

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 925 573**

51 Int. Cl.:

H04B 1/69 (2011.01)

H04B 13/02 (2006.01)

E21B 47/12 (2012.01)

F42D 1/05 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.03.2019** **PCT/ZA2019/050013**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.11.2019** **WO19222772**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.03.2019** **E 19717183 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.05.2022** **EP 3794736**

54 Título: **Método de comunicación a través de la tierra mediante el uso de un campo magnético**

30 Prioridad:

17.05.2018 ZA 201803286

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

18.10.2022

73 Titular/es:

DETNET SOUTH AFRICA (PTY) LTD (100.0%)
AECI Place The Woodlands, Woodlands Drive,
Woodmead
2191 Johannesburg, ZA

72 Inventor/es:

LOUW, GERHARD BRINK

74 Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

ES 2 925 573 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

Método de comunicación a través de la tierra mediante el uso de un campo magnético

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[0001] Esta invención se refiere a un método de transmisión de una señal de comunicación a través de la tierra. La invención se describe a continuación en referencia a su aplicación en un sistema de detonador, pero esto es solo a modo de ejemplo y no limitativo.

[0002] En un sistema de detonador electrónico, se coloca una pluralidad de detonadores electrónicos en respectivos pozos perforados en la tierra. Los detonadores pueden estar interconectados por medio de cables a una máquina de voladura y, de esta manera, la máquina de voladura puede ejercer control sobre la activación de los detonadores. En una técnica alternativa, no se utilizan conductores para conectar los detonadores a la máquina de voladura. En su lugar, se establecen conexiones de comunicación inalámbrica. Esto tiene ventajas particulares. Sin embargo, hay un problema práctico para asegurar que la conexión de comunicación de la máquina de voladura a cada detonador sea fiable. De igual importancia es la imposición de un protocolo de temporización que garantice que los detonadores se disparen a intervalos predeterminados con un error mínimo.

[0003] En un sistema de detonador, una distancia aceptable de comunicación a través de la tierra es del orden de 200 metros. Si se utiliza un sistema de comunicación por radio o electromagnético de alta frecuencia, que normalmente funciona a una frecuencia superior a 100 kHz, la atenuación de la señal debida a factores variables como el contenido de humedad, el contenido de sal y similares hace que el resultado del proceso no sea fiable.

[0004] En el documento US 2017/0350238 A1 se divulga un método para codificar y transmitir señales digitales en un entorno de pozo utilizando barridos de frecuencia. Los barridos de frecuencia se utilizan para paliar la necesidad de una detección de frecuencia portadora fiable.

[0005] Un enfoque alternativo es utilizar una técnica en la que se utiliza una señal eléctrica para generar un campo magnético que se propaga a baja frecuencia, por ejemplo, de 1 kHz a 5 kHz, a través de la tierra.

[0006] Por ejemplo, Dantas Stefano y col: "Simulation of IEEE 1902.1 (RuBee) protocol for communication with buried assets", 2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), IEEE, 8 de octubre de 2017, XP033321466, describen el uso de la inducción magnética para el envío y la recepción de datos.

[0007] Normalmente, el campo magnético induce un voltaje en una bobina receptora en un punto remoto. Esta disposición es similar al funcionamiento de un transformador normal, con un acoplamiento entre una bobina transmisora y la bobina receptora que se logra a través de la tierra intermedia. Este enfoque, aunque es útil, adolece de ciertos inconvenientes, a saber:

(1) la fuerza del campo magnético disminuye rápidamente desde la bobina de transmisión, lo que limita el alcance que puede lograr el sistema;

(2) el alcance se puede aumentar si se reduce la velocidad de transmisión de datos, pero esto tiene un beneficio limitado, ya que se requiere una temporización precisa del orden de 1 milisegundo en un sistema de voladura; y

(3) la banda de frecuencia de funcionamiento, normalmente de 1 kHz a 5 kHz, contiene componentes de frecuencia armónica de la red eléctrica, a intervalos de 50 Hz o 60 Hz (según la norma eléctrica vigente), que producen interferencias. Estos componentes armónicos cambian continuamente a medida que cambia la frecuencia de la red instantánea y, por lo tanto, no se pueden tomar medidas eficaces para contrarrestar dicha interferencia.

