetro indica una aceleración de 2g por el código unario 0011 tomado de los terminales T1 a T4. Los topes S1a y S1b tienen, por lo tanto, una separación de 3,5 con respecto a la posición de reposo de la masa de prueba M1.
35

La Figura 2D ilustra la configuración del acelerómetro sometido a una aceleración de 3g hacia el sur. Al bloquearse las masas de prueba M1 y M4, los resortes K1 y K5 ya no se deforman. El sistema ahora solo incluye 2 masas de prueba y 3 resortes. Los resortes K2 a K4 continúan deformándose y sus alargamientos alcanzan respectivamente 2,5, -0,5 y -3,5. La masa de prueba M3 se detiene en los topes S3a y S3b, cerrando el interruptor correspondiente. El acelerómetro indica una aceleración de 3g por el código unario 0111 tomado de los terminales T1 a T4. Por lo tanto, los topes S3a y S3b tienen una separación de 5,5 con respecto a la posición de reposo de la masa de prueba M3.
40

Cuando el acelerómetro se somete a 4g, la masa de prueba M2 se detiene en los topes S2a y S2b, los resortes K2 y K3 alcanzan los respectivos alargamientos de 3 y -1. El código unario muestra 1111. Por lo tanto, los topes S2a y S2b tienen una separación de 6,5 con respecto a la posición de reposo de la masa de prueba M2.
45

Para medir una aceleración en la dirección opuesta (B a A), el sistema comprenderá un segundo conjunto de topes (no mostrados) simétricos al primer conjunto de topes, cooperando con los lados superiores de las masas de prueba. Los lados superiores de las masas de prueba pueden tener, como se muestra, una zona conductora 12.
50

Las masas de prueba sometidas al desplazamiento más grande son aquellas cercanas al centro, el desplazamiento máximo en este ejemplo es 6,5 para la masa de prueba M2.
55

Tal acelerómetro de código unario proporciona un estado representativo de la aceleración sin consumir corriente. El circuito operativo del acelerómetro, que puede ser completamente digital, está diseñado para aplicar un voltaje representativo del estado lógico "1" (por ejemplo, Vdd) a los topes conductores Sia y para recuperar los estados lógicos presentes en los terminales T1 a T4.
60

En el campo, el acelerómetro puede estar sujeto a impactos y componentes de aceleración fuera del eje que hacen que las masas de prueba reboten transitoriamente en los topes, causando un contacto eléctrico intermitente. El hecho de proporcionar dos topes por masa de prueba opera un prefiltrado de tales rebotes, en el sentido de que el estado 1 de un bit correspondiente se confirma solo si la masa de prueba descansa simultáneamente en ambos topes. El hecho de que
65

el código sea unario ofrece un filtrado adicional, ya que el código solo se confirma si todos los bits de menor rango están en 1.

La Figura 3 muestra a escala una modalidad detallada de un acelerómetro de código unario de acuerdo con el principio de la Figura 2A, producido con tecnología MEMS. Las masas de prueba y los resortes se graban en un sustrato de silicio utilizando una tecnología que permite la formación de zanjas y la eliminación de material debajo de la estructura grabada. La estructura grabada aquí comprende ocho masas de prueba M1 a M8 y nueve resortes K1 a K9, los resortes K1 y K9 conectan la estructura al sustrato fijo en A y B. En esta modalidad, las masas de prueba tienen un factor de forma alargado transversal al eje de medición AB. Los resortes son resortes transversales al eje de medición. Los pares de topes conductores están estructurados en las paredes del pozo que alberga las masas de prueba y los resortes. Se muestran dos conjuntos de pares de topes, a saber, un conjunto Sia, Sib (donde i varía de 1 a 8) que coopera con los lados inferiores de las masas de prueba y se utiliza para medir una aceleración de A a B, y un conjunto Si'a, Si'b que coopera con los lados superiores de las masas de prueba y se utiliza para medir una aceleración de B a A. Cada tope conductor es accesible individualmente mediante una almohadilla de contacto Cia, Cib, Ci'a o Ci'b.

