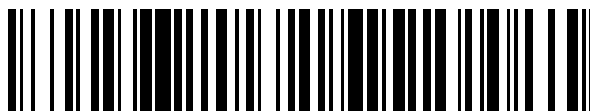


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 668 280**

51 Int. Cl.:

H05B 37/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.10.2011 PCT/IB2011/054652**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.04.2012 WO12052935**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.10.2011 E 11778717 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.03.2018 EP 2630845**

54 Título: **Modulación para transmisión de luz codificada**

30 Prioridad:

07.04.2011 EP 11161522

20.10.2010 EP 10188143

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

17.05.2018

73 Titular/es:

PHILIPS LIGHTING HOLDING B.V. (100.0%)

High Tech Campus 45

5656 AE Eindhoven , NL

72 Inventor/es:

BAGGEN, CONSTANT, PAUL, MARIE, JOZEF;

PENNING DE VRIES, HENDRICUS, THEODORUS,

GERARDUS y

RIETMAN, RONALD

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 668 280 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

Modulación para transmisión de luz codificada

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un sistema de luz codificada. En particular se refiere a métodos y dispositivos para accionar al menos una fuente de luz dispuesta para emitir luz codificada en un sistema de luz codificada y para decodificar tal luz codificada en una secuencia de información.

10

Antecedentes de la invención

Las fuentes de luz hoy en día se aplican en sistemas de iluminación que consisten en un gran número de fuentes de luz. Desde la introducción de la iluminación de estado sólido varios parámetros de estas fuentes de luz pueden variarse y controlarse en un sistema de fuentes de luz. Tales parámetros incluyen intensidad de la luz, color de luz, temperatura de color de luz e incluso dirección de la luz. Al variar y controlar estos parámetros de las diferentes fuentes de luz, un diseñador o usuario de luz del sistema puede generar escenas de iluminación. Este proceso a menudo se denomina configuración de escena, y normalmente es un proceso bastante complejo debido a la multitud de fuentes de luz y parámetros a controlar. Normalmente un controlador, u otro canal de control, es necesario para cada fuente de luz. Esto hace que sea difícil controlar un sistema de más de diez fuentes de luz.

20

Para permitir un control más intuitivo y simple de las fuentes de luz, y para crear escenas, la incrustación de secuencias de información tal como identificadores invisibles en la salida de luz de luminarias se ha propuesto previamente. Esta incrustación de identificadores puede basarse en una única modulación de la luz visible (VL) de la luminaria o colocando una fuente de luz infrarroja (IR) adicional en la luminaria y modulando únicamente esta luz IR. El código Manchester se usa normalmente como medio para modular la luz codificada.

25

La incrustación de identificadores en la luz se denominará luz codificada (CL). La comunicación utilizando CL se denominará comunicación de luz visible (VLC). Para la transmisión de CL, en su mayor parte, unos diodos emisores de luz (LED) se consideran, que permiten una frecuencia y ancho de banda de modulación relativamente alto. Esto a su vez puede tener como consecuencia una rápida respuesta del sistema de control. Los identificadores pueden, sin embargo, también incrustarse en la luz de otras fuentes de luz, tal como lámparas incandescentes, halógenas, fluorescentes y de descarga de alta intensidad (HID). Estos identificadores de fuente de luz, también denominados códigos, permiten la identificación y estimación de resistencia de las contribuciones de iluminación locales individuales. Esto puede aplicarse en aplicaciones de control de luz tal como puesta en servicio, selección de fuente de luz y configuración de escena interactiva. Estas aplicaciones tienen uso en, por ejemplo, hogares, oficinas, tiendas y hospitales. Estos identificadores de fuente de luz permiten por tanto una operación de control simple e intuitiva de un sistema de luz, que puede de lo contrario ser muy complejo.

30

35

El documento US 6.198.230 divulga una lámpara para generar luz visible que proporciona tanto iluminación como transmisión de datos, en el que las variaciones en la luz visible que resultan de la transmisión de datos son imperceptibles al ojo humano independientemente de la naturaleza de los datos que se transmiten.

40

"Digital signaling: Which techniques are best - and why it matters to you" (William Stallings, Data Communications, noviembre de 1988) divulga una selección de técnicas de señalización digital para el uso en redes de área local y redes de telecomunicación de área amplia.

45

Sumario de la invención

A la vista de lo anterior, es aconsejable que la incrustación de información codificada (por ejemplo, paquetes) en la salida de luz de una fuente de luz sea invisible a los usuarios que se interesan en la función de iluminación de una fuente de luz. En otras palabras, puede ser aconsejable que la codificación de la luz no conduzca a un parpadeo visible. Este requisito implica que el espectro del código de modulación no debería contener frecuencias bajas. Ya que las fuentes de luz conectadas a la red eléctrica usual normalmente producen una interferencia fuerte, por ejemplo en CC, 50 Hz o 100 Hz, puede ser ventajoso suprimir esa interferencia mediante un filtrado apropiado en el receptor. Para no degradar la señal deseada demasiado con este filtrado, es ventajoso si la señal deseada está ausente en esas ubicaciones del espectro donde existe la interferencia. Esta consideración también implica que el espectro del código de modulación no debería contener frecuencias bajas. También puede ser aconsejable que el espectro del código de modulación no contenga frecuencias altas por el motivo de que los circuitos en excitadores baratos para una fuente de luz LED para tales frecuencias altas pueden ser difíciles de realizar.

50

55

60

También es aconsejable, en el lado del receptor, poder detectar la información digital comprendida en el VLC, incluso en la presencia de interferencia desde otras fuentes de luz, por ejemplo el sol, una bombilla o un tubo fluorescente, una luz incandescente, etc. Puede ser por tanto aconsejable que el espectro de la señal modulada no contenga ninguna contribución en las ubicaciones de frecuencia del espectro donde existe tal interferencia.

65

Es un objeto de la presente invención superar estos problemas, y proporcionar métodos, dispositivos y conceptos de sistema que solucionen o al menos mitiguen los problemas antes mencionados; por ejemplo al proporcionar métodos, dispositivos y conceptos de sistema se permite un confinamiento espectral mejor, en particular para frecuencias bajas, que el del estado de la técnica, mientras que tiene una complejidad comparable.

Generalmente, los anteriores objetivos se logran mediante métodos y dispositivos de acuerdo con las reivindicaciones independientes adjuntas.

De acuerdo con un primer aspecto, los anteriores objetos se logran mediante un excitador de luz para accionar al menos una fuente de luz dispuesta para emitir luz codificada basándose en una señal de control, comprendiendo el excitador de luz un receptor dispuesto para recibir una secuencia $u = [u_1, \dots, u_k, \dots, u_K]$ de símbolos fuente u_k que representan una secuencia de información de una fuente de información; una unidad de procesamiento dispuesta, desde la secuencia de símbolos fuente, para determinar una secuencia $z = [z_1, \dots, z_k, \dots, z_K]$ de símbolos de canal z_k que forman la señal de control; un transmisor dispuesto para proporcionar la al menos una fuente de luz con la señal de control por tanto accionando la al menos una fuente de luz; en el que la unidad de procesamiento se dispone para determinar la secuencia de símbolos de canal z mapeando cada símbolo fuente u_k en el momento k en un símbolo de canal compuesto $z_k = (z_{k,1}, z_{k,2})$ que comprende al menos un primer símbolo de canal $z_{k,1}$, y al menos un segundo símbolo de canal $z_{k,2}$ teniendo el mapeado como resultado que la densidad espectral de potencia en la frecuencia cero de la secuencia z de símbolos de canal es igual a cero, y en el que la señal de control por tanto no permite ningún parpadeo visible presente en la luz codificada emitida por la al menos una fuente de luz. Esta densidad espectral de potencia se logra: dicho mapeo comprende, para el símbolo de canal compuesto z_k mapeado a cada uno de los símbolos de fuente u_k , el primer símbolo de canal $z_{k,1}$ que es idéntico a u_k y el segundo símbolo de canal $z_{k,2}$ que es un promedio con signo o promedio ponderado con signo del símbolo fuente u_k y al menos un símbolo fuente futuro y/o pasado u_i , $i \neq k$, los segundos símbolos de canal funcionando así como símbolos de fusión para transmisiones suaves en la onda.

El mapeo propuesto permite un mejor confinamiento espectral, en particular para frecuencias bajas, que para por ejemplo el pulso Manchester, mientras que tienen una complejidad comparable.

El símbolo $z_{k,2}$ puede ser un promedio ponderado con signo de L términos $u_{k-L+1} + u_{k+1}$ para $1 = 1, \dots, L$, que tiene como resultado que la densidad espectral de potencia de la secuencia z de símbolos de canal disminuye como $(fT)^{(4L)}$, donde f indica la frecuencia en Hz y donde T indica el tiempo en segundos para la transmisión de u_k . El espectro de codificación Manchester disminuye como f^2 para f cerca de cero. Así el esquema de codificación propuesto disminuye más rápido que la codificación Manchester.

De acuerdo con un segundo aspecto, los objetos anteriores se logran mediante una luminaria que comprende al menos una fuente de luz, medios de modulación y un excitador de luz de acuerdo con lo anterior, disponiéndose los medios de modulación, de acuerdo con la señal de control proporcionada por el excitador de luz, para modular luz codificada a emitirse mediante la al menos una fuente de luz.

De acuerdo con un tercer aspecto, los objetos anteriores se logran mediante un método para accionar al menos una fuente de luz dispuesta para emitir luz codificada basándose en una señal de control, comprendiendo el método recibir una secuencia $u = [u_1, \dots, u_k, \dots, u_K]$ de símbolos fuente u_k que representan una secuencia de información de una fuente de información; determinar una secuencia $z = [z_1, \dots, z_k, \dots, z_K]$ de símbolos del canal z_k que forman la señal de control desde una secuencia de símbolos fuente; proporcionar la al menos una fuente de luz con la señal de control, accionando por tanto la al menos una fuente de luz; en el que la secuencia de símbolos de canal z se determina mapeando cada símbolo fuente u_k en el momento k a un símbolo de canal compuesto $z_k = (z_{k,1}, z_{k,2})$ que comprende al menos un primer símbolo de canal $z_{k,1}$ y al menos un segundo símbolo de canal $z_{k,2}$ teniendo como resultado el mapeo que la densidad espectral de potencia en la frecuencia cero de la secuencia z de símbolos de canal es igual a cero, y en el que la señal de control por tanto no permite ningún parpadeo visible presente en la luz codificada emitida mediante la al menos una fuente de luz; dicha densidad espectral de potencia lográndose: dicho mapeo comprendiendo, para el símbolo de canal compuesto z_k mapeado a cada uno de los símbolos de fuente u_k , el primer símbolo de canal $z_{k,1}$ que es idéntico a u_k y el segundo símbolo de canal $z_{k,2}$ que es un promedio con signo o promedio ponderado con signo del símbolo fuente u_k y al menos un símbolo fuente futuro y/o pasado u_i , $i \neq k$, los segundos símbolos de canal funcionando así como símbolos de fusión para transmisiones suaves en la onda.

De acuerdo con un cuarto aspecto, los objetos anteriores se logran por un decodificador de información para decodificar una secuencia de información desde una señal recibida desde un detector de luz, siendo indicativa la señal de una luz codificada como emitida desde al menos una fuente de luz accionada por un excitador de luz de acuerdo con lo anterior, que comprende un receptor dispuesto para recibir la señal desde el detector de luz, siendo la señal indicativa de la secuencia $z = [z_1, \dots, z_k, \dots, z_K]$ de símbolos de canal $z_k = (z_{k,1}, z_{k,2})$; una unidad de procesamiento dispuesta para determinar, desde la señal, una secuencia $\hat{u} = [\hat{u}_1, \dots, \hat{u}_k, \dots, \hat{u}_K]$ de símbolos fuente decodificados $\hat{u}_k$ que forman la secuencia de información decodificada; en el que la unidad de procesamiento se dispone para determinar la secuencia de símbolos fuente decodificados $\hat{u}$ por lo que el símbolo fuente decodificado $\hat{u}_k$ se determina desde una diferencia entre $z_{k,1}$ y un promedio ponderado de al menos el símbolo de canal $z_{k,2}$ y un símbolo de canal futuro y/o pasado z_i , $i \neq k$.

La unidad de procesamiento puede comprender un decodificador de decisión difícil. El decodificador de decisión difícil puede estar dispuesto para determinar la secuencia de símbolos fuente decodificados ũ como el signo de dicha diferencia. Tal decodificador puede permitir una decodificación rápida y precisa.

- 5 Se aprecia que la invención se refiere a todas las combinaciones posibles de características mencionadas en las reivindicaciones. Así mismo, las ventajas del primer aspecto se aplican al segundo aspecto, el tercer aspecto y el cuarto aspecto, y viceversa.

