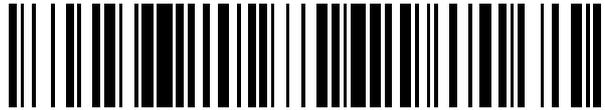


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 639 476**

21 Número de solicitud: 201630530

51 Int. Cl.:

H03D 1/00 (2006.01)

H04L 27/06 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

26.04.2016

43 Fecha de publicación de la solicitud:

26.10.2017

71 Solicitantes:

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

**Jordi Girona, 31
08034 Barcelona ES**

72 Inventor/es:

REVERTER CUBARSÍ, Ferran

54 Título: **CIRCUITO Y MÉTODO PARA DEMODULAR SEÑALES MEDIANTE UN TEMPORIZADOR DIGITAL**

57 Resumen:

Circuito y método para demodular señales mediante un temporizador digital.

La presente invención se refiere a un circuito y a un método para la demodulación de señales moduladas en amplitud mediante un temporizador digital, sin emplear ningún rectificador, mezclador, filtro paso bajo ni convertidor analógico-digital. La señal modulada se asume con una frecuencia de portadora en el rango de los kilohertzios, tal y como ocurre en circuitos de acondicionamiento para sensores capacitivos e inductivos. Se propone que la señal modulada actúe como una interferencia superpuesta a la tensión umbral utilizada para medir el periodo de una señal triangular conocida. De esta manera, la desviación estándar de un conjunto de N medidas de periodo sujetas a los efectos de la señal modulada contiene información sobre la amplitud.

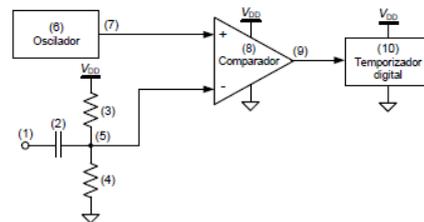


Figura 1

DESCRIPCIÓN**CIRCUITO Y MÉTODO PARA DEMODULAR SEÑALES MEDIANTE UN
TEMPORIZADOR DIGITAL****Sector de la técnica:**

5

La presente invención se refiere a un circuito y a un método para la demodulación de señales moduladas en amplitud mediante un temporizador digital. El sector de la técnica al que se refiere es el de la instrumentación electrónica.

10 **Estado de la técnica:**

En el campo de la instrumentación electrónica, la lectura de determinados sensores se lleva a cabo mediante circuitos electrónicos de acondicionamiento que excitan el sensor con una señal alterna, siendo ésta generalmente sinusoidal
15 o cuadrada. Por ejemplo, la lectura de sensores capacitivos e inductivos (que son utilizados para medir desplazamiento, posición, distancia, presión y nivel) precisa una excitación alterna. Algunos sensores resistivos (por ejemplo, sensores electrolíticos) también precisan una excitación alterna con el fin de evitar la electrólisis. Un circuito de acondicionamiento común para estos sensores es el
20 circuito tipo puente excitado en alterna, también conocido como puente de alterna. En la literatura podemos encontrar distintos puentes de alterna y sus modificaciones mediante amplificadores operacionales (para obtener una respuesta lineal y minimizar los efectos de los componentes parásitos) pensados para sensores capacitivos e inductivos, tales como el puente de Wien, Maxwell-
25 Wien [1], Maxwell con inductancias [2, 3], y Hay.

En el caso que la excitación del sensor sea sinusoidal, la frecuencia (f_e) de la señal de excitación generalmente vale unidades de kilohertzios para sensores inductivos [1-3], y decenas [4] o centenas [5-6] de kilohertzios para sensores
30 capacitivos. La señal de salida del circuito de acondicionamiento es también sinusoidal con una portadora a la frecuencia f_e y una amplitud modulada según la magnitud física a medir. La demodulación de esta señal puede implementarse con: (a) un demodulador asíncrono (o detector de envolvente) que incorpora un rectificador y un filtro paso bajo que proporciona el valor medio de la señal

