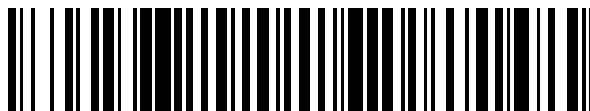


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 425 299**

21 Número de solicitud: 201230273

51 Int. Cl.:

**G01K 7/01** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**23.02.2012**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**14.10.2013**

56 Se remite a la solicitud internacional:

**PCT/ES2013/070095**

71 Solicitantes:

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
(100.0%)**

**Jordi Girona, 31  
08034 Barcelona ES**

72 Inventor/es:

**REVERTER CUBARSÍ, Ferran y  
ALTET SANAHUJES, Josep**

54 Título: **CIRCUITO SENSOR PARA LA MEDIDA DE TEMPERATURA EN PEQUEÑA SEÑAL EN CIRCUITOS INTEGRADOS**

57 Resumen:

Circuito sensor para la medida de temperatura en pequeña señal en circuitos integrados.

La presente invención describe un circuito sensor para la medida de las variaciones de temperatura en pequeña señal a una frecuencia  $F$  provocadas por la potencia disipada por otro circuito, denominado circuito bajo medida, a la misma frecuencia  $F$ . El circuito sensor está compuesto por un transductor de temperatura acoplado térmicamente al circuito bajo medida a través del sustrato del mismo cristal semiconductor, un circuito de polarización y un filtro amplificador acoplado en alterna para eliminar los efectos de las variaciones lentas de temperatura. Por ejemplo, y sin que esta aplicación limite las reivindicaciones de la patente, la tensión de salida del circuito sensor, con una componente espectral a la frecuencia  $F$  amplificada, puede ser utilizada para determinar características eléctricas del circuito bajo medida sin necesidad de cargarlo eléctricamente.

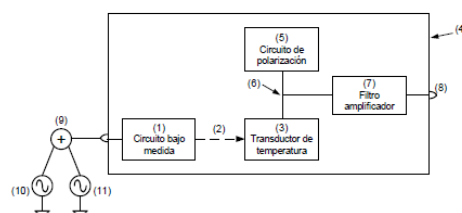


Figura 1

**CIRCUITO SENSOR PARA LA MEDIDA DE TEMPERATURA EN PEQUEÑA  
SEÑAL EN CIRCUITOS INTEGRADOS**

**Sector de la técnica:**

5

La presente invención se refiere a un circuito sensor para la medida de temperatura en circuitos integrados. El sector de la técnica al que se refiere es el de la instrumentación electrónica para la medida de temperatura en circuitos integrados. Específicamente, la medida de temperatura es en régimen permanente sinusoidal y en pequeña señal.

10

**Estado de la técnica:**

El funcionamiento de un determinado circuito electrónico provoca una disipación de potencia y ésta un aumento de temperatura en sus proximidades. Por lo tanto, una medida de temperatura cerca de este circuito puede proporcionar información sobre posibles anomalías y características del mismo. En comparación con los métodos clásicos de verificación de circuitos integrados basados en la medida de magnitudes eléctricas, la utilización de la temperatura como observable tiene la ventaja principal que el circuito bajo medida no está cargado eléctricamente, lo cual es propicio para circuitos de alta frecuencia.

15

20

Varias patentes han propuesto la utilización de la temperatura para verificar y caracterizar circuitos integrados. Por ejemplo, la patente [1] propone un procedimiento para la detección de anomalías estructurales en circuitos analógicos integrados mediante la medida de la temperatura en distintos puntos de la superficie del cristal semiconductor. La patente [2], en cambio, propone un procedimiento para la caracterización eléctrica de circuitos analógicos integrados utilizando la temperatura como observable. Ésta propone estimular el circuito bajo medida con una señal eléctrica que sea la suma de dos señales sinusoidales de frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ , siendo  $f_2 > f_1$ . Las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  deben estar dentro del rango de operación del circuito bajo medida (por ejemplo, en el rango de GHz para circuitos de radio frecuencia), pero la diferencia de frecuencias  $f_2 - f_1$  (por ejemplo, 1 kHz) debe ser inferior a la frecuencia de corte del acoplo térmico

25

30

existente entre el circuito bajo medida y el transductor de temperatura. En estas condiciones, el mezclado de frecuencias intrínseco que proporciona el efecto Joule genera una componente espectral de potencia a la frecuencia de batimiento  $F = f_2 - f_1$  que es observable térmicamente; este procedimiento es llamado heterodino en la patente [3]. Por lo tanto, el circuito bajo medida trabaja a altas frecuencias pero las variaciones de temperatura son de baja frecuencia y contienen información sobre las características eléctricas del mismo a alta frecuencia. La patente [4], basándose en el procedimiento general introducido en la patente [2], propone un procedimiento específico para obtener una característica eléctrica concreta, la frecuencia central, de un circuito analógico integrado, específicamente un amplificador sintonizado, mediante la medida de la temperatura.