Breve descripción de los dibujos

- 10 Lo anterior y otros aspectos de la presente invención se describirán ahora en más detalle, en referencia a los dibujos adjuntos que muestran las realizaciones de la invención.

- 15 La Figura 1 ilustra un sistema de iluminación de acuerdo con una realización;
la Figura 2 ilustra una fuente de luz de acuerdo con una realización;
la Figura 3 ilustra un decodificador de información de acuerdo con una realización;
las Figuras 4a-4c ilustran codificadores de registro de desplazamiento de acuerdo con realizaciones;
la Figura 5 ilustra un decodificador de registro de desplazamiento de acuerdo con una realización;
20 las Figuras 6a-e ilustran trenes de pulso para símbolos fuente y símbolos de canal de acuerdo con realizaciones;
las Figuras 7a-7g ilustran representaciones espectrales de secuencias de símbolos de canal de acuerdo con realizaciones;
las Figuras 8a-8b son diagramas de flujo de acuerdo con realizaciones.

Descripción detallada

- 25 Las realizaciones siguientes se proporcionan a modo de ejemplo por lo que esta divulgación será completa y profunda, y transmitirá totalmente el alcance de la invención a los expertos en la materia. Los números similares se refieren a elementos similares a través del texto.

- 30 La Figura 1 ilustra un sistema de iluminación 1 que comprende al menos una fuente de luz, indicada esquemáticamente por el número de referencia 2. La al menos una fuente de luz 2 puede ser una luminaria y/o ser parte de un sistema de control de iluminación, de esta manera el sistema de iluminación 1 puede indicarse como un sistema de iluminación codificado. Una luminaria puede comprender al menos una fuente de luz 2. El término "fuente de luz" significa un dispositivo que se usa para proporcionar luz en una habitación, con el fin de iluminar objetos en
35 la habitación. Una habitación en este contexto normalmente es una habitación de apartamento o una habitación de oficina, sala de gimnasio, una habitación en un espacio público o una parte de un entorno exterior, tal como en una parte de una calle. Cada fuente de luz 2 es capaz de emitir luz codificada, como se ilustra esquemáticamente por la flecha 6. La luz emitida comprende así una parte modulada asociada con luz codificada que comprende secuencias de información. La luz emitida también puede comprender una parte sin modular asociada con una contribución de
40 iluminación. Cada fuente de luz 2 puede asociarse con un número de configuraciones de iluminación, entre otras que pertenecen a la contribución de iluminación de la fuente de luz, tal como color, temperatura de color e intensidad de la luz emitida. En términos generales la contribución de iluminación de la fuente de luz puede definirse como una salida con promedio de tiempo de la luz emitida por la fuente de luz 2. La fuente de luz 2 se describirá adicionalmente en referencia a la Figura 2.

- 45 Como se ha apreciado antes la al menos una fuente de luz 2 emite secuencias de información por medio de la luz visible 6. Antes de que las secuencias de información se emitan por medio de la luz visible 6, esta se mapea a una secuencia de símbolos de canal para formar una señal modulada. Esta señal de modulación puede actuar entonces como una señal de control para accionar la al menos una fuente de luz. La señal de control puede por tanto
50 determinar el tren de pulso que desplaza la al menos una fuente de luz 2 entre emitir luz (en un estado "ENCENDIDO") y no emitir luz (en un estado "APAGADO").

- El sistema de iluminación 1 comprende además un aparato, llamado decodificador de información 4. El decodificador de información 4 se dispone para decodificar una secuencia de información desde luz codificada emitida por la al
55 menos una fuente de luz 2. El decodificador de información 4 se describirá adicionalmente en referencia a la Figura 3.

- El sistema de iluminación 1 puede comprender además otros dispositivos 10 dispuestos para controlar y/o proporcionar información a la al menos una fuente de luz 2.

- 60 La Figura 2 ilustra esquemáticamente, en términos de un número de bloques funcionales, una fuente de luz 2. La fuente de luz 2 comprende un emisor 14 para emitir luz codificada. El emisor 14 puede comprender uno o más LED, pero también podría comprender una o más fuentes FL o HID etc. En general, los esquemas de codificación pueden utilizar múltiples fuentes de luz. Por ejemplo, un esquema de codificación de 3 niveles puede tener dos LED usando
65 los mapeos (APAGADO, APAGADO) para el nivel "-A", (ENCENDIDO, APAGADO) para el nivel "0", y (ENCENDIDO, ENCENDIDO) para el nivel "+A". Cómo los niveles se determinan se divulga a continuación. El emisor se controla

por el excitador de luz 18. El excitador de luz 18 puede comprender o ser parte de una unidad de procesamiento 16 tal como una unidad de procesamiento central (CPU). Como tal, el excitador de luz 18 comprende un receptor 20 y un transmisor 24. El receptor 20 puede disponerse para recibir ajustes, información de control, parámetros de código y similares. El receptor 20 puede ser un receptor configurado para recibir luz codificada. El receptor 20 puede comprender una interfaz infrarroja para recibir luz infrarroja. Como alternativa el receptor 20 puede ser un receptor de radio para recibir información transmitida inalámbricamente. Aún alternativamente, el receptor 20 puede comprender un conector para recibir información transmitida por alambres. El alambre puede ser un cable de línea de potencia. El alambre puede ser un cable informático. La información referente a ajustes, información de control, parámetros de código y similares puede almacenarse en la memoria 22.

El excitador de luz 18 puede recibir información por medio del receptor 20 que pertenece a una secuencia de información a transmitir mediante luz codificada por la fuente de luz 2. Al, por ejemplo, utilizar la unidad de procesamiento 16, el excitador de luz 18 puede cambiar la codificación de la luz codificada de manera que la luz codificada emitida por el emisor 14 comprenda (una versión codificada de) la secuencia de información. Para lograr tal transmisión, el excitador de luz 18 puede disponerse para realizar un número de funcionalidades. Por ejemplo, el receptor 20 se dispone para recibir una secuencia $u = [u_1, \dots, u_k, \dots, u_K]$ de símbolos fuente u_k que representan una secuencia de información de una fuente de información. La unidad de procesamiento 16 se dispone para determinar, desde la secuencia de símbolos fuente, una secuencia $z = [z_1, \dots, z_k, \dots, z_K]$ de símbolos de canal z_k que forman una señal de control. El transmisor 24 se dispone para proporcionar la fuente de luz 2 con la señal de control y por tanto accionar la fuente de luz 2. Estas funcionalidades se describirán con más detalle a continuación en referencia al diagrama de flujo de la Figura 8a. Como alternativa, la fuente de luz 2 no comprende un excitador de luz. El excitador de luz 18 puede ser entonces parte del sistema de iluminación 1.

El decodificador de información 4 puede estar dispuesto para detectar y recibir luz, tal como la luz codificada, que comprende secuencias de información emitidas por la al menos una fuente de luz 2 así como la luz emitida por fuentes de luz fuera del sistema de iluminación 1 (no se muestra). Desde la luz detectada y recibida el receptor 4 se dispone para determinar secuencias de información transmitidas por la al menos una fuente de luz 2. Un diagrama de bloques funcional para un decodificador de información 4 de acuerdo con una realización de la presente invención se proporciona en la Figura 3. El decodificador de información 4 comprende un receptor 34 dispuesto para recibir la señal desde un detector de luz 32, siendo indicativa la señal de la secuencia $z = [z_1, \dots, z_k, \dots, z_K]$ de símbolos de canal $z_k = (z_{k,1}, z_{k,2})$. El decodificador de información 4 comprende además una unidad de procesamiento 26 dispuesta para determinar, desde la señal, una secuencia $\hat{u} = [\hat{u}_1, \dots, \hat{u}_k, \dots, \hat{u}_K]$ de símbolos fuente decodificados $\hat{u}_k$ que forman la secuencia de información decodificada. Para lograr tal determinación, el decodificador de información 4 puede disponerse para realizar un número de funcionalidades. Estas funcionalidades se describirán a continuación en referencia al diagrama de flujo de la Figura 8b. El decodificador de información 4 puede comprender además una memoria 28 y un transmisor 30. La memoria 28 puede almacenar instrucciones que pertenecen a las funcionalidades para estimar una secuencia de información. El transmisor 30 puede utilizarse para comunicar información a la al menos una fuente de luz 2 en el sistema de iluminación 1.

Como se ha mencionado antes, antes de que las secuencias de información se emitan por medio de la luz visible 6, esta se mapea a secuencias de símbolos de canal para formar una señal modulada. El mapeo implica determinar un esquema de modulación con el que la secuencia de símbolos de canal se va a modular. El código Manchester (o código de bifase) se usa normalmente como un medio para modular la luz codificada. En la codificación Manchester, cada bit de entrada (también llamado bit de usuario) se mapea a un par de símbolos de canal, en el que los símbolos de canal en cada par tienen signos diferentes. Específicamente, un "1" se mapea sobre el par $\{+1, -1\}$, mientras que un "0" se mapea sobre el par $\{-1, +1\}$ (o viceversa). Claramente, el código Manchester está libre de DC ya que la amplitud transmitida promedio es cero. La Figura 7a ilustra en el número de referencia 52 una representación de frecuencia (en la forma de la densidad espectral de potencia PSD) de la onda transmitida para un ejemplo con una velocidad de comunicación de 500 bits de usuario/s, usando el código Manchester. Sin embargo, debido al decaimiento relativamente lento de la PSD un parpadeo visible puede introducirse en la luz emitida.

Este problema puede superarse por métodos, dispositivos y conceptos de sistema como se divulga a continuación que proporcionan mapeos desde símbolos fuente u a símbolos de canal z que tienen como resultado que la PSD en la frecuencia cero de la secuencia z de símbolos de canal es igual a cero y en el que la PSD tiene un decaimiento más rápido que el código Manchester. La señal de control (es decir, la señal basada en la secuencia de símbolos de canal generados por el excitador de luz 18 y usada para accionar la al menos una fuente de luz 2) no permite por tanto ningún parpadeo visible presente en la luz codificada emitida por la al menos una fuente de luz 2. Los medios para proporcionar tal mapeo así como la decodificación de una secuencia de información que se ha modulado con tal mapeo se describirán a continuación. En resumen, se proporciona un conjunto de mapeos que pueden verse como modificación de la norma de codificación de modulación Manchester que traduce bits en ondas. Los mapeos propuestos son especialmente útiles para la transmisión de información incrustada en luz. Las propiedades buenas de baja frecuencia aseguran ningún parpadeo visible, y una baja susceptibilidad de interferencia de baja frecuencia. En particular, los mapeos propuestos permiten mejorar la propiedad "libre de CC" del código Manchester, conduciendo así a un parpadeo mucho menos visible (o incluso ningún parpadeo visible en absoluto) de la luz codificada emitida mientras se mejora la supresión de 50 Hz y 100 Hz de interferencia en el decodificador de

información para una tasa de bits determinada (baja) debido a un decaimiento más rápido de la PSD. Tales aspectos diferentes de un sistema de modulación para comunicación de luz visible se considerarán a continuación.

De acuerdo con un primer mapeo propuesto cada bit de usuario u_k , $u_k \in \{-1, +1\}$, desde una cadena de bits de usuario u se mapea sobre un grupo de dos símbolos de canal ($z_{k,1}$, $z_{k,2}$), donde $z_{k,1}$, $z_{k,2} \in \{-1, 0, +1\}$, donde $z_{k,2}$ depende de u_k del grupo actual y u_{k+1} del siguiente grupo. De esta manera el mapeo para $z_{k,1}$ se define como $z_{k,1} = u_k$ y el mapeo para $z_{k,2}$ se define como: $u_{k,2} = -(u_k + u_{k+1})/2$. La secuencia de símbolos de canal z se forma entonces por las parejas de los dos símbolos de canal ($z_{k,1}$, $z_{k,2}$). Una ventaja de codificación usando el primer mapeo propuesto sobre la codificación Manchester es el espectro de potencia, tal como la densidad espectral de potencia, que se corresponde con la transformada de Fourier de la función de autocorrelación de la secuencia de canal. Para la modulación de amplitud con amplitud A alrededor de un nivel medio A_0 la secuencia de símbolo de canal z se transmite con amplitud $A_0 + A \cdot z$. El espectro de potencia para la codificación Manchester entonces es igual a

$$A^2 T \operatorname{sen}^2(\pi f T / 2) \operatorname{sen}^2(f T / 2)$$

donde T es el tiempo de bit de usuario. Para el primer mapeo propuesto el espectro de potencia es

$$A^2 T \operatorname{sen}^4(\pi f T / 2) \operatorname{sen}^2(f T / 2).$$

De esta manera el espectro del primer mapeo propuesto es más fuertemente suprimido alrededor de frecuencias que están en un múltiplo de número entero de $2/T$ que el de la codificación Manchester. En particular, para frecuencias cerca de cero, el espectro de potencia Manchester es $O(f^2)$, mientras que el espectro de potencia para el primer mapeo propuesto es $O(f^4)$. En otras palabras, el espectro de codificación Manchester disminuye como f^2 para f cerca de cero mientras que la codificación de espectro usando el primer mapeo propuesto disminuye como f^4 para f cerca de cero. En el número de referencia 54 de la Figura 7b, la PSD para el primer mapeo propuesto se compara con el mapeo Manchester (bifase) en el número de referencia 56 para una tasa de bits de usuario igual, respectivamente. Tal como puede verse en esta figura el primer mapeo propuesto tiene un hueco significativamente más amplio alrededor de DC (frecuencia cero) que el mapeo Manchester (bifase).

