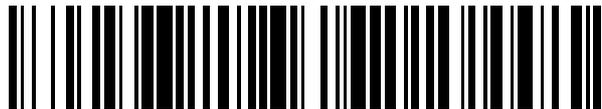


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 690 749**

51 Int. Cl.:

H04R 3/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.11.2015 PCT/US2015/062207**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.06.2016 WO16094075**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.11.2015 E 15805371 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2018 EP 3231192**

54 Título: **Corrección de errores para sistemas de audio ultrasónicos**

30 Prioridad:

10.12.2014 US 201414566592

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

22.11.2018

73 Titular/es:

**TURTLE BEACH CORPORATION (100.0%)
11011 Via Frontera, Suite A/B
San Diego, CA 92127, US**

72 Inventor/es:

**KAPPUS, BRIAN, ALAN y
NORRIS, ELWOOD, GRANT**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 690 749 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

Corrección de errores para sistemas de audio ultrasónicos

5 **Campo técnico**

La tecnología descrita se refiere en general a sistemas de audio ultrasónicos y, más específicamente, algunas realizaciones se refieren a sistemas y métodos de corrección de errores para sistemas de audio ultrasónicos.

10 **Descripción de la técnica relacionada**

La transducción no lineal resulta de la introducción de señales ultrasónicas moduladas por audio suficientemente intensas en una columna de aire. La autodemodulación, o conversión descendente, se produce a lo largo de la columna de aire y da como resultado la producción de una señal acústica audible. Este proceso ocurre debido al principio físico conocido de que cuando dos ondas de sonido con diferentes frecuencias se irradian simultáneamente en el mismo medio, una forma de onda modulada que incluye la suma y la diferencia de las dos frecuencias es producida por la interacción no lineal (paramétrica) de la dos ondas de sonido. Cuando las dos ondas de sonido originales son ondas ultrasónicas y la diferencia entre ellas se selecciona para que sea una frecuencia de audio, la interacción paramétrica puede generar un sonido audible.

Los sistemas de reproducción de audio paramétricos producen sonido a través del heterodino de dos señales acústicas en un proceso no lineal que se produce en un medio tal como aire. Las señales acústicas están típicamente en el rango de frecuencia de ultrasonido. La no linealidad del medio da como resultado señales acústicas producidas por el medio que son la suma y la diferencia de las señales acústicas. Por lo tanto, dos señales de ultrasonido que están separadas en frecuencia pueden dar como resultado un tono de diferencia que se encuentra dentro del rango de 20 Hz a 20,000 Hz de audición humana. El documento US2013/0121500 trata de un método para reducir la distorsión en un sistema de audio ultrasónico, basado en el precondicionamiento de la señal de audio.

30 **Breve resumen de las realizaciones**

De acuerdo con una realización de la tecnología dada a conocer incluyen sistemas y métodos para la corrección de errores en sistemas de audio ultrasónicos. En algunas realizaciones, un método para eliminar o reducir la distorsión en un sistema de audio ultrasónico, puede incluir recibir una primera señal de audio, en donde la primera señal de audio representa el contenido de audio que se reproducirá usando el sistema de audio ultrasónico; calcular una primera función de error para el sistema de audio ultrasónico, comprendiendo la primera función de error una estimación de la distorsión introducida por la reproducción del contenido de audio por el sistema de audio ultrasónico; transformar la primera señal de audio en una primera señal de audio precondicionada combinando la primera función de error con la primera señal de audio; y modular la señal de audio transformada en un soporte ultrasónico.

En esta y en otras realizaciones, la primera señal de audio recibida por el sistema para la corrección de errores puede ser una representación electrónica de contenido de audio entregada para la reproducción por el sistema de audio de ultrasonidos. Esto puede ser contenido de audio original no procesado, o puede ser proceso de contenido de audio preprocesado por una o más técnicas diferentes. Este preprocesamiento puede incluir, por ejemplo, compresión, ecualización, filtrado y procesamiento para la corrección de errores utilizando diversas técnicas de corrección de errores. En consecuencia, las técnicas de corrección de errores se pueden aplicar directamente, o se pueden aplicar de forma recursiva (ya sea antes o después) con las mismas técnicas de corrección de errores, similares u otras.

