

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 610 991**

51 Int. Cl.:

H03L 7/06 (2006.01)

H03L 1/00 (2006.01)

H03H 9/00 (2006.01)

B81B 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.02.2005 PCT/FI2005/000068**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.08.2005 WO05076480**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.02.2005 E 05708148 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.11.2016 EP 1712002**

54 Título: **Estabilización de frecuencia de un oscilador de referencia**

30 Prioridad:

03.02.2004 FI 20040162

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

04.05.2017

73 Titular/es:

**NOKIA TECHNOLOGIES OY (100.0%)
Karaportti 3
02610 Espoo, FI**

72 Inventor/es:

**MATTILA, TOMI;
OJA, AARNE;
JAAKKOLA, OLLI y
SEPPÄ, HEIKKI**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 610 991 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

Estabilización de frecuencia de un oscilador de referencia

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un método para estabilizar la frecuencia de un oscilador de referencia. Más específicamente, la presente invención se refiere a un método para estabilizar la frecuencia de un oscilador de referencia MEMS (Sistemas Micro Electro Mecánicos). La presente invención también se refiere a un oscilador de referencia, especialmente a un oscilador de referencia MEMS.

Antecedentes de la invención

Los osciladores de referencia se usan como referencias de frecuencia precisas y estables en innumerables aplicaciones. Se usan para obtener una referencia de frecuencia precisa y/o para obtener una referencia de tiempo precisa. Tales osciladores de referencia son necesarios, por ejemplo, en dispositivos que comunican usando enlaces de radiofrecuencia, o usan de otra manera frecuencias definidas de manera precisa. Los osciladores de referencia son necesarios también en relojes y circuitos de temporización precisos.

Los requisitos críticos para un oscilador de referencia son (1) alta estabilidad a largo plazo (baja desviación / envejecimiento), (2) bajo ruido de fase, (3) alta estabilidad térmica, por ejemplo, bajo coeficiente térmico, y (4) valor preciso para la frecuencia del oscilador de referencia. En muchas aplicaciones de alto volumen, las siguientes características son también importantes: (5) pequeño tamaño, (6) bajo consumo de potencia, (7) alto nivel de integración entre el resonador, la electrónica del oscilador y el paquete del dispositivo, y (8) bajo coste.

Los cristales de cuarzo se usan normalmente para resonadores en osciladores de referencia de alta calidad. Las desventajas de estos cristales son su gran tamaño e incompatibilidad para integración monolítica con la electrónica.

La micromecanización moderna hace posible fabricar resonadores mecánicos miniaturizados (Sistemas Micro Electromecánicos = MEMS) con frecuencias de resonancia que varían desde varios kHz hasta el rango de GHz. Ejemplos de tales micro-resonadores basándose en el micromecanizado en superficie o volumen de silicio se presentan en H. J. De Los Santos, "RF MEMS Circuit Design for Wireless Communications", Artech House, Boston/Londres, 2002. Las ventajas de los micro-resonadores incluyen pequeño tamaño, bajo consumo de potencia, y posiblemente el nivel de integración aumentado entre el resonador, la electrónica del oscilador, y el paquete del dispositivo. Tanto la integración monolítica como el enfoque de sistema en chip son soluciones viables para aumentar el nivel de integración de un oscilador de referencia, la integración monolítica de los resonadores micromecanizados y circuitos integrados facilitará también circuitos micro-electro-mecánicos más complicados.

Sin embargo, existen varias complicaciones relacionadas con realizar un oscilador de referencia basado en MEMS, (i) una estabilidad a largo plazo de referencia-calidad es desafiante de conseguir usando resonadores de microtamaño, en particular cuando se ha de obtener buen rendimiento de ruido de fase desde el mismo dispositivo. (II) El coeficiente térmico para la frecuencia de resonancia de los micro-resonadores está normalmente en el rango de [-10, - 40] ppm/K y por lo tanto está bastante lejos para aplicaciones de oscilador de referencia típicas. (Las soluciones propuestas a compensación de dependencia a temperatura incluyen ajustar la tensión de polarización, véase por ejemplo la Patente de Estados Unidos 5 640 133, MacDonald et al, ajustar la anchura del hueco de acoplamiento capacitivo, véase por ejemplo la Solicitud de Patente de Estados Unidos 20030051550, Nguyen y Hsu, o utilizar estrés mecánico, véase por ejemplo la Solicitud de Patente de Estados Unidos 20020069701, Hsu y Nguyen). (III) Las pequeñas dimensiones en resonadores de microtamaño presentan desafíos considerables a las tolerancias de fabricación para obtener frecuencias de resonador precisas. En resumen, se demuestra que un oscilador de referencia MEMS que tenga simultáneamente todas las propiedades deseadas (1)-(4), resulta ser difícil.

El documento WO0235699 se refiere a un oscilador controlado por tensión, especialmente para dispositivos de radioteléfono móviles, que comprenden un circuito de oscilación, que se forma mediante componentes electrónicos y que puede ajustarse mediante un elemento de ajuste. Para realizar fácilmente un rango de frecuencia de banda ancha y un bajo ruido de fase en un oscilador controlado por tensión del tipo anteriormente mencionado, el elemento de ajuste se proporciona con un sistema microelectromecánico de respaldo de condensador.

El documento WO0182467 desvela métodos y se proporcionan arquitecturas basadas en MEMS que utilizan resonadores micromecánicos de vibración en circuitos para implementar funciones de filtrado, mezcla, referencia de frecuencia y amplificación. Se muestra un método y aparato para generar una señal que tiene al menos una frecuencia de salida deseada tal como la frecuencia LO en un subsistema de RF en respuesta a una tensión de ajuste y sin la necesidad de un circuito de bloqueo de fase. Uno de los beneficios principales del uso de tales arquitecturas es un ahorro en consumo de potencia intermediando potencia para alta selectividad (es decir, alta Q). En consecuencia, se basan en el uso de un gran número de enlaces micromecánicos en redes SSI para implementar funciones de procesamiento de señal con consumo de potencia de CC básicamente cero. La Publicación de Patente de Estados Unidos US6094102 muestra un PLL que usa un filtro de bucle MEMS.

La presente invención

Es por lo tanto un objetivo de la presente invención eliminar las desventajas de la técnica anterior y proporcionar un oscilador de referencia MEMS que tiene las propiedades mejoradas (1)-(4).

5 Es un objetivo adicional de la presente invención proporcionar un método para estabilizar la frecuencia de un oscilador basándose en componentes MEMS usando técnicas que puedan adoptarse para fabricación de osciladores de referencia altamente integrados de bajo ruido de fase.