Si el "hueco" espectral alrededor de DC tiene que ensancharse, el primer mapeo propuesto puede extenderse a una segunda clase de mapeos propuestos. De acuerdo con una modulación que usa el segundo mapeo propuesto, un bit fuente $u_k \in \{-1, +1\}$ se mapea a una palabra $[z_{k,1}^1 \dots z_{k,1}^j \dots z_{k,1}^N, z_{k,2}]$ que contiene $N+1$ símbolos, donde los primeros N símbolos se definen por: $z_{k,1}^j = (-1)^{j-1} u_k$, para $j = 1, \dots, N$, y en el que $z_{k,2}$ se define por el mapeo $z_{k,2} = -(z_{k,1}^N + z_{k,1}^{N+1})/2$. Un efecto del segundo mapeo propuesto es que la banda de señal se desplaza hacia arriba en la frecuencia, liberando así las frecuencias bajas. El segundo mapeo propuesto puede verse como un tipo de modulación de fase de un portador cuadrado, donde el símbolo de fusión $z_{k,2}$ sirve para transiciones "suaves" para mantener el ancho de banda requerido pequeño. La Figura 7c muestra en el número de referencia 58 la PSD para el segundo mapeo propuesto para $N = 2$ en comparación con el pulso Manchester en el número de referencia 60 y un mapeo definido como $[+1, -1, -1, +1]$ en el número de referencia 62, todo para la misma tasa de bits de usuario de 500 bits/s. La Figura 7d muestra en el número de referencia 64 la PSD para el segundo mapeo propuesto para $N = 4$, todo para la misma tasa de bits de usuario de 500 bits/s y de nuevo en comparación con el pulso Manchester en el número de referencia 66 y un mapeo definido como $[+1, -1, -1, +1]$ en el número de referencia 68.

Sin embargo, una supresión incluso más fuerte que la lograda por el primer o segundo mapeo propuesto puede ser necesaria en algunas aplicaciones. El primer y segundo mapeo propuesto pueden extenderse además a una clase de tercer mapeo propuesto. La clase del tercer mapeo propuesto se etiqueta con un número entero L , e implica símbolos fuente de mapeo u_k a símbolos de canal con valor $3L z_k$. La señal transmitida resultante (cuando se usa modulación de amplitud) tiene poca potencia en frecuencias bajas y disminuye como $(fT)^{4L}$, donde f es la frecuencia y T el tiempo de bit. El receptor de umbral de filtro coincidente correspondiente tiene un rechazo similar de interferencia de frecuencia baja. Para $L = 1$, el primer mapeo propuesto se recupera. El esquema $L = 2$ proporciona un buen equilibrio entre practicidad y propiedades de baja frecuencia deseadas.

En particular, de acuerdo con la clase del tercer mapeo propuesto cada símbolo de canal z_k es una pareja ($z_{k,1}$, $z_{k,2}$) donde $z_{k,1} = u_k$ y donde los símbolos intermedios $z_{k,2}$ se eligen como

$$z_{k,2} = - \sum_{i=1}^L a_{L,i} (u_{k-i+1} + u_{k+1})/2$$

donde, para un valor determinado de L , los coeficientes $a_{L,i}$ se determinan por la condición de que

$$1 - \sum_{i=1}^L a_{L,i} \cos((2n-1)\pi fT) = O((fT)^{2L})$$

por lo que el espectro de potencia,

$$A^2 T \left(\frac{1}{2} \left(1 - \sum_{i=1}^L a_{L,i} \cos((2n-1)\pi fT) \right) \text{senc}(fT/2) \right)^2$$

5

es $O((fT)^{4L})$.

Para cada valor de L, encontrar los coeficientes $a_{L,i}$ es una materia de álgebra lineal. Los resultados para los primeros pocos valores de L son

10

$$\begin{aligned} L=1: \quad z_{k,2} &= -\frac{u_k + u_{k+1}}{2} \\ L=2: \quad z_{k,2} &= -\frac{9}{8} \cdot \frac{u_k + u_{k+1}}{2} + \frac{1}{8} \cdot \frac{u_{k-1} + u_{k+2}}{2} \\ L=3: \quad z_{k,2} &= -\frac{75}{64} \cdot \frac{u_k + u_{k+1}}{2} + \frac{25}{128} \cdot \frac{u_{k-1} + u_{k+2}}{2} - \frac{3}{128} \cdot \frac{u_{k-2} + u_{k+3}}{2} \\ L=4: \quad z_{k,2} &= -\frac{1225}{1024} \cdot \frac{u_k + u_{k+1}}{2} + \frac{245}{1024} \cdot \frac{u_{k-1} + u_{k+2}}{2} - \frac{49}{1024} \cdot \frac{u_{k-2} + u_{k+3}}{2} + \frac{5}{1024} \cdot \frac{u_{k-3} + u_{k+4}}{2} \end{aligned}$$

15

Los símbolos intermedios $z_{k,2}$, que son una suma ponderada de símbolos ternarios L, puede adoptarse en valores diferentes 3^L . Como se ha apreciado antes, para L = 1 el primer mapeo propuesto se recupera. La configuración L = 2 proporciona una mejora considerable a baja frecuencia sobre L = 1, mientras que mantiene el número de niveles limitado a nueve, principalmente los valores en el conjunto:

20

$$\left\{ -\frac{5}{4}, -\frac{5}{8}, -1, -\frac{1}{8}, 0, \frac{1}{8}, 1, \frac{5}{8}, \frac{5}{4} \right\}.$$

Ya que la amplitud máxima es 5/4 en este caso, en comparación con 1 para L = 1, la profundidad de modulación máxima A para L = 2 es 4/5 veces la amplitud máxima para L = 1.

25

Una secuencia de bits de usuario se convierte así en una secuencia de símbolos de canal, como se ha descrito antes. Estos símbolos de canal se transmiten sobre el canal (es decir, desde la al menos una fuente de luz 2 al decodificador de información 4) usando comunicación de luz visible, por ejemplo usando modulación de amplitud. En el decodificador de información 4, los símbolos "suaves" recibidos pueden enviarse a través de un filtro de coincidencia, y la secuencia fuente estimada, o bits de usuario, puede detectarse por medio del esquema de umbral (usando por ejemplo la función de signo), véase a continuación. La Figura 7e muestra la PSD como una función de fT, dividida por $A^2 T$, para la codificación Manchester en el número de referencia 76 así como para la tercera clase de mapeo propuesto para L = 1 en el número de referencia 72, L = 2 en el número de referencia 74 y L = 3 en el número de referencia 78, respectivamente. Como se ha apreciado en la figura el hueco de frecuencia cerca de la frecuencia cero se incrementa a medida que se incrementa L.

35

Como se ha divulgado antes, de acuerdo con un primer mapeo propuesto cada bit de usuario u_k , $u_k \in \{-1, +1\}$, desde una cadena de bits de usuario u, se mapea sobre un grupo de dos símbolos de canal ($z_{k,1}$, $z_{k,2}$), donde $z_{k,1}$, $z_{k,2} \in \{-1, 0, +1\}$. Los primeros y segundos mapeos propuestos, para los que la onda de salida puede de esta manera adoptar valores en el alfabeto ternario $\{A_{baja}, 0, A_{alta}\}$, puede extenderse además a una clase de cuarto mapeo propuesto, para el que la onda de salida adopta valores en el alfabeto binario $\{A_{baja}, A_{alta}\}$. De esta manera para la

40

cuarta clase de mapeo propuesto cada bit de usuario u_k , $u_k \in \{-1, +1\}$, desde una cadena de bits de usuario u , se mapea sobre un grupo de dos símbolos de canal $(z_{k,1}, z_{k,2})$, donde $z_{k,1}, z_{k,2} \in \{-1, +1\}$. Por tanto, mientras que los primeros y segundos mapeos propuestos generalmente requieren tres niveles de salida de luz, el cuarto mapeo propuesto generalmente requiere solo dos niveles de salida de luz; para los primeros y segundos mapeos propuestos la onda correspondiente al símbolo $+1$ puede, como se ha divulgado antes, ser un pulso con una amplitud alta A_{alta} , la onda correspondiente al símbolo -1 puede ser un pulso con amplitud baja A_{baja} , y la onda correspondiente al símbolo '0' puede ser un pulso con una amplitud $(A_{\text{alta}} + A_{\text{baja}})/2$.

Para la clase del cuarto mapeo propuesto el símbolo '0', que se usa solo para $z_{k,2}$ y por tanto tiene un soporte distinto de cero en $[T/2, T)$, puede formarse usando una combinación de la amplitud de nivel alto A_{alto} y la amplitud de nivel bajo A_{bajo} mientras se mantiene el espectro de potencia de frecuencia baja de cuarto orden. Para la onda '0' $W_0(t)$ con el soporte en $[T/2, T)$ los requisitos pueden formularse de esta manera como:

$$W_0(t) = A_{\text{alto}} \quad \text{o} \quad W_0(t) = A_{\text{bajo}} \quad \text{para todo } t \in [T/2, T)$$

$$\int (W_0(t) - (A_{\text{alto}} + A_{\text{bajo}})/2) dt = 0$$

$$\int t (W_0(t) - (A_{\text{alto}} + A_{\text{bajo}})/2) dt = 0.$$

Si el número de cambios de nivel dentro del símbolo se limita, el número de ondas que satisfacen estos límites es finito. El número mínimo de cambios de nivel para tal onda $W_0(t)$ es dos, y en ese caso existen dos posibilidades: la primera posibilidad tiene $W_0(t) = A_{\text{bajo}}$ para $t \in [T/2, 5T/8)$ y $[7T/8, T)$ y $W_0(t) = A_{\text{alto}}$ para $t \in [5T/8, 7T/8)$, la segunda posibilidad es la misma que la primera, pero con los niveles alto y bajo intercambiados.

Indicada por W_+ la onda para transmitir el símbolo '+1' y por W_- la onda para transmitir el símbolo '-1'. El símbolo '0' puede transmitirse entonces como la onda indicada W_{+-} si se precede por el símbolo '+1' y seguida por el símbolo '-1', y como una onda diferente indicada W_{-+} si se precede por el símbolo '-' y seguida por el símbolo '+'. Por ejemplo, si las ondas W_+ y W_{-+} cumplen las siguientes condiciones (que de esta manera corresponden a condiciones a), b) y c) anteriores:

$$W_{+-}(t) = A_{\text{alto}} \quad \text{o} \quad W_{+-}(t) = A_{\text{bajo}} \quad \text{para todo } t \in [T/2, T)$$

$$\int (W_{+-}(t) - (A_{\text{alto}} + A_{\text{bajo}})/2) dt = 0$$

$$W_{+-}(t) + W_{-+}(t) = A_{\text{alto}} + A_{\text{bajo}}$$

la densidad espectral de potencia está libre de picos delta a frecuencias no cero y tiene un comportamiento de frecuencia baja de cuarto orden.

Con un cambio de nivel dentro de cada onda W_+ y W_- , ningún cambio de nivel en las transiciones entre el símbolo '0' y los símbolos precedentes, y ningún cambio de nivel en las transiciones entre el símbolo '0' y el símbolo posterior, W_{+-} y W_{-+} pueden elegirse como

$$W_{+-}(t) = A_{\text{alto}} \quad \text{para todo } t \in [T/2, 5T/4), \quad \text{y} \quad W_{+-}(t) = A_{\text{bajo}} \quad \text{para todo } t \in [5T/4, T)$$

$$W_{-+}(t) = A_{\text{bajo}} \quad \text{para todo } t \in [T/2, 5T/4), \quad \text{y} \quad W_{-+}(t) = A_{\text{alto}} \quad \text{para todo } t \in [5T/4, T).$$

De esta manera $z_{k,2}$ se representa bien por W_{+-} o W_{-+} dependiendo de los valores de u_k y u_{k+1} . Si $u_k = +1$ y $u_{k+1} = -1$ entonces $z_{k,2}$ se representa por W_{+-} y viceversa. Además, ya que W_+ y W_- cambian niveles, cada $z_{k,2}$ también cambiará niveles y de acuerdo con lo anterior consiste en dos subpartes; para W_{+-} una primera subparte que tiene el valor A_{alto} y una segunda subparte con el valor A_{bajo} , y para W_{-+} una primera subparte con el valor A_{bajo} y una segunda subparte con el valor A_{alto} . En el número de referencia 92 de las Figuras 7f-7g, donde la Figura 7g proporciona una versión con zoom alrededor de la frecuencia cero del gráfico en la Figura 7f, la PSD para el cuarto

mapeo propuesto se compara con el mapeo Manchester (bifase) en el número de referencia 94 y el primer mapeo propuesto en el número de referencia 96 para una tasa de bits de usuario igual. Como puede verse en las Figuras 7f-7g el cuarto mapeo propuesto tiene un hueco más estrecho alrededor de DC (frecuencia cero) que el primer mapeo propuesto pero todavía más amplio que el mapeo Manchester (bifase).

