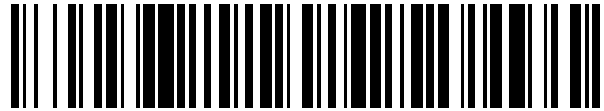


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 457 244**

51 Int. Cl.:

**H03D 3/00** (2006.01)

**H03D 3/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.07.2011** **E 11175907 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.03.2014** **EP 2418766**

54 Título: **Estimación del error de frecuencia inmune a los clicks de FM**

30 Prioridad:

**12.08.2010 US 855015**

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

**25.04.2014**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)**  
**1 River Road**  
**Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**PLACE, RICHARD ALAN y**  
**JOHNSON, RYAN KEVIN**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 457 244 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

Estimación del error de frecuencia inmune a los clicks de FM

**Antecedentes**

5 La presente divulgación se refiere, en general, a sistemas de comunicaciones y, más concretamente, a la estimación del error de frecuencia sobre una señal recibida inmune a los clicks de FM.

10 Un problema que afecta a casi todos los sistemas de radio de modulación de frecuencia (FM) y de modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) son los "clicks" y "pops" que se producen a niveles de baja señal, como por ejemplo cuando la relación señal de canal / ruido (SNR) alcanza los 10 dB o menos. Los "clicks" y los "pops" se consideran en general como episodios de ruido que potencian el ruido aditivo generado por el proceso de demodulación. En relaciones señal a ruido de entrada bajas, los incrementos del ruido resultantes pueden llegar a ser la fuente de ruido dominante.

15 La demodulación de frecuencia normalmente se lleva a cabo mediante la comparación de la fase de una señal en un momento de tiempo con la fase de la señal en un momento adyacente. La frecuencia de una señal es el cambio de fase dividido por el cambio en el tiempo. La modulación sobre la señal empujará la fase de adelante atrás. Mediante la detección de estos cambios, la FM es demodulada. La señal de FM puede en general ser representada como un vector de amplitud constante que oscila de arriba abajo. El ruido empuja el vector de la señal a tirones, pero el emplazamiento medio del vector permanece siendo el mismo, de forma que el filtrado de postdemodulación puede eliminar la mayoría de los efectos del ruido. Sin embargo, cuando la señal se hace débil, por ejemplo en una SNR de alrededor de 10 dB, existe la posibilidad de que el ruido aparezca como si el vector adoptara un giro de 360 grados  
20 alrededor del origen, lo que no es el caso. Esta rotación de  $2\pi$  provoca un impulso en la forma de onda de salida demodulada, que generalmente adopta la forma de un impulso amplio que presenta un contenido de frecuencia que se extiende a través de un ancho de banda amplio que incluye la CC. El filtrado de la señal simplemente difunde el impulso sobre múltiples muestras. En índices de modulación típicos de relaciones de datos de banda estrecha, la fase real nunca se desplaza mucho más de 45 grados en el tiempo de 1 bit. De forma que mientras el filtrado postdetección promedia un ruido de FM regular, el ruido "click" o "pop" no se beneficia de ningún volumen de filtrado. Es habitual que el rendimiento del módem FSK sea sorprendentemente insuficiente, incluso si la SNR de postdeposición es bastante satisfactoria, debido a que la SNR de predetección se sitúa por debajo de los 10 dB, lo que se traduce en la presencia de los "clicks".

30 Por ejemplo, en un módem de altas prestaciones para canales de UHF de banda estrecha, con tasas de transmisión de bits bajas, el error de frecuencia con respecto a la tasa de símbolos es considerable. A 4800 bits por segundo en una radio de 512 megahercios (MHz) con un error de frecuencia neto de 1 ppm entre la transmisión y la recepción, la fase se desplazará aproximadamente 38 grados por bit debido únicamente al error de frecuencia. Es preciso contar con este error. Un método consiste en estimar el error de frecuencia con un delimitador - discriminador convencional seguido por un filtro para promediar la forma de onda a lo largo de unos periodos de bit de unas pocas docenas. Sin embargo, los clicks provocarán un error en la estimación de la frecuencia si se intenta operar por debajo de una SNR  
35 de 10 dB. Dado que determinados dispositivos inalámbricos con una corrección de errores hacia delante optimizada, son capaces de funcionar con una SNR de canal por debajo de 0 dB, sería ventajoso impedir que la técnica de estimación de frecuencia limitara la sensibilidad.

40 Otro enfoque para reducir al mínimo los clicks de FM conlleva un bucle de enganche en fase (PLL) para demodular la señal. Adaptando el ancho de banda del bucle, se puede conseguir que el bucle tenga justamente la anchura precisa para demodular la señal, pero no la suficiente para seguir el cambio de fase de  $2\pi$  producido por un click. Esto generalmente se designa como "extensión de umbral" porque permite una demodulación por debajo del umbral de FM usual, alrededor de una SNR de 10 dB.

45 Sin embargo, un demodulador de bucle de enganche en fase contribuye a aumentar la complejidad de los sistemas de los receptores de radio que no es habitual en sistemas electrónicos comerciales y de consumo.