10 La presente invención proporciona una solución a las desventajas de la técnica anterior mediante una combinación selectiva de las propiedades deseadas de dos o más componentes MEMS.

Cada componente de oscilador MEMS está caracterizado por un conjunto de propiedades, normalmente distintas entre sí. Un combinador o similar sintetiza la salida deseada mediante una combinación selectiva de las propiedades en los componentes. Para conseguir esto, el combinador puede usar varias técnicas, por ejemplo procesamiento de las señales de los osciladores, ajuste de realimentación de los dos osciladores y utilizar entradas adicionales tales como la temperatura medida de las

Se presentan en detalle rasgos características de la presente invención en las reivindicaciones adjuntas.

20 El uso de dos o más componentes MEMS es tecnológicamente factible y una solución racional puesto que los procesos de micromecanización e IC son intrínsecamente escalables para la fabricación de varios componentes en paralelo y la combinación de su operación.

Breve descripción de los dibujos

25 Los anteriores y adicionales objetivos, características y ventajas de la presente invención se entenderán de manera más evidente a partir de la siguiente descripción detallada de realizaciones preferidas de la presente invención, tomadas en conjunto con los dibujos adjuntos en los que:

30 La Figura 1 es una descripción esquemática del oscilador de referencia inventado que consiste en dos o más osciladores micromecanizados y la combinación selectiva de sus propiedades.

La Figura 2 es un diagrama de bloques del oscilador de referencia que consiste en un oscilador de bajo ruido de fase ajustable y un medidor de frecuencia que estabiliza la frecuencia del oscilador usando la conexión de realimentación.

35 La Figura 3 es un diagrama de bloques del oscilador de referencia de acuerdo con el esquema de la Figura 1 en el que el medidor de frecuencia está basado en un oscilador que contiene un resonador de silicio micromecanizado que opera en el modo volumen-acústico.

La Figura 4 es un diagrama de bloques del oscilador de referencia de acuerdo con el esquema de la Figura 1 en el que el medidor de frecuencia está basado en una línea de retardo acústico micromecanizada.

40 La Figura 5 es un diagrama de bloques del oscilador de referencia de acuerdo con el esquema de la Figura 1 en el que el medidor de frecuencia está basado en un circuito formado a partir de resistencias y condensadores muy estables.

La Figura 6 ilustra cómo puede realizarse compensación de temperatura en el esquema de la Figura 1 usando un conjunto de resonadores con frecuencias de resonancia ligeramente diferentes en el caso de que un único oscilador no pueda ajustarse lo suficiente.

45 La Figura 7 es un diagrama de bloques del oscilador de referencia que consiste en dos osciladores. Un oscilador es un oscilador de alta frecuencia f_{high} con una capacidad ajustable de frecuencia eléctrica pequeña o no existente Δf_{high} . El otro oscilador es un oscilador de baja frecuencia f_{low} con una capacidad de ajuste de frecuencia eléctrica significativamente mayor $\Delta f_{low} \gg \Delta f_{high}$. La frecuencia de salida del oscilador de referencia se sintetiza añadiendo o restando las dos frecuencias f_{high} y f_{low} .

50 La Figura 8 es un diagrama de bloques del oscilador de referencia que consiste en un oscilador estable basándose en un resonador micromecánico, un oscilador controlado por tensión de baja frecuencia, un mezclador de imagen-rechazo y un filtro basándose en un resonador micromecánico.

55 La Figura 9 es una vista esquemática de un resonador MEMS de extensión cuadrada que muestra el modo de vibración y polarización y ajuste de control.

Descripción detallada de la invención

60 La invención se ilustra esquemáticamente en la Figura 1 usando la combinación de osciladores como un ejemplo (un oscilador indica en este punto un componente micromecanizado de frecuencia selectiva generalizado). Cada oscilador micromecanizado i ($i = 1, 2, \dots, n-1, n$) está caracterizado por un conjunto de propiedades i ($i = 1, 2, \dots, n-1, n$), normalmente distintas entre sí. El combinador COMBINADOR10 sintetiza la salida deseada SALIDA10 mediante una combinación selectiva de las propiedades i de los n componentes. Para conseguir esto, el combinador puede usar varias técnicas descritas a continuación en los métodos 1 y 2.

65 Método 1

En el método 1, ilustrado en la Figura 2, un oscilador ajustable TUNOSC20 basándose en un resonador micromecanizado crea la señal de salida de bajo ruido de fase. La estabilidad a largo plazo para el oscilador se proporciona mediante un medidor de frecuencia FREQMETER20 que monitoriza la frecuencia del oscilador y ajusta la frecuencia al valor de referencia deseado. El medidor de frecuencia está también basado en el componente micromecanizado como se describe en detalle a continuación. Como el oscilador ajustable no tiene que proporcionar la estabilidad a largo plazo por sí mismo, puede utilizar diseños que permiten más fácilmente (i) suficiente capacidad de ajuste para compensación de temperatura y error de fabricación y (ii) buena estabilidad a corto plazo (ruido de fase). Por otra parte, como el medidor de frecuencia no tiene que proporcionar capacidad de ajuste o buen ruido de fase, pueden usarse diseños que únicamente tienen por objeto alta estabilidad a largo plazo.

La operación del componente que proporciona la estabilidad a largo plazo está basada en propiedades eléctricas o electromecánicas estables. En la realización A (Figura 3) la referencia de frecuencia estable está basada en un oscilador de modo acústico de volumen. La operación de medidor de frecuencia está basada en este caso en comparar la frecuencia creada por el oscilador de onda acústica de volumen con la frecuencia de salida del oscilador ajustable TUNOSC30. En la realización B (Figura 4) la referencia de frecuencia estable se obtiene midiendo la diferencia de fase de la onda acústica de volumen de propagación en una guía de onda de sonido micromecanizada a posiciones fijas (técnica de línea de retardo). En la realización C (Figura 5) el medidor de frecuencia está basado en condensadores estables C_A , C_B y resistencias de película fina micromecanizadas estables R_A , R_B que se usan para crear la topología del oscilador Wien. La red condensador-resistencia, que es parte del circuito oscilador Wien, puede usarse también como un medidor de frecuencia en el que los condensadores y resistencias forman un circuito puente el equilibrio del cual depende de la frecuencia de la frecuencia entrante.

