

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 533 460**

51 Int. Cl.:

**H03M 3/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.09.2006 E 06805352 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.12.2014 EP 1929635**

54 Título: **Disposición de circuito y procedimiento para leer un sensor con un convertidor sigma-delta**

30 Prioridad:

**29.09.2005 DE 102005046699**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**10.04.2015**

73 Titular/es:

**ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG  
(100.0%)  
FAHNENBERGPLATZ  
79088 FREIBURG, DE**

72 Inventor/es:

**MANOLI, YIANNOS y  
BUHMANN, ALEXANDER**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 533 460 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**

Disposición de circuito y procedimiento para leer un sensor con un convertidor sigma-delta.

**Campo técnico de aplicación**

5 La presente invención concierne a una disposición de circuito para leer un sensor que comprende un convertidor sigma-delta con al menos un filtro de bucle, un cuantizador y al menos una rama de realimentación, en la que, en función de una magnitud de medida que actúa sobre el sensor, se varía una propiedad eléctrica mensurable del sensor y este sensor está conectado entre la rama de realimentación y el filtro de bucle de tal manera que las señales de realimentación del convertidor sigma-delta compensan en promedio temporal la acción de la magnitud de medida sobre el sensor. La invención concierne también a un procedimiento correspondiente para leer un sensor utilizando un convertidor sigma-delta.

10 La utilización de sensores juega hoy en día un gran papel en todos los sectores de la técnica. Un sector muy importante de la sensorica concierne a la medición de aceleraciones que actúan sobre un cuerpo. Un ejemplo conocido de esto son los sensores de aceleración de los airbags. Éstos miden la aceleración durante una colisión y suministran así el fundamento de decisión para el encendido de los airbags. Otro ejemplo es el sistema de navegación inercial (INS) que determina la posición y rotación de un objeto sobre la base de datos de aceleración y con ayuda de un GPS (GPS: Global Positioning System – sistema de posicionamiento global). En la vigilancia del transporte y en la llamada monitorización corporal son imprescindibles también los sensores de aceleración.

15 Los sensores de aceleración utilizan la acción de la aceleración sobre una masa de ensayo para la determinación de la aceleración. En este caso, la clase de los sensores de muelle-masa, en los que se determina la desviación de una masa de ensayo elásticamente suspendida, ocupa la mayor parte. La masa de ensayo representa aquí al menos una placa o electrodo de una disposición de condensador que se puede mover con relación a una o varias placas o electrodos estacionarios de la disposición de condensador. Una desviación de la masa de ensayo es captada aquí a través de una variación de la capacidad de esta disposición de condensador. Tales sensores de aceleración se realizan frecuentemente en el modo de construcción micromecánico, pudiendo materializarse los distintos electrodos de la disposición de condensador, por ejemplo, por medio de estructuras que encajan una en otra a manera de peines. Como clase conocida adicional de sensores de aceleración se pueden citar los sistemas que están sometidos a resonancia y que suministran como medida de aceleración una variación de la frecuencia de resonancia.

20 En los sistemas sensores comercialmente obtenibles, que aprovechan en general el principio de la desviación, se efectúa el procesamiento de datos en serie. El sensor convierte la magnitud a medir, casi siempre a través de una magnitud intermedia, en una señal eléctrica. La señal eléctrica es digitalizada después en un paso adicional. Sin embargo, se superponen así las faltas de idealidad de los sistemas individuales y las prestaciones totales del sistema son dominadas por el peor sistema individual.

25 Aparte de este procesamiento en serie, es conocido también por el sector de la investigación el recurso de integrar el sensor en el bucle de regulación de un convertidor sigma-delta. Se pueden mejorar así fuertemente las propiedades totales del sistema por ejemplo el ancho de banda de las señales. Un ejemplo de una disposición de circuito de esta clase lo muestran M. Lemkin et al. "A Three-Axis Micromachined Accelerometer with a CMOS Position-Sense Interface and Digital Offset-Trim Electronics", IEE Journal of Solid State Circuits, Vol. 34, No. 4, Abril de 1999, páginas 456-468. En la disposición de circuito de tipo genérico allí mostrada se utiliza un modulador sigma-delta discreto en tiempo. Los moduladores discretos en tiempo se pueden combinar de manera especialmente sencilla con sensores capacitivos, ya que trabajan con la llamada técnica de interruptor-condensador (técnica SC). En este caso, el sensor puede sustituir a una de las capacidades fijas existente de un modulador de esta clase. Mediante la realimentación activa en la disposición de circuito se consigue una linealización del sensor. La desviación de la masa de ensayo del sensor por la magnitud de medida es compensada en promedio por esta realimentación, de modo que el sensor, en el caso ideal, experimenta como señal de entrada una señal diferencia que va a desapareciendo. Por tanto, la señal de salida del convertidor sigma-delta representa en forma digitalizada una medida de la fuerza que es necesaria para impedir la desviación de la masa de ensayo por la aceleración actuante sobre ella.