Como un ejemplo, la estructura tiene un espesor de 50 micrómetros. Cada masa de prueba tiene un ancho de 800 micrómetros y una longitud de 10 micrómetros (en la dirección del eje de medición). Los resortes de hoja tienen una longitud de 350 micrómetros y un ancho de 1 micrómetro. Cada resorte comprende cuatro láminas en una configuración en serie paralela simétrica con respecto al eje AB. La Figura 3 se muestra a la escala de estas dimensiones.

Cuando se usa el sistema como se ilustra en las Figuras 2A a 2D, es decir, organizando los topes para interceptar alternativamente las masas de prueba superior e inferior, y suponiendo $mg/k = 1$, se obtiene la siguiente serie de separaciones normalizadas para los ocho pares de topes en el orden de los rangos 1 a 8:

7,5	18,5	29	35	33	24,5	13,5	4
-----	------	----	----	----	------	------	---

Estas separaciones se definen para incrementar el código unario en un paso por cada paso de aceleración de 1g, en otras palabras, para obtener un código unario lineal. En la estructura de silicio de la Figura 3, con las dimensiones indicadas, se pueden considerar las siguientes series de separaciones, en micrómetros. Estas separaciones se ilustran sustancialmente a escala en la Figura 3.

1,1	2,65	4,2	5,07	4,78	3,55	1,95	0,58
-----	------	-----	------	------	------	------	------

Con estos valores, proporcionales a los valores normalizados anteriores, se obtiene un código unario lineal en una escala de 0 a 10g. Cada valor del código unario corresponde a un paso de aceleración de 1,25g. Se recuerda que el código unario se forma en el orden de intercepción de las masas de prueba cuando aumenta la aceleración, aquí 8-1-7-2-6-3-5-4, que es diferente del orden de las posiciones de las masas de prueba (1 a 8).

La Figura 4 es un gráfico que ilustra la respuesta del acelerómetro de la Figura 3 para dos conjuntos de separaciones de los topes. La curva de respuesta de línea continua corresponde a las separaciones anteriores, proporcionando una respuesta lineal.

Sin embargo, las separaciones pueden ser definidas con cierta libertad por el diseñador, dependiendo del tipo de respuesta deseada o la resolución de la tecnología. La curva de línea punteada corresponde a las siguientes series lineales de separaciones (en micrómetros):

1	2	3	4	3,5	2,5	1,5	0,5
---	---	---	---	-----	-----	-----	-----

Estos valores proporcionan una respuesta no lineal, pero monotónica, sustancialmente en "S".

En las figuras anteriores, los dos topes de cada par están dispuestos a la misma distancia de la masa de prueba correspondiente, y solo si la masa de prueba descansa en ambos topes simultáneamente, se cierra el contacto eléctrico.

En las Figuras 5A a 5D, el segundo tope de cada par se desplaza con respecto al primero. El acelerómetro que se muestra, del tipo de la Figura 1B como un ejemplo, tiene solo dos masas de prueba.

En la Figura 5A, el acelerómetro se somete a una aceleración de 1g hacia el sur. Los resortes K1 y K2 se alargan respectivamente en 2 y 1. La masa de prueba M1 solo llega al tope S1a. Este contacto establece un primer valor del código unario. Por lo tanto, para detectar un contacto con un solo tope, el conjunto de resortes y masas de prueba puede ser conductor y someterse al voltaje Vdd, como se muestra. En el contexto de una tecnología MEMS, la estructura de silicio de las masas de prueba puede hacerse conductora por dopaje.

5 En la Figura 5B, el acelerómetro se somete a una aceleración de 2g. La masa de prueba M1 continúa su movimiento, girando alrededor de su punto de contacto en el tope S1a, por lo que su extremo libre se mueve dos veces más rápido que su centro. Los resortes K1 y K2 alcanzan alargamientos respectivos de 4 y 2. El tope S1b se coloca para ser alcanzado en esta configuración por el extremo móvil de la masa de prueba M1 y establece el segundo valor del código unario. Por lo tanto, el tope S1b se desplaza 4 hacia el sur en relación con el tope S1a.