El requisito de buen ruido de fase para el oscilador ajustable puede realizarse usando varios tipos de resonador micromecanizados, en particular el requisito de estabilidad a largo plazo relajado permite el uso de resonadores de modo de flexión además de resonadores de onda acústica de volumen. En caso de que se haga difícil obtener un rango de capacidad de ajuste suficiente para compensación de temperatura usando un único resonador, se puede utilizar un banco de dos o más osciladores basándose en resonadores que tienen frecuencias de resonancia ligeramente diferentes para reducir el rango de capacidad de ajuste como se muestra en la Figura 6.

La Figura 2 es un diagrama de bloques de un oscilador de referencia que consiste en un oscilador ajustable TUNOSC20 y un medidor de frecuencia FREQMETER20 que estabiliza (a largo plazo) la frecuencia del oscilador usando la conexión de realimentación.

Se describirán tres realizaciones del medidor de frecuencia:

En la realización A (Figura 3) se crea el medidor de frecuencia de alta estabilidad (largo plazo) mediante un oscilador basándose en el resonador de silicio micromecanizado operado en modo acústico de volumen (indicado por "BAWOSC30").

La frecuencia del oscilador ajustable TUNOSC30 se compara con la frecuencia BAW OSC, por ejemplo, usando un mezclador seguido por un filtro paso bajo (LPF30) y un contador de frecuencia CONTADOR30 y la diferencia de frecuencia detectada se procesa ("LÓGICA30") para crear una tensión ajustable para ajustar el oscilador ajustable TUNOSC30 a la frecuencia correcta. Es importante observar que la diferencia de frecuencia contada permanece no constante pero depende de la temperatura puesto que la frecuencia BAWOSC30 es una función de la temperatura. Sin embargo, puesto que la frecuencia BAW OSC es una función conocida de manera precisa y estable de la temperatura, puede usarse como una referencia de frecuencia midiendo la temperatura ("TMEAS30"). El desplazamiento de referencia inducido por temperatura entonces se tiene en cuenta en la circuitería creando la tensión de ajuste.

En la realización B (Figura 4) el medidor de frecuencia está basado en una medición de la fase de una señal acústica que se propaga en una línea de retardo acústico micromecanizada LÍNEA_DE_RETARDO40. La señal del oscilador a medirse se usa para generar una onda de sonido en un extremo de una línea de retardo acústico. Un electrodo de tipo cuerno exponencial en el final de la línea de retardo reduce la impedancia acústica de la línea. El otro extremo de la línea se ha diseñado para terminar la señal acústica a una carga disipativa adaptada de modo que no habrá reflejos (no ondas estacionarias). La fase de la señal acústica unidireccional se sondea en dos puntos a lo largo de la línea de retardo, indicados por A y B en la Figura 4. La señal acústica que se propaga en la línea se detecta midiendo el movimiento de la superficie de línea de retardo usando dos electrodos polarizados de CC micromecanizados, indicados por C_A y C_B . Es conveniente, por ejemplo, ajustar la longitud de la línea de retardo

entre los puntos A y B (L_{AB}) de modo que $L_{AB} = c / (4f_0)$, cuando c es la velocidad de sonido en la línea de retardo de silicio micromecanizado, y f_0 es el valor nominal de la frecuencia del oscilador de referencia. Entonces la diferencia de fase entre las señales de sonido a los puntos A y B es 90 grados. Entonces las corrientes de movimiento que fluyen a través de los electrodos C_A y C_B debido a que el sonido recorre en la línea de retardo tienen una diferencia de fase de 90 grados, dando como resultado tensión de salida de CC cero del mezclador usado como un detector de fase (el componente $2f_0$ se supone que está filtrado con el módulo "INT40" que puede usarse también para promediar la señal para mejorar la relación de señal a ruido si fuera necesario). Cualquier desviación Δf de Δf_0

se propaga directamente en una tensión de CC distinta de cero de la salida del mezclador que se mide a continuación y actúa como la información de medidor de frecuencia.

5 Es importante observar que la realización A está basada en la operación de onda estacionaria, mientras que la realización B está basada en una onda de volumen de propagación. La ventaja en la operación de onda estacionaria es la capacidad de utilizar la resonancia para reducir el nivel de impedancia y reducir consumo de potencia. Por otra parte, la estructura de onda de propagación es menos susceptible a efectos de punto final (por ejemplo contaminación que cambia la longitud acústica en la operación de onda estacionaria).

10 En la realización C (Figura 5) el medidor de frecuencia está basado en un puente de CA que realiza una medición sensible a fase de impedancias de condensadores estables y resistencias estables. El puente está diseñado de modo que su tensión de salida es proporcional al desplazamiento de frecuencia desde su valor nominal. Un simple cálculo ilustra la operación del puente. Suponiendo que los dos condensadores tienen ambos el valor $C_A = C_B = C$ y ambas resistencias tienen el valor $R_A = R_B = R$. La frecuencia angular a la que el puente está en
15 equilibrio se determina mediante

$$2\pi f_0 CR = 1 \tag{1}$$

La frecuencia a medirse es $f = f_0 + \Delta f$ y $\Delta f/f_0$ es pequeña. Es fácil mostrar que

$$20 V_A - V_B \approx -jV_{in} - (\Delta f/f_0)V_{in} \tag{2}$$

25 donde los términos del orden de $(\Delta f/f_0)^2$ o superior se han despreciado, V_{in} es la señal de entrada y j indica la unidad imaginaria. Midiendo el componente de la diferencia de tensión $V_A - V_B$, es decir en la misma fase que V_{in} se puede determinar la desviación de la frecuencia de entrada desde f_0 .

La estabilidad a largo plazo de la frecuencia de resonancia para los resonadores de onda acústica de volumen resulta básicamente del hecho de que la dimensión de determinación de frecuencia característica (longitud acústica L) es una gran dimensión para un resonador micromecánico, normalmente un cuarto de longitud de onda
30 corresponde a varios cientos de micrómetros para 13 MHz. En comparación, para un resonador de modo de flexión de tipo haz típico, la frecuencia de resonancia fundamental se determina mediante el espesor, o mediante la anchura del haz que es normalmente unos pocos micrómetros (dos órdenes de magnitud menos) a la misma frecuencia. La gran dimensión de determinación de frecuencia de resonadores BAW es también beneficiosa al reducir los desplazamientos de frecuencia debido a tolerancias de fabricación.

35 Otra aplicación importante para el circuito de ajuste de frecuencia es la compensación para las variaciones de parámetros de los componentes que tienen lugar durante la fabricación. La variación de dispositivo a dispositivo se refiere especialmente al valor absoluto de la frecuencia de resonancia. Los datos de calibración de un oscilador de referencia individual pueden almacenarse en un circuito de memoria, que es parte de la circuitería del oscilador, y
40 estos datos pueden usarse para establecer la frecuencia de salida de manera precisa al valor deseado.