50 La Patente estadounidense No. 5982821 describe un aparato y un procedimiento para la discriminación de frecuencia digital que solo requiere una muestra por símbolo de datos. La diferencia entre el error de fase de portadora sobre los símbolos de datos sucesivos se determina y se utiliza como una aproximación a la derivada del error de fase, que es el error de frecuencia entre la portadora y el oscilador local del receptor. Esto permite que la tasa máxima de símbolos procesada por el receptor sea igual a la tasa de reloj máxima de la técnica digital, si así lo desea el usuario, mientras que en el caso de discriminadores de frecuencia digitales convencionales, la tasa de símbolos máxima está limitada a la mitad o a un cuarto de la tasa de reloj máxima para una técnica digital determinada. Un aparato y un procedimiento de umbral permite que el discriminador ignore los desplazamientos de fase que son debidos a modulación de datos, y la utilización solo de desplazamientos de fase que sean debidos a errores de frecuencia de portadora. De esta manera, cuando son idénticos los símbolos de datos sucesivos, la información de los errores de frecuencia se puede obtener mediante la recuperación de la portadora. Cuando los símbolos de datos sucesivos son diferentes, no se efectúa ninguna actualización en la recuperación de la portadora. Esto permite que un bucle de recuperación de portadora opere a una tasa de una muestra por símbolo de datos.

Por consiguiente, sería deseable proporcionar un sistema que diera respuesta a al menos algunos de los problemas identificados.

### **Breve descripción de las formas de realización**

5 Según lo descrito en la presente memoria, las formas de realización ejemplares resuelven uno o más de los inconvenientes anteriores u otros conocidos en la técnica.

La invención se refiere a un aparato para estimar el error de frecuencia sobre una señal modulada en frecuencia (FM) recibida inmune a los clicks de FM de acuerdo con la reivindicación 1.

La invención se refiere también a un procedimiento para estimar el error de frecuencia sobre una señal modulada en frecuencia (FM) recibida inmune a los clicks de FM de acuerdo con la reivindicación 6.

10 Estos y otros aspectos y ventajas de las formas de realización ejemplares se pondrán de manifiesto a partir de la descripción detallada subsecuente tomada en combinación con los dibujos que se acompañan. Se debe entender, sin embargo, que los dibujos están solo concebidos con fines de ilustración y no como una definición de los límites de la invención, para los cuales debe hacerse referencia a las reivindicaciones adjuntas. Así mismo, los dibujos no  
15 están necesariamente trazados a escala y, a menos que se indique lo contrario, pretenden simplemente ilustrar de forma conceptual las estructuras y procedimientos descritos en la presente memoria. Así mismo, pueden ser utilizados cualesquiera tamaños, formas o tipos de elementos o materiales.

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

En los dibujos:

20 La Fig. 1 es un esquema de un sistema ejemplar que incorpora aspectos de las formas de realización divulgadas.

La Fig. 2 es un diagrama de bloques de un sistema de demodulación de FM de la técnica anterior.

La Fig. 3 es un diagrama de bloques esquemático de un sistema de demodulación de FM ejemplar que incorpora aspectos de las formas de realización divulgadas.

25 La Fig. 4 ilustra una comparación de señales demoduladas derivada de un procedimiento de demodulación convencional y de un procedimiento de demodulación que incorpora aspectos de las formas de realización divulgadas.

La Fig. 5 ilustra una comparación de señales demoduladas derivadas de un procedimiento de demodulación convencional y de un procedimiento de demodulación que incorpora aspectos de las formas de realización divulgadas.

30 La Fig. 6 es un gráfico que ilustra el ángulo desenvuelto de la señal de RF recibida que produce las formas de onda mostradas en la Fig. 5.

### **Descripción detallada de las formas de realización ejemplares**

35 Con referencia a la Fig. 1, un sistema de comunicación que incorpora aspectos de las formas de realización divulgadas, es designado globalmente mediante la referencia numeral 100. Los aspectos de las formas de realización divulgadas están, en términos generales, dirigidos a estimar el error de frecuencia sobre una señal recibida que es en general inmune a los "clicks" y "pops" de FM que típicamente limitan el rendimiento de la señal débil de los sistemas de FM y FSK.

40 El sistema 100 de comunicación mostrado en la Fig. 1 comprende, en general, un transmisor 102 y un receptor 104. En una forma de realización, el sistema 100 es un sistema inalámbrico que permite comunicaciones de datos de larga distancia sobre bandas de radio autorizadas, como por ejemplo bandas de radio en la gama de frecuencias de aproximadamente de 200 MHz a 900 MHz. En formas de realización alternativas, el sistema de radio que incorpora aspectos de la presente divulgación puede ser operado en cualquier banda de radio apropiada. Un ejemplo de un sistema 100 de comunicación es el Long Range IP / Ethernet & Serial MDS SD2, MDS SD4 y MDS SD9, de la serie Digital Energy SD, fabricado por GE.

45 Como en general se entiende, la eficacia del receptor 104 puede verse limitada cuando una señal transmitida es degradada por múltiples factores incluyendo, por ejemplo, obstrucciones, interferencias, desvanecimientos y ruidos. Cuando la magnitud de una señal recibida se hace pequeña, puede provocar una reducción de la relación señal a ruido del receptor de radio. Las variaciones de fase de la señal recibida pueden generar perturbaciones de audio reiteradas, genéricamente designadas en la presente memoria como clicks de FM.