[0008] Las dificultades anteriores no pueden resolverse de manera satisfactoria mediante el uso de esquemas de modulación tales como modulación por desplazamiento de fase, modulación por desplazamiento de frecuencia o modulación de amplitud.

[0009] Un objeto de la presente invención es abordar, al menos hasta cierto punto, los factores antes mencionados.

RESUMEN DE LA INVENCION

[0010] La invención proporciona un método de comunicación a través de la tierra que incluye los pasos de generar un tren de impulsos digitales que representa una señal de comunicación y que comprende una sucesión de unos y ceros a una primera velocidad de transferencia de bits, generar un tren de impulsos de barrido en el que cada 1 del tren de impulsos digitales está representado por un primer impulso de barrido que realiza el barrido de frecuencia desde un primer valor de frecuencia hasta un segundo valor de frecuencia y cada 0 del tren de impulsos digitales está representado por un segundo impulso de barrido que realiza el barrido de frecuencia desde el segundo valor de

frecuencia hasta el primer valor de frecuencia, utilizar el tren de impulsos de barrido para controlar la frecuencia de un campo magnético que se produce en una primera ubicación, en una segunda ubicación, que está alejada de la primera ubicación, detectar el campo magnético y, en respuesta a ello, producir una señal entrante a una frecuencia que depende de la frecuencia del tren de impulsos de barrido, someter la señal entrante a un proceso de correlación de convolución para producir una señal secundaria y extraer de la señal secundaria al menos una réplica del tren de impulsos digital.

[0011] Preferiblemente, se recupera de la señal secundaria un tren de impulsos de reloj que depende de la primera velocidad de transferencia de bits.

[0012] En el proceso de correlación se puede hacer uso de réplicas del primer impulso de barrido y réplicas del segundo impulso de barrido. Se efectúa una determinación de la similitud de la señal entrante con las réplicas a una velocidad que es sustancialmente más alta que la primera velocidad de transferencia de bits. Por ejemplo, si la primera velocidad de transferencia de bits es del orden de 10 bits por segundo, la correlación puede realizarse a una velocidad de 1200 veces por segundo.

[0013] Un 1 digital puede estar representado por un barrido de frecuencia de un valor de baja frecuencia a un valor de alta frecuencia, o viceversa. Por el contrario, un 0 digital puede estar representado por un barrido de frecuencia de un valor de alta frecuencia a un valor de baja frecuencia, o viceversa.

[0014] La manera en que cambia la frecuencia, durante un barrido de frecuencia, puede adaptarse según los requisitos. Por ejemplo, el barrido de frecuencia puede ser uno en el que la frecuencia cambie de manera lineal con el tiempo desde el primer valor de frecuencia hasta el segundo valor de frecuencia. Esto, sin embargo, no es necesariamente así, porque la frecuencia puede variar desde el primer valor hasta el segundo valor, con respecto al tiempo, según otro criterio apropiado.

[0015] La información relacionada con la forma en que se produce el barrido de frecuencia puede almacenarse en un dispositivo apropiado para su uso en el proceso de correlación.

BREVE DESCRIPCIÓN DEL DIBUJO

[0016] La invención se describe adicionalmente a modo de ejemplo con referencia al dibujo adjunto, que es una ilustración de diagrama de bloques de un transmisor (Figura 1) y un receptor (Figura 2) utilizados en un método de comunicación de acuerdo con la invención con representaciones gráficas de trenes de impulsos, generados en la implementación del método, que se muestran con fines explicativos.

DESCRIPCIÓN DE LA FORMA DE REALIZACIÓN PREFERIDA

[0017] El dibujo adjunto comprende las Figuras 1 y 2, en las que se ilustra respectivamente un transmisor 10 y un receptor 12, cada uno en forma de diagrama de bloques, incluidos en un sistema de comunicación 14 utilizado para implementar el método de la invención.

[0018] En referencia a la figura 1, el transmisor 10 incluye un generador de señales 20 que procesa una señal que contiene datos 22 para producir un tren de impulsos digitales 24. En este ejemplo, el tren de impulsos digitales 24 representa los datos y se muestra como un tren de bits que comprende una sucesión de unos y ceros, como se conoce en la técnica.