El OSCILADOR AJUSTABLE en las Figuras 3 - 5 puede tener varias diferentes realizaciones basándose en resonadores micromecanizados. Posibles geometrías de resonador incluyen los resonadores de modo de flexión [por ejemplo palanca, puente y el denominado de doble horquilla finalizado (DETF)] así como resonadores de modo
45 acústico de volumen. Tanto los resonadores como los osciladores derivados se han analizado extensivamente en la bibliografía reciente. Los beneficios de resonadores de modo de flexión en aplicación de OSCILADOR AJUSTABLE incluyen buena estabilidad a corto plazo (es decir bajo ruido de fase) y, en algunos casos, mejor capacidad de ajuste que las estructuras BAW.

50 El ajuste de frecuencia puede conseguirse, por ejemplo, mediante un ajuste electroestático convencional (ajustar la tensión de polarización) del resonador micromecánico o usando un componente que crea una reactancia ajustable (por ejemplo varactor). Existen resonadores de silicio de modo de flexión con frecuencias de resonancia que varían desde 3 a 45 MHz. Las frecuencias de resonancia podrían desplazarse el 1 % aplicando una tensión de polarización adecuada. Este rango de ajuste fue significativamente mayor que el 0,15 % del cambio en la frecuencia de
55 resonancia tras la variación de temperatura de 25 °C a 85 °C. Si obtener un rango de capacidad de ajuste suficientemente grande supone un problema, puede usarse un banco de dos o más resonadores OSC AJUSTABLE 1 ... OSC AJUSTABLE n con frecuencia de resonancia mecánica ligeramente diferente para estrechar el rango de capacidad de ajuste requerido para un único resonador (Figura 6).

60 Método 2

En el método 2, ilustrado en la Figura 7, la frecuencia de salida del oscilador se sintetiza desde las frecuencias de dos osciladores HFOSC70 y TUNLFOSC70, ambos de los cuales están basados en resonadores micromecanizados. Las propiedades de la señal de salida de derivan predominantemente del oscilador de alta

frecuencia que proporciona la estabilidad a largo plazo y el bajo ruido de fase. Las propiedades del oscilador de alta frecuencia pueden realizarse usando dos o más componentes micromecanizados de manera similar que en el método 1. La diferencia crucial del método 1 es que la frecuencia de salida del oscilador de alta frecuencia se deja no ajustada, y la compensación para desplazamientos de temperatura y fabricación se realiza usando suma de frecuencia en FREQSUM70: para obtener la señal de salida de frecuencia constante y precisa de la frecuencia desde un oscilador ajustable de baja frecuencia sumada con la salida del oscilador de alta frecuencia. La frecuencia de operación del oscilador de baja frecuencia se elige para permitir el rango de ajuste requerido para la compensación requerida para el oscilador de alta frecuencia. Por ejemplo, para compensar un desplazamiento de frecuencia de 3000 ppm para un oscilador de 13 MHz, se necesita como mínimo un oscilador de baja frecuencia de 39 kHz. Las ventajas críticas del método 2 son: (i) puesto que el oscilador de alta frecuencia se deja no ajustado, esto proporciona grados de libertad adicionales en diseño para obtener la estabilidad a largo plazo y bajo ruido de fase requeridos, (ii) ya que únicamente una pequeña parte de la estabilidad a largo y a corto plazo de la señal se deriva desde el oscilador de baja frecuencia, sus requisitos de estabilidad a largo plazo y ruido de fase son menos exigentes, (iii) a bajas frecuencias es factible usar diseños que permiten un gran rango de ajuste, por ejemplo resonadores de modo de flexión. La suma de frecuencia se consigue por ejemplo multiplicando las dos señales de oscilador usando un mezclador y sucesivo filtrado para seleccionar la suma o diferencia de las dos frecuencias. Normalmente es crítico para el rendimiento el filtrado del otro de los dos componentes de frecuencia en la salida del mezclador. Una técnica de mezclador de imagen-rechazo convencional puede usarse al seleccionar una de las dos frecuencias. En caso necesario, puede crearse un filtro de banda estrecha adicional usando estructura de resonador micromecanizado como se muestra en la Figura 8.

En el método 2 (Figura 7) el oscilador de alta frecuencia puede realizarse usando uno o más resonadores micromecanizados. Puede obtenerse buena estabilidad a largo plazo y bajo ruido de fase a partir de un único resonador de onda acústica de volumen ya que la capacidad de ajuste no es necesaria en este caso, pero para un mejor rendimiento la estabilidad a largo plazo y el bajo ruido de fase pueden derivarse de dos o más componentes como en el método 1. La compensación de tolerancia de temperatura y fabricación en el método 2 (Figura 7) se realiza usando un oscilador de baja frecuencia ajustable, cuya salida se suma en frecuencia con el oscilador de alta frecuencia. Ya que el rango de capacidad de ajuste requerido normalmente es menor del 1 % (compensación T requerida normalmente el 0,3 %) la frecuencia de resonancia del oscilador de baja frecuencia puede ser normalmente de dos órdenes de magnitud más pequeña que para el oscilador de alta frecuencia. Por ejemplo, en el caso del oscilador de alta frecuencia $f_{HIGH} = 13$ MHz, el oscilador de baja frecuencia opera a f_{LOW} unos pocos cientos de kHz y se realiza mejor usando un resonador de tipo de flexión. La estabilidad a largo y a corto plazo de la señal de salida se origina predominantemente desde el oscilador de alta frecuencia: el oscilador de baja frecuencia contribuye únicamente en un factor f_{LOW}/f_{HIGH} . Por lo tanto, la estabilidad a largo plazo reducida de un resonador de modo de flexión es suficiente para mantener la alta estabilidad requerida de la señal de salida del oscilador.

La Figura 8 muestra una posible realización para suma de frecuencia en el método 2. La frecuencia de salida del oscilador de referencia es $f_{OUT} = f_{BAW} - f_{FLEX}$. El mezclador MEZCLADOR80 es un mezclador de imagen-rechazo que rechaza la frecuencia de imagen $f_{BAW} + f_{FLEX}$. Como alternativa, el mezclador de imagen-rechazo puede diseñarse para rechazar $f_{BAW} - f_{FLEX}$ de modo que la frecuencia de salida del oscilador de referencia es $f_{OUT} = f_{BAW} + f_{FLEX}$.

