

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 694 036**

21 Número de solicitud: 201730806

51 Int. Cl.:

G01K 7/01 (2006.01)

G01K 3/14 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

16.06.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

17.12.2018

71 Solicitantes:

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

**Jordi Girona, 31
08034 Barcelona ES**

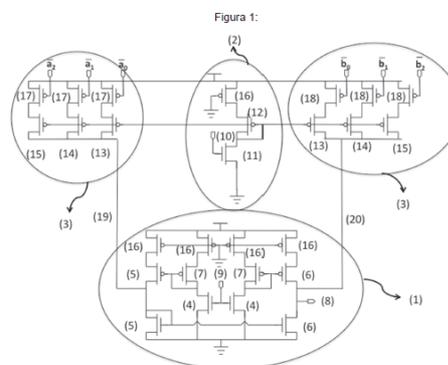
72 Inventor/es:

**ALTET SANAHUJES, Josep;
ARAGONÉS CERVERA, Xavier;
MATEO PEÑA, Diego;
VIDAL LÓPEZ, Eva María y
RUÍZ GONZÁLEZ, Sergio**

54 Título: **CIRCUITO SENSOR DE TEMPERATURA DIFERENCIAL CON SELECCIÓN DE GRAN MARGEN DINÁMICO O ALTA SENSIBILIDAD**

57 Resumen:

La presente invención describe un circuito sensor para ser integrado en un circuito microelectrónico que permite medir la diferencia de temperatura entre dos puntos de la superficie del cristal semiconductor. El circuito sensor tiene dos modos de funcionamiento: modo 1, donde trabaja con una elevada sensibilidad y un margen lineal pequeño y modo 2, donde tiene una menor sensibilidad pero un margen dinámico lineal grande. La figura 1 muestra un ejemplo de esquemático a nivel de transistor del sensor diferencial con selección de gran margen dinámico o alta sensibilidad.



DESCRIPCIÓN

**CIRCUITO SENSOR DE TEMPERATURA DIFERENCIAL CON SELECCIÓN DE GRAN
MARGEN DINÁMICO O ALTA SENSIBILIDAD**

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

10 La presente invención describe un circuito sensor para ser integrado en un circuito microelectrónico que permite medir la diferencia de temperatura entre dos puntos de la superficie del cristal semiconductor. El sector de la técnica es diseño microelectrónico, específicamente diseño microelectrónico de sensores diferenciales de temperatura.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15

Los circuitos sensores de temperatura se integran en circuitos microelectrónicos conjuntamente con otros circuitos digitales y/o analógicos. El conocimiento de la temperatura en determinados puntos del circuito permite gestionar qué bloques de éste están funcionando y verificar si lo hacen dentro de los parámetros correctos de fiabilidad. Esta información permite también elegir si es necesario activar estrategias de refrigeración y/o de funcionamiento de bajo consumo. Otra aplicación es la caracterización y test de subcircuitos (también llamados bloques) integrados en el mismo dado semiconductor (por ejemplo, amplificadores) [1,2]. Por ejemplo, la patente[4] muestra un procedimiento para medir la eficiencia de amplificadores lineales clase A a partir de mediciones de temperatura. Para esta última aplicación, el artículo [3] propone utilizar sensores diferenciales de temperatura para realizar la caracterización.

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

30 [2] P200501512 Procedimiento para determinar las características eléctricas de circuitos analógicos integrados.

[3] J. Altet, A. Rubio, E. Shcaub, S. Dilhaire, W. Claeys, "Thermal coupling in integrated circuits: application to thermal testing". IEEE Journal of Solid State Circuits, 2001, Vol. 36, no. 1, pp. 81-91.

35 [4] P201230234 Procedimiento para la medición de la eficiencia de amplificadores de potencia integrados lineales clase A mediante mediciones de temperatura en continua.

EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

Los sensores diferenciales de temperatura miden la diferencia de temperatura entre dos puntos de la superficie del circuito integrado.