Usar dos ondas diferentes para los símbolos intermedios (es decir los símbolos '0') puede aplicarse además para la clase de segundo mapeo propuesto. Particularmente, si el símbolo ternario $z_{k,2}$ a insertar entre $z_{k,1}^{N-1}$ y $z_{k+1,1}^1$ es '0', (es decir si $u_{k+1} = (-1)^N u_k$) la onda W_{+} puede usarse si $z_{k+1,1}^1 = -1$ y la onda W_{-} puede usarse si $z_{k+1,1}^1 = 1$.

Para la tercera clase de mapeo propuesto $z_{k,2}$, puede de acuerdo con lo anterior adoptar valores diferentes 3^L , algunos de los cuales son mayores que +1 o menores que -1. Los valores de símbolo $z_{k,1}$ y $z_{k,2}$ de la tercera clase de mapeo propuesto pueden escalarse por lo que todos descansan en el intervalo [-1,1]. Como un ejemplo, para $L = 2$ los valores posibles se vuelven -1, -9/10, -4/5, -1/10, 0, 1/10, 4/5, 9/10, 1 para $z_{k,2}$ y -4/5, +4/5 para $z_{k,1}$. Una onda que representa el valor del símbolo z puede formarse usando el nivel alto para una fracción $(1+z)/2$ del tiempo de símbolo y el nivel bajo para una fracción $(1-z)/2$ del tiempo de símbolo. Además, para los símbolos $z_{k,2}$ los tres valores de símbolo "alto" 4/5, 9/10 y 1 pueden ocurrir solo entre un par de símbolos $(z_{k,1}, z_{k+1,1})$, iguales a (-4/5, -4/5), por lo que para los valores de símbolo alto la onda puede iniciarse preferentemente y terminar "alta" y tener una parte "baja" en el medio. De manera similar, las ondas para los tres valores de símbolo bajo -1, -9/10 y -4/5 pueden iniciarse y terminar "bajas" y tener una parte "alta" en el medio. Los tres valores de símbolo "medio" -1/10, 0, 1/10 pueden ocurrir solo entre un par (-4/5, 4/5) o (4/5, -4/5), por lo que para estos símbolos puede ser preferente tener dos ondas diferentes; la primera onda comenzando "baja" y terminando "alta", la otra onda comenzando "alta" y terminando "baja" y en la que la onda que coincide con los niveles de señal cercanos se usa.

En general, tanto la codificación Manchester como la codificación basada en el primer mapeo propuesto permiten un receptor de umbral simple, basándose en los filtros de coincidencia:

$$\hat{u}_k = \text{signo}(z_{k,1} - z_{k,2})$$

y

$$\hat{u}_k = \text{signo}(z_{k,1} - (z_{k-1,2} + z_{k,2})/2)$$

respectivamente, donde z_k en el lado derecho indica los valores recibidos en el decodificador de información 4. El rechazo de frecuencia baja de estos filtros se relaciona directamente con el espectro de potencia de las señales correspondientes. Una implementación simple del decodificador para el primer mapeo propuesto puede comprender así un filtro de integrar y abandonar para cada símbolo de canal recibido z . Un decodificador de decisión difícil puede calcular así la expresión

$$(z_{k,1} - (z_{k-1,2} + z_{k,2})/2)$$

y comparar el resultado con el umbral 0 para decidir entre un +1 o -1 transmitido (es decir, si $u_k = +1$ o $u_k = -1$). Desde esto y lo anterior el experto en la materia entiende cómo un receptor de umbral coincidente puede implementarse para el segundo y tercer mapeo propuesto, respectivamente. En particular, el receptor de umbral de filtro coincidente para el tercer mapeo propuesto puede expresarse como

$$\hat{u}_k = \text{signo} \left(z_{k,1} - \sum_{l=1}^L a_{l,1} \cdot \frac{z_{k-l,2} + z_{k+l-1,2}}{2} \right)$$

donde los valores z en el lado derecho son los valores medidos de estos símbolos en el receptor.

La expresión anterior $(z_{k,1} - (z_{k-1,2} + z_{k,2})/2)$ para el primer mapeo propuesto corresponde a la salida de un receptor que tiene un filtro coincidente con coeficientes de filtro [-1/2, 1, -1/2]. De manera similar, los filtros coincidentes que corresponden a la segunda clase propuesta de mapeo pueden tener los siguientes conjuntos de coeficientes:

$$N=1 : [-1/2, 1, -1/2]$$

$$N=2: [-1/2, 1, -1, 1/2]$$

$$N=3: [-1/2, 1, -1, 1, -1/2]$$

$$N=4: [-1/2, 1, -1, 1, -1, 1/2]$$

etc. (como se ha mencionado antes, para $N = 1$ la segunda clase de mapeo corresponde al primer mapeo).

- 5 En términos generales un receptor basado en un filtro coincidente convoluciona los coeficientes de filtro con la onda recibida y después envía los valores en momentos de muestra. Si un bit de usuario u_k va precedido y seguido por bits de usuario con el mismo valor, los símbolos precedentes y siguientes al símbolo correspondiente al bit tienen el valor opuesto, por lo que la convolución con el filtro coincidente proporciona $u_k \cdot (A_{\text{alto}} - A_{\text{bajo}}) \cdot T/2$. Si uno de los bits cercanos tiene el signo opuesto, uno de los símbolos cercanos es '0' y la salida del filtro coincidente es $(3/4) \cdot u_k \cdot (A_{\text{alto}} - A_{\text{bajo}}) \cdot T/2$. Además, si ambos bits cercanos tienen el signo opuesto, la salida del filtro coincidente es $(1/2) \cdot u_k \cdot (A_{\text{alto}} - A_{\text{bajo}}) \cdot T/2$.

- 15 Un receptor para el cuarto mapeo propuesto también puede basarse en un filtro coincidente. En particular, el anterior receptor de umbral de filtro coincidente para el primer mapeo propuesto también puede usarse para el cuarto mapeo propuesto con buenos resultados. En términos generales, para una decodificación óptima del cuarto mapeo, el receptor necesita considerar los niveles de señal en ambas mitades del símbolo de la onda que representa el símbolo $z_{k,2}$ (para todo k), es decir los símbolos que pueden representar '0'. Se indica la primera mitad de $z_{k,2}$ por $z_{k,2,L}$ y la segunda mitad de $z_{k,2}$ por $z_{k,2,R}$. En otras palabras $z_{k,2,L}$ corresponde a $z_{k,2}$ para $t \in [T/2, 5T/4]$ y $z_{k,2,R}$ corresponde a $z_{k,2}$ para $t \in [5T/4, T]$ dentro de cada intervalo $[0, T]$. Después, la decodificación de u_k implica adoptar combinaciones lineales de $z_{1,1}$, $z_{1,2,L}$ y $z_{1,2,R}$ para valores de 1 en las proximidades de k . En particular, el filtro coincidente para el cuarto mapeo propuesto puede preferentemente tener una respuesta de impulso que corresponde a los coeficientes de filtro $[-1, 0, +1, +1, 0, -1]$ y por tanto dividirse en seis bloques, cada uno de una duración $T/4$. Así para estos coeficientes de filtro la salida es independiente del valor de los bits cercanos.

- 25 Los coeficientes de filtro del filtro coincidente para el cuarto mapeo propuesto también pueden usarse en el receptor basado en filtro coincidente para el primer mapeo propuesto. El uso de los coeficientes de filtro del filtro coincidente para el cuarto mapeo propuesto en el receptor basado en filtro coincidente para el primer mapeo propuesto puede, para los bits de usuario que se detectan por adoptar el signo de la salida de filtro coincidente, reducir la probabilidad de un fallo de detección debido al ruido aditivo si uno o ambos de los bits de usuario cercanos tienen el signo opuesto. En particular, para la clase del segundo mapeo propuesto los filtros coincidentes pueden tener los siguientes conjuntos de coeficientes en términos de los "símbolos de mitad":

$$N=1: [-1, 0, 1, 1, 0, -1]$$

$$N=2: [-1, 0, 1, 1, -1, 0, 1]$$

$$N=3: [-1, 0, 1, 1, -1, -1, 1, 1, 0, -1]$$

$$N=4: [-1, 0, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 0, 1]$$

- 35 etc. (como se ha mencionado antes, para $n = 1$, la segunda clase de mapeo corresponde al primer mapeo). Así, en general el filtro coincidente puede tener $2N + 4$ coeficientes en términos de los "símbolos de mitad". Los coeficientes pueden iniciarse con la secuencia $[-1, 0]$. Esta secuencia de inicio puede seguirse entonces por una pareja N de coeficientes que alternan entre $[1, 1]$ y $[-1, -1]$ hasta la pareja N -ésima que es igual a $[(-1)^{N-1}, (-1)^{N-1}]$. Los coeficientes pueden entonces terminar con la secuencia $[0, (-1)^N]$. Un receptor puede usar cada filtro para decodificar cada mapeo, con el mismo valor de N , por supuesto. Los filtros del cuarto mapeo son igualmente buenos o mejores que los filtros para el primer o segundo mapeo. La detección para la tercera clase de mapeo propuesto escalado puede requerir una mayor precisión de temporización (tal como un sobremuestreo en el detector) que para la tercera clase

de mapeo propuesto originalmente. Sin embargo, el filtro coincidente para el sistema $L = 2$ basado en amplitud puede usarse en el detector para los anteriores símbolos escalados, reduciendo así los requisitos de precisión de temporización.

5 Tanto el codificador (es decir, el proceso de mapeo) como el decodificador (es decir, el proceso de mapeo inverso) pueden implementarse usando registros de desplazamiento. La Figura 4a ilustra en el número de referencia 36 una implementación del registro de desplazamiento de un decodificador basado en el primer mapeo propuesto. La secuencia fuente u se suministra a un registro de desplazamiento que tiene dos células de memoria, una para almacenar u_{k+1} y una para almacenar u_k . $z_{k,1}$ se obtiene directamente desde u_k . $z_{k,2}$ se obtiene añadiendo u_k y u_{k+1} y después multiplicando esta suma por un factor $-1/2$. $z_{k,1}$ y $z_{k,2}$ después se serializan en un multiplexor (mux) para formar la secuencia final z de símbolos de canal.

15 La Figura 4b ilustra en el número de referencia 38 una implementación del registro de desplazamiento de un codificador basado en el segundo mapeo propuesto. La secuencia fuente u se suministra a un registro de desplazamiento que tiene dos células de memoria, una para almacenar u_{k+1} y una para almacenar u_k . $z_{k,1}$ se forma como una secuencia $z_{k,1} = [z_{k,1}^1, \dots, z_{k,1}^n, \dots, z_{k,1}^N]$, donde cada $z_{k,1}^n$ se obtiene desde una secuencia de u_k con signo alternado; $z_{k,1}^n = u_k$ si n es impar y $z_{k,1}^n = -u_k$ si n es par. En otras palabras, para obtener $z_{k,1}^n$, u_k se multiplica por $+1$ (es decir, no se necesita operación) o por -1 . La secuencia resultante $z_{k,1} = [z_{k,1}^1, \dots, z_{k,1}^n, \dots, z_{k,1}^N]$ se suministra después a un multiplexor (mux). $z_{k,2}$ se obtiene primero añadiendo $z_{k,1}^N$ y u_{k+1} y después multiplicando esta suma por un factor $-1/2$. $z_{k,1}$ y $z_{k,2}$ se serializan después en el multiplexor para formar la secuencia final z de símbolos de canal.

25 La Figura 4c ilustra en el número de referencia 40 una implementación del registro de desplazamiento de un codificador basado en el tercer mapeo propuesto. Para $L = 2$, la secuencia fuente u se suministra a un registro de desplazamiento que tiene cuatro células de memoria para almacenar u_{k+2} , u_{k+1} , u_k y u_{k-1} respectivamente. $z_{k,1}$ se obtiene directamente de u_k . $z_{k,2}$ se obtiene desde una suma ponderada de u_{k+2} , u_{k+1} , u_k y u_{k-1} , respectivamente. Como se ha mencionado antes los factores de ponderación para $L = 2$ son $1/16$, $-9/16$, $-9/16$ y $1/16$, respectivamente. Así de acuerdo con una primera implementación, u_{k+2} , u_{k+1} , u_k y u_{k-1} se multiplican primero por 1 , -9 , -9 y 1 , respectivamente, después se añaden y luego se multiplican por un factor $1/16$ para obtener $z_{k,2}$. Como alternativa $z_{k,2}$ puede encontrarse multiplicando directamente u_{k+2} , u_{k+1} , u_k y u_{k-1} por $1/16$, $-9/16$, $-9/16$ y $1/16$, respectivamente, retirando así la necesidad de un multiplicador extra. $z_{k,1}$ y $z_{k,2}$ se serializan después en un multiplexor (mux) para formar la secuencia final z de símbolos de canal.