Puede obtenerse mejora adicional en el rechazo de imagen-frecuencia filtrando la señal de salida del oscilador de referencia usando un filtro basándose en un resonador con una frecuencia central cerca de la frecuencia del oscilador de referencia f_{ref} . El filtro está diseñado de modo que su factor de calidad mecánica se modera únicamente de modo que la variación en su frecuencia central, Δf_0 , que incluye posibles desviaciones durante el tiempo de vida designado del filtro, es menor que f_0/Q . El filtro puede realizarse como un filtro de alto orden que comprende varios resonadores micromecánicos para mejorar adicionalmente la selectividad de frecuencia. Todos los componentes micromecanizados requeridos en el método 1 y 2 pueden fabricarse por ejemplo usando un proceso basándose en grabado de iones reactivo profundo (DRIE) de obleas de silicio sobre aislante (SOI). Otro proceso de fabricación que podría emplearse para fabricar resonadores de modo acústico de volumen es el descrito en la Patente de Estados Unidos N.º 5.119.073 (Solicitud de Patente con N.º de Serie 08/312.797), titulada "Microstructures and Single Mask, Single-Crystal Process for Fabrication Thereof", de Shaw et al, presentada el 27 septiembre 1994. Los componentes similares a fricción pueden fabricarse también mediante varios otros proceso a los basados usando silicio monocristalino o silicio policristalino.

Un componente MEMS ventajoso para el oscilador de referencia de acuerdo con la presente invención se representa en la Figura 9. La Figura 9 presenta un resonador de silicio de modo acústico de volumen (BAW) de 13,1 MHz micromecánico, que comprende una placa cuadrada PLACA90, electrodos ELECTRODO1 - ELECTRODO4 para acoplamiento capacitivo en todos los lados de la placa, fuentes de tensión U_{in} y U_{bias} conectadas a los electrodos y tensión de salida U_{out} . El modo de vibración está caracterizado como una expansión de placa 2-D que conserva la forma cuadrada original. El componente puede fabricarse mediante grabado de iones reactivo profundo de oblea de silicio sobre aislante (SOI). El contacto eléctrico al resonador se hace con anclaje de esquinas (anclaje de esquinas de tipo T) de modo que todo el dispositivo puede fabricarse con una máscara. La Figura 9 muestra el modo de vibración y polarización y configuración de control. Las líneas discontinuas y de puntos indican formas expandidas y contraídas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para estabilizar la frecuencia de un oscilador de referencia basado en MEMS (Sistemas Micro Electro Mecánicos), **caracterizado por que** el oscilador de referencia basado en MEMS comprende al menos un primer oscilador MEMS y un segundo oscilador MEMS, y el método comprende:
- generar, con al menos el primer oscilador MEMS, una señal de salida de bajo ruido de fase;
 - generar, con al menos el segundo oscilador MEMS, una señal de corrección para ajustar la señal de salida de al menos el primer oscilador MEMS; y
 - sintetizar una señal de salida de frecuencia estabilizada basándose en la señal de salida de al menos el primer oscilador MEMS y la señal de corrección.
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por** sintetizar la señal de salida de frecuencia estabilizada ajustando el primer oscilador MEMS con dicha señal de corrección.
3. El método de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por** controlar dicho segundo oscilador MEMS para medir la frecuencia de al menos el primer oscilador MEMS; y ajustar la señal de salida del primer oscilador MEMS con dicha señal de corrección a la frecuencia estabilizada deseada.
4. El método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por** sintetizar la señal de salida de frecuencia estabilizada combinando la señal de salida de al menos el primer oscilador MEMS con la señal de corrección.
5. El método de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 4, **caracterizado por que** la señal de salida de al menos el primer oscilador MEMS está no ajustada, comprendiendo adicionalmente el método:
- sumar las señales de salida de al menos el primer oscilador MEMS y el segundo oscilador MEMS.
6. Un oscilador de referencia basado en MEMS (Sistemas Micro Electro Mecánicos) con frecuencia estabilizada, **caracterizado por que** el oscilador comprende:
- al menos dos osciladores MEMS, en donde al menos un primer oscilador MEMS está dispuesto para proporcionar una señal de salida de bajo ruido de fase y al menos un segundo oscilador MEMS está dispuesto para generar una señal de corrección para ajustar la señal de salida de al menos el primer oscilador MEMS; y
 - un combinador para sintetizar una señal de salida de frecuencia estabilizada basándose en la señal de salida de al menos el primer oscilador MEMS y la señal de corrección.
7. El oscilador de referencia basado en MEMS de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado por que** el combinador está dispuesto para sintetizar la señal de salida de frecuencia estabilizada ajustando el primer oscilador MEMS con dicha señal de corrección.
8. El oscilador de referencia basado en MEMS de acuerdo con las reivindicaciones 6 o 7, **caracterizado por que** el combinador está dispuesto para controlar dicho segundo oscilador MEMS para medir la frecuencia de al menos el primer oscilador MEMS y para ajustar la señal de salida del primer oscilador MEMS a la frecuencia estabilizada deseada.
9. El oscilador de referencia basado en MEMS de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado por que** el combinador está dispuesto para sintetizar la señal de salida de frecuencia estabilizada combinando la señal de salida de al menos el primer oscilador MEMS con la señal de corrección.
10. El oscilador de referencia basado en MEMS de acuerdo con las reivindicaciones 6 o 9, **caracterizado por que** la señal de salida de al menos el primer oscilador MEMS está no ajustada y el combinador está dispuesto para operar como una unidad de suma de frecuencias dispuesta para sumar las señales de salida de al menos el primer oscilador MEMS y el segundo oscilador MEMS.
11. El oscilador de referencia basado en MEMS de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 - 10, **caracterizado por que** al menos uno de los osciladores MEMS es un resonador de silicio de onda acústica de volumen micromecánico con una placa cuadrada y electrodos para acoplamiento capacitivo dispuestos en todos los lados de la placa, en donde el modo de vibración está caracterizado como una expansión de placa 2-D que conserva la forma cuadrada original.
12. El oscilador de referencia basado en MEMS de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 - 11, **caracterizado por que** el tipo de al menos un oscilador MEMS es diferente de los tipos del otro oscilador MEMS.