En diversas realizaciones, la primera función de error puede ser $H(x)^2 + x^2$, donde x es la primera señal de audio recibida y $H(x)$ es una transformada de Hilbert y la inversa de esta función de error se combina. En diversas realizaciones, la inversa de $H(x)^2 + x^2$ es la inversa aditiva de $H(x)^2 + x^2$, y la combinación de la inversa de la primera función de error con la primera señal de audio puede incluir la adición de la inversa de la primera función de error con la primera señal de audio. En otras realizaciones, la primera función de error puede incluir $H(x)^2 - x^2$, donde x es la primera señal de audio recibida y $H(x)$ es una transformada de Hilbert.

En diversas realizaciones, la operación puede incluir además la aplicación de un desplazamiento de fase o un ajuste de la amplitud, o ambos, como función de la frecuencia, a la primera función de error antes de la etapa de combinar para ajustar emisor o filtros de respuestas.

En diversas realizaciones, 1, la operación puede incluir, además: la recepción de la primera señal de audio precondicionado; calcular una segunda función de error para el sistema de audio ultrasónico, comprendiendo la segunda función de error una segunda estimación de la distorsión introducida por la reproducción del contenido de audio por el sistema de audio ultrasónico; y transformar la señal de audio precondicionada en una segunda señal de audio precondicionada combinando la segunda función de error con la señal de audio precondicionada; en el

que la modulación de la señal de audio transformada en un portador ultrasónico puede incluir la modulación de la señal de audio precondicionada transformada sobre un portador ultrasónico. Una de las primeras funciones de error y la segunda función de error puede incluir la inversa aditiva de $H(x)^2 + x^2$, y la otra de la primera función de error y la segunda función de error puede incluir $H(x)^2 - x^2$, donde x es la señal de audio recibida y $H(x)$ es una transformada de Hilbert.

En algunas realizaciones, la operación puede incluir además la aplicación de un desplazamiento de fase o un ajuste de la amplitud, o ambos, como función de la frecuencia, a una o ambas de la primera y segunda funciones de error para ajustar respuestas del emisor o del filtro.

En diversas realizaciones, la primera función de error puede incluir $H(x)^2 - x^2$, donde X es la primera señal de audio recibida y $H(x)$ es una transformada de Hilbert, y la operación puede incluir además un ciclo adicional de corrección de errores, el ciclo adicional puede incluir: recibir la señal de audio transformada y la primera función de error para el ciclo adicional de corrección de errores antes de la modulación; calcular el inverso aditivo de la primera función de error; calcular una segunda función de error para el sistema de audio ultrasónico, la segunda función de error que comprende $H(x_1)^2 - x_1^2$, donde x_1 es la señal de audio transformada recibida y $H(x_1)$ es una transformada de Hilbert de la señal de audio transformada; combinando la segunda función de error con la inversa aditiva de la primera función de error para generar una tercera función de error; y transformar la primera señal de audio precondicionada combinando la tercera función de error con la señal de audio transformada; en el que la etapa de modular la señal de audio transformada en un portador ultrasónico puede incluir la modulación de la señal de audio precondicionada transformada sobre un portador ultrasónico. La primera función de error puede incluir el inverso aditivo de $H(x)^2 + x^2$, donde x es la primera señal de audio recibida y $H(x)$ es una transformada de Hilbert, y la operación puede incluir además un ciclo adicional de corrección de errores, y el ciclo adicional puede incluir: recibir la señal de audio transformada y la primera función de error para el ciclo adicional de corrección de errores antes de la modulación; calcular una segunda función de error para el sistema de audio ultrasónico, la segunda función de error que comprende $H(x_1)^2 + x_1^2$, donde x_1 es la señal de audio transformada recibida y $H(x_1)$ es una transformada de Hilbert de la señal de audio transformada; combinando la segunda función de error con la inversa aditiva de la primera función de error para generar una tercera función de error; y calcular el inverso aditivo de la tercera función de error; transformar la primera señal de audio precondicionada combinando la inversa aditiva de la tercera función de error con la señal de audio transformada; en el que la etapa de modular la señal de audio transformada en un portador ultrasónico puede incluir la modulación de la señal de audio precondicionada transformada sobre un portador ultrasónico.