5 El sensor descrito en el artículo [3] está compuesto por dos transductores de temperatura, ambos basados en un transistor bipolar. Si el sensor se aplica para realizar la caracterización de un circuito que está integrado en el mismo cristal semiconductor que el sensor de temperatura, uno de los dos transistores se ubica cerca del circuito que se desea caracterizar y detecta las variaciones de temperatura ambiente y aquellas provocadas por la
10 disipación de potencia del circuito a caracterizar. El otro transistor, ubicado lejos del circuito a caracterizar, únicamente detecta las variaciones de la temperatura ambiente (si el circuito a caracterizar no está activo, los dos transductores estarán a la misma temperatura). 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
15 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. Esta elevada sensibilidad provoca una saturación de la tensión de salida cuando existe un desequilibrio indeseado entre las dos ramas diferenciales que forman el sensor. Se entiende por desequilibrio indeseado aquel que no sea causado por la disipación de potencia del circuito a caracterizar. Se pueden clasificar
20 en: sistemáticos por diseño (por ejemplo, en [3] se muestra como se introduce un desequilibrio estructural en el par diferencial al introducir la circuitería de polarización de la base de los transistores que actúan como transductores), o aleatorio, por ejemplo, variaciones del proceso de fabricación (conocido como “mismatching”) o por la existencia de
25 un gradiente de temperatura en la superficie del cristal semiconductor, provocado por otros subcircuitos diferentes al que se desea caracterizar. Adicionalmente, diseñar un sensor diferencial con elevada sensibilidad tiene el detrimento de un margen dinámico lineal de entrada pequeño. Esta característica restringe el uso de sensores diferenciales, ya que en determinadas aplicaciones (por ejemplo el procedimiento descrito en la patente [4]) se
30 requiere un sensor que tenga ambas características: elevada sensibilidad para realizar algunas mediciones y un elevado margen dinámico lineal para realizar otras.

La figura 1 muestra un ejemplo de implementación del circuito sensor propuesto en la presente patente. El circuito consta de tres partes:

La parte (1) es un sensor diferencial con una topología parecida a la reportada en el artículo
35 [3]. En el circuito de la figura 1 los dos dispositivos que actúan como transductores de temperatura son dos transistores NMOS (4), que están acoplados por surtidor. Estos

transistores tienen las mismas dimensiones y la misma tensión entre puerta y surtidor (en este circuito, fijada externamente a través del terminal (9)). Consecuentemente, a igualdad de temperatura y sin considerar variaciones debidas al proceso de fabricación, la corriente de drenador de ambos transistores es la misma. Esta corriente se desaparea cuando los dos transistores trabajan a temperaturas distintas (lo que ocurre cuando se activa el circuito a caracterizar). Cuando esto se produce, la diferencia de corriente de drenador entre ambos transistores se puede describir mediante la ecuación:

$$\Delta I_{D(4)_T} = \Delta T_{(4)} \cdot \left. \frac{\partial I_{D(4)}}{\partial T} \right]_{I_{D(4)}=I_{DQ(4)}} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde: $\Delta I_{D(4)_T}$ es la diferencia entre las corrientes de drenador de los transistores (4) causada por la diferencia de su temperatura de trabajo, $\Delta T_{(4)}$ es la diferencia de temperatura de trabajo entre los transistores (4), $I_{D(4)}$ es la corriente de drenador de los transistores (4) e $I_{DQ(4)}$ es la corriente de polarización que tienen los transistores (4) cuando están trabajando a la misma temperatura, es decir, antes de que el circuito que se quiera caracterizar mediante mediciones de temperatura disipe potencia y modifique el equilibrio térmico entre los transistores. En tecnologías bipolares, BiCMOS o CMOS con triple pozo, los dispositivos (4) pueden ser substituidos por un par diferencial de transistores bipolares acoplados por emisor común. Los espejos de corriente (5), (6) y (7), juntamente con la etapa de alta impedancia de salida formada por los transistores (6) convierte la diferencia de corriente de drenador entre los transistores (4) en variaciones de tensión del terminal (8) (siempre y cuando el sensor se mantenga dentro del rango lineal de operación).

El objetivo de la parte (2) es generar una corriente de referencia, que puede ser insensible a variaciones de temperatura. Si las variaciones de temperatura de esta corriente de referencia generada no son una limitación para la aplicación final del sensor de temperatura, esta parte (2) se puede obviar y se puede utilizar una de las dos ramas del circuito diferencial de la parte (1) (por ejemplo los transistores (4), (7) y (16) de la rama derecha de la estructura diferencial) para generar la tensión de puerta que polariza a los transistores (13).