[0019] En una excitatriz 26, cada 1 se convierte en un primer impulso de barrido 28 que realiza el barrido de frecuencia desde una frecuencia baja a una frecuencia alta durante el período del bit (es decir, el 1). Normalmente, la frecuencia de barrido va de 3900 Hz a 4100 Hz. El impulso de barrido 28 es digital, es decir, una sucesión de ceros y unos.

[0020] Cada 0 se convierte en un segundo impulso de barrido 30 que realiza el barrido de alta frecuencia a baja frecuencia, es decir, de 4100 Hz a 3900 Hz, durante el período del bit. El impulso 30 es digital y comprende una sucesión de ceros y unos.

[0021] De este modo, una señal de salida de la excitatriz 26 comprende un tren de impulsos de barrido 36 formado con una sucesión de los primeros impulsos de barrido 28 y los segundos impulsos de barrido 30 que corresponde directamente al tren de impulsos digitales 24. El tren de impulsos de barrido 36 se aplica a un excitador 40 que produce una señal de salida de onda cuadrada de alto voltaje 42 que representa el tren de impulsos de barrido 36. La señal 42 se alimenta a una red resonante 46 que incluye un condensador de sintonización 48 y una bobina de transmisión 50. La bobina 50 traduce la entrada eléctrica alterna en un campo magnético que realiza el barrido de frecuencia en función de los bits del tren de impulsos digital 24. La red resonante 46 mejora la eficiencia del sistema al aumentar el voltaje de la bobina 50 y reduce la energía armónica que está presente en la señal 42 debido a las ondas cuadradas. Puede verse que una señal 52 generada por la red resonante 46 incluye un primer impulso de barrido 52A, otro primer impulso de barrido 52B, un segundo impulso de barrido 52C y un primer impulso de barrido

final 52D, es decir, los impulsos de barrido 52A, 52B, 52C y 52D corresponden respectivamente al tren de bits (1, 1, 0, 1) en el tren de impulsos digital.

[0022] En referencia a la Figura 2, el receptor 12 está en una ubicación que está alejada del transmisor 10. Un camino de puesta a tierra 56, entre la red resonante 46 y una bobina receptora 60 del receptor 12, actúa como un núcleo transformador. La bobina 60 detecta el campo magnético y produce una señal eléctrica que es amplificada por una red resonante 64 que comprende la bobina 60 en paralelo con un condensador 66. La señal de salida de la red resonante 64 se alimenta a un amplificador de bajo ruido 68 que produce una señal de salida amplificada 70.

[0023] La señal de salida amplificada 70 se mezcla, en un mezclador 72, con una señal sinusoidal 74 que tiene una frecuencia de 4 kHz, es decir, la media del valor de frecuencia de barrido máximo (4100 Hz) y el valor de frecuencia de barrido mínimo (3900 Hz).

[0024] Una señal de salida 76 del mezclador 72 se digitaliza en un convertidor de analógico a digital (CAD) 78 para producir una señal secundaria 80. A continuación, el procesamiento de la señal tiene lugar de manera digital.

[0025] La señal secundaria 80 se aplica a un correlador de convolución 82 que incluye un correlador de barrido ascendente 84 que contiene una réplica de un primer impulso de barrido 28, y un correlador de barrido descendente 86 que contiene una réplica de un segundo impulso de barrido 30.

[0026] El correlador de convolución 82 almacena el historial de la señal entrante que se remonta a un período completo de bits. La similitud de este historial con una réplica del primer impulso de barrido 28 (un impulso de barrido ascendente) o con una réplica del segundo impulso de barrido 30 (un impulso de barrido descendente) se efectúa a una velocidad que es mayor que la velocidad de transferencia de bits. En el transmisor 10, la velocidad de transferencia de bits es del orden de 10 bits por segundo. El ejercicio de correlación se realiza a razón de 1200 veces por segundo.