La primera función de error puede incluir el inverso aditivo de $H(x)^2 + x^2$, donde X es la primera señal de audio recibida y $H(x)$ es la transformada de Hilbert recibida, y la operación puede incluir, además, un ciclo adicional de corrección de errores, el ciclo adicional puede incluir: recibir la señal de audio transformada y la primera función de error para el ciclo adicional de corrección de errores antes de la modulación; calcular una segunda función de error para el sistema de audio ultrasónico, la segunda función de error que comprende la inversa aditiva de $H(x_1)^2 + x_1^2$, donde x_1 es la señal de audio transformada recibida y $H(x_1)$ es una transformada de Hilbert de la señal de audio transformada; transformar la primera señal de audio precondicionada combinando la segunda función de error con la señal de audio transformada; en el que la etapa de modular la señal de audio transformada en un portador ultrasónico puede incluir la modulación de la señal de audio precondicionada transformada sobre un portador ultrasónico.

En algunas realizaciones, la primera función de error puede incluir $H(x)^2 - x^2$, donde X es la primera señal de audio recibida y $H(x)$ es una transformada de Hilbert, y la operación puede incluir además un ciclo adicional de corrección de errores, el ciclo adicional puede incluir: recibir la señal de audio transformada y la primera función de error para el ciclo adicional de corrección de errores antes de la modulación; calcular una segunda función de error para el sistema de audio ultrasónico, la segunda función de error que comprende $H(x_1)^2 - x_1^2$, donde x_1 es la señal de audio transformada recibida y $H(x_1)$ es una transformada de Hilbert de la señal de audio transformada; transformar la primera señal de audio precondicionada combinando la segunda función de error con la señal de audio transformada; en el que la etapa de modular la señal de audio transformada en un portador ultrasónico puede incluir la modulación de la señal de audio precondicionada transformada sobre un portador ultrasónico.

La primera función de error puede incluir el inverso aditivo de $H(x)^2 + x^2$, donde X es la primera señal de audio recibida y $H(x)$ es una transformada de Hilbert, y la operación puede incluir además la aplicación de un desplazamiento de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la primera señal de audio recibida para ajustar las respuestas del emisor o del filtro. La operación puede incluir además aplicar un cambio de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la primera función de error antes de la etapa de combinar para ajustar las respuestas del emisor o del filtro.

En algunas realizaciones, la primera función de error puede incluir $H(x)^2 - x^2$, donde X es la primera señal de audio recibida y $H(x)$ es una transformada de Hilbert, y la operación puede incluir además la aplicación de un desplazamiento de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la primera señal de audio recibida para ajustar las respuestas del emisor o del filtro. La operación puede incluir además aplicar un cambio de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la primera función de error antes de la etapa de

combinar para ajustar las respuestas del emisor o del filtro.

5 En todavía realizaciones adicionales, la primera función de error puede incluir el inverso aditivo de $H(x)^2 + x^2$, donde X es la primera señal de audio recibida y $H(x)$ es la transformada una Hilbert, y la operación puede además incluir un ciclo adicional de corrección de errores, que comprende: recibir la señal de audio transformada y la primera función de error para el ciclo adicional de corrección de errores antes de la modulación; calcular una segunda función de error para el sistema de audio ultrasónico, la segunda función de error que comprende la inversa aditiva de $H(x_1)^2 + x_1^2$, donde x_1 es la señal de audio transformada recibida y $H(x_1)$ es una transformada de Hilbert de la señal de audio transformada; transformar la primera señal de audio precondicionada combinando la segunda función de error con la primera señal de audio recibida; en el que la etapa de modular la señal de audio transformada en un portador ultrasónico puede incluir la modulación de la señal de audio precondicionada transformada sobre un portador ultrasónico.

15 En otras realizaciones, la primera función de error puede incluir $H(x)^2 - x^2$, donde X es la primera señal de audio recibida y $H(x)$ es una transformada de Hilbert, y la operación puede incluir además un ciclo adicional de corrección de errores, que comprende: recibir la señal de audio transformada y la primera función de error para el ciclo adicional de corrección de errores antes de la modulación; calcular una segunda función de error para el sistema de audio ultrasónico, la segunda función de error que comprende $H(x_1)^2 - x_1^2$, donde x_1 es la señal de audio transformada recibida y $H(x_1)$ es una transformada de Hilbert de la señal de audio transformada; transformar la primera señal de audio precondicionada combinando la segunda función de error con la primera señal de audio; en el que la etapa de modular la señal de audio transformada en un portador ultrasónico puede incluir la modulación de la señal de audio precondicionada transformada sobre un portador ultrasónico.