Cada una de las partes (3) es una fuente de corriente controlada por código digital. Los transistores (12), (13), (14) y (15) forman espejos de corriente. La longitud de puerta de los transistores (12), (13), (14) y (15) es la misma. No obstante, las anchuras difieren. Por ejemplo, las anchuras pueden verificar (si bien otras relaciones son posibles): $W_{(15)} = 2 \cdot W_{(14)} = 4 \cdot W_{(13)}$, $W_{(12)} = W_{(13)}$ donde $W_{(i)}$ representa la anchura de puerta del transistor (i). Los transistores (17) y (18) funcionan como interruptores: el interruptor/transistor estará cerrado y permitirá la circulación de corriente cuando la tensión aplicada a su puerta sea 0 V. Alternativamente, estará abierto (es decir, el transistor no conducirá corriente) cuando la

tensión aplicada a su puerta sea igual a la tensión de alimentación del circuito. Los transistores (16) siempre están conduciendo: se han añadido al circuito para minimizar el desapareamiento entre los espejos de corriente que hay en todo el circuito. El objetivo de la parte 3 del diseño es introducir corriente al sensor diferencial por las ramas (19) y (20).

5 Suponiendo que las tensiones aplicadas a (10) y (9) sean la misma, el valor de la corriente que se añade al sensor diferencial por las ramas (19) y (20) se puede describir como:

$$\Delta I_N = N \cdot K_{(4)_{(11)_{(13)}}} \cdot I_{D(4)Q} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde ΔI_N es la corriente que circula desde la parte (3) a la (1) por las ramas (19) o (20), N es el número decimal codificado en binario natural –base 2– por los vectores $A=a_2a_1a_0$ (para la rama (19)) o $B=b_2b_1b_0$ (para la rama (20)), $K_{(4)_{(11)_{(13)}}$ es una constante que indica la relación que hay entre las dimensiones de las puertas de los transistores (4), (11) y (13), e $I_{DQ(4)}$ es la corriente de polarización que tienen los transistores (4) cuando están trabajando a la misma temperatura, es decir, antes de que el circuito que se quiera caracterizar mediante mediciones de temperatura disipe potencia y modifique el equilibrio térmico entre los transistores (4) (ya descrita en Ecuación 1). Otras relaciones entre las anchuras de las puertas de los transistores (13), (14) y (15) diferentes que potencias de 2, implicaría otra codificación diferente de binario natural para el número N presente en la Ecuación 2. En este ejemplo se ha limitado a 3 el número de componentes de cada uno de los vectores digitales, pero pueden incrementarse en función de la resolución y margen dinámico deseado para cada una de las fuentes de corriente (3).

Si consideramos las dos ecuaciones anteriores, los espejos de corriente formados por los transistores tipo NMOS (5) y (6) pueden tener una variación de corriente de drenador causada bien por una variación de la temperatura de los transistores (4) y/o por el código binario presente en la puerta de los transistores (17) y (18). Asumiendo que la relación de aspecto entre los transistores (5) y (6) es unitaria – NMOS de (5) igual a NMOS de (6), PMOS de (5) igual a PMOS de (6)– la variación de corriente de drenador que tienen los transistores (5) (o (6)) es:

$$\Delta I_{D(5)} = \Delta I_N + K_{(7)_{(5)}} \cdot \Delta I_{D(4)_T} \quad \text{Ecuación 3}$$

siendo $K_{(7)_{(5)}}$ la relación de aspecto entre los tamaños de puerta de los transistores (7) y (5). Esta variación de corriente se convierte en variación de la tensión del terminal (8) gracias a la elevada resistencia de salida de los transistores (6).

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra un ejemplo de esquemático a nivel de transistor del sensor diferencial con selección de gran margen dinámico o alta sensibilidad.

Figura 2.- Muestra la típica función entrada salida del sensor de temperatura cuando trabaja en modo de alta sensibilidad.