35 La Figura 5 ilustra en el número de referencia 42 una implementación del registro de desplazamiento de un decodificador basado en el primer mapeo propuesto. La secuencia de canal recibida z se suministra a un demultiplexor (dmux) para obtener $z_{k,1}$ y $z_{k,2}$. $z_{k,2}$ se suministra a un registro de desplazamiento que tiene dos células de memoria, una para almacenar $z_{k-1,2}$ y una para almacenar $z_{k,2}$. $z_{k-1,2}$ y $z_{k,2}$ se añaden y multiplican por un factor $-1/2$. La secuencia fuente estimada $\hat{u}$ se obtiene entonces añadiendo el resultado de esta multiplicación por $z_{k,1}$ y después adoptando el signo de la suma.

40 Las Figuras 6a-d dan un ejemplo de una aplicación del primer mapeo propuesto. La Figura 6a ilustra en el número de referencia 44 una secuencia fuente $u = [-1, -1, +1, +1, -1, \dots]$ que entre otros puede representar la secuencia de información $[0, 0, 1, 1, 0, \dots]$. Una representación de onda para la secuencia fuente u se ilustra en el número de referencia 46 en la Figura 6b donde cada bit fuente tiene una duración temporal de T segundos. Con fines ilustrativos solo la amplitud de la onda se confina al intervalo desde -1 a $+1$, pero en general puede ser desde $-A$ a $+A$ si la modulación de amplitud con la amplitud A se usa. Como entiende el experto en la materia otros métodos de modulación diferentes a la modulación de amplitud son igualmente posibles. La Figura 6c ilustra en el número de referencia 48 la secuencia correspondiente de símbolos de canal z , es decir, $z = [-1, +1, -1, 0, +1, -1, +1, 0, -1, ?, \dots]$, donde "?" es bien "0" o "+1" dependiendo del siguiente símbolo fuente. Una representación de onda para la secuencia de canal z se ilustra en el número de referencia 50 en la Figura 6d. De esta manera el mapeo es similar a la bifase si unos bits de usuario consecutivos son iguales. Sin embargo, si dos bits de usuario consecutivos no son iguales, el primer mapeo propuesto produce un "0" como bit de fusión $z_{k,2}$, que conduce a una transición suave de la onda transmitida, evitando así la generación de frecuencias que están "muy lejos" de una frecuencia cuasi portadora (500 Hz en el ejemplo anterior).

55 La Figura 6e proporciona un ejemplo de una aplicación del cuarto mapeo propuesto usado para el mismo ejemplo que para las Figuras 6a-d, es decir para una secuencia fuente $u = [-1, -1, +1, +1, -1, \dots]$ que entre otros puede representar la secuencia de información $[0, 0, 1, 1, 0, \dots]$. Una representación de onda para la secuencia de canal z para el cuarto mapeo propuesto se ilustra en el número de referencia 90 en la Figura 6e. La representación de onda es similar a la del primer mapeo propuesto ilustrado en la Figura 6d. Sin embargo, si dos bits de usuario consecutivos u_k , u_{k+1} no son iguales, el cuarto mapeo propuesto no produce un '0' como bit de fusión $z_{k,2}$, pero en su lugar produce bien W_{+} (si se precede por el símbolo '+1' y va seguido del símbolo '-1') o W_{-} (si se precede por el símbolo '-1' y va seguido por el símbolo '+1'), donde W_{+} y W_{-} se definen de acuerdo con lo anterior, y donde para el presente ejemplo $A_{\text{alto}} = '+1'$ y $A_{\text{bajo}} = '-1'$.

65 La aplicación de los mapeos propuestos es adecuada para la comunicación de luz visible (VLC) entre lámparas o entre lámparas y un control remoto. En términos de un apilamiento OSI que define tal comunicación, esto formaría

parte de la definición de la capa física. El experto en la materia aprecia que la presente invención de ninguna manera se limita a las realizaciones preferentes descritas antes. Al revés, muchas modificaciones y variaciones son posibles dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

Por ejemplo, aunque las realizaciones divulgadas se han ilustrado en el contexto de un entorno de luz codificada, los mapeos propuestos son aplicables a una transmisión de datos general y comunicaciones de información, tal como comunicaciones de radio. El excitador de luz divulgado puede entonces sustituirse por un excitador dispuesto para accionar un transmisor de radio. De manera similar el decodificador de información puede disponerse para decodificar una secuencia de información desde una señal de radio recibida. Además, los diferentes niveles implicados en los símbolos de canal individuales se han mapeado sobre la amplitud del nivel de luz transmitido. Esos niveles pueden mapearse sobre un esquema de modulación de ancho de pulsos (que también puede ser adecuado para un sistema VLC basado en LED). Los esquemas propuestos pueden incluso implementarse de manera que el decodificador de información no tiene que estar pendiente de qué sistema (modulación de amplitud o modulación de ancho de pulso) se usa en el transmisor.

En realizaciones, el segundo símbolo de canal $z_{k,2}$ puede elegirse desde un conjunto M en el que el número de elementos en el conjunto M es impar. En realizaciones, el segundo símbolo de canal $z_{k,2}$ puede elegirse desde un conjunto M en el que el conjunto M es simétrico alrededor de cero. En realizaciones, el segundo símbolo de canal $z_{k,2}$ puede elegirse desde un conjunto M en el que el elemento cero se incluye en el conjunto M.

$z_{k,1}$ puede ser una secuencia de primeros símbolos de canal, $z_{k,1} = [z_{k,1}^1 \dots z_{k,1}^j \dots z_{k,1}^{N_j}]$ donde el símbolo j :th se proporciona por $z_{k,1}^j = (-1)^{j-1} u_k$, para $j = 1, \dots, N$, y en el que $z_{k,2} = -(z_{k,1}^N + z_{k+1,1}^1)/2$.

Un decodificador de información puede proporcionarse para decodificar una secuencia de información desde una señal recibida desde un detector de luz, siendo la señal indicativa de luz codificada como se emite desde al menos una fuente de luz accionada por un excitador de luz según de acuerdo con realizaciones previamente descritas, comprendiendo el decodificador de información: un receptor dispuesto para recibir la señal desde el detector de luz, siendo la señal indicativa de la secuencia $z = [z_1, \dots, z_k, \dots, z_K]$ de símbolos de canal $z_k = (z_{k,1}, z_{k,2})$; una unidad de procesamiento dispuesta para determinar, desde la señal, una secuencia $\hat{u} = [\hat{u}_1, \dots, \hat{u}_k, \dots, \hat{u}_K]$ de símbolos fuente decodificados $\hat{u}_k$ que forman la secuencia de información decodificada; en el que la unidad de procesamiento se dispone para determinar la secuencia de símbolos fuente decodificados $\hat{u}$ por lo que el símbolo fuente decodificado $\hat{u}_k$ se determina adoptando combinaciones lineales de $z_{1,1}$ y símbolos de mitad $z_{1,2,L}$ y $z_{1,2,R}$, para valores de 1 en la proximidad de k, donde $z_{k,2,L}$ es la primera mitad de $z_{k,2}$ y $z_{k,2,R}$ es la segunda mitad de $z_{k,2}$.

La unidad de procesamiento puede disponerse para determinar la secuencia de símbolos fuente decodificados $\hat{u}$ usando un filtro coincidente con un conjunto de coeficientes que comprende la secuencia $[-1, 0, 1, 1]$ en términos de símbolos de mitad. El filtro coincidente puede tener coeficientes $2N+4$ en términos de los símbolos de mitad, comenzando con la secuencia $[-1, 0]$, seguida por N pares de coeficientes alternativos entre $[1, 1]$ y $[-1, -1]$ hasta la pareja N-ésima que iguala $[(-1)^{N-1}, (-1)^{N-1}]$, y terminando con la secuencia $[0, (-1)^N]$.

REIVINDICACIONES

1. Un excitador de luz (18) para accionar al menos una fuente de luz (2) dispuesta para emitir luz codificada basada en una señal de control, comprendiendo el excitador de luz:

un receptor (20) dispuesto para recibir una secuencia $u = [u_1, \dots, u_k, \dots, u_K]$ de símbolos fuente u_k que representan una secuencia de información de una fuente de información;
una unidad de procesamiento (16) dispuesta para determinar, desde la secuencia de símbolos fuente, una secuencia $z = [z_1, \dots, z_k, \dots, z_K]$ de símbolos de canal z_k que forman la señal de control;
un transmisor (24) dispuesto para proporcionar la al menos una fuente de luz con la señal de control accionando por tanto la al menos una fuente de luz para transmitir una onda que representa los símbolos de canal;
en el que la unidad de procesamiento se dispone para determinar la secuencia de símbolos de canal z mapeando cada símbolo fuente u_k en el momento k a un símbolo de canal compuesto $z_k = (z_{k,1}, z_{k,2})$ que comprende al menos un primer símbolo de canal $z_{k,1}$ que es idéntico a u_k y comprendiendo además al menos un segundo símbolo de canal $z_{k,2}$, resultando el mapeo en que la densidad espectral de potencia en la frecuencia cero de la secuencia z de símbolos de canal es igual a cero, y en el que la señal de control no permite por tanto ningún parpadeo visible presente en la luz codificada emitida por la al menos una fuente de luz;
caracterizado por que dicha densidad espectral de potencia se logra por:

para cada uno de los símbolos fuente u_k , el segundo símbolo de canal $z_{k,2}$ es un promedio con signo o promedio ponderado con signo del símbolo fuente u_k y al menos un símbolo fuente futuro y/o pasado u_i , $i \neq k$, los segundos símbolos de canal funcionando así como símbolos de fusión para transiciones suaves en la onda.

2. El excitador de luz de acuerdo con la reivindicación 1, en el que $z_{k,2}$ es un promedio ponderado con signo de L términos $u_{k-l+1} + u_{k+1}$ para $l = 1, \dots, L$, que da como resultado que la densidad espectral de potencia de la secuencia z de símbolos de canal disminuye como $(fT)^{(4L)}$, donde f indica la frecuencia en Hz y donde T indica el tiempo en segundos para transmisión u_k .

3. El excitador de luz de acuerdo con la reivindicación 2 en el que un factor de ponderación $a_{L,l}$ para L términos se determina de manera que

$$1 - \sum_{l=1}^L a_{L,l} \cos((2l-1)\pi fT) = O((fT)^{2L})$$

se mantiene.

4. El excitador de luz de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el factor de ponderación $a_{L,l}$ se determina además de manera que

$$A^2 T \left(\frac{1}{2} \left(1 - \sum_{l=1}^L a_{L,l} \cos((2l-1)\pi fT) \right) \text{sinc}(fT/2) \right)^2 = O((fT)^{4L})$$

se mantiene para modulación de amplitud con amplitud A de la secuencia de símbolos de canal.

5. El excitador de luz de acuerdo con la reivindicación 1, en el que

$$z_{k,2} = -(u_k + u_{k+1}) / 2.$$

6. Una luminaria que comprende al menos una fuente de luz (2), medios de modulación y un excitador de luz (18) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, el medio de modulación estando dispuesto para modular, de acuerdo con la señal de control proporcionada por el excitador de luz, luz codificada a emitirse por la al menos una fuente de luz.

7. Un método para accionar al menos una fuente de luz (2) dispuesta para emitir luz codificada basada en una señal de control, comprendiendo el método:

recibir (80) una secuencia $u = [u_1, \dots, u_k, \dots, u_K]$ de símbolos fuente u_k que representan una secuencia de información de una fuente de información;

determinar (82) una secuencia $z = [z_1, \dots, z_k, \dots, z_K]$ de símbolos de canal z_k que forman la señal de control desde la secuencia de símbolos fuente;

proporcionar (84) la al menos una fuente de luz con la señal de control, accionando así la al menos una fuente de luz;

en el que la secuencia de símbolos de canal z se determina mapeando cada símbolo fuente u_k en el momento k a un símbolo de canal compuesto $z_k = (z_{k,1}, z_{k,2})$ que comprende al menos un primer símbolo de canal $z_{k,1}$ que es idéntico a u_k y comprende además al menos un segundo símbolo de canal $z_{k,2}$, resultando el mapeo en que la densidad espectral de potencia en la frecuencia cero de la secuencia z de símbolos de canal es igual a cero, y en el que la señal de control no permite por tanto ningún parpadeo visible presente en la luz codificada emitida por la al menos una fuente de luz;

caracterizado por que dicha densidad espectral de potencia se logra por:

para cada uno de los símbolos fuente u_k , el segundo símbolo de canal $z_{k,2}$ es un promedio con signo o promedio ponderado con signo del símbolo fuente u_k y al menos un símbolo fuente futuro y/o pasado u_i , $i \neq k$, los segundos símbolos de canal funcionando así como símbolos de fusión para transiciones suaves en la onda.