25 En diversas realizaciones, la primera función de error puede incluir $H(x)^2 - x^2$, donde X es la primera señal de audio recibida y $H(x)$ es una transformada de Hilbert, y la operación puede incluir además un ciclo adicional de Corrección de errores, el ciclo adicional puede incluir: recibir la señal de audio transformada y la primera función de error para el ciclo adicional de corrección de errores antes de la modulación; calcular el inverso aditivo de la primera función de error; calcular una segunda función de error para el sistema de audio ultrasónico, la segunda función de error que comprende $H(x_1)^2 - x_1^2$, donde x_1 es la señal de audio transformada recibida y $H(x_1)$ es una transformada de Hilbert de la señal de audio transformada; combinando la segunda función de error con la inversa aditiva de la primera función de error para generar una tercera función de error; y transformar la primera señal de audio precondicionada combinando la tercera función de error con la señal de audio transformada; en el que la etapa de modular la señal de audio transformada en un portador ultrasónico puede incluir la modulación de la señal de audio precondicionada transformada sobre un portador ultrasónico. Además, la operación puede incluir además aplicar un cambio de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la primera señal de audio recibida para ajustar las respuestas del emisor o del filtro.

40 En algunas otras realizaciones, la primera función de error puede incluir el inverso aditivo de $H(x)^2 + x^2$, donde X es la primera señal de audio recibida y $H(x)$ es la transformada de Hilbert, y la operación puede además incluir un ciclo adicional de corrección de errores, el ciclo adicional puede incluir: recibir la señal de audio transformada y la primera función de error para el ciclo adicional de corrección de errores antes de la modulación; calcular una segunda función de error para el sistema de audio ultrasónico, la segunda función de error que comprende $H(x_1)^2 + x_1^2$, donde x_1 es la señal de audio transformada recibida y $H(x_1)$ es una transformada de Hilbert de la señal de audio transformada; combinando la segunda función de error con la inversa aditiva de la primera función de error para generar una tercera función de error; y calcular el inverso aditivo de la tercera función de error; transformar la primera señal de audio precondicionada combinando la inversa aditiva de la tercera función de error con la señal de audio transformada; en el que la etapa de modular la señal de audio transformada en un portador ultrasónico puede incluir la modulación de la señal de audio precondicionada transformada sobre un portador ultrasónico. La operación puede incluir además la aplicación de un cambio de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la primera señal de audio recibida para ajustar las respuestas del emisor o del filtro.

55 En otras realizaciones adicionales, un sistema para eliminar o reducir la distorsión en un sistema de audio de ultrasonidos, pueden incluir: un receptor; un módulo de corrección de errores acoplado de forma comunicativa al receptor y configurado para (i) aceptar una primera señal de audio que representa el contenido de audio que se reproducirá utilizando el sistema de audio ultrasónico; y (ii) calcular una primera función de error para el sistema de audio ultrasónico, comprendiendo la primera función de error una estimación de la distorsión introducida por la reproducción del contenido de audio por el sistema de audio ultrasónico; un módulo sumador configurado para transformar la primera señal de audio en una primera señal de audio precondicionada combinando la primera función de error con la primera señal de audio. También se puede proporcionar un modulador para modular la señal en un portador ultrasónico antes o después de que se realice la corrección de errores. El sistema se puede configurar para realizar los métodos como se establece anteriormente.

65 Otras características y aspectos de la tecnología descrita serán evidentes de la siguiente descripción detallada, tomada en conjunción con los dibujos adjuntos, que ilustran, a modo de ejemplo, las características de acuerdo con realizaciones de la tecnología descrita. El resumen no pretende limitar el alcance de las invenciones descritas en este documento, que están definidas únicamente por las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

La tecnología descrita en el presente documento, de acuerdo con una o más diversas realizaciones, se describe en detalle con referencia a las siguientes figuras. Los dibujos se proporcionan solo con fines de ilustración y meramente representan realizaciones típicas o de ejemplo de la tecnología divulgada. Estos dibujos se proporcionan para facilitar la comprensión del lector de la tecnología divulgada y no se considerarán limitantes de la amplitud, el alcance o la aplicabilidad de la misma. Debe tenerse en cuenta que, para mayor claridad y facilidad de ilustración, estos dibujos no necesariamente están hechos a escala.