30 SPINEANU A ET AL: "An electromechanical sigma-delta modulator for acceleration measuring systems", CIRCUITS AND SYSTEMS, 1997. ISCAS '97, PROCEEDINGS OF 1997 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HONG KONG, 9-12 DE JUNIO DE 1997, NUEVA YORK, NY, USA, IEEE, US, Vol. 4, 9 de junio de 1997 (09-06-1997), páginas 2765-2768, XP010236302 ISBN: 0-7803-3583-X, revelan una disposición de circuito para leer un sensor que comprende un convertidor sigma-delta con al menos un filtro de bucle, un cuantizador y una rama de realimentación, en la que, en función de una magnitud de medida que actúa sobre el sensor, se varía una propiedad eléctrica mensurable del sensor y este sensor está conectado entre la rama de realimentación y el filtro de bucle de tal manera que las señales de realimentación del convertidor sigma-delta compensan en promedio temporal la acción de la magnitud de medida sobre el sensor y el convertidor sigma-delta es un convertidor sigma-delta continuo

en tiempo.

El consumo de potencia representa un criterio importante al utilizar sistemas sensores. Así, es de gran importancia una disponibilidad lo más duradera posible sin aportación externa de energía precisamente en el sector móvil, por ejemplo en el uso en el sector de la monitorización temporal.

- 5 El problema de la presente invención consiste en indicar una disposición de circuito y un procedimiento para leer un sensor, especialmente un sensor capacitivo, que hagan posible un consumo de potencia reducido en comparación con soluciones conocidas.

**Exposición de la invención**

10 El problema se resuelve con la disposición de circuito y el procedimiento según las reivindicaciones 1 y 11. Ejecuciones ventajosas de la disposición de circuito y del procedimiento son objeto de las reivindicaciones subordinadas o pueden deducirse de la descripción siguiente y de los ejemplos de realización.

15 La presente disposición de circuito tiene de manera conocida un convertidor sigma-delta con al menos un filtro de bucle, un cuantizador y una rama de realimentación, en donde se varía una magnitud eléctrica mensurable del sensor en función de una magnitud de medida que actúa sobre el sensor. El sensor está conexasiónado entre la rama de realimentación y el filtro de bucle de tal manera las señales de realimentación del convertidor sigma-delta compensan en promedio temporal la acción de la magnitud de medida sobre el sensor. La presente disposición de circuito se caracteriza por que no se utiliza ningún convertidor sigma-delta discreto en tiempo, sino que se emplea un convertidor de este tipo continuo en tiempo. Debido a la utilización de un convertidor sigma-delta continuo en tiempo en la disposición de circuito es ciertamente necesaria una interfaz de evaluación adecuada entre el sensor y el filtro de bucle que convierta la propiedad eléctrica del sensor influenciada por la magnitud de medida en una señal de sensor eléctrica. Sin embargo, el consumo de potencia de los componentes eléctricos adicionales necesarios para esto es más que compensado por el reducido consumo de potencia del convertidor sigma-delta continuo en tiempo en comparación con una disposición de circuito dotada de un convertidor sigma-delta discreto en tiempo. Gracias al empleo de señales continuas en tiempo el amplificador operacional utilizado en el convertidor sigma-delta puede presentar un ancho de banda más pequeño en hasta un factor 10 que en el caso del empleo de señales discretas en tiempo, de lo que resulta un consumo de corriente más pequeño en hasta un factor 10. Esto conduce a un consumo de energía drásticamente reducido que constituye una considerable ventaja precisamente en el mercado fuertemente creciente de la sensórica móvil. Otra ventaja de la presente disposición de circuito y del procedimiento correspondiente consiste en que los convertidores sigma-delta continuos en tiempo poseen un filtro antiespurios implícito que filtra frecuencias por encima de la mitad de la frecuencia de las señales ( $f_s/2$ ). Esta propiedad reduce la complejidad del circuito, los costes y, además, el consumo de corriente necesario de una disposición de circuito de esta clase.

20 La presente disposición de circuito y el procedimiento correspondiente se pueden utilizar especialmente con sensores capacitivos, por ejemplo con sensores capacitivos de aceleración o de tasa de giro. Sin embargo, la disposición de circuito y el procedimiento son adecuados también para leer sensores que trabajen con otros principios de medida, en tanto la acción ejercida por la magnitud de medida sobre el sensor pueda ser compensada por una señal de realimentación eléctrica adecuada.