Figura 3.- Muestra la típica función entrada salida del sensor de temperatura cuando trabaja en modo de alto margen dinámico.

15 REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

La figura 1 muestra un ejemplo de implementación del circuito sensor propuesto en la presente patente. El circuito tiene dos modos de funcionamiento:

Modo 1. Alta sensibilidad entre variación de tensión a la salida y diferencia de temperatura del par diferencial de entrada.

Durante la fase de polarización del circuito sensor de temperatura se fija el valor de los vectores $a_2a_1a_0$ o $b_2b_1b_0$ para asegurar que el sensor está trabajando en su zona lineal. Una vez fijados los vectores digitales, se activa el circuito a caracterizar y se realiza la medición de temperatura. La figura 2 muestra un ejemplo de característica entrada-salida del sensor.

En este ejemplo, el sensor se ha alimentado a una tensión de 3,3 V. El eje horizontal (21) representa la diferencia de temperatura (ΔT , en grados Celsius °C) que existe entre los transistores (4), el eje vertical (22) muestra la tensión de salida (en voltios V) en el terminal (8) del sensor ($V_{(8)}$). Se muestran un total de 15 diferentes curvas características entrada-salida, en función del valor de los vectores $a_2a_1a_0$ y $b_2b_1b_0$. Por ejemplo, la función (33) corresponde a los códigos digitales $a_2a_1a_0 = 000$ y $b_2b_1b_0 = 000$, la función (29) corresponde a los códigos digitales $a_2a_1a_0 = 100$ y $b_2b_1b_0 = 000$ y la función (30) corresponde a los códigos digitales $a_2a_1a_0 = 101$ y $b_2b_1b_0 = 000$. Se define el margen lineal de entrada como el conjunto de valores en los que la tensión del terminal de salida del sensor (8) tiene un comportamiento que se puede definir por la ecuación:

$$V_{(8)} = S_{TD} \cdot \Delta T$$

Ecuación 4

35

La figura 2 muestra el margen lineal de entrada del sensor (23) cuando los códigos digitales $A=a_2a_1a_0$ y $B=b_2b_1b_0$ aplicados a las puertas de los transistores (17) y (18) respectivamente son 0 (33). Este margen lineal de entrada viene delimitado por su valor mínimo (24) y máximo (25). En función del código digital aplicado, los valores mínimo (24) y máximo (25) que definen el margen lineal de entrada se pueden modificar. Esta característica permite compensar cualquier desequilibrio indeseado entre las dos ramas diferenciales que forman el sensor y que puede saturar la tensión de salida del mismo, permitiendo realizar mediciones de temperatura de alta sensibilidad aun en presencia de gradientes térmicos pre-existentes en el circuito integrado, como las mediciones de temperatura que se requieren al aplicar el procedimiento descrito en la patente [4].

Modo 2: Gran margen dinámico.

Definimos C como:

C = Valor representado por A, cuando B es 0

C= - Valor representado por B, cuando A es 0.

Se impone la condición de que únicamente uno de los dos, A o B, pueden tener un valor diferente de 0.

Definimos la tensión de referencia V_{REF} (26), siendo esta tensión uno de los posibles valores de tensión de salida del sensor.

Definimos $C_{\square T}$ como el código digital que hay que aplicar a la parte (3) del circuito para que la tensión de salida del sensor sea la de referencia cuando la diferencia de temperatura entre los transistores (4) es ΔT . Por ejemplo, observando la figura 2, (26), (27) y (29) nos indican que si consideramos $V_{REF} = 1,6$ V, entonces $C_{6^\circ C} = 4$ ($a_2a_1a_0=100$, $b_2b_1b_0=000$). Observando (26), (28) y (30), $C_{8^\circ C} = 5$ ($a_2a_1a_0=101$, $b_2b_1b_0=000$), considerando la misma tensión de referencia.

La figura 3 muestra $C_{\square T}$ (eje vertical (32), sin unidades) en función de ΔT (eje horizontal (31), expresado en $^\circ C$) para $V_{REF} = 1,6$ V.