50 Los sistemas convencionales de estimación de frecuencia analógica, como por ejemplo el sistema 200 mostrado en la Fig. 2 se resienten todos de un fenómeno conocido como clicks de FM siempre que la relación señal a ruido cae

hasta 10 dB o menos. El sistema 200 de la Fig. 2 es uno de los procedimientos más comunes de demodulación de frecuencia en un método analógico. El sistema 200 de la Fig. 2 comprende, en términos generales, unos amplificadores y mezcladores 204 para procesar inicialmente la señal 202 recibida, así como la conversión de frecuencia. Un filtro 206 deja pasar la frecuencia deseada mientras que rechaza señales de canal adyacentes, y un detector 208 en cuadratura puede ser utilizado para recuperar la señal en banda base. En un sistema convencional, el error de frecuencia puede ser estimado con un limitador - discriminador convencional seguido por un filtro, como por ejemplo el filtro 210 para promediar la forma de onda a lo largo de unos periodos de bit de unas pocas docenas y generar la estimación 212 de frecuencia. Sin embargo, si se intenta operar el sistema 200 por debajo de una relación señal a ruido de 10 dB, los clicks de FM resultantes provocarán un error en la estimación de frecuencia. Aunque el filtrado postdetección puede promediar el ruido regular de FM, el ruido click o pop de FM no se beneficia de dicho filtrado.

En un sistema digital, los datos digitales son típicamente transmitidos en ráfagas, comprendiendo cada ráfaga un número predefinido de bits de datos. Aunque los sistemas de comunicación digitales pueden mejorar la calidad de audio utilizando datos digitales y el procesamiento de audio, el ruido resultante de los clicks de FM puede impedir completamente el proceso de demodulación digital.

La Fig. 3 ilustra una forma de realización de un sistema 300 receptor y de demodulación que incorpora aspectos de las formas de realización divulgadas. Como se muestra en la Fig. 3, el sistema 300 comprende, en términos generales, un demodulador 310 y un procesador 320. El procesador 320 está, en términos generales, configurado para procesar la señal 302 recibida y producir una estimación 325 de frecuencia exenta, o esencialmente inmune al problema de los clicks de FM. El procesador 320 lleva esto a cabo comparando las fases de las muestras de señales que están considerablemente separadas en el tiempo, a diferencia de las señales adyacentes, para demodular la señal 302 recibida. En una forma de realización, el procesador 320 comprende una matriz de puertas programable sobre el terreno (FPGA) o un Procesador Digital de la Señal (DSP) 320. En formas de realización alternativas, el sistema 300 puede incluir otros componentes apropiados que pudieran típicamente incluirse para llevar a cabo funciones y operaciones tales como la conversión de frecuencia, el filtrado, la conversión de tasas de transmisión y el control de ganancia automático. A los fines de la exposición de la presente memoria, estos componentes no están incluidos en las figuras que se acompañan.

En una forma de realización, el demodulador 310 mostrado en la Fig. 3, comprende, en términos generales, un demodulador encuadratura que está configurado para demodular la señal 302 recibida para producir señales en banda base En fase (I) y Encuadratura (Q). En la forma de realización mostrada en la Fig. 3, el demodulador 310 incluye un mezclador encuadratura y un convertidor Analógico a Digital (A - D). El demodulador 310 muestrea la señal recibida y una versión encuadratura (desplazada 90 grados) de la señal recibida. Las salidas son representaciones digitales de esas dos señales, que utilizan típicamente entre 8 y 24 bits para representar la tensión instantánea de cada señal. El filtro 321 de canal lleva a cabo una operación matemática sobre las señales digitales para dejar pasar la señal sobre el canal deseado y rechaza las señales y el ruido de los canales vecinos. El estimador 322 de fase opera sobre dos señales efectuando lo que, en términos generales, equivale a una búsqueda del Arco Tangente. A partir del valor instantáneo de I y Q, el comparador 323 de fase determina la fase de la señal.

A partir de la fase de la señal, la frecuencia puede ser determinada, dado que la frecuencia es el cambio de fase dividido por el cambio de tiempo. En general, el tiempo de la muestra es predeterminado en base a diversas exigencias del sistema, y es fijo. Los sistemas de la técnica anterior comparan cada muestra con la muestra precedente para determinar el cambio de fase, siendo la diferencia de fase proporcional a la frecuencia definida. Sin embargo, a diferencia de los sistemas de la técnica anterior, los aspectos de las formas de realización divulgadas, comparan cada muestra de fase con una muestra de la que se han eliminado varias etapas de tiempo. El filtro 324 promedia el resultado. Cuando la señal 302 recibida es débil, cada estimación de frecuencia efectuada por la comparación de fase presenta un error aleatorio en ella debido al ruido. El filtro 324 reduce estos errores promediándolos de manera selectiva.

El procesador 320 está configurado, en términos generales, para comparar la fase de las muestras de la señal 302 recibida que están considerablemente separadas en el tiempo unas de otras.