rectificada [2,6], o (b) un demodulador síncrono (o coherente) que incorpora un mezclador y un filtro paso bajo [4-5]. Si la señal modulada no presenta una supresión de portadora, se puede aplicar tanto la demodulación asíncrona como síncrona, teniendo en cuenta que la segunda ofrece una mayor capacidad de rechazo a interferencias a expensas de una mayor complejidad de diseño. En cambio, si la señal modulada presenta una supresión de portadora y es necesario detectar cambios de fase, solamente es posible aplicar la demodulación síncrona. Una vez realizada la demodulación (sea asíncrona o síncrona) en el dominio analógico, la señal resultante de baja frecuencia es digitalizada mediante un convertidor analógico-digital. Por lo tanto, la lectura de la señal modulada precisa un rectificador o un mezclador, más un filtro paso bajo y un convertidor analógico-digital. Las funciones de la demodulación síncrona (mezclado y filtraje) también pueden implementarse en el dominio digital utilizando en primer lugar un convertidor analógico-digital que trabaje a mayor frecuencia de muestreo [3].

15

En el caso que la excitación del sensor sea cuadrada, tal y como ocurre en un oscilador de relajación [7], la señal de salida del circuito de acondicionamiento presenta una modulación en el dominio temporal, por ejemplo: una señal cuyo periodo (o frecuencia) varía con la magnitud física a medir. La demodulación de estas señales puede realizarse directamente con un temporizador digital (por ejemplo, integrado en un microcontrolador) sin utilizar un convertidor analógico-digital ya que la información de interés no se encuentra en la amplitud de la señal. La medida de periodo mediante un temporizador digital se basa en el siguiente principio de funcionamiento. Cuando la señal de entrada cruza una determinada tensión umbral, el temporizador digital empieza a contar pulsos de alta frecuencia procedentes de un oscilador de referencia. Después de un periodo de la señal de entrada, ésta cruza de nuevo la tensión umbral con el mismo flanco y el temporizador digital se detiene. Por consiguiente, el periodo de la señal de entrada se puede calcular como el número de cuentas registrado en el temporizador multiplicado por el periodo de la señal del oscilador de referencia.

30

Según el estudio teórico y experimental documentado en [8], la medida de periodo de una señal no cuadrada (es decir, con una velocidad de cambio lenta) es susceptible a interferencias sinusoidales superpuestas tanto a la señal de entrada

como a la tensión umbral. Esta interferencia provoca que los instantes de inicio y fin de la temporización sean erróneos y, por lo tanto, la medida de periodo tiene una variabilidad. Esta variabilidad (cuantificada a partir de la desviación estándar de las medidas) incrementa proporcionalmente con la amplitud de la interferencia y depende de la relación que haya entre la frecuencia de la interferencia (f_i) y la frecuencia de la señal de entrada (f_0). Los efectos de la interferencia son nulos cuando $f_i = k \cdot f_0$, mientras que son máximos cuando $f_i = (k + 0.5) \cdot f_0$, siendo k cualquier número entero positivo incluyendo el cero. Este comportamiento es similar al que presenta un convertidor analógico-digital integrador que es capaz de rechazar completamente interferencias superpuestas a la señal analógica de entrada siempre que el periodo de la interferencia sea un submúltiplo del tiempo de integración del convertidor.