[0027] El correlador de barrido ascendente 84 (para el ejemplo dado) produce una señal de salida 88 que incluye tres picos 88A, 88B y 88C, correspondientes respectivamente a los 1 del tren de impulsos digital 24, y una sección intermedia 90 que no tiene un pico y que corresponde al 0 entre el segundo y el tercer 1. Por el contrario, el correlador de barrido descendente 86 produce una señal de salida 92 con un solo pico 92A que corresponde al 0 en el tren de impulsos digital 24. No hay picos en esos intervalos, en la señal 92, que correspondan a los picos 88A, 88B y 88C de la señal 88. Al procesar las señales 88 y 92 se recupera una señal combinada 96. Cada intervalo de bit en la señal 96 contiene un pico 98, lo que indica que se ha recibido una señal de comunicación válida. El pico de cada intervalo es pronunciado y ocurre solo en el momento en el que el historial almacenado se correlaciona de manera precisa con la réplica.

[0028] A continuación, se extrae de la señal combinada 96 una señal de reloj 104 con impulsos de reloj 106 correspondientes a los respectivos picos 98 en la señal 96.

[0029] Se extrae una señal de datos 108 de las señales 88 y 92 y se recupera un tren de bits que comprende (1, 1, 0, 1), es decir, correspondiente al tren de impulsos digitales 24, y se aplica a una unidad lógica 110 para el posterior procesamiento.

[0030] Como la verificación de correlación se efectúa a una velocidad (1200 veces por segundo) que es mayor que la velocidad de bits (10 bits por segundo), los máximos de las correlaciones se producen en cada período de bits. Por tanto, la señal de datos 108 se detecta de forma fiable.

[0031] En la técnica de comunicación de la invención, la velocidad de transmisión de datos se reduce (en el ejemplo, a aproximadamente 10 bits por segundo) y esto conlleva el beneficio de un alcance de transmisión de señal ampliado.

[0032] Si el receptor 12 está asociado a un detonador, y los receptores equivalentes están conectados a otros detonadores en un sistema de detonador, entonces cada detonador recibe el equivalente de la señal de reloj 104 al mismo tiempo. Esto permite sincronizar el funcionamiento del sistema de detonador con un grado sustancial de precisión que, en este ejemplo, es del orden de 2 milisegundos, lo cual es aceptable en la mayoría de los sistemas detonadores; esto se logra a pesar de la velocidad de transmisión de datos relativamente baja de 10 bps.

[0033] Otro beneficio es que, gracias al uso de las frecuencias de barrido, a la conversión de digital a analógico en el transmisor 10 y a la conversión de analógico a digital en el receptor 12, el problema de la interferencia causada por los armónicos de la frecuencia principal predominante (50 Hz o 60 Hz según sea el caso) se elimina sustancialmente.

REIVINDICACIONES

1. Método de comunicación a través de la tierra que incluye los pasos de generar un tren de impulsos digital (24) que representa una señal de comunicación (22) y que comprende una sucesión de unos y ceros a una primera velocidad de transferencia de bits, generar un tren de impulsos de barrido en el que cada 1 del tren de impulsos digital (24) está representado por un primer impulso de barrido (28) que realiza el barrido de frecuencia desde un primer valor de frecuencia a un segundo valor de frecuencia y cada 0 del tren de impulsos digital (24) está representado por un segundo barrido impulso (30) que realiza el barrido de frecuencia desde el segundo valor de frecuencia al primer valor de frecuencia, utilizar el tren de impulsos de barrido (36) para controlar la frecuencia de un campo magnético que se produce en una primera ubicación, en una segunda ubicación, que está alejada de la primera ubicación, detectar el campo magnético y, en respuesta al mismo, producir una señal entrante (52) a una frecuencia que depende de la frecuencia del tren de impulsos de barrido (36), someter la señal entrante a una proceso de correlación de convolución para producir una señal secundaria (80), y extraer de la señal secundaria (80) al menos una réplica (108) del tren de impulsos digital (24).
2. Método de comunicación a través de la tierra según la reivindicación 1, en el que un tren de impulsos de reloj (106) que depende de la primera velocidad de transferencia de bits se recupera de la señal secundaria (80).
3. Método de comunicación a través de la tierra según la reivindicación 1, en el que el proceso de correlación usa réplicas del primer impulso de barrido (28) y réplicas del segundo impulso de barrido (30) y en el que una determinación de la similitud de la señal entrante (52) con las réplicas se efectúa a una velocidad que es sustancialmente más alta que la primera velocidad de transferencia de bits.
4. Método de comunicación a través de la tierra según la reivindicación 1, en el que un 1 digital está representado por un barrido de frecuencia de un valor de baja frecuencia a un valor de alta frecuencia, y un 0 digital está representado por un barrido de frecuencia de un valor de alta frecuencia a un valor de baja frecuencia.
5. Método de comunicación a través de la tierra según la reivindicación 1, en el que un 0 digital está representado por un barrido de frecuencia de un valor de baja frecuencia a un valor de alta frecuencia, y un 1 digital está representado por un barrido de frecuencia de un valor de alta frecuencia a un valor de baja frecuencia.
6. Método de comunicación a través de la tierra según la reivindicación 1, en el que la información almacenada, relacionada con la forma en que se produce el barrido de frecuencia, se utiliza en el proceso de correlación.