En general, la separación en el tiempo entre muestras es relativamente amplia con respecto al ancho de banda de la señal 302 recibida que está siendo procesada. Típicamente, la tasa de muestreo se produce a intervalos mucho menores, como por ejemplo dos veces la frecuencia de la señal, también designada como la "tasa de Nyquist". Los aspectos de las formas de realización divulgadas utilizan una tasa de muestreo que, en general, es una fracción de la tasa de Nyquist. Por ejemplo, en una forma de realización, la tasa de muestreo es de aproximadamente de 1/5 a 1/10 la tasa de Nyquist. En formas de realización alternativas, la tasa de muestreo puede ser cualquier fracción de la tasa de Nyquist distinta del intervalo 1/5 a 1/10. En general, cuanto mayor sea la separación de tiempo entre las muestras que se comparan, más inmune es la señal 325 resultante con relación a los clicks de FM. Sin embargo, si se deja demasiado tiempo entre las muestras que están siendo comparadas, puede resultar difícil determinar el error de frecuencia. Cuando hay demasiado tiempo entre las muestras que están siendo comparadas, la fase puede cambiar más de 180 grados durante el periodo de tiempo. En una forma de realización, se puede determinar un error de frecuencia máximo y el tiempo máximo entre las muestras comparadas puede ser justo menor que el valor aproximado (0,5 / error de frecuencia max). Generalmente, unos osciladores de cristal determinan la precisión de

frecuencia del transmisor 102 y del receptor 104 en un sistema 100 de comunicación. El fabricante del oscilador especifica un error máximo con respecto a un intervalo de temperaturas. Por ejemplo, la radio de la serie GE – MDS SD utiliza un oscilador que se garantiza dentro de una parte por millón de  $-40$  a  $+60$  grados C. Cuando es transmitida una señal de 500 MHz, la frecuencia podría estar separada unos 500 Hz (1 millonésima de 500 MHz). El receptor podría también estar 500 Hz alejado, para un error neto de hasta 1000 Hz. En este caso, resulta necesario eliminar el error de frecuencia antes de intentar descodificar los datos. Sabiendo que el error de frecuencia máximo es de 1000 Hz, se comparan entre sí las muestras de fase en el límite de aproximadamente  $0,5 / 1000 = 500 \mu\text{seg}$ . En una forma de realización, el reloj de las muestras situado dentro del procesador 320 opera a aproximadamente  $30,722 \mu\text{seg}$ , pero la utilización de muestras a esa tasa se traduce en clicks de FM. Por el contrario, de acuerdo con los aspectos de las formas de realización divulgadas, se comparan muestras que están separadas por hasta 500  $\mu\text{seg}$ .

En una forma de realización, la señal recibida es demodulada tomando el ángulo de la señal multiplicado por el conjugado de una muestra retardada. Esto permite una comparación de la fase de las dos muestras.

En una forma de realización, la fase de las dos muestras se separa por un ciclo completo de un tono de preámbulo y a continuación se compara. Esto permite que se cancele el cambio de fase debido a la modulación. Para cada comparación de fase, el vector de demodulación permanece sustancialmente fijo y cualquier diferencia de fase restante se debe o bien a un error de frecuencia o al ruido. Mediante la resolución del error de frecuencia utilizando muestras separadas en el tiempo, carecen ya de relevancia los clicks de FM.

A modo de ejemplo:

La señal recibida es 1 1 1 1 1 1 1 1 j -1 -j 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

La señal recibida resulta tener una rotación de fase de 360 grados en un punto aproximadamente en la mitad. En un proceso de demodulación convencional, que toma la diferencia de fase entre puntos adyacentes, la señal demodulada resultante es:

000000 1,57 1,57 1,57 1,57 000000.

Cuando se han muestreado hasta 128 muestras (32 bits a 4 muestras por bit), el resultado es de  $6,28 / 128$  o  $0,0491$  radianes por muestra. Este click provoca un error predecible en la frecuencia estimada. Para una radio de 4 muestras por bit a 9600 bits por segundo (bps), esto representa un error de 300 hertzios (Hz).

El procedimiento de demodulación de las formas de realización divulgadas, utilizando la diferencia de fase entre muestras que están considerablemente separadas en el tiempo, en este ejemplo separadas por 16 bits, proporciona la siguiente señal demodulada:

000000 -1,57 3,14 1,57 00000000000000 1,57 -3,14 -1,57000

Cuando esta secuencia se promedie sobre 128 puntos el resultado es 0, sin clicks, ningún error en la estimación de frecuencia.

Cuando la media de 128 puntos incluya solo la mitad de la perturbación, el pico es  $+ / - 3,14 / 128$  o  $+ / - 0,0245$  radianes por 16 muestras. Esto es el equivalente a  $+ / - 0,0015$  radianes por muestra. La perturbación crea un par de perturbaciones de baja frecuencia, que se cancelan entre sí. Así mismo, los espurios son pequeños porque el cambio de fase se considera que se ha producido en tiempos de 16 muestras, o bits, en lugar de uno, donde se mide el cambio de fase de muestras adyacentes.

La Fig. 4 ilustra una comparación de las formas de onda resultantes de la demodulación de la señal 302 utilizando técnicas de modulación diferentes. El gráfico de arriba 400 muestra la forma de onda 402 de la señal de salida desmodulada utilizando la técnica anterior convencional de comparación del cambio de fase de muestras adyacentes. El gráfico inferior 410 ilustra la forma de onda 412 de señal de salida demodulada resultante de la utilización del cambio de fase de muestras considerablemente separadas en el tiempo de acuerdo con los aspectos de las formas de realización divulgadas. La forma de onda 402 incluye una cresta 404 desplazada en frecuencia, que presenta una amplitud de aproximadamente 300 Hz. Por contra, la forma de onda 412 no incluye ninguna cresta o click de ruido. Más bien, el desplazamiento de frecuencia media es de aproximadamente 0. En el ejemplo mostrado en la curva de abajo 410, la separación de muestras es de 16 tiempos de muestra. Cualquier perturbación de baja frecuencia o cresta que se produzca es pequeña debido a la separación de las muestras, y tienden a cancelarse por sí mismas.