10 En la Figura 5C, el acelerómetro se somete a una aceleración de 3g. La masa de prueba M1 está bloqueada, de manera que el resorte K1 ya no se extiende. El resorte K2 alcanza un alargamiento de 3. El tope S2a está dispuesto para ser alcanzado en esta configuración por la masa de prueba M2 y establecer el tercer valor del código unario.

15 En la Figura 5D, el acelerómetro se somete a una aceleración de 4g. La masa de prueba M2 continúa hacia el sur, girando alrededor de su punto de contacto en el tope S2a. El resorte K2 alcanza un alargamiento de 4. El tope S2b está dispuesto para ser alcanzado en esta configuración por el extremo móvil de la masa de prueba M2 y establece el cuarto valor del código unario. Por lo tanto, el tope S2b se desplaza hacia el sur en 2 en relación con el tope S2a.

20 Con esta configuración de acelerómetro, la resolución del código unario se duplica para un número dado de masas de prueba y resortes. La rotación de las masas de prueba se ha exagerado en las Figuras 5B a 5D, que son esquemáticas. Cuando se aplica esta disposición con topes desplazados en una estructura real, como la de la Figura 3, la rotación de las masas de prueba apenas se nota dado el factor de forma alargado de las masas de prueba y las pequeñas separaciones de los topes.

25 El hecho de que las masas de prueba y los resortes sean físicamente idénticos en los ejemplos descritos simplifica el diseño del acelerómetro y garantiza la reproducibilidad de la respuesta del acelerómetro en una producción en masa. De hecho, es más fácil, en un mismo dispositivo, producir elementos que tengan las mismas características (masa, constante de rigidez) que elementos que tengan que respetar una relación de características (relaciones 2 y 4 entre las constantes de rigidez en el artículo antes mencionado de Varun Kumar). Por supuesto, las masas de prueba y los resortes pueden tener características diferentes si esto satisface las necesidades del diseñador.

REIVINDICACIONES

1. Un acelerómetro que comprende:
- una pluralidad de masas de prueba (M1-M4) móviles a lo largo de un eje de medición (AB);
 - un resorte respectivo (K1-K4) unido a cada masa de prueba, configurado para ejercer un retorno elástico sobre la masa de prueba a lo largo del eje de medición;
 - un tope fijo (S1-S4) asociado con cada masa de prueba, dispuesto para interceptar la masa de prueba cuando la aceleración a lo largo del eje de medición aumenta en un paso; y
 - un contacto eléctrico asociado con cada tope, configurado para cerrarse cuando la masa de prueba asociada alcanza el tope;
- caracterizado porque las masas de prueba están suspendidas una con respecto a la otra por los resortes en serie a lo largo del eje de medición, estando dispuestos los topes para interceptar sucesivamente las respectivas masas de prueba para aumentar los umbrales de aceleración.
2. El acelerómetro de acuerdo con la reivindicación 1, en donde cada una de las primeras y últimas masas de prueba (M1, M4) de la serie está suspendida en un punto fijo (A, B) por un resorte (K1, K5).
3. El acelerómetro de acuerdo con la reivindicación 2, en donde los topes están dispuestos para interceptar alternativamente una masa de prueba de rango que disminuye a partir del último rango de la serie y una masa de prueba de rango que aumenta a partir del primer rango de la serie.
4. El acelerómetro de acuerdo con la reivindicación 2, que comprende dos topes (S1a, S8'a) por masa de prueba, estando dispuesto un primer tope de los dos topes para interceptar la masa de prueba en una primera dirección de desplazamiento a lo largo del eje de medición, y el segundo tope dispuesto para interceptar la masa de prueba en la dirección opuesta de desplazamiento.
5. El acelerómetro de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende un par de topes (S1a, S1b) para cada masa de prueba, estando dispuestos los dos topes del par en los extremos opuestos de la masa de prueba transversalmente al eje de medición.
6. El acelerómetro de acuerdo con la reivindicación 5, en donde cada masa de prueba y sus dos topes están configurados para cerrar el contacto eléctrico respectivo cuando la masa de prueba descansa simultáneamente en los dos topes.
7. El acelerómetro de acuerdo con la reivindicación 5, en donde los dos topes de un par asociado con una masa de prueba están desplazados entre sí a lo largo del eje de medición.
8. El acelerómetro de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las masas de prueba tienen el mismo peso (m) y los resortes tienen la misma constante de rigidez (k).
9. El acelerómetro de acuerdo con la reivindicación 2, en donde las masas de prueba y los resortes están hechos integralmente de silicio, las masas de prueba tienen un factor de forma alargado transversalmente al eje de medición, y los resortes son resortes de hoja transversales al eje de medición.