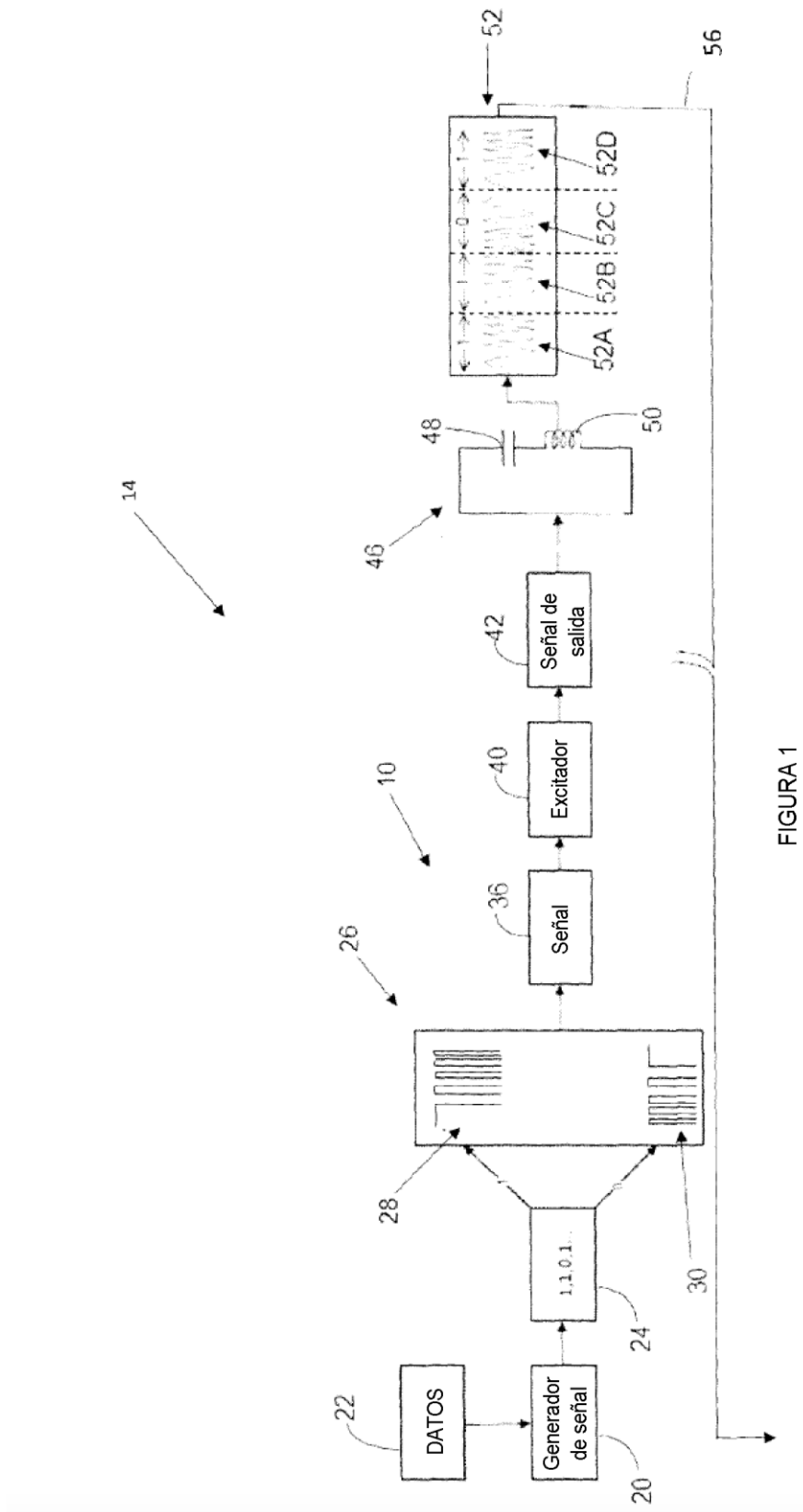


FIGURA 1