- 10 La figura 1 es un diagrama que ilustra un sistema de sonido ultrasónico adecuado para su uso con la tecnología de emisor descrita en este documento.
- La figura 2 es un diagrama que ilustra otro ejemplo de un sistema de procesamiento de señal que es adecuado para su uso con la tecnología de emisor descrita en este documento.
- 15 La figura 3 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una entrada de dos tonos no corregida.
- La figura 4 es un diagrama que ilustra el efecto de una aplicación de la señal de corrección de errores (ecuación 3) de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en este documento.
- La figura 5 representa una aplicación recursiva de la ecuación 3.
- La figura 6 es un diagrama que ilustra una aplicación de ejemplo de la ecuación 4.
- 20 La figura 7 es un diagrama que ilustra un ejemplo de aplicación de una segunda ronda de la ecuación 4.
- La figura 8 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una ruta de señal de una aplicación de corrección de errores de intermodulación de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en este documento.
- La figura 9 ilustra una aplicación de ejemplo de corrección de error de distorsión armónica de acuerdo con una realización de la tecnología descrita aquí.
- 25 La figura 10 es un diagrama que ilustra un ejemplo de aplicación recursiva de múltiples rondas de corrección de errores de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en este documento.
- La figura 11 es un diagrama que ilustra un bloque de ejemplo para la corrección de errores de intermodulación básica de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en el presente documento.
- La figura 12 es un diagrama que ilustra un bloque de ejemplo para la corrección del error de distorsión armónica básica de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en el presente documento.
- 30 La figura 13 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una aplicación recursiva de corrección de errores de intermodulación y corrección de errores armónicos de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en este documento.
- La figura 14 es un diagrama que ilustra un ejemplo de corrección de distorsión por intermodulación que utiliza la entrada de audio original como una entrada al proceso de recursión de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en este documento.
- 35 La figura 15 es un diagrama que ilustra un ejemplo de corrección de error de distorsión armónica que utiliza la entrada de audio original como una entrada al proceso de recursión de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en este documento.
- La figura 16 es un diagrama que ilustra un ejemplo de procesamiento recursivo que usa la entrada de audio original (es decir, sin avance) de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en el presente documento.
- 40 La figura 17 es un diagrama que ilustra una corrección de errores de intermodulación de ejemplo con procesamiento de alimentación de avance de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en el presente documento.
- 45 La figura 18 es un diagrama que ilustra un ejemplo de corrección de error de distorsión armónica con procesamiento de alimentación de avance de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en este documento.
- La figura 19 es un diagrama que ilustra un ejemplo del procesamiento recursivo hacia delante de acuerdo con otra realización de los sistemas y métodos descritos en este documento.
- 50 La figura 20 ilustra un ejemplo de módulo de cálculo que puede usarse para implementar diversas características de realizaciones de la tecnología divulgada.

Las figuras no están destinadas a ser exhaustivas o limitar la invención a la forma precisa descrita. Debe entenderse que la invención puede ponerse en práctica con modificación y alteración, y que la tecnología divulgada estará limitada únicamente por las reivindicaciones y sus equivalentes.

Descripción detallada de las realizaciones

- 60 Las realizaciones de los sistemas y métodos descritos en este documento proporcionan un sistema de audio Hyper Sound u otro sistema de audio paramétrico o ultrasónico para una variedad de aplicaciones diferentes. Ciertas realizaciones proporcionan sistemas de reproducción de audio que usan emisores ultrasónicos para emitir señales ultrasónicas moduladas por audio e incorporan sistemas de corrección de errores para compensar la distorsión armónica, la distorsión de intermodulación o ambas.
- 65 Para proporcionar una base para la corrección de error de acuerdo con las diversas realizaciones, es útil para discutir distorsión. La distorsión se puede considerar como una señal o sonido en la salida que difiere de lo deseado.

La distorsión no lineal implica la creación de tonos o frecuencias que no estaban en la entrada. Muchos sistemas de entrega de audio por ultrasonidos ya explotan la distorsión no lineal para crear audio a partir de ultrasonidos. Como resultado, estos sistemas pueden ser susceptibles a una distorsión no lineal no deseada. Pueden implementarse diversas realizaciones de la tecnología descrita en este documento para trabajar para compensar esta distorsión modificando el audio de entrada de modo que cuando finalmente se demodule en el aire, la entrada original se reproduzca de la manera más fiel posible o práctica.