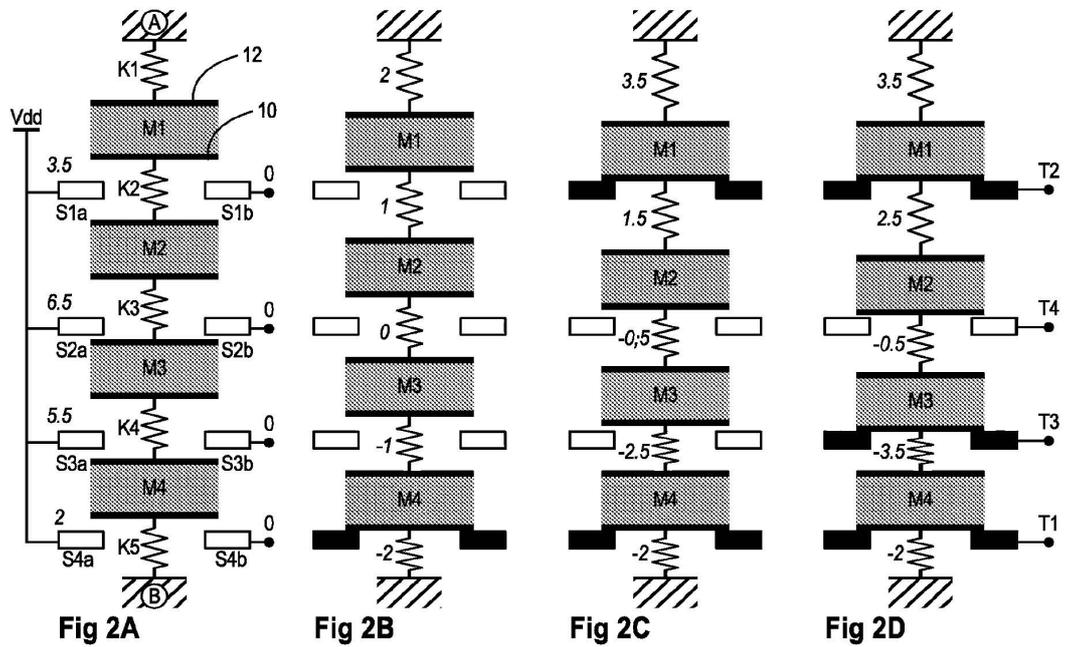
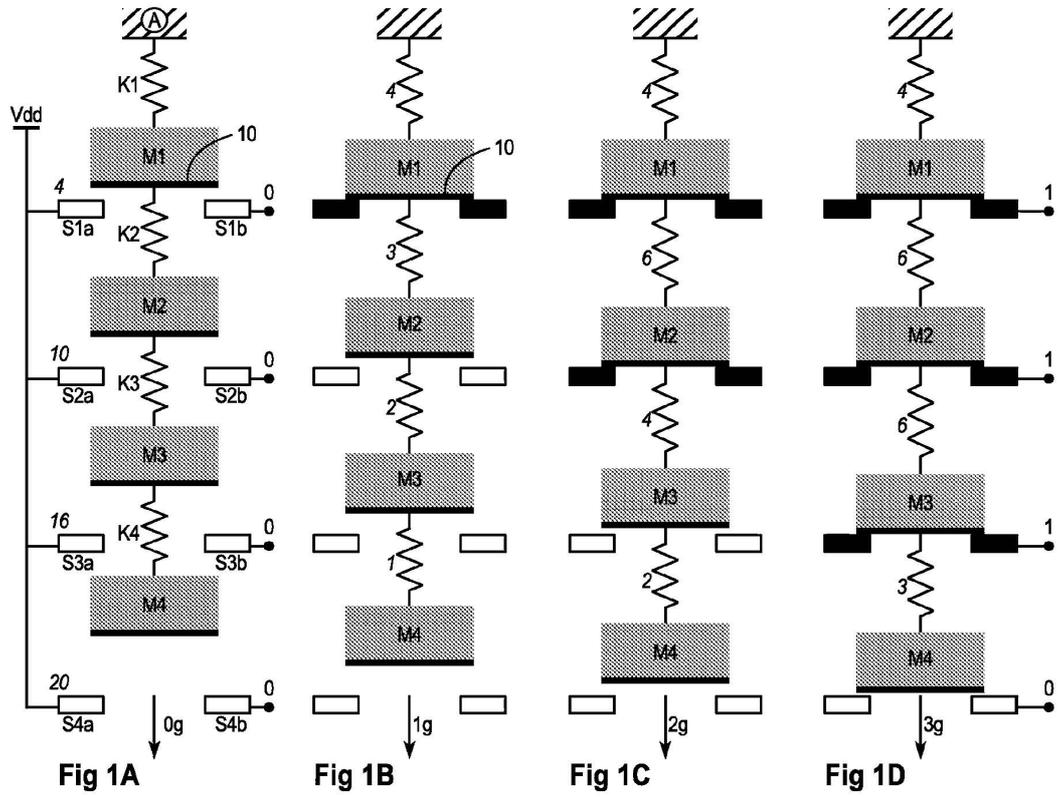