- [1] S. Chattopadhyay, S.C. Bera, "Modification of the Maxwell-Wien bridge for accurate measurement of a process variable by an inductive transducer", *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 59 (9) (2010) 2445-2449.
- [2] S.C. Bera, N. Mandal, R. Sarkar, "Study of a pressure transmitter using an improved inductance bridge network and Bourdon tube as transducer", *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 60 (4) (2011) 1453-1460.
- [3] P.Kumar, B. George, J. Kumar, "A simple signal conditioning scheme for inductive sensors", *Int. Conf. Sensing Technology* (2013) 512-515.
- [4] W.Q. Yang, "A self-balancing circuit to measure capacitance and loss conductance for industrial transducer applications", *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 45 (6) (1996) 955-958.
- [5] C. Kollé, P.O. Leary, "Low-cost, high-precision measurement system for capacitive sensors", *Meas. Sci. Technol.* 9 (1998) 510-517.
- [6] J.C. Lötters, W. Olthuis, P.H. Veltink, P. Bergveld, "A sensitive differential capacitance to voltage converter for sensor applications," *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 48 (1) (1999) 89-96.
- [7] E.G. Bakhom, M.H.M. Cheng, "High-sensitivity inductive pressure sensor", *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 60 (8) (2011) 2960-2966.
- [8] F. Reverter, M. Gasulla, R. Pallàs-Areny, "Analysis of interference effects on period-to-digital conversions", *Meas. Sci. Technol.* 16 (2005) 2261-2264.

Descripción de la invención:

El circuito y el método propuestos en la presente invención tienen por objetivo demodular señales moduladas en amplitud mediante circuitos propios de la demodulación de señales moduladas en el dominio temporal, es decir: un temporizador digital. La señal modulada en amplitud se asume sin supresión de portadora y con una frecuencia f_e en el rango de los kilohertzios, tal y como ocurre en circuitos de acondicionamiento para sensores capacitivos e inductivos. El circuito propuesto no precisa los bloques típicos de una demodulación en amplitud (tales como un rectificador o un mezclador, y un filtro paso bajo) ni un convertidor analógico-digital, ya que la demodulación y la digitalización son ambas implementadas mediante el temporizador digital, obteniendo así un circuito demodulador de bajo coste y bajo consumo.

El método propuesto utiliza la señal modulada en amplitud como una interferencia en la medida de periodo de una señal triangular conocida. Los efectos (inicialmente considerados adversos) de una señal sinusoidal superpuesta a la tensión umbral durante la medida de periodo de una señal conocida son aquí explotados para extraer el valor de la amplitud. Para ser precisos, la amplitud de la señal modulada es cuantificada mediante la desviación estándar (DE) de un conjunto de N medidas de periodo de la señal triangular. Asumiendo que f_e es conocida, la frecuencia (f_0) de la señal triangular debe ajustarse para cumplir la relación $f_0 = f_e / (k + 0.5)$. De esta manera, se obtiene un valor de DE máximo que incrementa con la amplitud de la señal modulada. Por ejemplo, si el circuito electrónico presenta una excitación con una frecuencia $f_e = 1$ kHz, la señal triangular a temporizar debería tener una f_0 igual a 2 kHz, 666 Hz, 400 Hz,... que corresponden a k igual a 0, 1, 2,... respectivamente. La principal limitación de este método es el tiempo de medida ya que es necesario medir N veces el periodo de la señal triangular para extraer posteriormente la desviación estándar. Para reducir este tiempo de medida, el caso $k = 0$ que da lugar a una f_0 superior es el más apropiado. Para el ejemplo anterior y asumiendo una $N = 100$, el tiempo de medida es de 50 ms, que es aceptable para aplicaciones industriales.

Breve descripción de los dibujos:

La figura 1 presenta una realización preferente de la invención para demodular señales moduladas en amplitud mediante un temporizador digital.

- 5 La figura 2 presenta las formas de onda de la tensión en las entradas (5) y (7), y en la salida (9) del comparador de la figura 1 para una amplitud A_1 de la señal modulada, asumiendo $k = 0$ y, por lo tanto, $f_0 = 2f_e$.

- La figura 3 presenta las formas de onda de la tensión en las entradas (5) y (7), y en la salida (9) del comparador de la figura 1 para una amplitud $A_2 (> A_1)$ de la
10 señal modulada, asumiendo $k = 0$ y, por lo tanto, $f_0 = 2f_e$.