25 En la rama de realimentación de la presente disposición de circuito se utiliza un convertidor digital-analógico que convierte las señales de realimentación digitalizadas en señales de carga o tensión analógicas. En este caso, se puede tratar de un convertidor digital-analógico de 1 bit o de un convertidor digital-analógico multibit, por ejemplo un convertidor de 2-4 bits. La conversión multibit es adecuada para sensores que utilizan varias placas de condensador o electrodos para la compensación o la realimentación. Las dimensiones de las distintas placas del sensor tienen que ser aquí iguales para conseguir una realimentación lineal.

30 Gracias al empleo de filtros de bucle especiales se desplaza la frecuencia de resonancia prefijada por el sensor hacia frecuencias más altas o se la compensa completamente. El desplazamiento hacia frecuencias más altas se consigue por la porción integradora en los uno o varios filtros de bucle, especialmente por la gran amplificación del integrador para pequeñas frecuencias. Se amplía así el rango de señales utilizables del sensor para una regulación PI. De la misma manera, se puede materializar un regulador PID mediante una estructura de filtro adecuada. Gracias al empleo de una porción diferenciadora y una gran amplificación de bucle se puede compensar completamente en este caso la resonancia.

35 En una ejecución especialmente ventajosa de la presente disposición de circuito y del procedimiento correspondiente se utiliza un convertidor sigma-delta de paso de banda continuo en tiempo. Este convertidor reduce adicionalmente de manera significativa los requisitos impuestos a los amplificadores operacionales empleados. Gracias a una modulación de la señal de sensor obtenida del sensor hacia frecuencias más altas se pueden orillar las faltas de idealidad del convertidor sigma-delta o de sus componentes eléctricos. Las señales moduladas son filtradas por el convertidor sigma-delta de paso de banda. Para que funcione el sistema completo se tienen que mezclar y rebajar nuevamente las señales de realimentación hasta la frecuencia correcta para poder compensar la

señal de entrada del sensor. Se ha previsto para esto un mezclador adecuado en la rama de realimentación. La modulación hacia frecuencias más altas se efectúa automáticamente, en caso de uso de sensores capacitivos, cuando éstos sean leídos de manera conocida por aplicación de una tensión alterna adecuada.

- 5 En otra ejecución muy ventajosa de la disposición de circuito y del procedimiento se utiliza también un convertidor sigma-delta de paso de banda. En esta disposición se efectúa también una modulación de la señal de sensor hacia frecuencias más altas para las que es permeable el paso de banda. Sin embargo, las señales moduladas se mezclan y rebajan nuevamente mediante un submuestreo de Nyquist durante el proceso de exploración y se reduce así in situ la tasa de exploración. Se puede reducir con esto la potencia en el convertidor digital-analógico, en el convertidor analógico-digital y también en todo el dominio digital de la disposición de circuito, ya que estos componentes pueden trabajar a una frecuencia más baja. Con esta ejecución se reducen así el gasto técnico en el circuito y la absorción de potencia y, por tanto, se reduce una vez más claramente el consumo de potencia.

### Breve descripción de los dibujos

La presente disposición de circuito y el procedimiento correspondiente se explican a continuación una vez más brevemente con ayuda de ejemplos de realización en unión de los dibujos. Muestran en éstos:

- 15 La figura 1, esquemáticamente, un modelo de la presente disposición de circuito;  
 La figura 2, un ejemplo de un espectro utilizable de un sensor de aceleración en la presente disposición de circuito;  
 La figura 3, otro ejemplo para un espectro utilizable de un sensor de aceleración en el presente dispositivo;  
 La figura 4, dos ejemplos de un circuito de evaluación en la presente disposición de circuito;  
 La figura 5, dos ejemplos de la realimentación en la presente disposición de circuito;
- 20 La figura 6, una representación para ilustrar el modo de funcionamiento de la presente disposición de circuito con un convertidor sigma-delta de paso de banda; y  
 La figura 7, un ejemplo de la supresión de señales no deseadas utilizando un convertidor sigma-delta de paso de banda con submuestreo de Nyquist en la presente disposición de circuito.