La Fig. 5 ilustra las formas de onda ejemplares resultantes de la estimación del error de frecuencia de una señal de preámbulo fuera de frecuencia de 100 Hz recibida en  $E_b / N_o$  de 6 dB. En este ejemplo, el gráfico de arriba 500 ilustra la forma de onda 502 resultante de la utilización de un procedimiento convencional de determinación de la frecuencia. Como se puede apreciar, la estimación produce clicks de FM, mostrados como crestas o perturbaciones de baja frecuencia 504, 506 y 508. El gráfico de abajo 510 ilustra la forma de onda 512 resultante de la demodulación de la señal recibida mediante la medición de las diferencias de fase de muestras considerablemente

separadas en el tiempo, de acuerdo con los aspectos de las formas de realización divulgadas. Como se ilustra mediante el gráfico 510, utilizando las técnicas de las formas de realización divulgadas, la forma de onda 512 no incluye crestas o espurios, y es sustancialmente inmune a los clicks de FM que puedan limitar la estimación de frecuencia y las prestaciones radio a niveles de señal débil. De esta manera, los gráficos 4 y 5 ilustran las ventajas de las formas de realización divulgadas, dado que no hay impulsos o clicks en cualquiera de las formas de onda 412 o 512. Sin embargo, en cada una de las formas de onda 402, 502, las cuales ilustran el resultado de los procedimientos de estimación de frecuencias convencionales, están presentes impulsos y clicks.

El gráfico de la Fig. 6 ilustra una forma de onda 602 del ángulo desenvuelto de la señal de RF que se tradujo en las formas de onda demoduladas mostradas en la Fig. 5. En este ejemplo, el eje vertical 604 es la fase de la señal recibida en radianes. La línea de la forma de onda 602 es sustancialmente diagonal porque el error de frecuencia es de -100 Hz, de manera que la fase de cada muestra es ligeramente menor que la anterior. En tres instantes diferentes, el ruido sobre la señal parece resultar como si la fase efectuara un salto de  $2 - \pi$  (6,28 radianes). Las técnicas de demodulación de FM anteriores producen un click en cada uno de estos episodios, como se muestra mediante la forma de onda 502 del gráfico 500, pero utilizando el sistema de las formas de realización divulgadas, la señal demodulada resultante es inmune a cualquier click, como se muestra mediante la forma de onda 512 del gráfico 510.

Los aspectos de las formas de realización divulgadas, pueden, así mismo, incluir programas de software y de ordenador que incorporen las etapas e instrucciones de proceso descritas con anterioridad que se ejecuten en uno o más ordenadores. En una forma de realización, uno o más dispositivos informáticos, como por ejemplo la FPGA 320 de la Fig. 3, están generalmente adaptados para utilizar dispositivos de almacenamiento de programas que incorporen un código de fuente de programa legible por la máquina, el cual esté adaptado para conseguir que los dispositivos informáticos ejecuten las etapas de procedimiento de la presente divulgación. Los dispositivos de almacenamiento de programas que incorporan características distintivas de la presente divulgación pueden ser diseñados, elaborados y utilizados como un componente de una máquina que utilice sistemas ópticos, propiedades magnéticas y / o sistemas electrónicos para llevar a cabo los procedimientos y los métodos de la presente divulgación. En formas de realización alternativas, los dispositivos de almacenamiento de programas, pueden incluir medios magnéticos, como por ejemplo un disquete o una unidad de disco duro de ordenador, que puedan ser leídos y ejecutados por un ordenador. En otras formas de realización alternativas, los dispositivos de almacenamiento de programas podrían incluir discos ópticos, discos flexibles de memoria de solo lectura ("ROM") y materiales semiconductores y chips.

Los dispositivos informáticos pueden también incluir uno o más procesadores o microprocesadores para ejecutar los programas almacenados. El dispositivo informático puede incluir un dispositivo de almacenamiento de datos para el almacenamiento de información y datos. El programa o software informático que incorpore las características distintivas de la presente divulgación puede ser almacenado en uno o más ordenadores dispuestos en un, por otro lado, convencional dispositivo de programas.

Los aspectos de las formas de realización divulgadas están en términos generales dirigidos a la estimación del error de frecuencia en una señal de FM demodulada. En lugar de la demodulación de frecuencia de la señal recibida comparando la fase de la señal recibida en un instante de tiempo con la fase de un instante adyacente, los aspectos de las formas de realización divulgadas comparan la fase de la señal recibida en un instante de tiempo con la fase de un instante considerablemente separado en el tiempo. La separación en el tiempo puede, en términos generales, constituir un factor del error de frecuencia máximo, y puede ser definido o regulado para que sea justo menor de (0,5 / error de frecuencia máximo) o la mitad del periodo de error de frecuencia máximo. La señal de FM demodulada resultante es en términos generales inmune a los clicks de FM, en particular cuando la relación señal a ruido de canal es de 10 dB o menor. Los aspectos de la forma de realización divulgada proporcionan así una estimación sencilla y precisa de la frecuencia de una señal recibida que puede ser utilizada, por ejemplo, en un módem inalámbrico de altas prestaciones. Otras técnicas requerirían una señal más intensa, mayor complejidad o un tiempo de estimación de la frecuencia mucho más largo.