Las patentes [1-2] y el artículo [5] proponen medir estas variaciones de temperatura en pequeña señal a una frecuencia  $F$  provocadas por el circuito bajo medida mediante un circuito sensor integrado en el mismo cristal semiconductor. Este circuito está compuesto por dos transductores de temperatura, ambos basados en un transistor bipolar. Mientras uno de los dos transistores, ubicado cerca del circuito bajo medida, detecta las variaciones de temperatura ambiente y aquellas provocadas por el circuito, el otro transistor, ubicado lejos del circuito bajo medida, únicamente detecta las variaciones de la temperatura ambiente. Estos dos transistores están conectados en emisor común y constituyen el par diferencial de la etapa de entrada de un amplificador de transconductancia operando en lazo abierto, de tal manera que la tensión de salida es inmune a las variaciones de la temperatura ambiente. Este circuito sensor ofrece una elevada sensibilidad a las variaciones de temperatura provocadas por el circuito bajo medida. Sin embargo, esta elevada sensibilidad provoca una saturación de la tensión de salida cuando existe un desequilibrio entre los dos transistores que actúan como transductor y/o cuando la polarización del circuito bajo medida genera un cambio de la temperatura de operación. Estas limitaciones provocan que el circuito sensor precise un ajuste manual de su punto de trabajo. La operación en lazo abierto tampoco permite controlar la sensibilidad del circuito sensor.

[1] P 200002735 Procedimiento de verificación estructural de circuitos integrados analógicos basado en la observación interna y concurrente de temperatura.

[2] P200501512 Procedimiento para determinar las características eléctricas de circuitos analógicos integrados.

5 [3] P200800980 Procedimiento heterodino para la realización de mediciones de temperatura.

[4] P200601291 Procedimiento para la obtención de la frecuencia central en amplificadores sintonizados integrados en un cristal semiconductor mediante la medición de temperatura.

10 [5] E. Aldrete-Vidrio, D. Mateo, J. Altet, M. Amine Salhi, S. Grauby, S. Dilhaire, M. Onabajo y J. Silva-Martinez, "Strategies for built-in characterization testing and performance monitoring of analog RF circuits with temperature measurements", *Meas. Sci. Technol.* 21 075104 (10pp) 2010.

#### 15 **Descripción de la invención:**

El circuito sensor propuesto en la presente invención tiene por objetivo medir las variaciones de temperatura en pequeña señal a la frecuencia  $F$  provocadas por un circuito bajo medida sujeto a la técnica de caracterización heterodina, para  
20 determinar posteriormente características eléctricas del mismo. El circuito sensor propuesto está compuesto por:

- Un transductor de temperatura acoplado térmicamente al circuito bajo medida a través del sustrato del mismo cristal semiconductor y que  
25 proporciona una señal eléctrica, tal como tensión o corriente, dependiente de la temperatura.

- Un circuito de polarización encargado de proporcionar al transductor de temperatura un punto de trabajo adecuado en términos de sensibilidad a la temperatura, variabilidad de la sensibilidad, resistencia de salida y tensión  
30 de ruido a la salida.

- Un filtro amplificador acoplado en alterna y operando en lazo cerrado. Éste actúa como un filtro paso banda alrededor de  $F$  de tal manera que

amplifica la componente espectral de interés a la frecuencia  $F$  y atenúa/rechaza las otras componentes.

Respecto al estado de la técnica anterior, esta invención presenta las siguientes ventajas:

- Precisa solamente un transductor de temperatura y, por consiguiente, se evitan los problemas de saturación de la tensión de salida del circuito sensor debidos al desequilibrio entre transductores. A pesar de utilizar un único transductor, la tensión de salida del circuito sensor es inmune a las variaciones de la temperatura ambiente ya que el filtro amplificador que procesa la señal del transductor de temperatura está acoplado en alterna.

- Los cambios de temperatura en continua o de baja frecuencia provocados por la polarización del circuito bajo medida tampoco provocan problemas de saturación en la tensión de salida del circuito sensor ya que el filtro amplificador que procesa la señal del transductor de temperatura está acoplado en alterna.

- Dado que la tensión de salida del circuito sensor no sufre problemas de saturación, no es necesario un ajuste manual de su punto de trabajo.

- La sensibilidad del circuito sensor es controlable mediante los componentes utilizados en el lazo de realimentación del filtro amplificador.