8. Un decodificador de información (4) para decodificar una secuencia de información desde una señal recibida desde un detector de luz (32), siendo la señal indicativa de luz codificada como se emite desde al menos una fuente de luz (2) accionada por un excitador de luz (18) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que comprende:

un receptor (34) dispuesto para recibir la señal desde el detector de luz, siendo la señal indicativa de la secuencia $z = [z_1, \dots, z_k, \dots, z_K]$ de símbolos de canal $z_k = (z_{k,1}, z_{k,2})$;

una unidad de procesamiento (26) dispuesta para determinar, desde la señal, una secuencia $\hat{u} = [\hat{u}_1, \dots, \hat{u}_k, \dots, \hat{u}_K]$ de símbolos fuente decodificados $\hat{u}_k$ que forman la secuencia de información decodificada;

en el que la unidad de procesamiento se dispone para determinar la secuencia de símbolos fuente decodificados $\hat{u}$ por lo que el símbolo fuente decodificado $\hat{u}_k$ se determina desde una diferencia entre $z_{k,1}$ y un promedio ponderado de al menos el símbolo de canal $z_{k,2}$ y un símbolo de canal futuro y/o pasado z_i , $i \neq k$.

9. El decodificador de información de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la unidad de procesamiento comprende un decodificador de decisión difícil, y en el que el decodificador de decisión difícil se dispone para determinar la secuencia de símbolos fuente decodificados $\hat{u}$ como el signo de dicha diferencia.

10. El decodificador de información de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, en el que $\hat{u}_k$ se determina de acuerdo con $\hat{u}_k = \text{signo} (z_{k,1} - (z_{k-1,2} + z_{k+1,2})/2)$.

11. El decodificador de información de acuerdo con la reivindicación 8 o 9 cuando depende de la reivindicación 3, en el que $\hat{u}_k$ se determina de acuerdo con

$$\hat{u}_k = \text{signo} \left(z_{k,1} - \sum_{l=1}^L a_{L,l} \frac{z_{k-l,2} + z_{k+l-1,2}}{2} \right).$$