13. El oscilador de referencia basado en MEMS de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 - 11, **caracterizado por que** los osciladores MEMS son idénticos pero sus parámetros de control, tal como la tensión de polarización, son diferentes.
- 5 14. El oscilador de referencia basado en MEMS de acuerdo con las reivindicaciones 7 u 8, **caracterizado por que** el segundo oscilador MEMS está adaptado para utilizar una referencia de frecuencia estable basándose en un oscilador de onda acústica de volumen y una operación de medidor de frecuencia basándose en comparar la frecuencia creada por el oscilador de onda acústica de volumen con la frecuencia de salida del oscilador ajustable.
- 10 15. El oscilador de referencia basado en MEMS de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado por que** el segundo oscilador MEMS está adaptado para utilizar una referencia de frecuencia estable obtenida midiendo una diferencia de fase de onda acústica de volumen de propagación en una guía de onda de sonido micromecanizada en posiciones fijas.
- 15 16. El oscilador de referencia basado en MEMS de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado por que** el segundo oscilador MEMS está adaptado para utilizar un medidor de frecuencia basándose en condensadores estables y resistencias de película fina micromecanizadas estables que se usan para crear la topología de oscilador Wien.
- 20 17. El oscilador de referencia basado en MEMS de acuerdo con las reivindicaciones 9 o 10, **caracterizado por** al menos dicho primer oscilador MEMS está dispuesto para operar como un oscilador de alta frecuencia que proporciona una señal de salida no ajustada con la estabilidad a largo plazo y el bajo ruido de fase, proporcionando predominantemente las propiedades de estabilidad a largo plazo y de bajo ruido de fase de la señal de salida del oscilador de referencia basado en MEMS; y
- 25 la unidad de suma de frecuencias está dispuesta para realizar compensación para desviaciones de temperatura y fabricación.