#### **Breve descripción de los dibujos:**

La figura 1 presenta un esquema de bloques de la invención.

La figura 2 presenta una realización preferente de la invención.

#### **Descripción de una realización preferente:**

La figura 1 presenta un esquema de bloques de la invención. El circuito bajo medida (1) está sujeto a la técnica de caracterización heterodina aplicando a su

entrada una señal eléctrica que es igual a la suma (9) de dos señales sinusoidales de frecuencias  $f_1$  (10) y  $f_2$  (11), siendo  $f_2 > f_1$ . El circuito bajo medida provoca variaciones de temperatura en pequeña señal a una frecuencia  $F = f_2 - f_1$  que se acoplan térmicamente (2) al transductor de temperatura (3) a través del sustrato del mismo cristal semiconductor (4). El transductor (3) convierte estas variaciones de temperatura en pequeña señal en variaciones de una señal eléctrica en pequeña señal alrededor de un punto de trabajo determinado por el circuito de polarización (5). La señal eléctrica (6) dependiente de la temperatura proporcionada por el transductor (3) es luego conectada al filtro amplificador (7) que amplifica la componente espectral de interés a la frecuencia  $F$  y atenúa/rechaza las otras componentes. De esta manera, a la salida (8) se obtiene una señal sinusoidal a una frecuencia  $F$  (por ejemplo, 1 kHz) que contiene información sobre las características eléctricas del circuito bajo medida (1) a alta frecuencia y que es insensible a variaciones lentas de temperatura provocadas, por ejemplo, por la temperatura ambiente o por la polarización del mismo circuito bajo medida.

La figura 2 muestra una realización preferente de la invención en la que el transductor de temperatura (3) es un transistor MOSFET (12) conectado en forma de diodo, el circuito de polarización (5) es una fuente de corriente constante (13) conectada a la tensión de alimentación (14), y el filtro amplificador (7) es un amplificador operacional (15) con un lazo de realimentación determinado por los condensadores (16) y (17). El circuito bajo medida (1) está sujeto a la técnica de caracterización heterodina, con una entrada igual a la suma (9) de dos señales sinusoidales de frecuencias  $f_1$  (10) y  $f_2$  (11), provocando variaciones de temperatura en pequeña señal a una frecuencia  $F = f_2 - f_1$  que se acoplan térmicamente (2) al transistor MOSFET (12) a través del sustrato del mismo cristal semiconductor (4). El transistor MOSFET (12) convierte estas variaciones de temperatura en pequeña señal en variaciones de tensión en pequeña señal alrededor de un punto de trabajo determinado por las dimensiones del mismo transistor (12) y la fuente de corriente (13). La tensión (6) dependiente de la temperatura es posteriormente amplificada por un amplificador operacional (15) acoplado en alterna cuya ganancia depende de la relación existente entre los condensadores (16) y (17). La tensión de salida (8) del circuito sensor presenta

una señal sinusoidal a una frecuencia  $F$  que contiene información sobre las características eléctricas del circuito bajo medida (1) a alta frecuencia sin necesidad de cargarlo eléctricamente y que además es independiente de las variaciones lentas de temperatura provocadas, por ejemplo, por la temperatura ambiente o por la polarización del propio circuito bajo medida.

## REIVINDICACIONES

1. Un circuito sensor para la medida de las variaciones de temperatura en pequeña señal en circuitos integrados **caracterizado porque** comprende:

5

- un transductor de temperatura acoplado térmicamente al circuito bajo medida a través del sustrato del cristal semiconductor que convierte variaciones de temperatura en pequeña señal a una frecuencia  $F$ , provocadas por el circuito bajo medida cuando éste está sujeto a la técnica de caracterización heterodina, en variaciones de una señal eléctrica en pequeña señal a la misma frecuencia  $F$ ,

10

- un circuito de polarización conectado al transductor de temperatura que establece el punto de trabajo de la conversión de temperatura a señal eléctrica en pequeña señal realizada por el transductor de temperatura,

15

- un filtro amplificador conectado a la salida del transductor de temperatura que amplifica la señal eléctrica en pequeña señal a una frecuencia  $F$  proporcionada por el transductor de temperatura y que está acoplado en alterna para rechazar los efectos de las variaciones lentas de temperatura, provocadas por la temperatura ambiente o por la polarización del mismo circuito bajo medida, sobre el transductor de temperatura.

20

2. Un circuito sensor para la medida de las variaciones de temperatura en pequeña señal en circuitos integrados según la reivindicación 1 **caracterizado porque** el transductor de temperatura es un transistor MOSFET conectado en forma de diodo que convierte las variaciones de temperatura en pequeña señal en variaciones de tensión en pequeña señal alrededor de un punto de trabajo.