### Modos de realización de la invención

- 25 La figura 1 muestra a título de ejemplo un modelo de un convertidor sigma-delta de 1 bit, en el que está conectado un sensor de aceleración capacitivo 1 entre la rama de realimentación y el filtro de bucle o integrador. El sensor 1 presenta de manera conocida una masa de ensayo elásticamente suspendida que varía su posición bajo una fuerza actuante  $F_{IN}$  y conduce así a una variación de la capacidad del sensor 1. La señal de sensor eléctrica es generada por un circuito de evaluación 2 que convierte la desviación de la masa de ensayo en una señal de tensión adecuada.
- 30 Gracias a la porción integradora en la estructura de filtro 3 del convertidor sigma-delta continuo en tiempo se efectúa un desplazamiento de la señal de sensor hacia frecuencias más altas. La señal es digitalizada a través del cuantizador 4 y suministrada en la salida como una palabra digital. Gracias a la realimentación a través del convertidor digital-analógico 5, la conversión de las señales de realimentación en un circuito de compensación adecuado 6 y la adición con la señal de entrada, insinuada por medio del sumador 7, se compensa en promedio la acción de la fuerza  $F_{IN}$  que actúa sobre el sensor 1, de modo que este sensor 1, en el caso ideal, experimenta una señal diferencia que va desapareciendo. Gracias a esta compensación se consigue una ventajosa linealización del sensor.
- 35 Gracias al empleo de estructuras de filtro especiales 3 se puede realizar tanto una regulación PI como una regulación PID. En el primer caso, la frecuencia de resonancia  $f_{res}$  del sensor es desplazada hacia frecuencias más altas por efecto de la gran amplificación del integrador de la estructura de filtro para frecuencias pequeñas. Se amplía así el rango de señal utilizable  $f_s$  del sensor 1, tal como puede apreciarse también en la figura 2, en la que se ha insinuado con línea de trazos la frecuencia de resonancia original  $f_{res}$  del sensor. El sistema mecánico está amortiguado en este caso de manera supercrítica para suprimir ciclos límite adicionales. El ancho de banda efectivo ha podido aumentarse en este ejemplo en un factor 5 mediante la elección de coeficientes de filtro adecuados.
- 40 Gracias al empleo de una porción diferenciadora y una gran amplificación de bucle mediante una elección adecuada de la estructura de filtro 3 se consigue una compensación completa de la resonancia (regulación PID). La porción diferenciadora genera una rotación inversa de fase de  $90^\circ$  que puede aprovecharse para estabilizar el sistema. Desaparece así completamente la resonancia y se manifiesta el comportamiento típico de modelado de ruido de un convertidor sigma-delta, como puede apreciarse en la figura 3.
- 45 Gracias al empleo de un convertidor sigma-delta continuo en tiempo se puede reducir de manera significativa la absorción de potencia en la presente disposición de circuito. Esto es posible debido a que la técnica integradora que se utiliza en los convertidores sigma-delta continuos en tiempo, tal como, por ejemplo, la técnica RC, GmC, etc.,

5 requiere anchos de banda más pequeños para los amplificadores operacionales. Por el contrario, el ancho de banda y la tasa de ascenso de los amplificadores operacionales tienen que ser muy grandes cuando se utilizan convertidores sigma-delta discretos en tiempo con técnica SC para poder seguir a las puntas de tensión en la entrada. Estas puntas se originan debido al traspaso de las cargas a las capacidades conectadas. Sin embargo, la utilización de amplificadores operacionales con ancho de banda y tasa de ascenso muy grandes conduce a un consumo de potencia netamente incrementado que se evita en la presente disposición de circuito.

Para el circuito de evaluación 2 continuo en tiempo se pueden utilizar técnicas diferentes. La figura 4 muestra en las representaciones parciales a) y b) dos ejemplos de tales circuitos de evaluación 2.

10 El ejemplo de la figura 4a) se basa en la toma de la señal de sensor del electrodo central del sensor 1, que está representado por los dos condensadores variables. Esta ejecución ofrece la ventaja de que solamente se necesita un amplificador 9 para el circuito de evaluación. No obstante, la generación de la señal de modulación por las dos fuentes 8 de tensión alterna es complicada, ya que esta señal tiene que estar desplazada en 180°. Asimismo, debido a la realimentación no se pueden transmitir señales adicionales al electrodo central del sensor 1.

15 Por este motivo, se prefiere una construcción diferencial como la que se representa en la figura 4b). Esta ejecución necesita solamente una fuente 8 de tensión alterna que esté unida con el electrodo central del sensor 1. La señal de sensor se toma a través de los dos electrodos exteriores del sensor 1 con un amplificador diferencial 9.

Como tercera alternativa se puede elegir también para cada capacidad del sensor 1 un amplificador propio. Sin embargo, esto conduce a un gran número de amplificadores y, por tanto, a un aumento de la superficie y del consumo de corriente para la disposición de circuito.

20 La realimentación se efectúa capacitivamente a través de una señal modulada en ancho de impulsos, una señal de tensión de 1 bit o multibit o una señal de carga de 1 bit o multibit. La realimentación multibit puede conseguirse por medio de un convertidor digital-analógico especial 5b que realice una linealización implícita de la fuerza de realimentación, o por medio del empleo de varios electrodos de realimentación en el sensor 1, tal como se representa en la figura 5a). Esta figura muestra un convertidor digital-analógico multibit 5a que actúa sobre varios electrodos de un sensor 1 correspondientemente configurado para la compensación de la desviación de la masa de ensayo. La figura 5b) muestra un convertidor digital-analógico multibit 5b en el que se realiza ya una linealización implícita de la fuerza de realimentación. Este convertidor genera una señal de realimentación que actúa solamente sobre un electrodo del sensor 1.