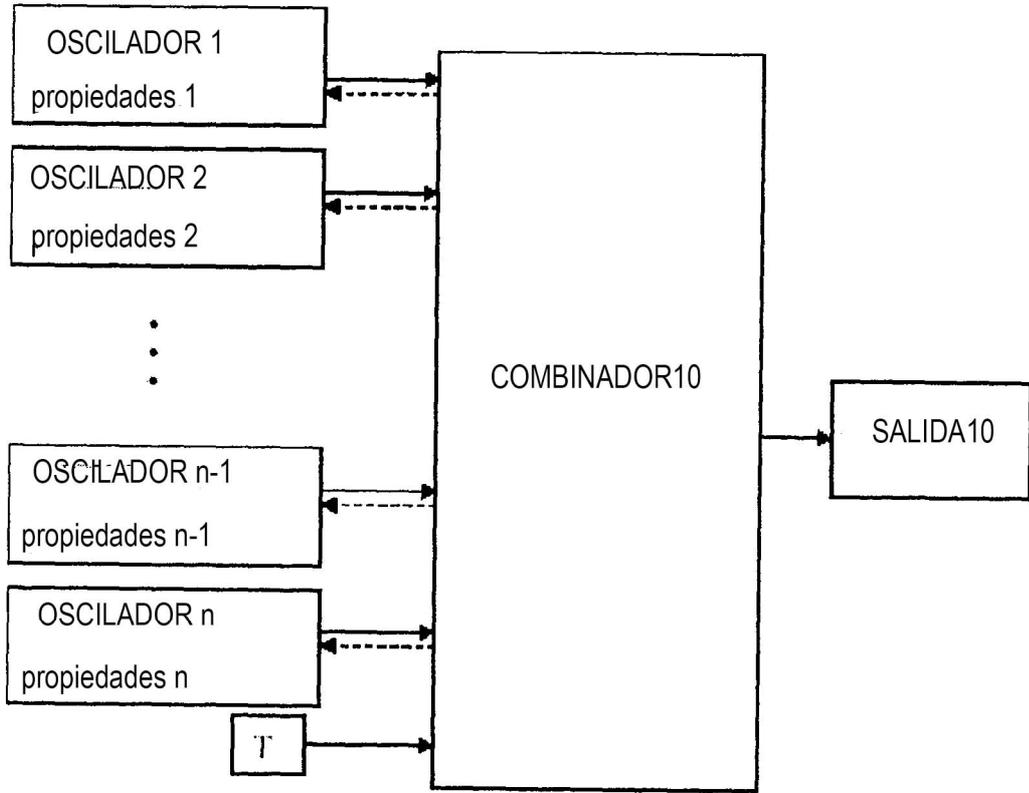


FIG. 1

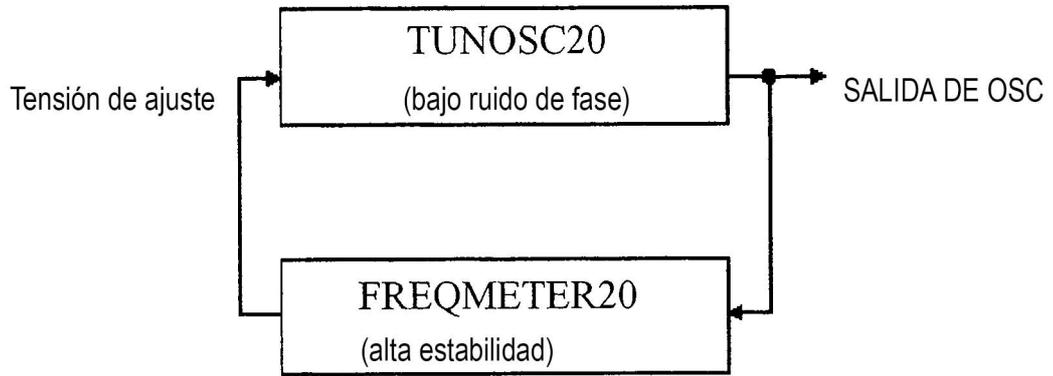


FIG. 2

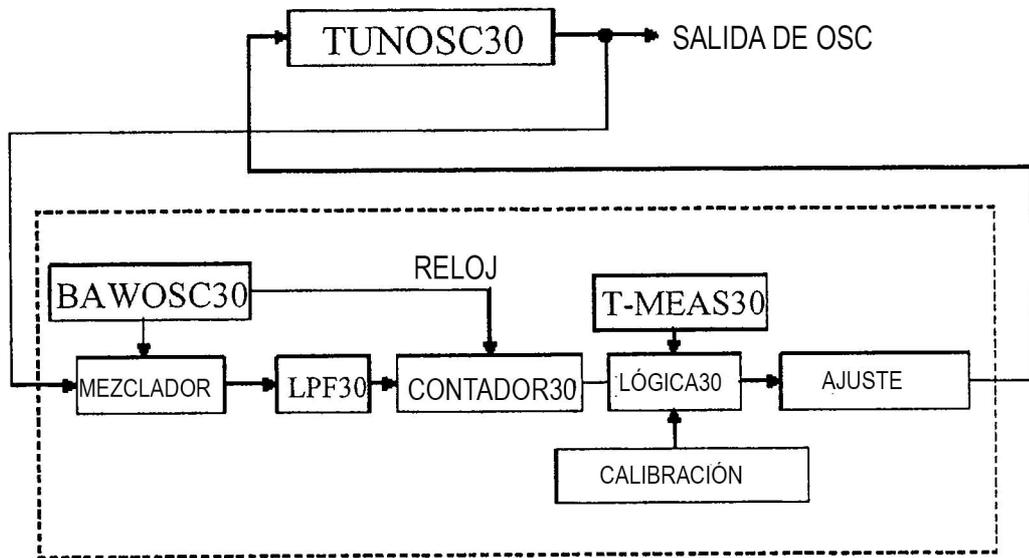


FIG. 3

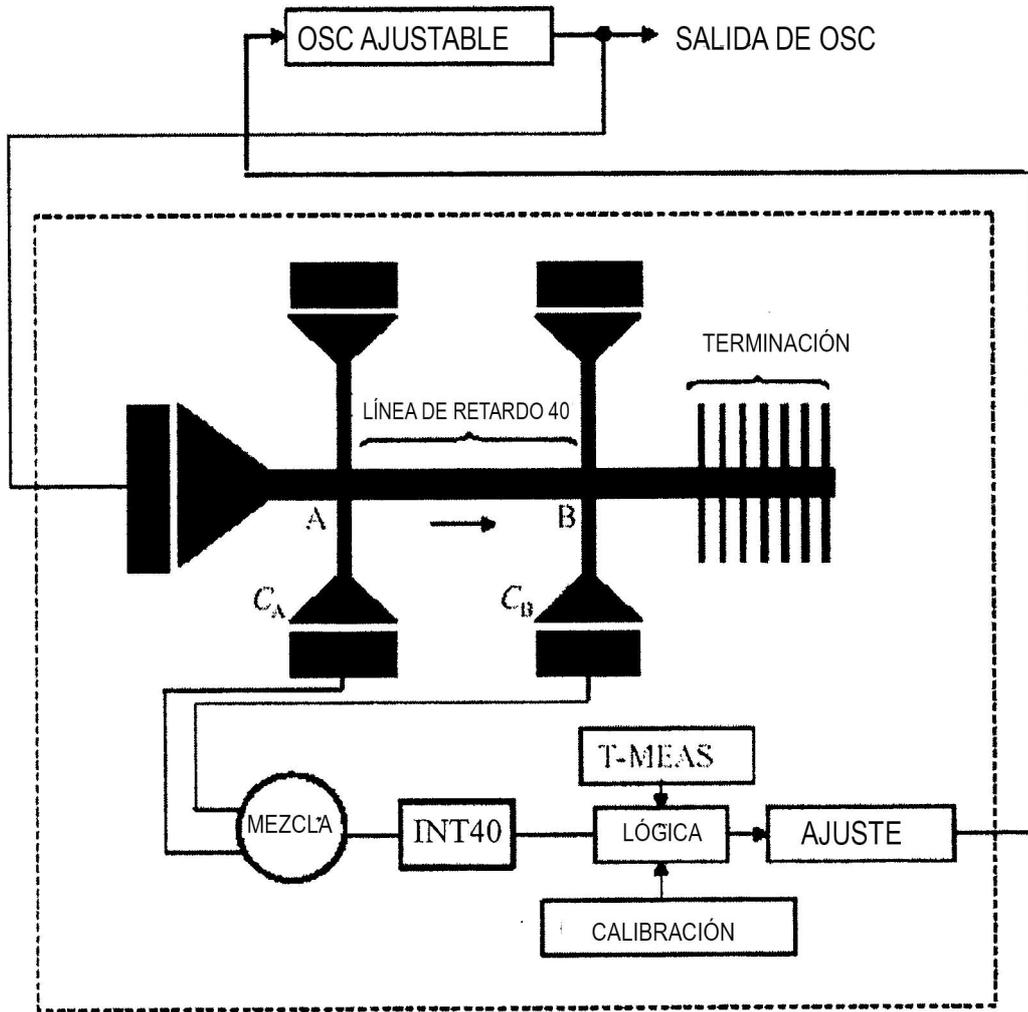


FIG. 4

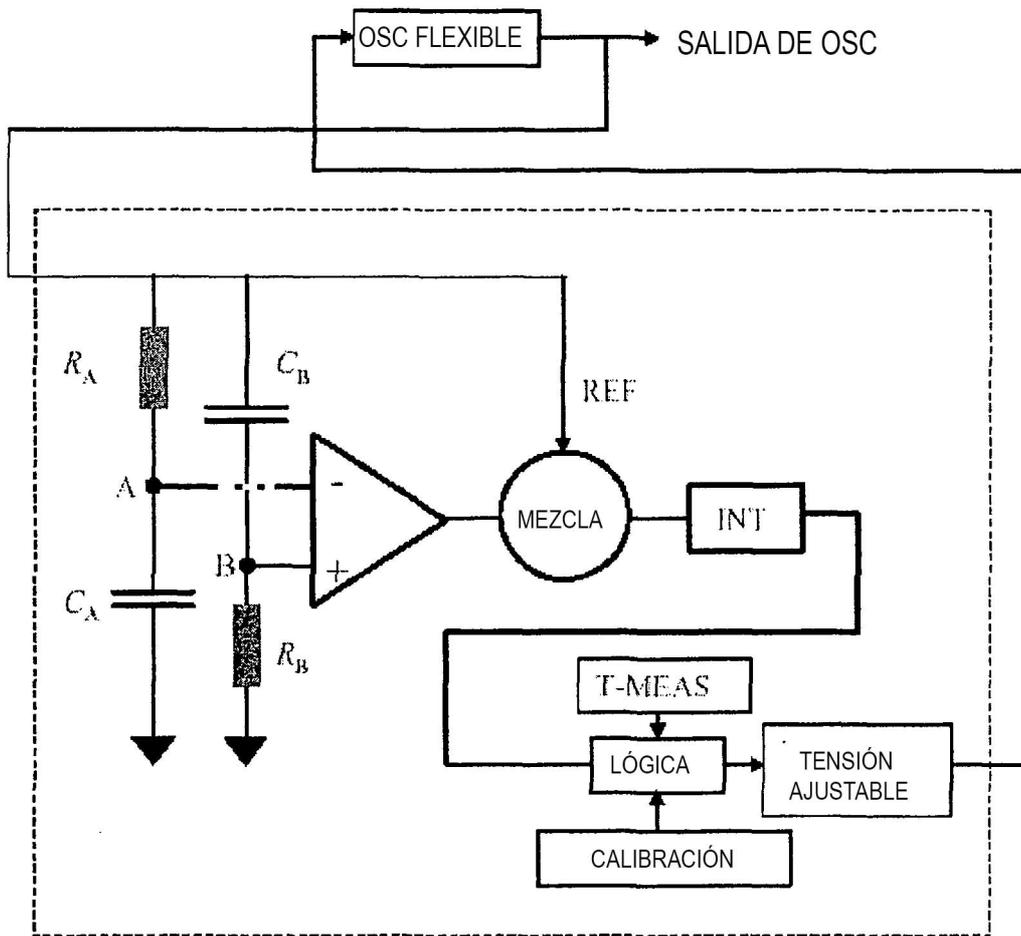