La distorsión no lineal en sí aparece en dos formas: la distorsión de intermodulación y distorsión armónica. La distorsión de intermodulación es la creación de frecuencias de diferencia. Por ejemplo, si 2kHz y 3kHz crean una distorsión de intermodulación, la frecuencia resultante sería $3\text{kHz} - 2\text{kHz} = 1\text{kHz}$. La distorsión armónica crea dobles y sumas. Como arriba, si se le dan señales de 2kHz y 3kHz, la distorsión armónica crearía 3 frecuencias diferentes: $2 * 2 = 4\text{kHz}$, $2 * 3 = 6\text{kHz}$ y $2 + 3 = 5\text{kHz}$. Estos dos tipos de distorsión están presentes en aplicaciones típicas de audio ultrasónico, pero difieren en magnitud y fase.

La figura 1 es un diagrama que ilustra un sistema de sonido ultrasónico adecuado para su uso junto con los sistemas y métodos descritos en este documento. En este ejemplo de sistema de audio ultrasónico 1, contenido de audio de una fuente de audio 2, tal como, por ejemplo, un micrófono, memoria, dispositivo de almacenamiento de datos, fuente de medios de transmisión, MP3, CD, DVD, decodificador u otro la fuente de audio es recibida. El contenido de audio puede decodificarse y convertirse de forma digital a analógica, dependiendo de la fuente. El contenido de audio recibido por el sistema de audio ultrasónico 1 se modula en un portador ultrasónico de frecuencia f_1 , usando un modulador. El modulador incluye típicamente un oscilador local 3 para generar la señal portadora ultrasónica, y un modulador 4 para modular la señal de audio en la señal portadora. La señal resultante es una señal de banda lateral doble o única con un portador a la frecuencia f_1 y uno o más lóbulos laterales. En algunas realizaciones, la señal es una onda ultrasónica paramétrica o una señal HSS. En la mayoría de los casos, el esquema de modulación utilizado es la modulación de amplitud, o AM, aunque también se pueden usar otros esquemas de modulación. La modulación de amplitud se puede lograr multiplicando el portador ultrasónico por la señal portadora de información, que en este caso es la señal de audio. El espectro de la señal modulada puede tener dos bandas laterales, una banda lateral superior e inferior, que son simétricas con respecto a la frecuencia portadora, y la propia portadora.

La señal ultrasónica modulada se proporciona al transductor ultrasónico o emisor 6, que se lanza la señal ultrasónica en el aire la creación de ondas ultrasónicas 7. Cuando se reproduce a través del transductor a un nivel de presión acústica suficientemente alto, debido al comportamiento no lineal del aire a través del cual se 'reproduce' o transmite, el portador de la señal se mezcla con la(s) banda(s) lateral(es) para demodular la señal y reproducir el contenido de audio. Esto a veces se denomina autodemodulación. Por lo tanto, incluso para implementaciones de banda lateral única, la portadora se incluye con la señal lanzada para que pueda tener lugar la autodemodulación.

En la realización ilustrada en la figura 1 usa un único transductor para lanzar un solo canal de contenido de audio, un experto en la materia después de leer esta descripción entenderá cómo se pueden usar múltiples mezcladores, amplificadores y transductores para transmitir múltiples canales de audio usando portadores ultrasónicos. Los transductores ultrasónicos se pueden montar en cualquier ubicación deseada dependiendo de la aplicación.

Un ejemplo de un sistema de procesamiento de señal 10 que es adecuado para su uso con la tecnología descrita en el presente documento se ilustra esquemáticamente en la figura 2. En esta realización, se ilustran varios circuitos o componentes de procesamiento en el orden (relativo al camino de procesamiento de la señal) en el que están dispuestos de acuerdo con una implementación. Debe entenderse que los componentes del circuito de procesamiento pueden variar, así como el orden en el que la señal de entrada es procesada por cada circuito o componente. Además, dependiendo de la realización, el sistema de procesamiento 10 puede incluir más o menos componentes o circuitos que los mostrados.