30 La figura 6 muestra finalmente una representación que ilustra la acción de un convertidor sigma-delta de paso de banda en la presente disposición de circuito. Durante el proceso de lectura se modulan aquí las señales de sensor hacia frecuencias más altas. Esto está representado en la parte izquierda de la figura 6, en la que se indican con  $U_{DC1/DC2}$  las señales de realimentación y con  $U_{AC1/AC2}$  las señales de modulación para la lectura del sensor 1. Las señales de modulación consisten, en este ejemplo, en la tensión alterna de las una o varias fuentes 8 de tensión alterna del circuito de evaluación 2, tal como se representa a modo de ejemplo en la figura 5. Gracias a esta modulación hacia frecuencias más altas se pueden orillar las faltas de idealidad del convertidor sigma-delta o de sus componentes pasivos y activos, que se representan como porciones espectrales en corriente continua. Las señales moduladas son filtradas por el paso de banda del convertidor sigma-delta, tal como se ilustra en la parte de la derecha de la figura 6, en la que  $f_x$  representa la frecuencia de las señales,  $f_{mod}$  representa la frecuencia de modulación y  $f_{realimentación}$  representa la frecuencia de las señales de realimentación con la que el modulador intenta compensar la desviación de la masa de ensayo. Las señales de realimentación tienen que ser en este caso mezcladas y rebajadas nuevamente hasta la frecuencia original para poder compensar la señal de entrada.

45 La figura 7 muestra finalmente la acción de otra ejecución de la presente disposición de circuito en la que se aprovecha la posibilidad de la subexploración en convertidores sigma-delta de paso de banda continuos en tiempo. Como en el convertidor sigma-delta de paso de banda que se acaba de describir, se modulan aquí también las señales hacia frecuencias más altas durante el proceso de lectura para orillar las faltas de idealidad del convertidor sigma-delta. Sin embargo, las señales moduladas se mezclan y rebajan entonces nuevamente por un submuestreo de Nyquist durante el proceso de muestreo y se reduce así in situ la tasa de exploración. Los convertidores analógico-digital o digital-analógico utilizados y otros componentes digitales pueden trabajar así a una frecuencia baja. En la figura 7 se representan entonces en forma rayada las señales no deseadas suprimidas por el filtro de paso de banda. Por el contrario, la señal deseada no rayada entre  $2f_s$  y  $3f_s$  no es influenciada por el filtro. Debido a la subexploración se pliega esta señal hacia la banda base. Esto se ha insinuado mediante la repetición periódica de la señal en la figura 7.

**Lista de símbolos de referencia**

- 55 1 Sensor de aceleración capacitivo
- 2 Circuito de evaluación
- 3 Estructura de filtro
- 4 Cuantizador

- 5 Convertidor digital-analógico
- 5a Convertidor digital-analógico multibit
- 5b Convertidor digital-analógico multibit con linealización implícita
- 6 Circuito de compensación
- 5 7 Sumador
- 8 Fuente de tensión alterna
- 9 Amplificador