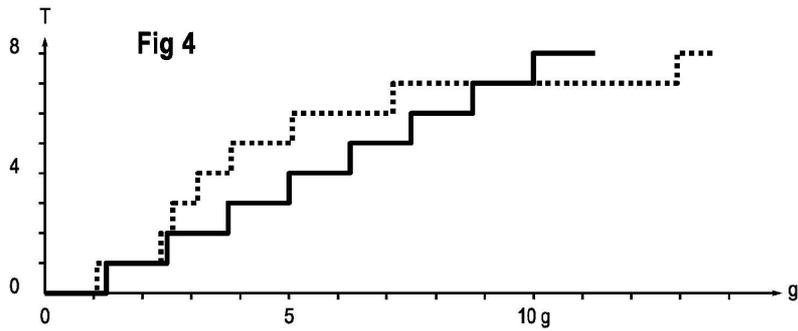
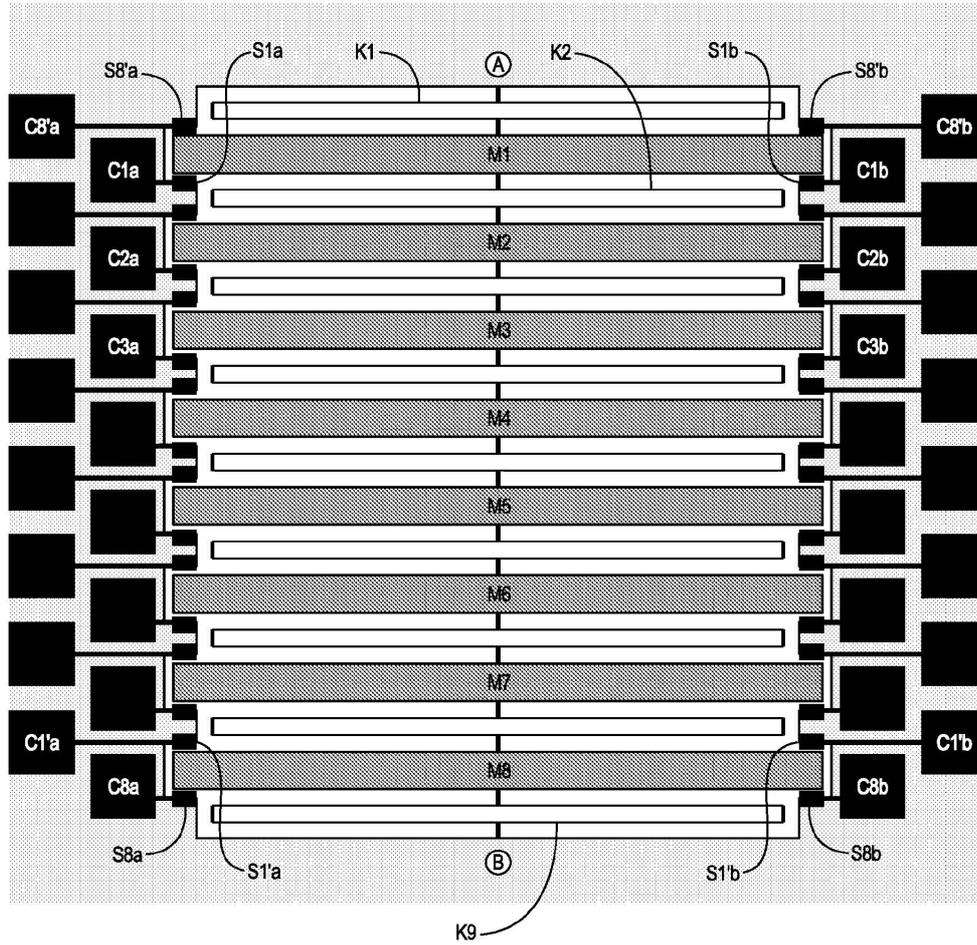