De esta manera, aunque se han mostrado y descrito y destacado características novedosas fundamentales de la invención en cuanto aplicadas a sus formas de realización ejemplares, los expertos en la materia deben entender que pueden llevarse a cabo distintas sustituciones y cambios en la forma y detalles de dispositivos ilustrados, así como en su operación, sin apartarse del alcance de la invención según queda definida por las reivindicaciones. Así mismo, se debe advertir que las estructuras y / o los elementos y / o las etapas de procedimiento mostradas y / o descritas en conexión con cualquier forma o realización divulgada de la invención, puede ser incorporada en cualquier otra forma y realización divulgada, o descrita o sugerida como cuestión general de elección de diseño. Por tanto, se pretende que la invención quede únicamente limitada según lo indicado por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1.- Un aparato para estimar el error de frecuencia sobre una señal recibida de FM modulada en frecuencia que es inmune a los clicks de FM, que comprende:

un receptor (104) para recibir la señal (302) modulada en frecuencia ; y

5 un procesador que opera sobre muestras a una tasa de muestreo del procesador para demodular la señal (302) recibida y estimar el error de frecuencia, en el que el procesador está configurado para determinar variaciones de fase de la señal de FM recibida comparando una fase de una primera muestra de señal con una fase de una segunda muestra de señal para estimar el error de frecuencia, **caracterizado porque** la primera muestra de señal y la segunda muestra de señal están separadas en el tiempo por más de una muestra, de forma que la estimación del error de frecuencia es inmune a los clicks de FM.

2.- El aparato de la reivindicación 1, en el que la primera muestra de señal y la segunda muestra de señal no son adyacentes entre sí.

3.- El aparato de la reivindicación 1 o de la reivindicación 2, en el que la separación de tiempo entre la primera muestra de señal y la segunda muestra de señal es inferior a la tasa de Nyquist de la señal recibida.

15 4.- El aparato de cualquier reivindicación precedente, en el que la separación de tiempo entre la primera muestra de señal y la segunda muestra de señal no excede de un periodo correspondiente a un error de frecuencia máxima del receptor (104).

5.- El aparato de cualquier reivindicación precedente, en el que el aparato es un sistema de radio de modulación de frecuencia, FM, o de modulación por desplazamiento de frecuencia, FSK.

20 6.- Un procedimiento de estimación del error de frecuencia sobre una señal recibida de FM modulada en frecuencia que es inmune a clicks de FM, que comprende:

la recepción de la señal modulada en frecuencia en un sistema receptor (300);

25 la demodulación de la señal (302) recibida y la estimación del error de frecuencia en un procesador que opera sobre muestras a una tasa de muestreo del procesador, en el que una fase de una primera muestra de señal es comparada con una fase de una segunda muestra de señal para determinar un error de fase para estimar el error de frecuencia;

**caracterizado porque** la primera muestra de señal y la segunda muestra de señal están separadas en el tiempo por más de una muestra, de manera que la estimación del error (325) de frecuencia sobre la señal (302) recibida es inmune a clicks de FM.

30 7.- El procedimiento de la reivindicación 6, que comprende, además, que la primera muestra de señal y la segunda muestra de señal no son adyacentes entre sí.

8.- El procedimiento de la reivindicación 6 o de la reivindicación 7, en el que la separación de tiempo entre la primera muestra de señal y la segunda muestra de señal es inferior a una tasa de Nyquist de la señal (302) recibida.

35 9.- El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que la separación de tiempo entre la primera muestra de señal y la segunda muestra de señal no sobrepasa un periodo correspondiente a un error de frecuencia máxima del receptor (300).

10.- El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en el que el sistema receptor es un sistema de radio de modulación en frecuencia (FM) o de modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK).