Descripción de una realización preferente:

- La presente invención propone demodular señales moduladas en amplitud
15 mediante el circuito de la figura 1, donde se asume una alimentación unipolar a partir de la tensión V_{DD} . La señal sinusoidal modulada (1), con una frecuencia de portadora f_e , se acopla en alterna a través del condensador (2) hacia un divisor de tensión formado por dos resistencias (3) y (4) del mismo valor. De esta manera, se obtiene una tensión (5) igual a $V_{DD}/2$ (que actúa como tensión umbral en la
20 medida de periodo) con la componente alterna de la señal (1) superpuesta. Por otro lado, un oscilador (6) proporciona una señal triangular (7) comprendida entre 0 V y V_{DD} , y con una frecuencia $f_0 = f_e/(k + 0.5)$, siendo k un número entero positivo incluyendo el cero. Las señales (5) y (7) son posteriormente comparadas mediante un comparador (8), que proporciona a la salida (9) un nivel lógico alto
25 (es decir, V_{DD}) cuando (7) es superior a (5), y un nivel lógico bajo (es decir, 0 V) cuando (5) es superior a (7). A continuación, el periodo de esta señal cuadrada generada en la salida (9) del comparador se mide mediante un temporizador digital (10) integrado, por ejemplo, en un microcontrolador.

- 30 En el caso que la señal modulada (1) presente una amplitud igual a cero, la tensión (5) está libre de interferencia y, por lo tanto, los instantes de inicio y fin de la temporización son correctos. En estas condiciones, la comparación entre (5) y (7) da lugar a una señal cuadrada con un periodo (T_0) igual al de la señal triangular y con una variabilidad nula. Sin embargo, si la señal modulada (1)

presenta una determinada amplitud (A_1), la comparación entre (5) y (7) genera unos instantes de inicio y fin de la temporización erróneos, tal y como muestra la figura 2, obteniendo así una señal cuadrada con un periodo igual a T'_0 en vez de T_0 . La medida de N periodos en estas condiciones da lugar a N valores de T'_0 cuya DE es proporcional a la amplitud de la señal modulada (1). Obsérvese en la 5 Figura 3 como una mayor amplitud de la señal modulada (es decir, $A_2 > A_1$) provoca valores de T'_0 más dispares y, en consecuencia, una mayor DE de las N medidas de periodo.

REIVINDICACIONES

1. Un circuito para demodular señales moduladas en amplitud mediante un temporizador digital **caracterizado porque** comprende:

- 5 - un oscilador que genera una señal triangular;
- un circuito de acoplo en alterna que proporciona una tensión umbral con la señal modulada en amplitud superpuesta;
- un comparador que compara las dos señales anteriores y que proporciona en la salida una señal cuadrada cuyo periodo contiene
- 10 información sobre la amplitud de la señal modulada; y
- un temporizador digital que mide el periodo de la señal cuadrada de la salida del comparador.

2. Un método para demodular señales moduladas en amplitud mediante un

- 15 temporizador digital **caracterizado por**
- emplear la señal modulada como una interferencia superpuesta a la tensión umbral al medir el periodo de una señal triangular conocida;
- utilizar una frecuencia de la señal triangular $f_0 = f_e / (k + 0.5)$, siendo f_e la frecuencia de portadora de la señal modulada y k un número entero
- 20 positivo incluyendo el cero; y
- emplear la desviación estándar de un conjunto de N medidas de periodo de la señal triangular sujetas a los efectos de la señal modulada para cuantificar la amplitud.