Fig 3



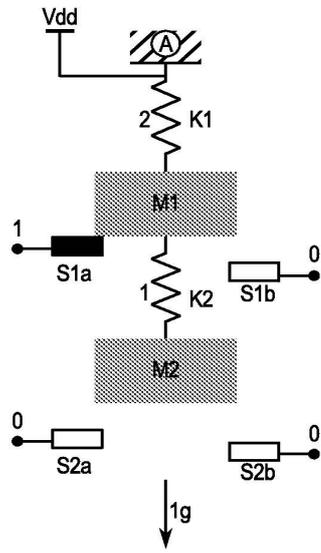


Fig 5A

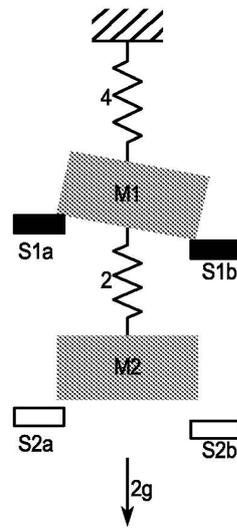


Fig 5B

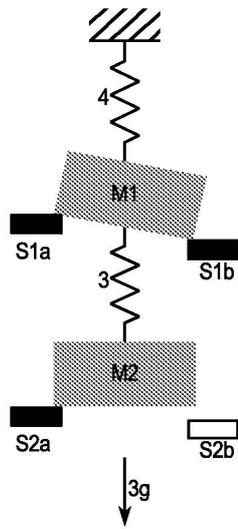


Fig 5C

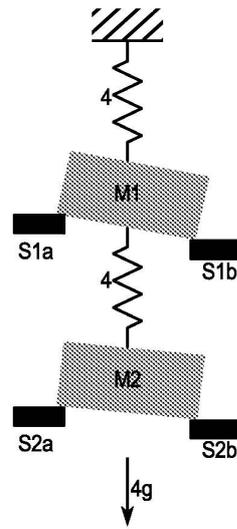


Fig 5D