40

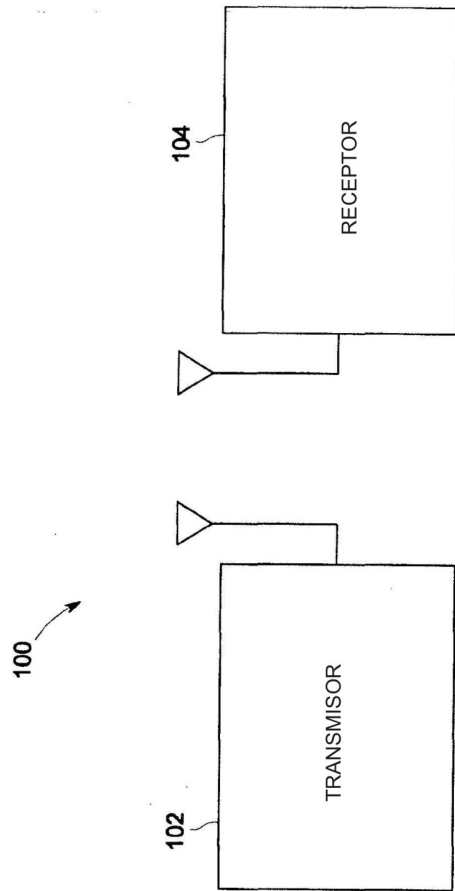


FIG. 1



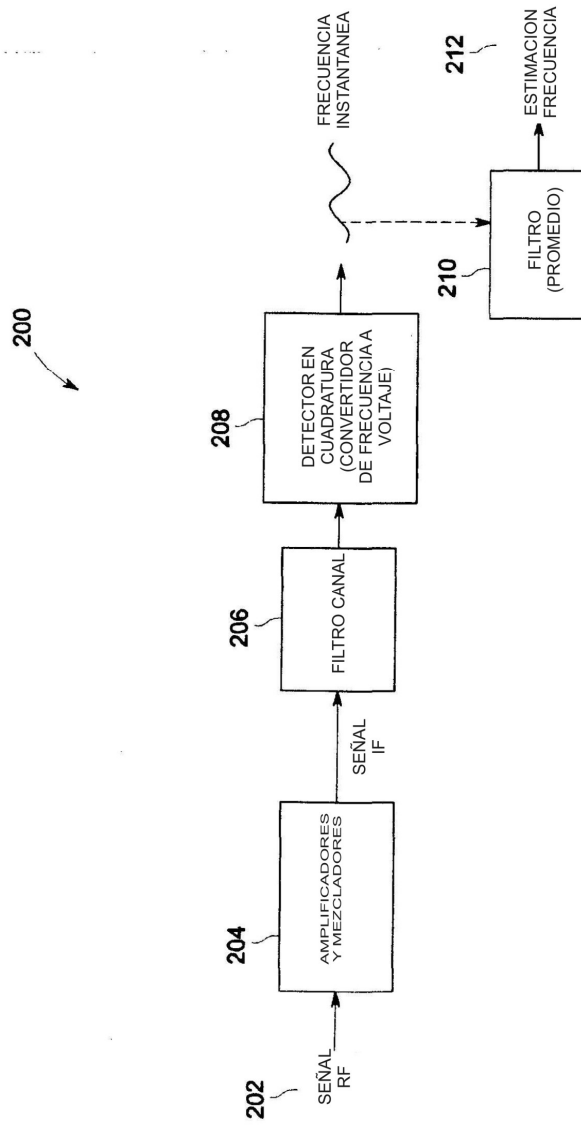


FIG. 2 (TECNICA ANTERIOR)