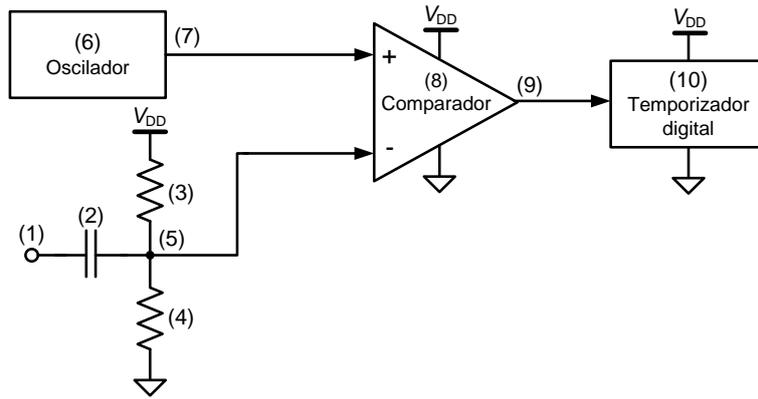


Figura 1

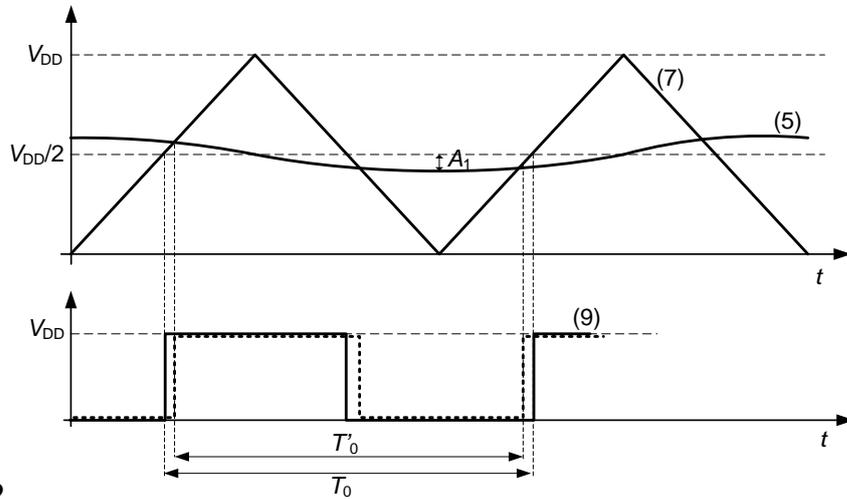


Figura 2

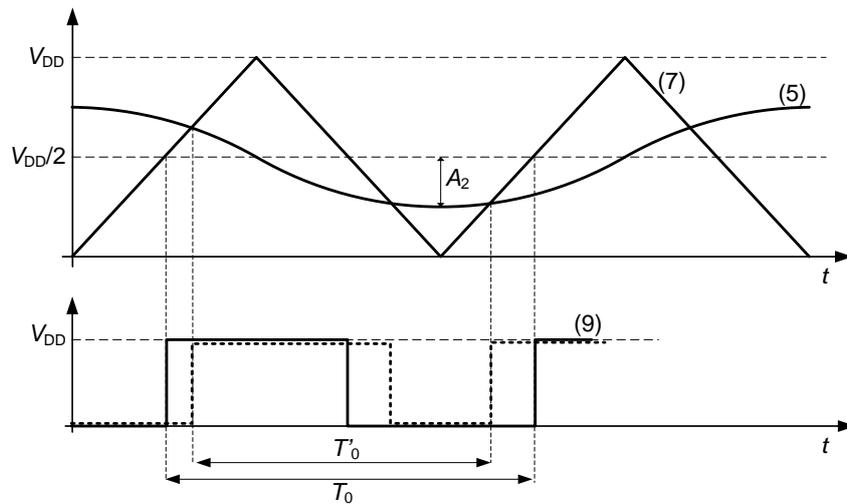


Figura 3



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

- ②① N.º solicitud: 201630530
②② Fecha de presentación de la solicitud: 26.04.2016
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **H03D1/00** (2006.01)
H04L27/06 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	FERRÁN REVERTER: "Microcontroller-based interfaces for quasi-digital sensors". Tesis doctoral Universidad Politécnica de Cataluña; presentado el 31/12/2004, Páginas v-66; Cargado en internet 22/03/2016; <DOI: 10.13140/RG.2.1.4617.1288> URL:// https://www.researchgate.net/publication/299349345_Microcontroller-Based_Interfaces_for_Quasi-Digital_Sensors	1, 2
A	US 5365550 A (ROBERSON DAVID L) 15/11/1994, resumen; figura 5, columna 6, línea 46 - columna 7, línea 11;	1, 2
A	US 2009243716 A1 (YAMAZAKI DAISUKE et al.) 01/10/2009, Resumen; reivindicaciones.	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
26.05.2017