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Disposición de circuito para leer un sensor que comprende un convertidor sigma-delta con al menos un filtro de bucle (3), un cuantizador (4) y una rama de realimentación, en la que, en función de una magnitud de medida que actúa sobre el sensor (1), se varía una propiedad eléctrica mensurable del sensor (1) y este sensor (1) está conexasionado entre la rama de realimentación y el filtro de bucle (3) de tal manera que las señales de realimentación del convertidor sigma-delta compensan en promedio temporal la acción de la magnitud de medida sobre el sensor (1),
- 10 en la que el convertidor sigma-delta es un convertidor sigma-delta continuo en tiempo, los amplificadores operaciones utilizados en el convertidor sigma-delta presentan un ancho de banda más pequeño que un ancho de banda que es necesario cuando se utilizan señales discretas en tiempo a la misma frecuencia de muestreo, y está previsto un circuito de evaluación (2) para generar una señal de sensor eléctrica para la propiedad eléctrica mensurable del sensor (1), y en la que el circuito de evaluación (2) modula una evolución temporal de la propiedad eléctrica mensurable hacia frecuencias más altas y se elige el filtro de bucle (3) para generar un paso de banda a estas frecuencias más altas.
- 15 2. Disposición de circuito según la reivindicación 1, **caracterizada** por que se ha elegido el filtro de bucle (3) de modo que se consiga una regulación PI a través de la rama de realimentación.
3. Disposición de circuito según la reivindicación 1, **caracterizada** por que se ha elegido el filtro de bucle (3) de modo que se consiga una regulación PID a través de la rama de realimentación.
- 20 4. Disposición de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada** por que en la rama de realimentación está previsto un dispositivo mezclador que mezcla y rebaja nuevamente las señales de realimentación hasta frecuencias de la evolución temporal de la propiedad eléctrica mensurable.
5. Disposición de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada** por que el cuantizador (4) está configurado para realizar una subexploración de la señal de sensor modulada.
- 25 6. Disposición de circuito según la reivindicación 4 ó 5, **caracterizada** por que el circuito de evaluación (2) comprende una o varias fuentes (8) de tensión alterna a través de las cuales se modula la evolución temporal de la propiedad eléctrica mensurable del sensor (1) hacia las frecuencias más altas.
7. Disposición de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizada** por que el sensor (1) es un sensor capacitivo.
- 30 8. Disposición de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizada** por que el sensor (1) es un sensor de aceleración con una masa de ensayo móvilmente suspendida, en el que una variación de posición de la masa de ensayo originada por una aceleración varía la propiedad eléctrica mensurable del sensor (1).
9. Disposición de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizada** por que en la rama de realimentación está dispuesto un convertidor digital-analógico de 1 bit para una realimentación de 1 bit.
- 35 10. Disposición de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizada** por que en la rama de realimentación está dispuesto un convertidor digital-analógico multibit (5) para una realimentación multibit.
- 40 11. Procedimiento para leer un sensor, en el que se conecta el sensor (1) entre una rama de realimentación y al menos un filtro de bucle (3) de un convertidor sigma-delta de tal manera que las señales de realimentación del convertidor sigma-delta compensen en promedio temporal la acción de una magnitud de medida que actúa sobre el sensor (1), en el que se utiliza un convertidor sigma-delta de paso de banda continuo en tiempo y en el convertidor sigma-delta se utilizan unos amplificadores operacionales que presentan un ancho de banda más pequeño que un ancho de banda que es necesario cuando se utilizan señales discretas en tiempo a la misma frecuencia de muestreo, y en el que se modula, antes de una exploración, una señal de sensor obtenida por el sensor (1) hacia frecuencias más altas que están situadas en el dominio del paso de banda del convertidor sigma-delta.
- 45 12. Procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizado** por que se realiza una regulación PI a través de la rama de realimentación.
13. Procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizado** por que se realiza una regulación PID a través de la rama de realimentación.
- 50 14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, **caracterizado** por que se mezclan y rebajan nuevamente las señales de realimentación en la rama de realimentación hasta frecuencias de la señal de sensor

eléctrica.

15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, **caracterizado** por que se digitaliza seguidamente la señal sensor modulada mediante una subexploración.
- 5 16. Procedimiento según la reivindicación 14 ó 15, **caracterizado** por que la modulación hacia frecuencias más altas se efectúa a través de una tensión alterna aplicada al sensor (1), con la cual se lee dicho sensor (1).
17. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16, **caracterizado** por que la realimentación se efectúa a través de una señal de carga o tensión de 1 bit o multibit.
18. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16, **caracterizado** por que la realimentación se efectúa a través de una señal modulada en ancho de impulsos.
- 10 19. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 18 para la lectura de un sensor capacitivo.
20. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 19 para la lectura de un sensor de aceleración con una masa de ensayo móvilmente suspendida, en el que una variación de posición de la masa de ensayo originada por una aceleración varía una propiedad eléctrica mensurable del sensor (1).