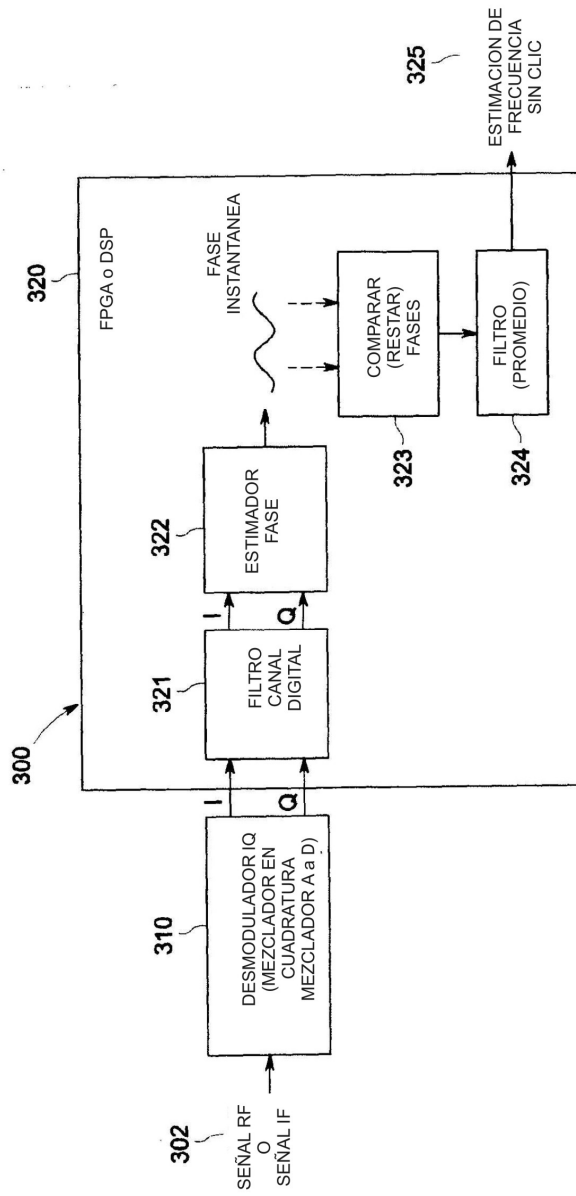


FIG. 3

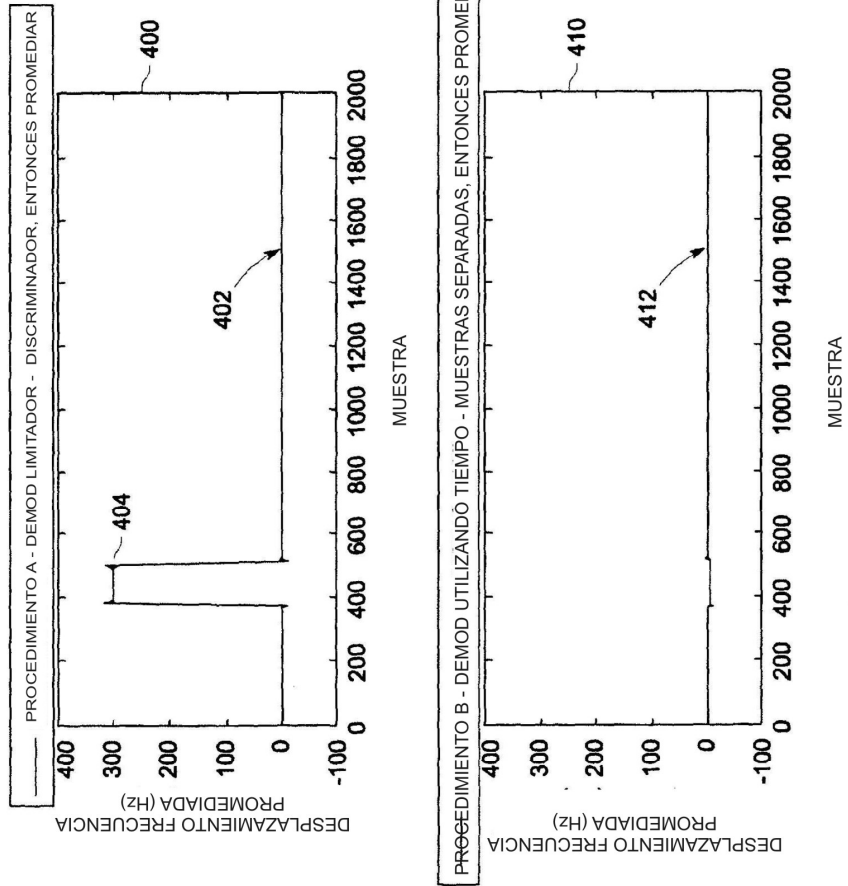


FIG. 4

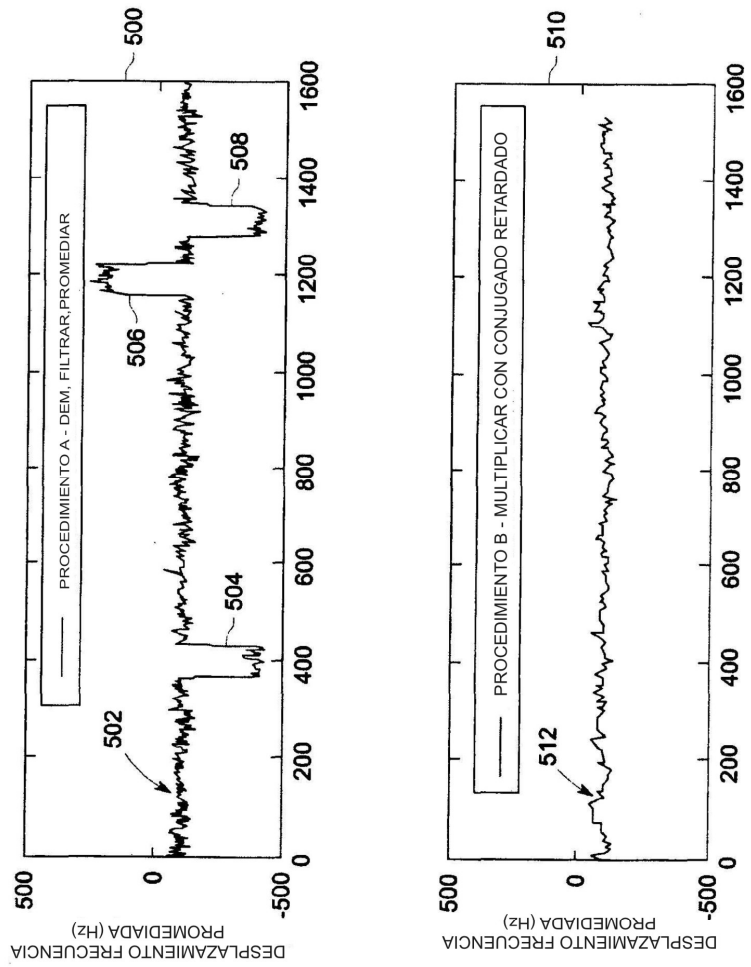


FIG. 5

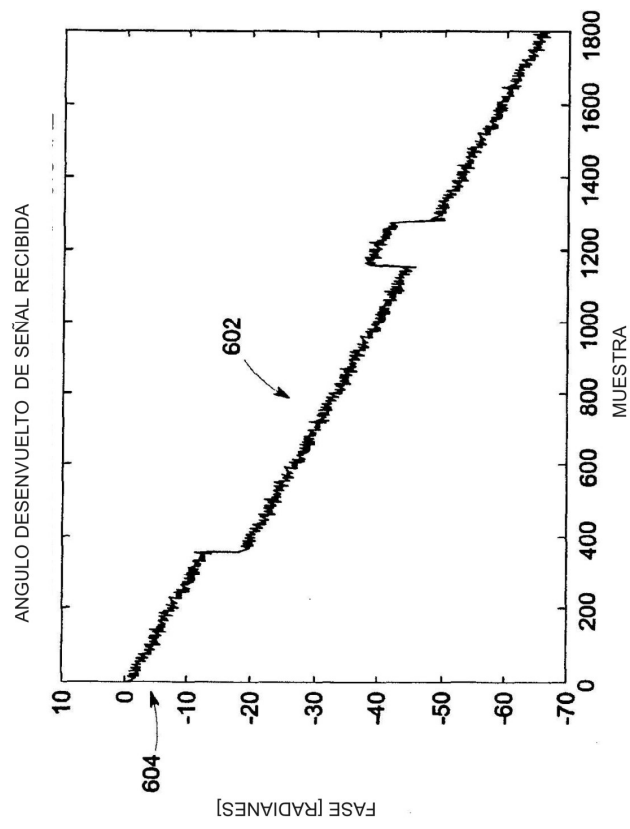


FIG. 6