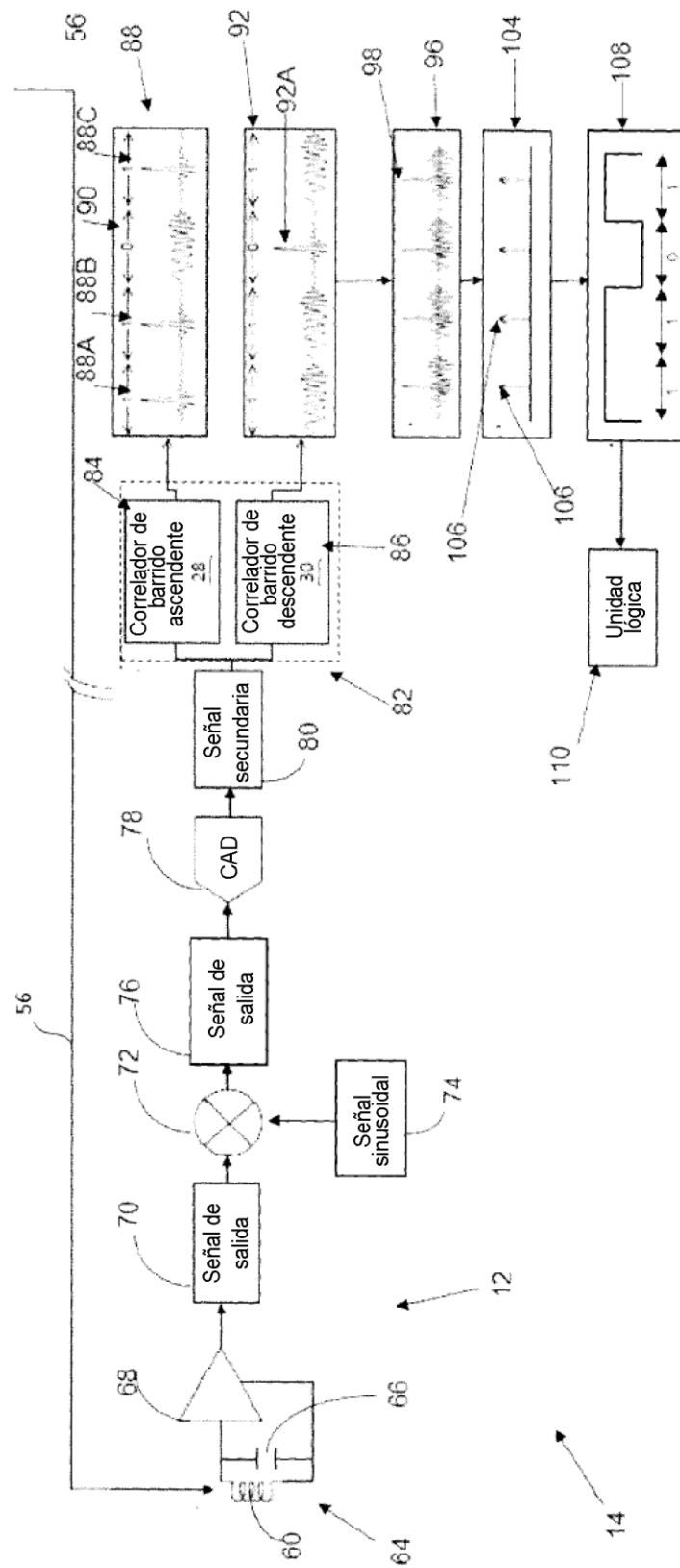


FIGURA 2