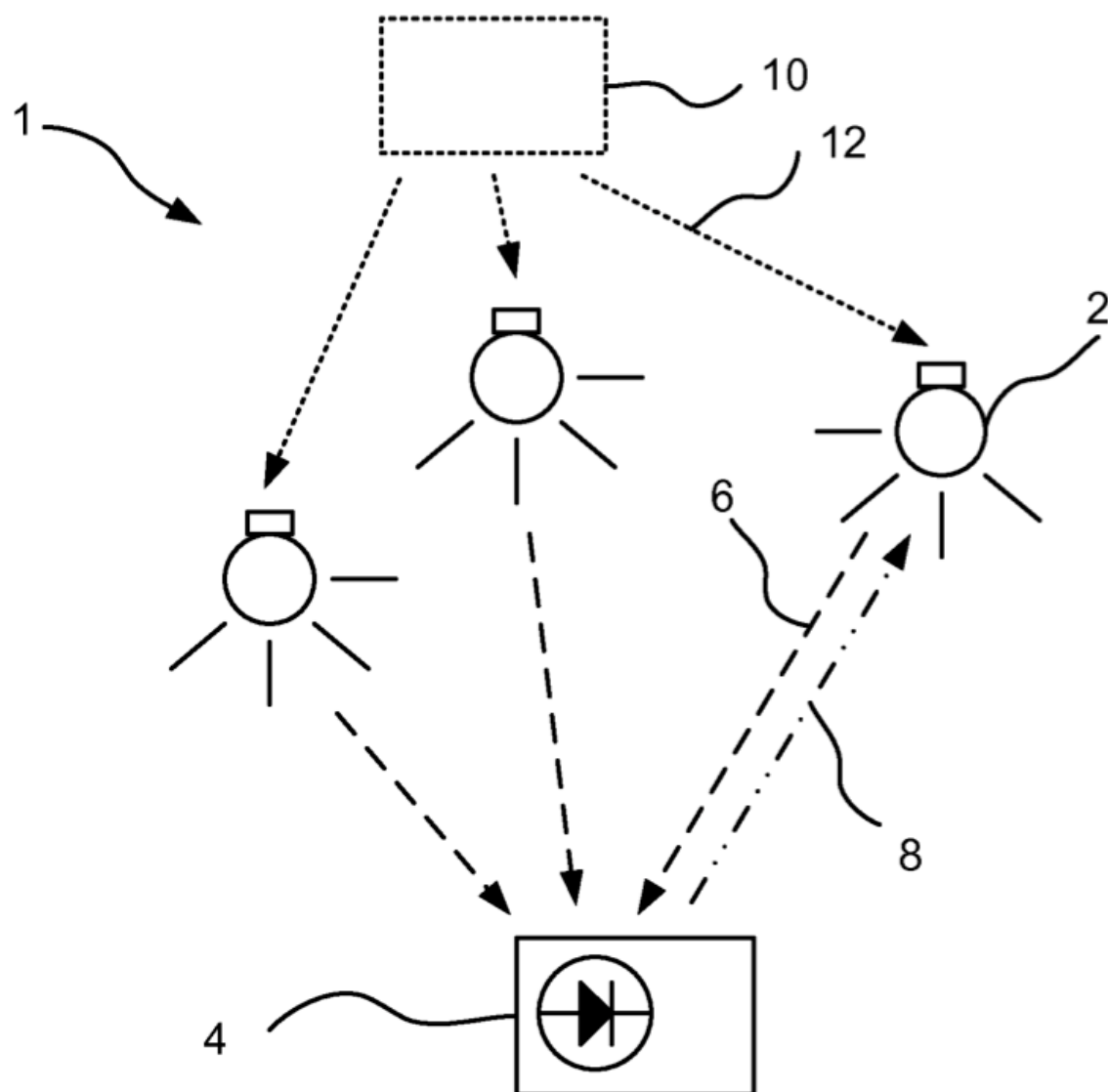


FIG. 1

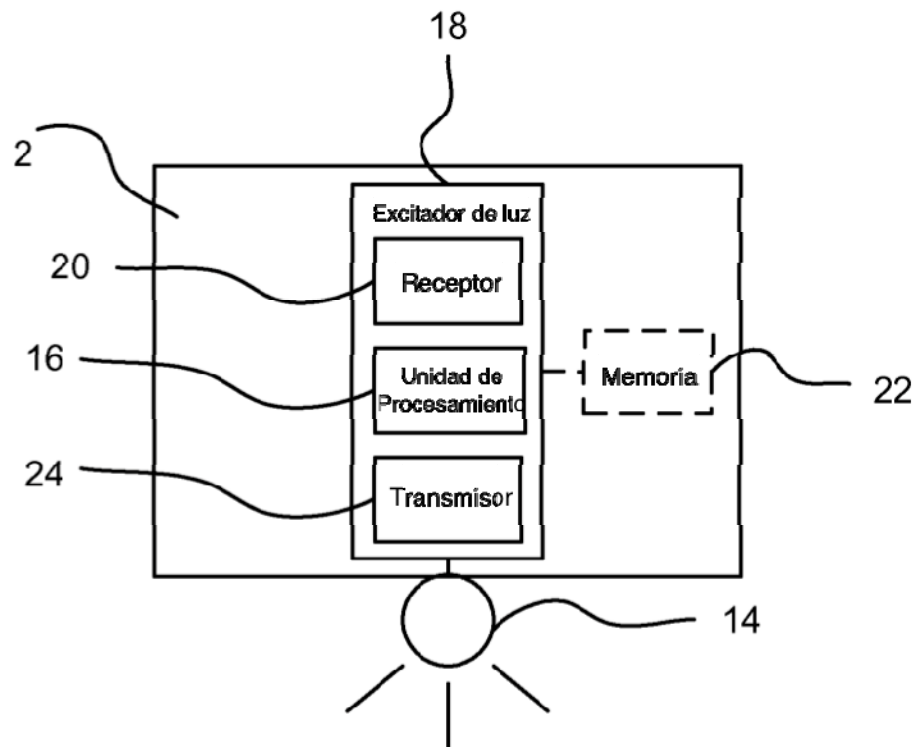


FIG. 2

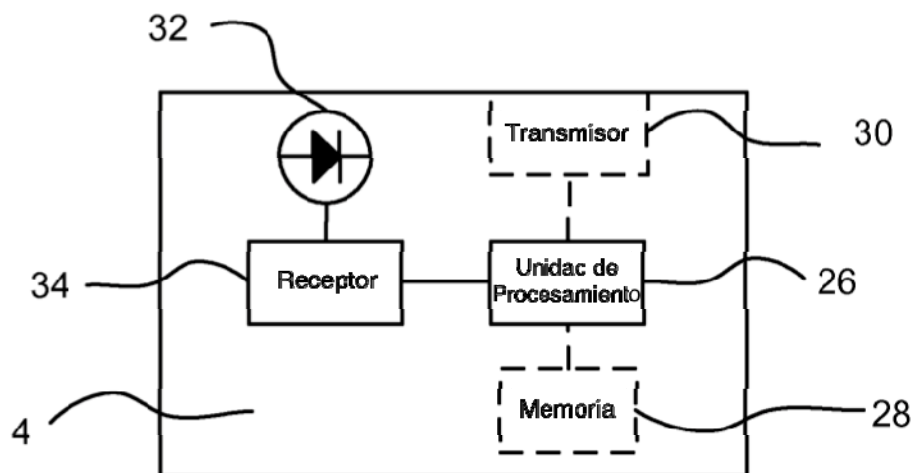


FIG. 3

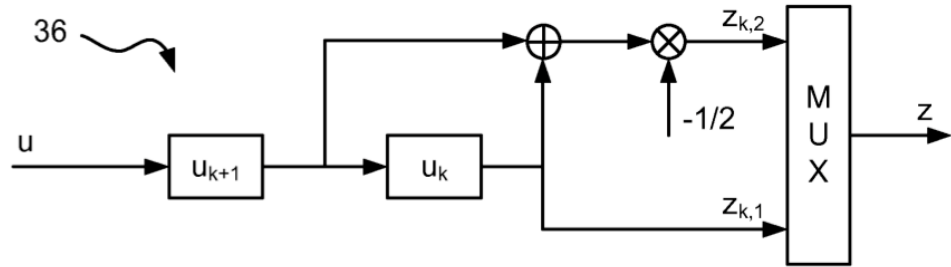


FIG. 4a

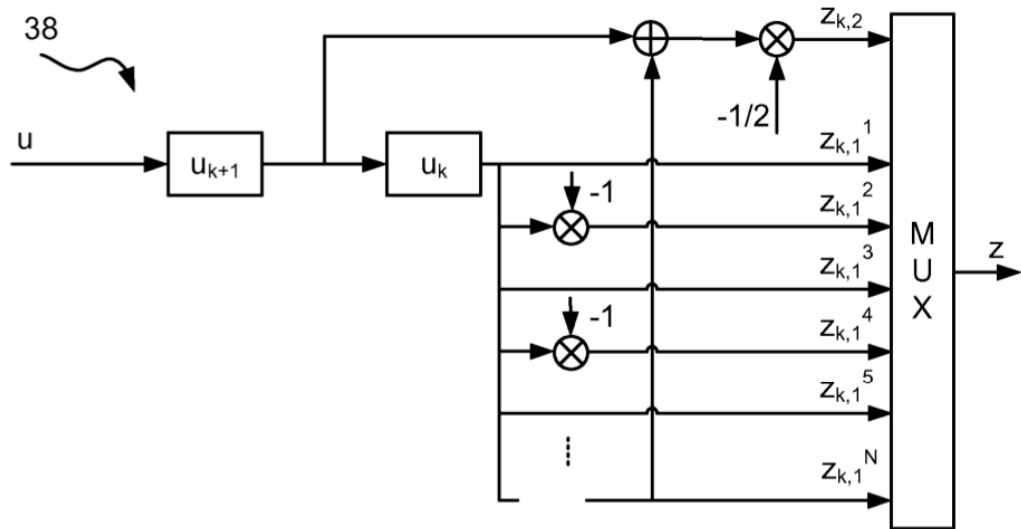


FIG. 4b

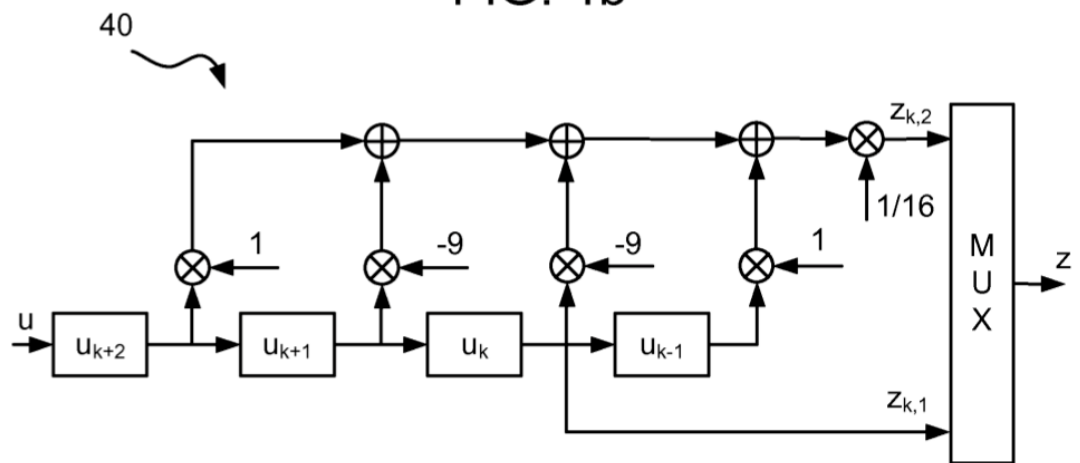


FIG. 4c

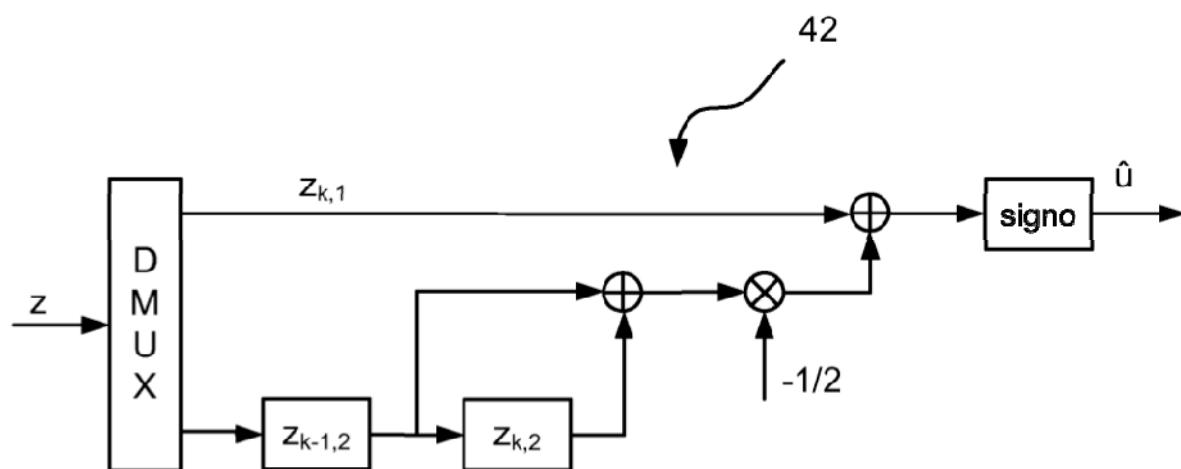


FIG. 5

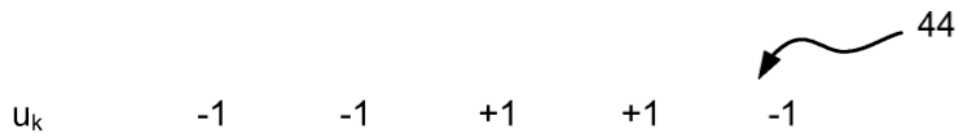


FIG. 6a

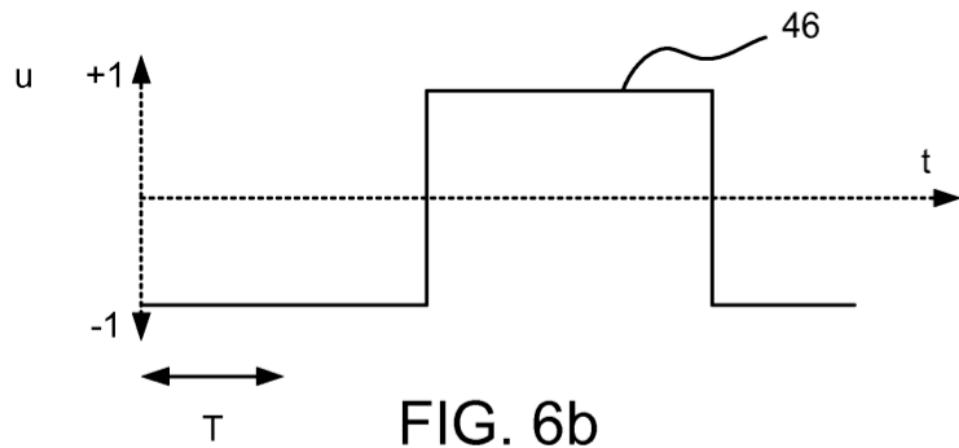


FIG. 6b

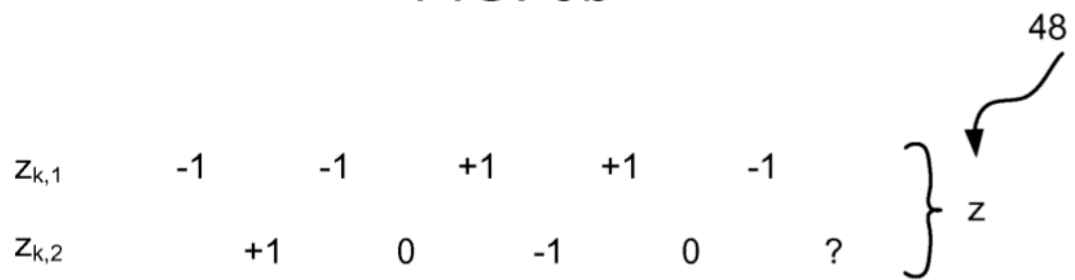


FIG. 6c