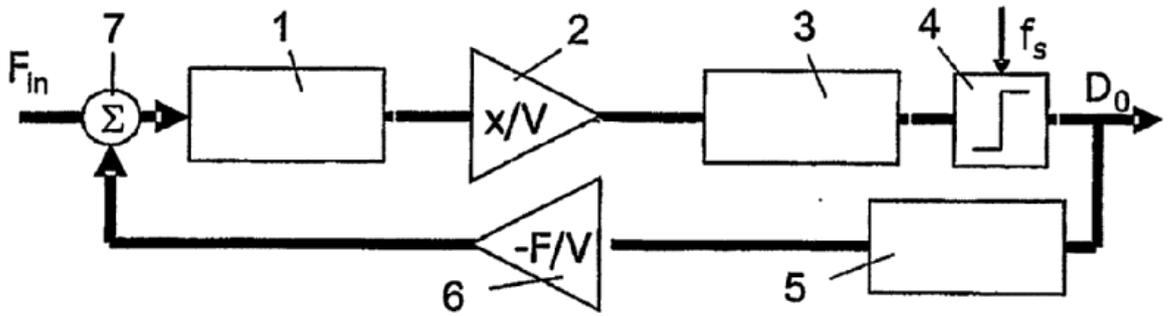


Fig. 1

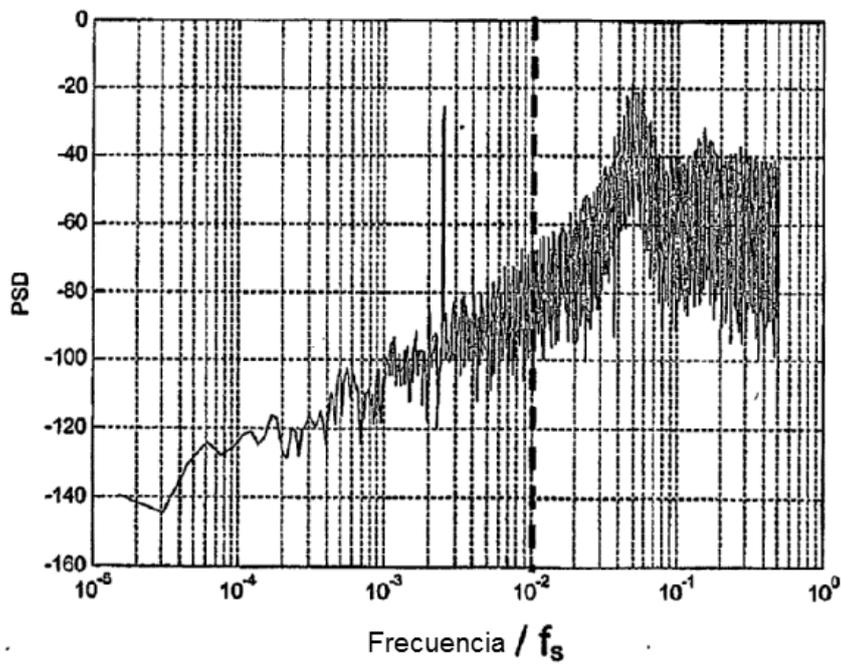


Fig. 2

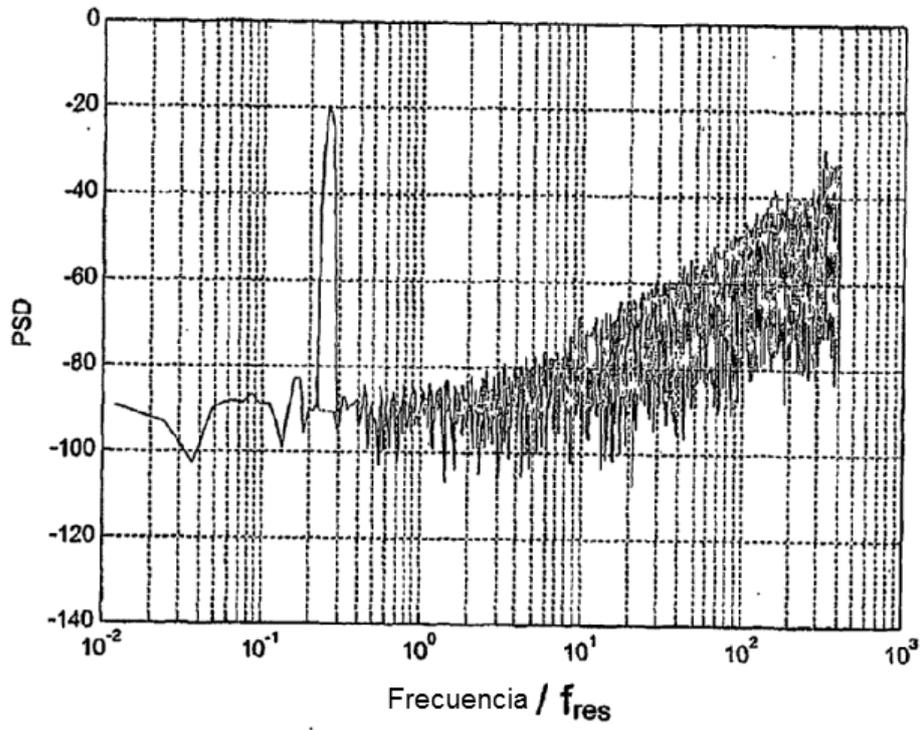


Fig. 3

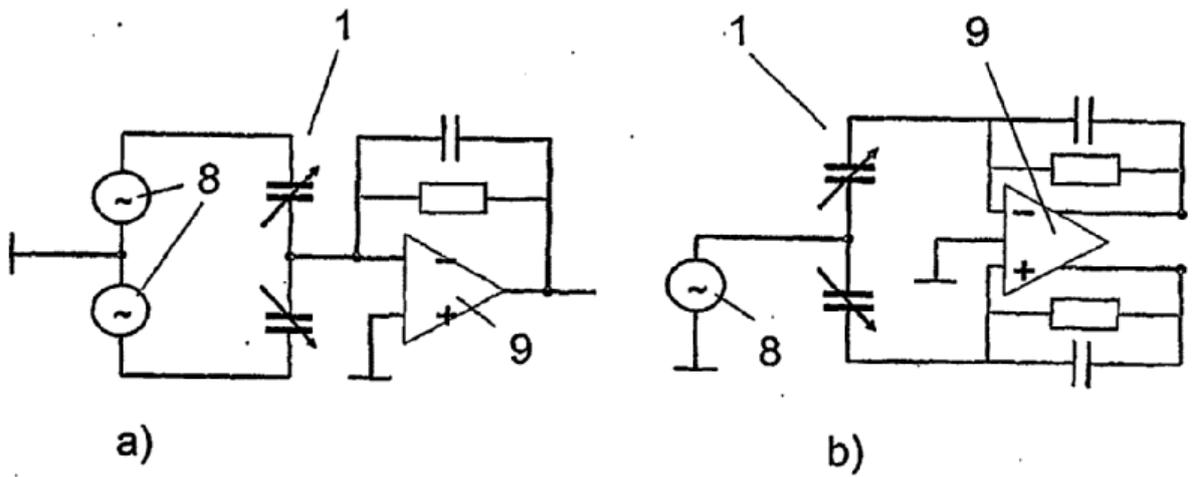