FIG. 5

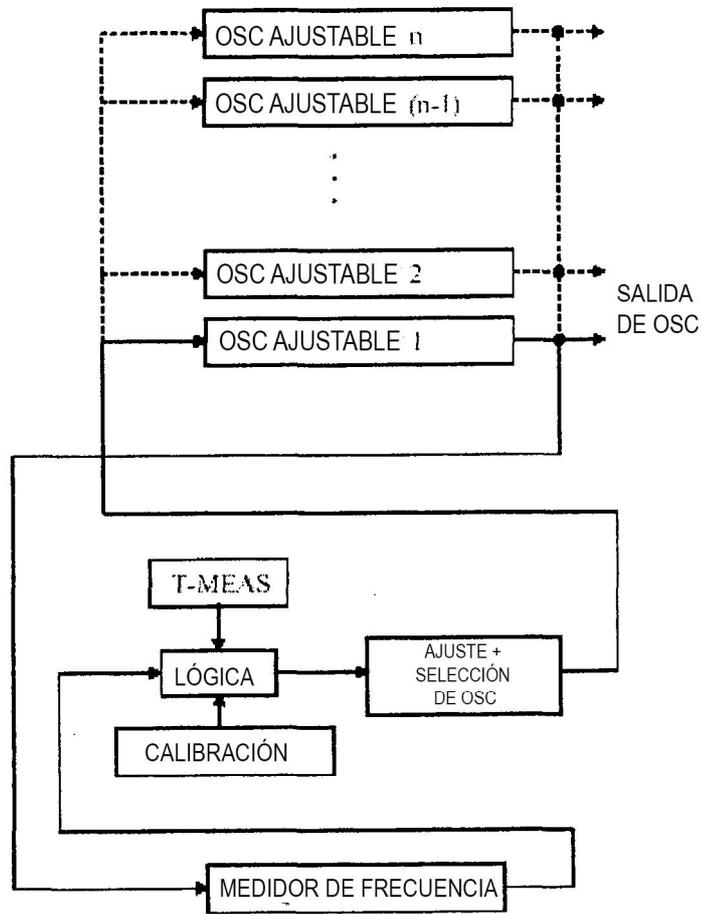


FIG. 6

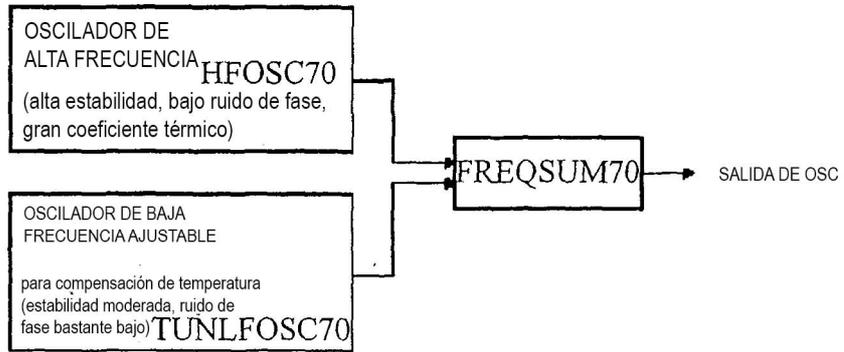


FIG. 7

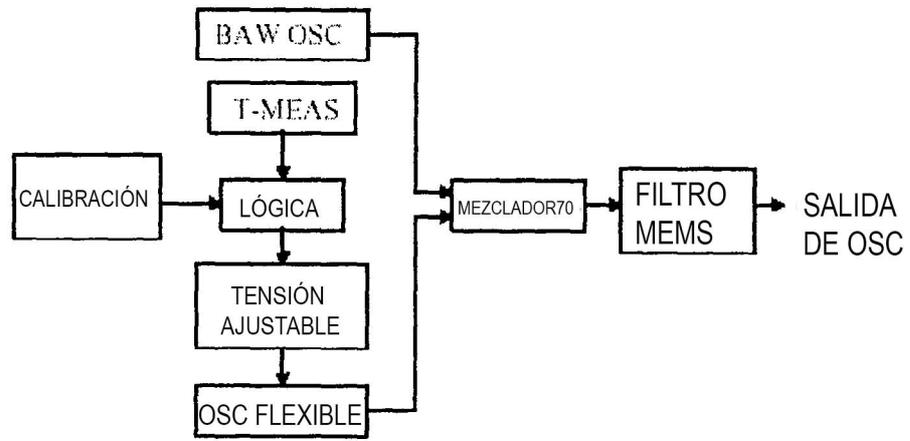


FIG. 8

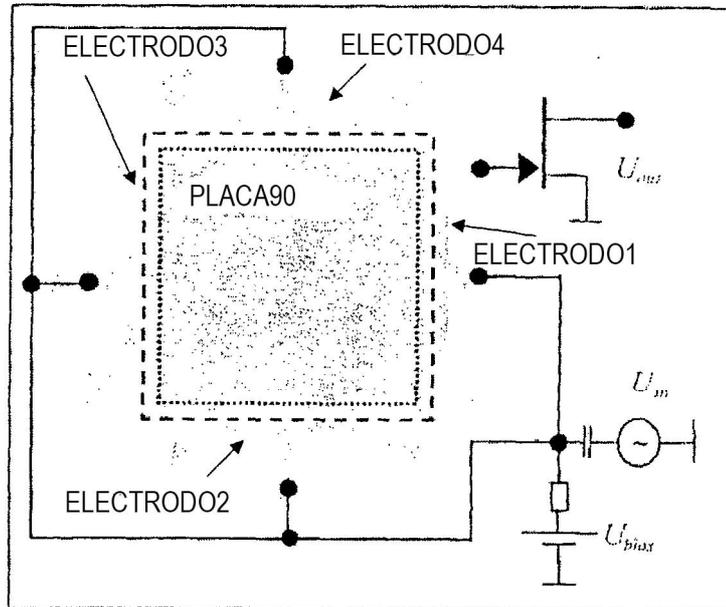


FIG. 9