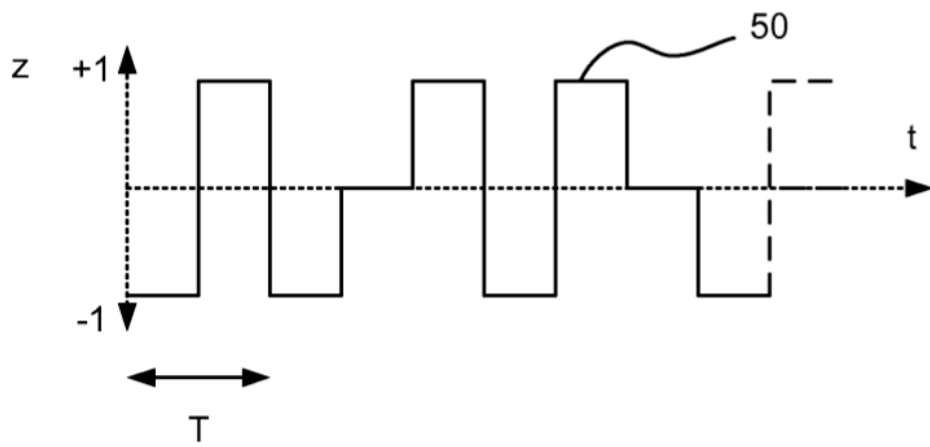


FIG. 6d

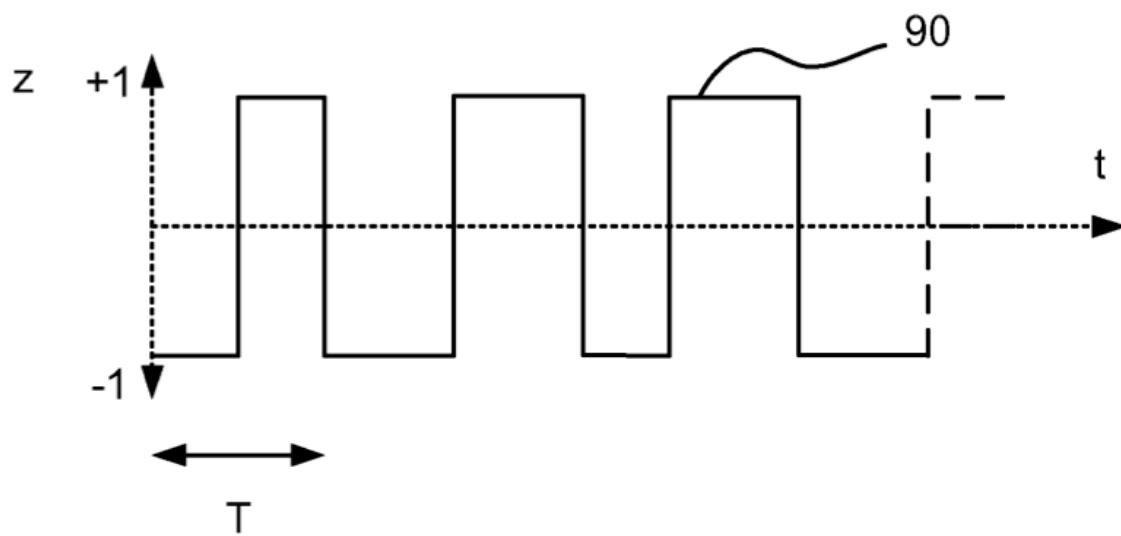


FIG. 6e

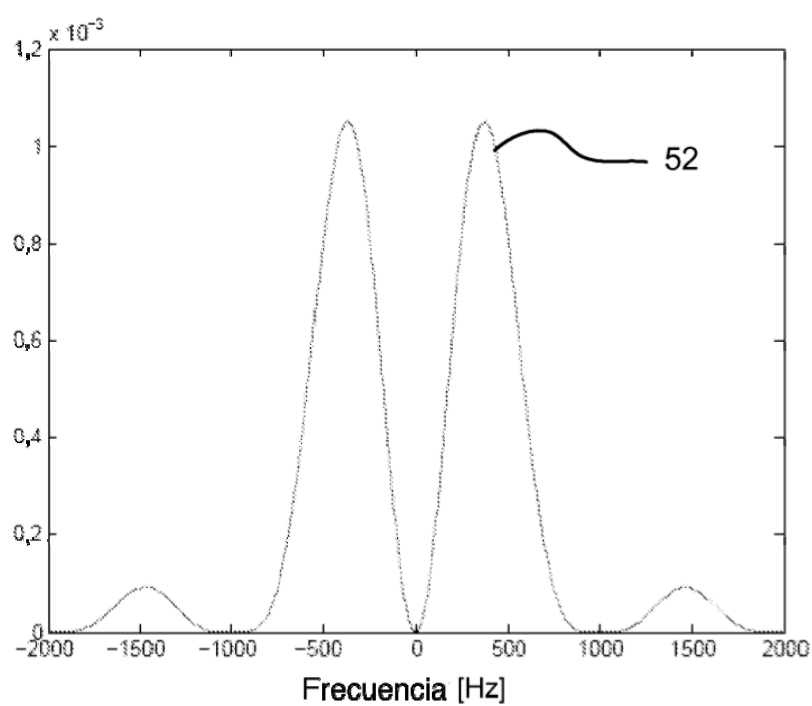


FIG. 7a

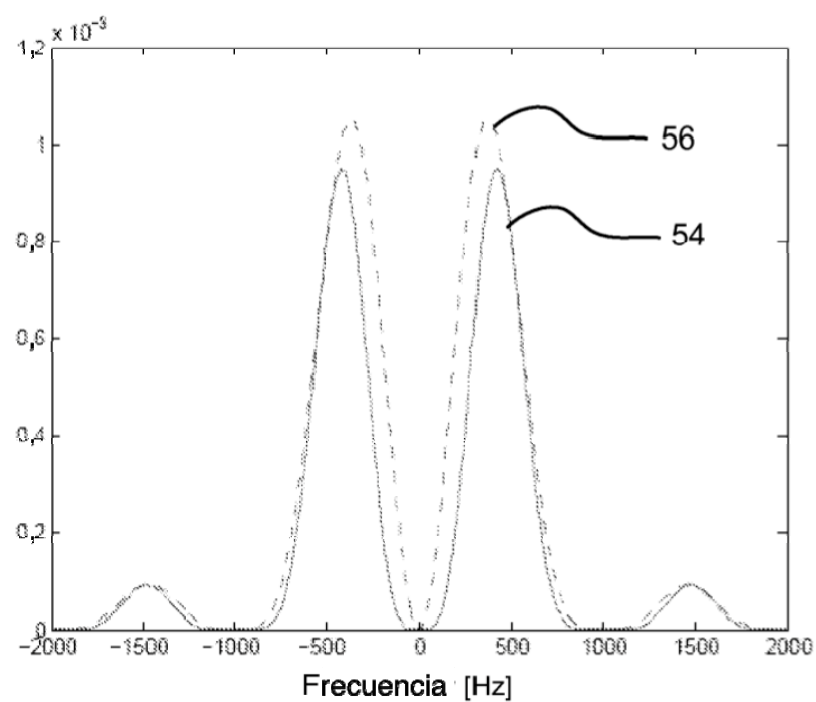
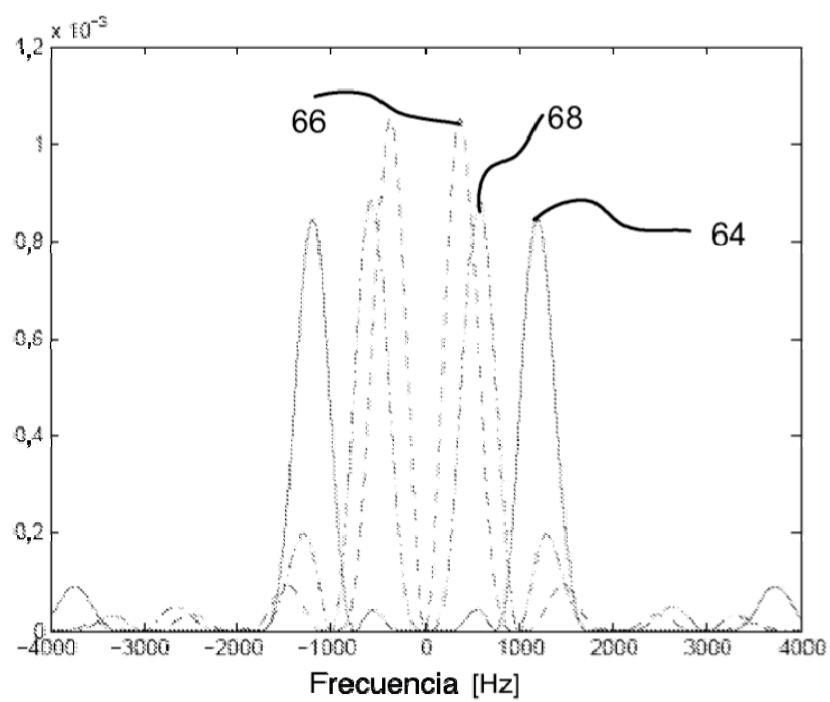
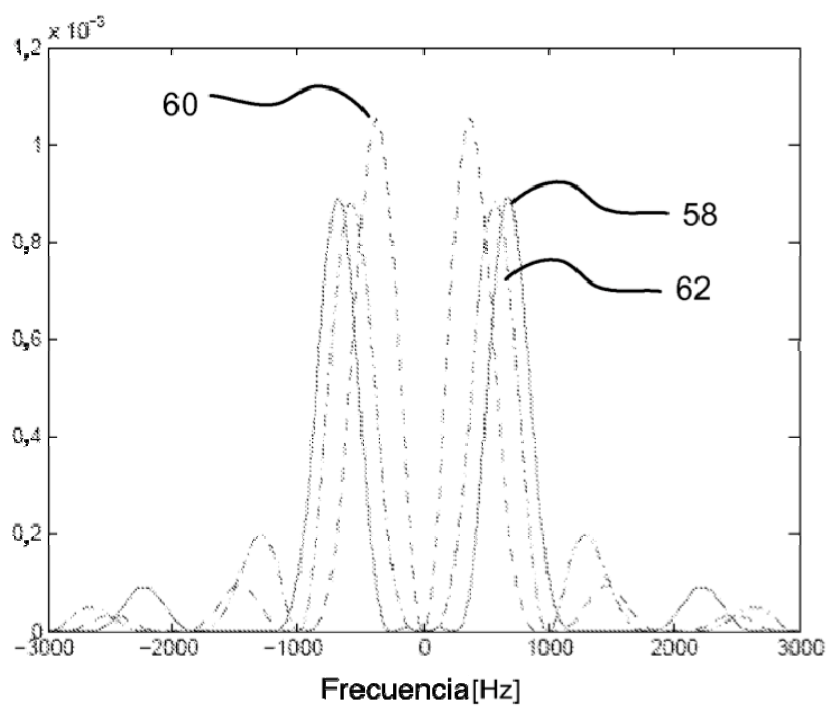


FIG. 7b



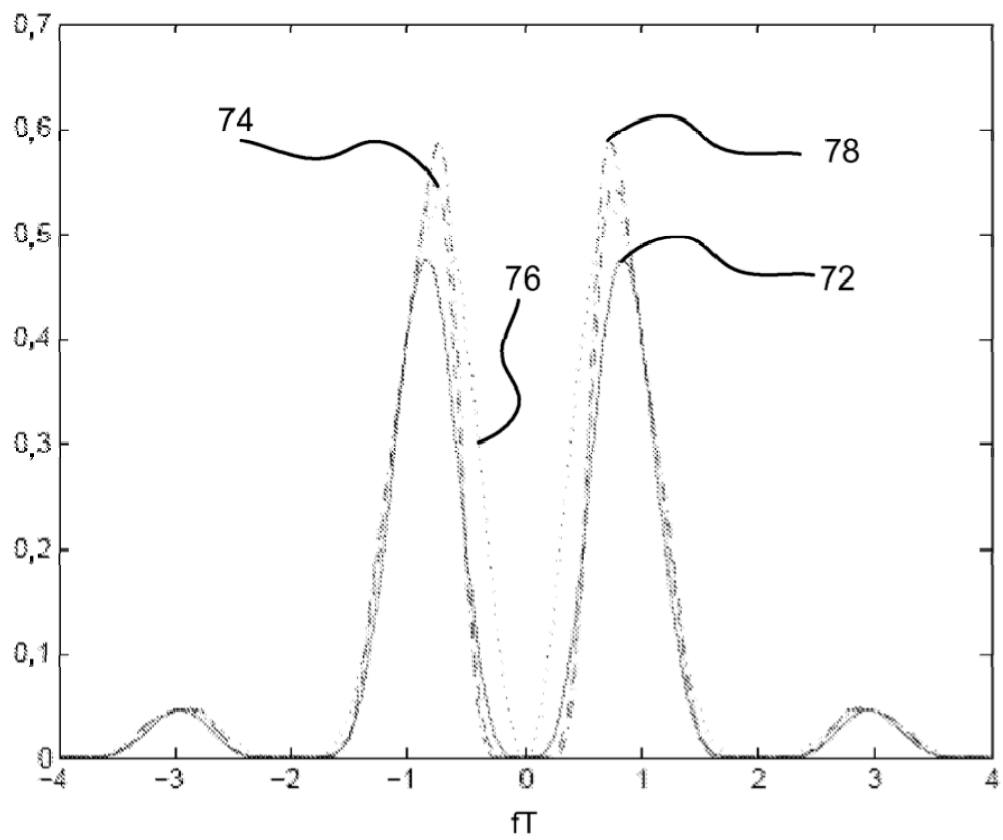


FIG. 7e

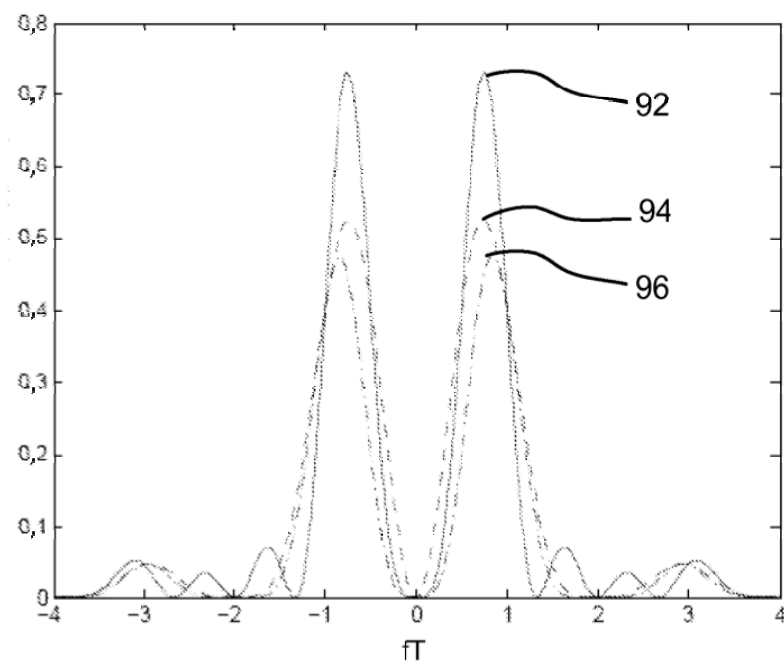


FIG. 7f

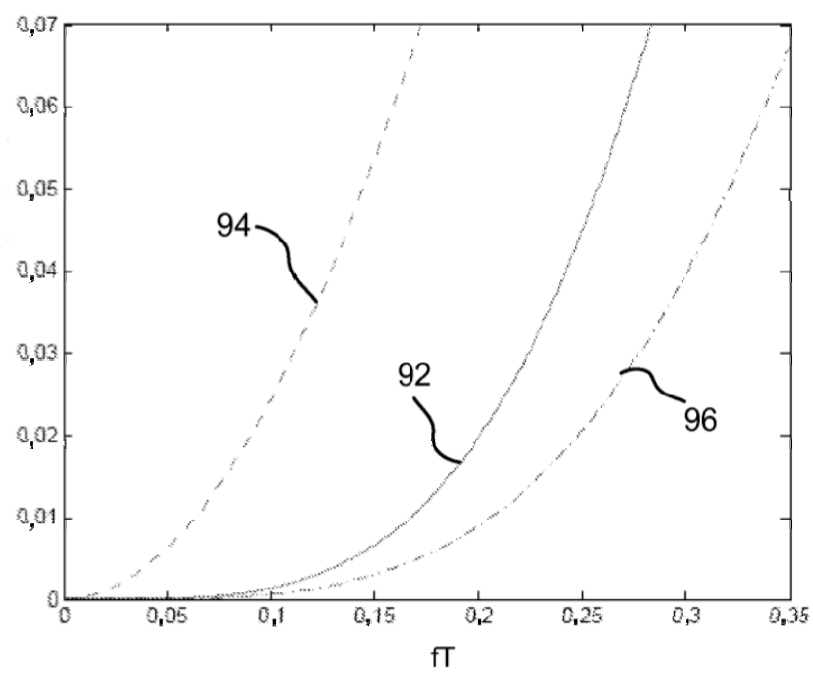


FIG. 7g

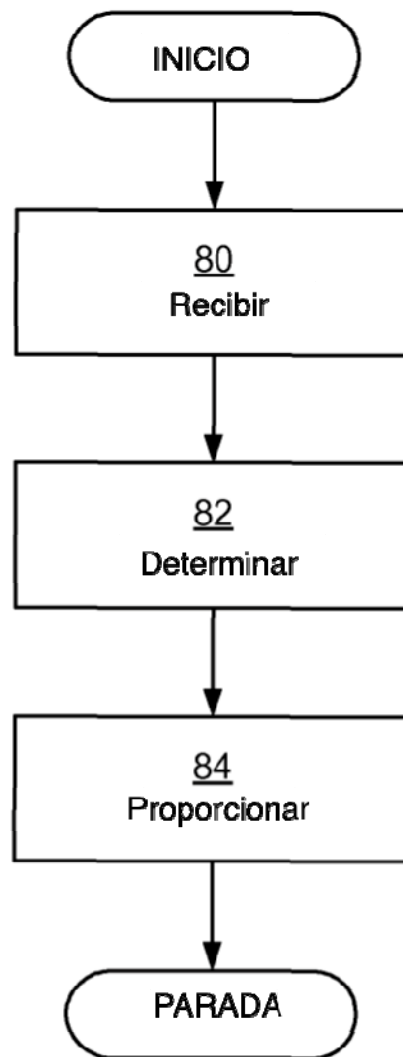


FIG. 8a

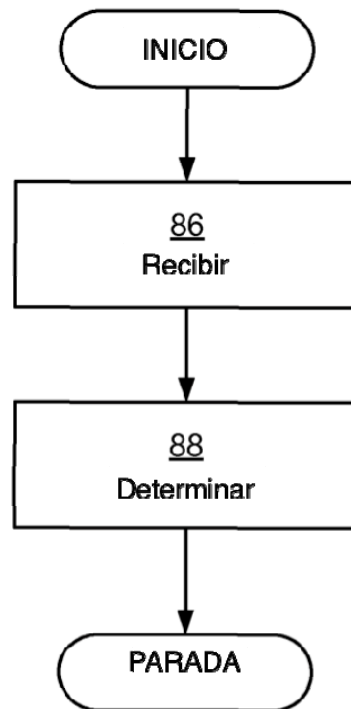


FIG. 8b