Fig. 4

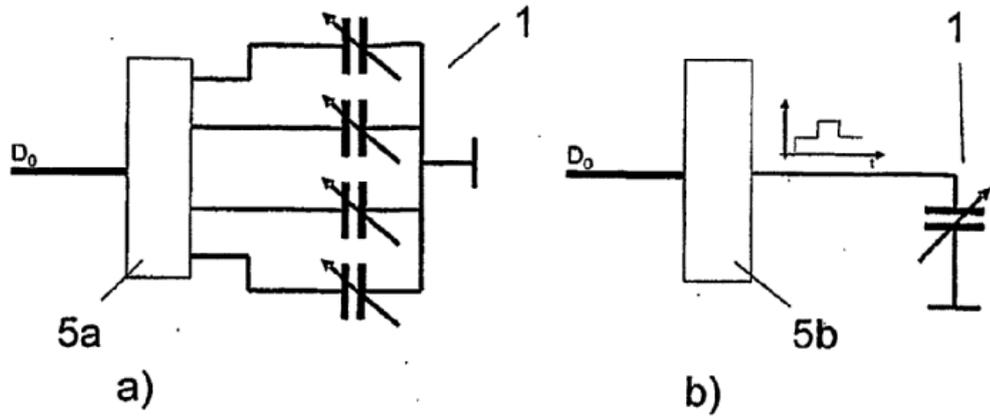


Fig. 5

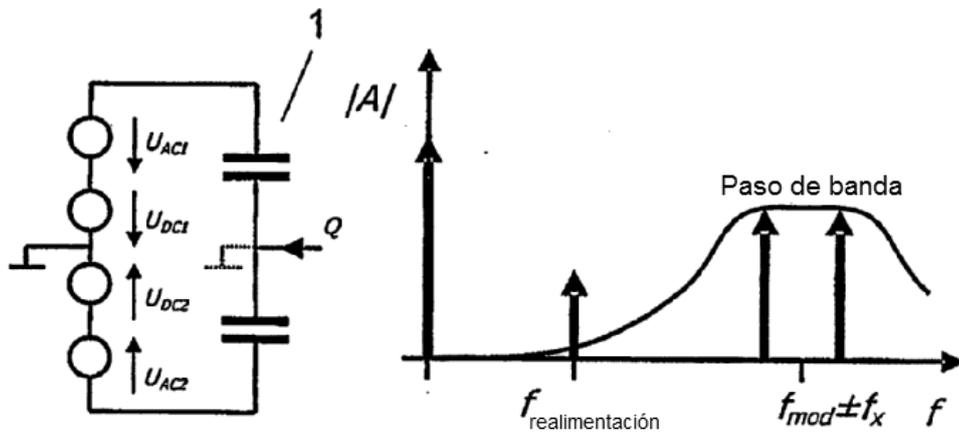


Fig. 6

Nyquist:  $f_s = 2 f_b$

Filtrado

Muestreo

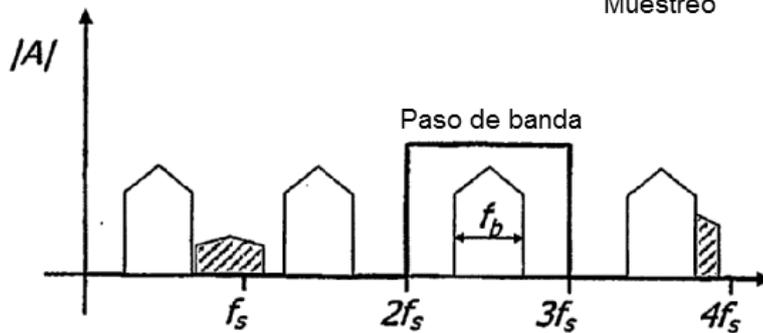


Fig. 7