25

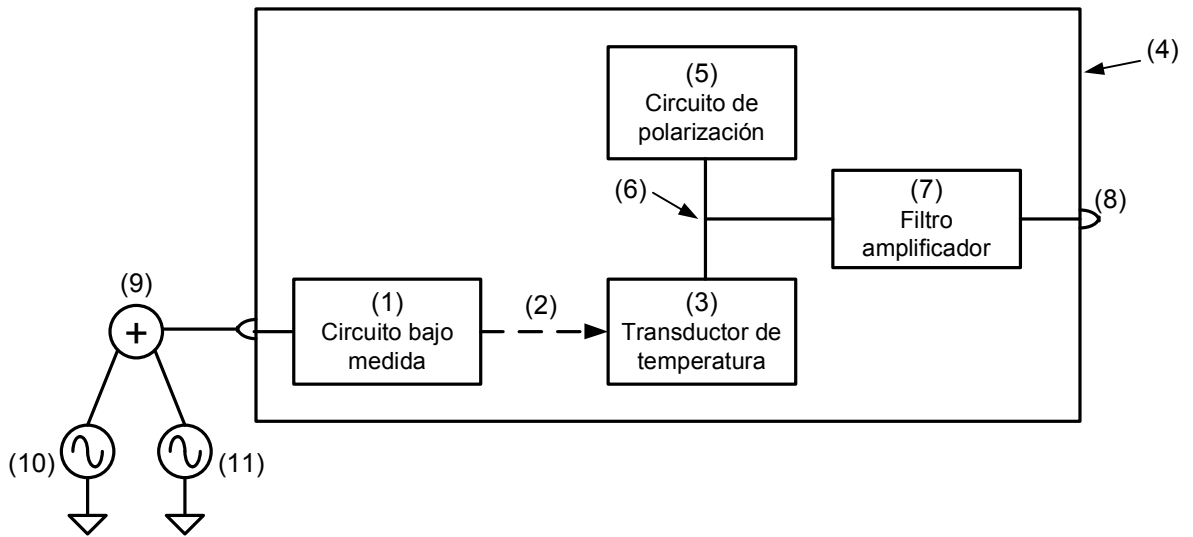


Figura 1

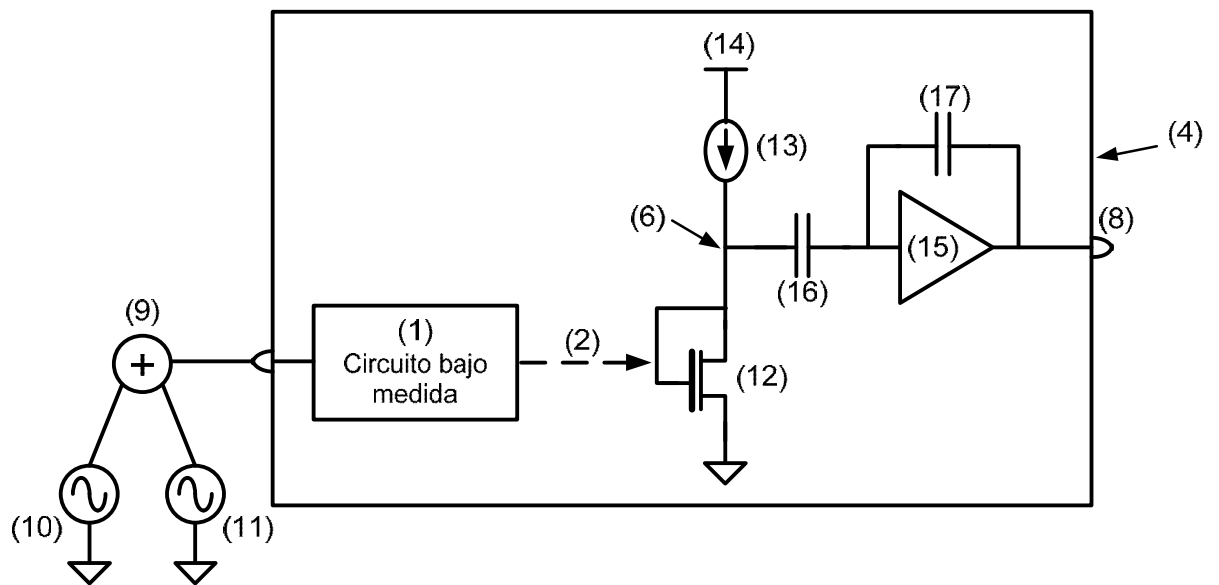


Figura 2