Definimos ΔT_0 como la diferencia de temperatura existente entre los transistores (4) antes de activar el circuito a caracterizar. Definimos ΔT_1 como la diferencia de temperatura existente entre los transistores (4) después de activar el circuito a caracterizar. Asociamos los códigos $C_{\square T_0}$ a ΔT_0 y $C_{\square T_1}$ a ΔT_1 .

La variación de temperatura ($\Delta T_1 - \Delta T_0$) se puede obtener mediante la ecuación:

$$(\Delta T_1 - \Delta T_0) = S_{CD} \cdot (C_{\square T_1} - C_{\square T_0}) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde S_{CD} es la inversa de la pendiente de la función representada en la figura 3. Si se comparan las figuras 2 y 3, mientras en la figura 2 el margen lineal de entrada al sensor es aproximadamente de unos 5 $^\circ C$, para la figura 3 el margen lineal de entrada es de unos 30 $^\circ C$. En este modo de funcionamiento, la salida del sensor es directamente digital. Los

errores de cuantificación y linealidad están relacionados con la resolución y linealidad de las fuentes de corriente implementadas en la parte (3) del circuito de la figura 1.

REIVINDICACIONES

1. Circuito sensor de temperatura diferencial con selección de gran margen dinámico o alta sensibilidad, caracterizado por:

5

I) Estar formado por tres partes: La parte 1 es un amplificador diferencial de transconductancia que contiene un par diferencial, denominado par de entrada, y espejos de corriente. Las corrientes que circulan por cada uno de los dispositivos del par diferencial son proporcionales a variaciones de temperatura en dichos dispositivos. La parte 2 es un bloque que genera una corriente de referencia, que puede ser independiente de la temperatura. La parte 3 son dos bloques que, a partir de la corriente de referencia generada por la parte 2, generan una corriente que se puede controlar mediante un código digital.

10

15

II) Las corrientes generadas en la parte 3 del circuito se suman a dos ramas de la parte 1 del circuito, de forma que en cada una de estas ramas la corriente se pueda expresar como la suma ponderada de: corriente generada por una de las fuentes de la parte 3 más la corriente que circula por uno de los dispositivos que forman el par diferencial de entrada y que es sensible a la temperatura del dispositivo.

Figura 1:

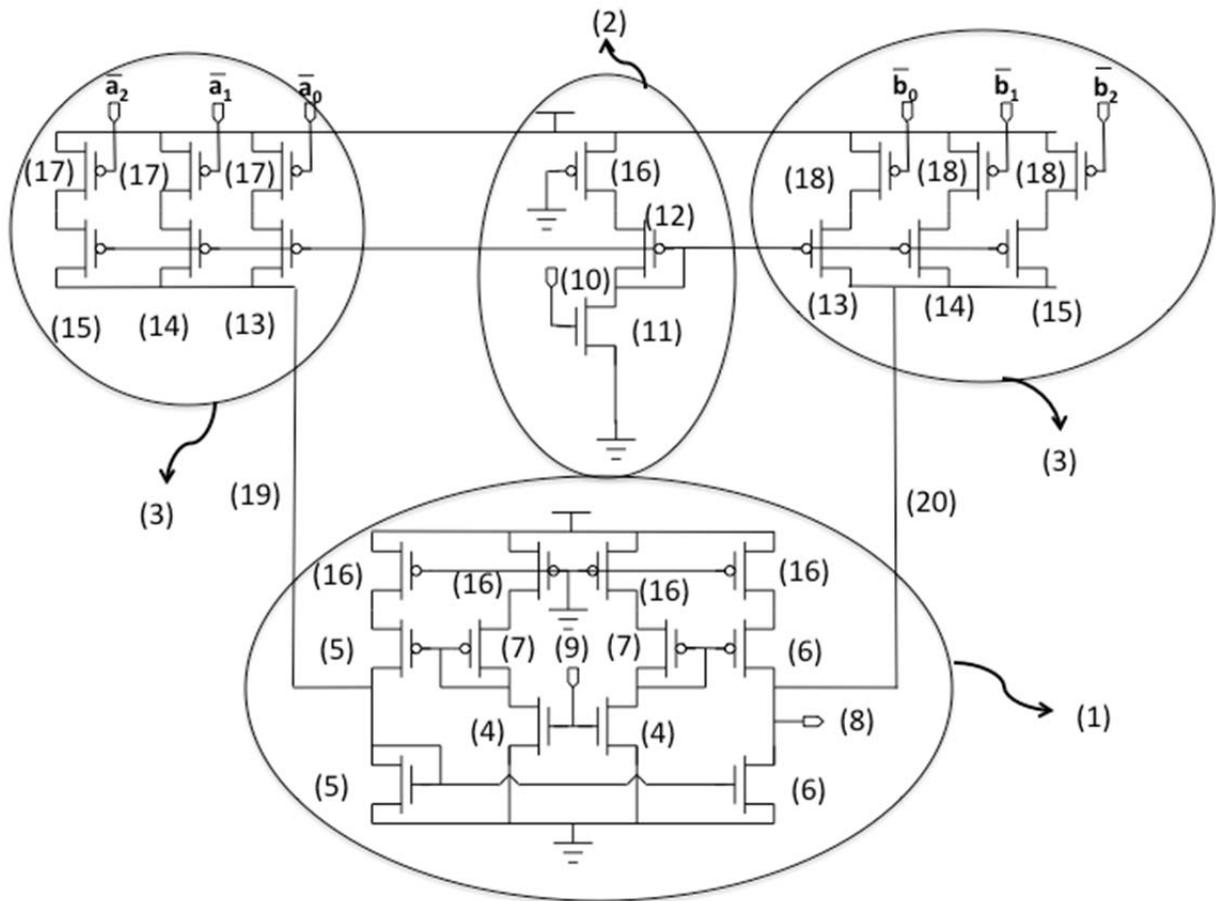


Figura 2:

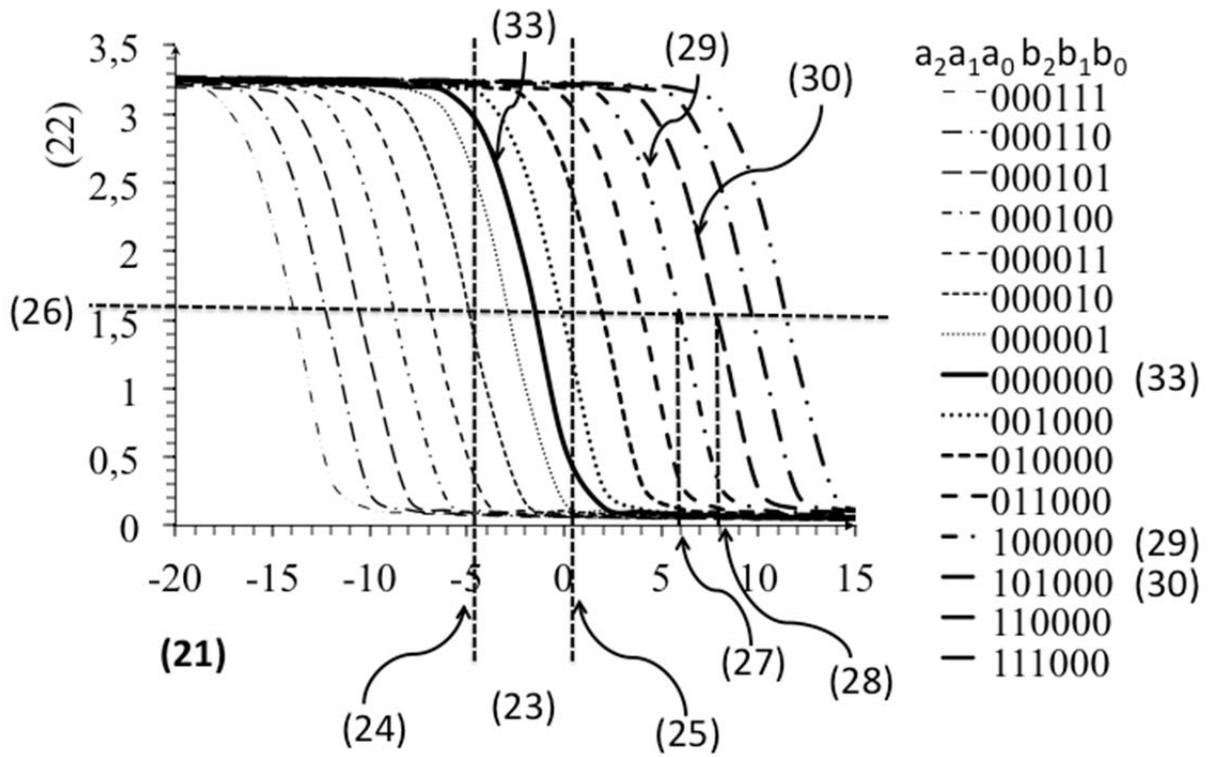
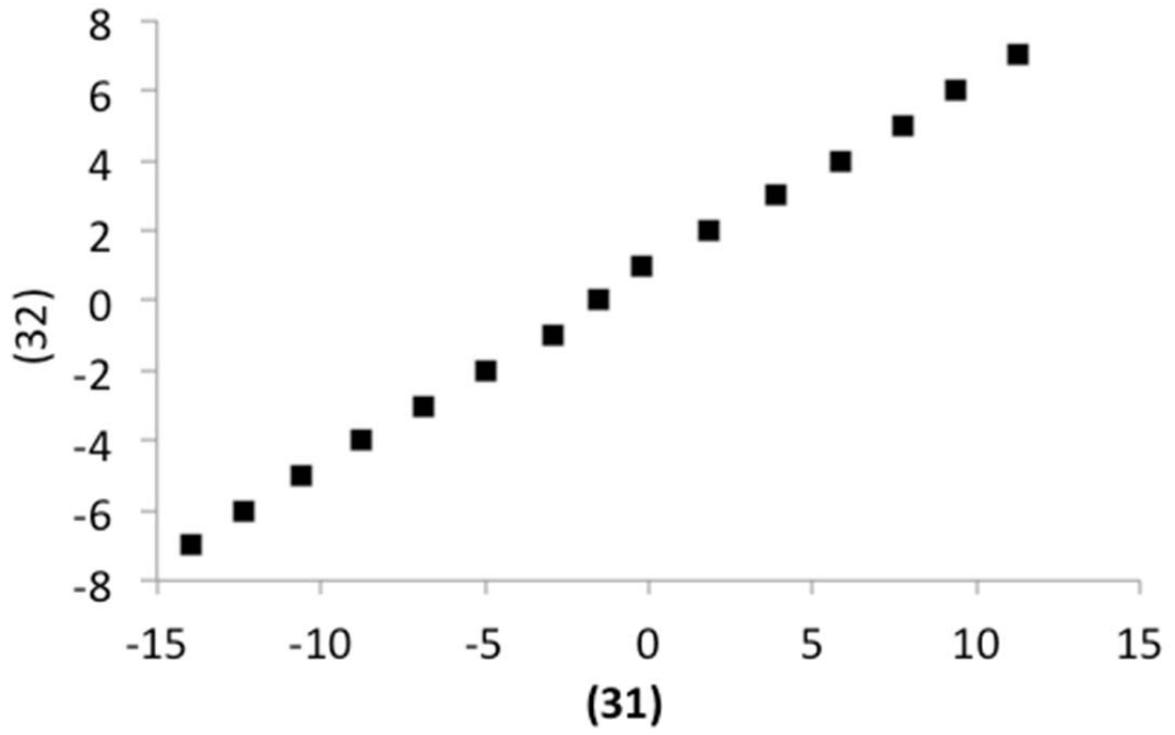


Figura 3:





OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201730806

②② Fecha de presentación de la solicitud: 16.06.2017

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G01K7/01** (2006.01)
G01K3/14 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	Josep Altet et al. "DC temperature measurements for power gain monitoring in RF power amplifiers". Test Conference (ITC), 2012 IEEE International, 20121105 IEEE. , 05/11/2012, páginas 1 - 8, ISSN ISBN 978-1-4673-1594-4 ; XP032297736 ISBN1-4673-1594-X, <DOI: 10.1109/TEST.2012.6401589>	1

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
07.05.2018

Examinador
J. Botella Maldonado

Página
1/2

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01K

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL, XPESP, XPAIP, XPI3E, INSPEC.