Examinador
B. Pérez García

Página
1/4

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

H03D, H04L

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, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 26.05.2017

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	SI
	Reivindicaciones 1,2	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones	SI
	Reivindicaciones 1,2	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	FERRÁN REVERTER: "Microcontroller-based interfaces for quasi-digital sensors"	31.12.2004
D02	US 5365550 A (ROBERSON DAVID L)	15.11.1994
D03	US 2009243716 A1 (YAMAZAKI DAISUKE et al.)	01.10.2009

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Se considera D01 el documento del estado de la técnica anterior más cercano al objeto de la invención.

D01 describe un circuito (figura 2.9) para demodular señales moduladas en amplitud mediante un temporizador digital ("microcontrolador con timer embebido", página 21, microcontrolador PIC16F873) caracterizado porque comprende:

- un oscilador que genera una señal triangular (señal del generador de funciones Promax GFD-917);
- un circuito de acoplo en alterna que proporciona una tensión umbral con la señal modulada en amplitud superpuesta (fuente alimentación Promax FAC-662B y generador funciones Agilent 33120A; página 22: "el FAC-662B proporciona el nivel de tensión en cc mientras que el Agilent 33120A entrega una señal sinusoidal interferente; el sumador-atenuador resultante alimenta con 5V más una interferencia de onda senoidal con frecuencia f_i y amplitud A_i al microcontrolador");
- un comparador (Schmitt-trigger (ST) buffer; figura 2.6) que compara las dos señales anteriores y que proporciona en la salida una señal cuadrada cuyo periodo contiene información sobre la amplitud de la señal modulada (páginas 16, 17: "el microcontrolador que está midiendo el periodo de la señal de entrada conectado a un port pin incluye un ST buffer, modelado por dos comparadores con V_{tl} y V_{th} como tensiones umbrales y un latch SR; la salida del latch es una señal cuadrada"; página 23: "para analizar los efectos de A_i en el proceso de temporización, se seleccionan varias frecuencias y valores de A_i ; primero la interferencia se añade a la señal de entrada y después a la tensión de alimentación"; página 24: "se analiza la forma del histograma y se calcula la media y desviación estándar"; página 25: "la desviación estándar incrementa proporcionalmente a A_i "; y
- un temporizador digital que mide el periodo de la señal cuadrada de la salida del comparador (página v: "los sensores cuasi-digitales integran un elemento sensor y un oscilador en el mismo chip, proporcionando una señal de salida basada en el tiempo que puede ser directamente medida por el microcontrolador"; página 10: "la medida de intervalos de tiempo se refiere a medidas de tiempo entre dos eventos de la misma señal, básicamente medidas de periodo y anchura de pulso").

No se han encontrado diferencias entre D01 y la primera reivindicación y por tanto, ésta carece de novedad, según el Art. 6 de la Ley Española de Patentes.

La segunda reivindicación se refiere a un método para demodular señales moduladas en amplitud mediante un temporizador digital caracterizado por:

- emplear la señal modulada como una interferencia superpuesta a la tensión umbral al medir el periodo de una señal triangular conocida (página 22; figura 2.9);
- utilizar una frecuencia de la señal triangular $f_o = f_e / (k + 0.5)$, siendo f_e la frecuencia de portadora de la señal modulada y k un número entero positivo incluyendo el cero (página 27); y
- emplear la desviación estándar de un conjunto de N medidas de periodo de la señal triangular sujetas a los efectos de la señal modulada para cuantificar la amplitud (páginas 24 y 25).

Al igual que en el caso anterior, no se han encontrado diferencias entre ambos documentos, y por tanto, esta reivindicación no tiene novedad, según el Art. 6 de LEP.

En resumen, la solicitud presentada no cumple los requisitos de patentabilidad establecidos en la Ley Española de Patentes.