En la realización ilustrada en la figura 1 está optimizado para su uso en el procesamiento de dos canales de entrada y salida (por ejemplo, una señal "estéreo"), con varios componentes o circuitos que incluyen componentes sustancialmente coincidentes para cada canal de la señal. Un experto habitual en la técnica entenderá después de leer esta descripción que el sistema de audio puede implementarse utilizando un único canal (por ejemplo, una señal "monoaural" o "mono"), dos canales (como se ilustra en la figura 2), o una mayor cantidad de canales.

Con referencia a la figura 2, el sistema 10 de procesamiento de señal de ejemplo puede incluir entradas de audio que pueden corresponder a los canales 12a y 12b de la derecha de una señal de entrada de audio. Las entradas de audio pueden incluir, por ejemplo, un receptor que recibe la entrada de audio. El receptor puede incluir, por ejemplo, una línea de entrada, una circuitería (por ejemplo, formando un amplificador operacional u otro receptor de señal), o cualquiera de un número de receptores de entrada de línea convencionalmente disponibles o usados convencionalmente. Para DSP u otros entornos similares, la entrada de audio recibida se puede digitalizar para procesamiento digital. Las redes de ecualización 14a, 14b pueden incluirse para proporcionar la ecualización de la señal. Las redes de ecualización pueden, por ejemplo, aumentar o suprimir frecuencias predeterminadas o rangos de frecuencia para aumentar el beneficio proporcionado naturalmente por la combinación de emisor/inductor del conjunto de emisor paramétrico.

Después de las señales de audio se igualan circuitos de compresores 16a, 16b pueden incluirse para comprimir el rango dinámico de la señal entrante, elevando eficazmente la amplitud de ciertas porciones de las señales entrantes y bajar la amplitud de ciertas otras partes de las señales entrantes. Más particularmente, los circuitos de compresor 16a, 16b pueden incluirse para reducir el rango de amplitudes de audio. En un aspecto, los compresores reducen la amplitud pico a pico de las señales de entrada en una relación no inferior a aproximadamente 2:1. Se puede hacer el ajuste de las señales de entrada a un rango más estrecho de amplitud para minimizar la distorsión, que es característica del rango dinámico limitado de esta clase de sistemas de modulación. En otras realizaciones, las redes de igualación 14a, 14b pueden proporcionarse después de los compresores 16a, 16b, para igualar las señales después de la compresión.

Circuitos de filtro de pase bajo 18a, 18b pueden ser incluidos para proporcionar un punto de corte de altas porciones de la señal, y circuitos de filtro de paso alto 20a, 20b que proporcionan un punto de corte de las porciones bajas de las señales de audio. En una realización ejemplar, los filtros de paso bajo 18a, 18b se usan para cortar señales superiores a aproximadamente 15-20 kHz, y los filtros de paso alto 20a, 20b se usan para cortar señales inferiores a aproximadamente 20-200 Hz.

Los filtros de paso bajo 18a, 18b se puede configurar para eliminar frecuencias más altas que, después de la modulación, podrían resultar en la creación de sonido audible no deseado. A modo de ejemplo, si un filtro de paso bajo corta frecuencias superiores a 15 kHz, y la frecuencia de portadora es aproximadamente de 44 kHz, la señal de diferencia no será inferior a alrededor de 29 kHz, que todavía está fuera del rango audible para humanos. Sin embargo, si se deja pasar frecuencias de hasta 25 kHz por el circuito de filtro, la señal de diferencia generada podría estar en el rango de 19 kHz, que se encuentra dentro del rango del oído humano.

En el sistema de ejemplo de procesamiento de señal 10, después de pasar a través de los filtros de paso bajo y paso alto, las señales de audio son moduladas por moduladores 22a, 22b. Los moduladores 22a, 22b mezclan o combinan las señales de audio con una señal portadora generada por el oscilador 23. Por ejemplo, en algunas realizaciones, un oscilador único (que en una realización es accionado a una frecuencia seleccionada de 40 kHz a 150 kHz, rango que corresponde a cristales fácilmente disponibles que pueden usarse en el oscilador) se usa para controlar ambos moduladores 22a, 22b. Al utilizar un solo oscilador para múltiples moduladores, se proporciona una frecuencia de portadora idéntica a canales múltiples que se emiten a 24a, 24b desde los moduladores. Usar la misma frecuencia de portadora para cada canal disminuye el riesgo de que se produzcan frecuencias de batido audibles.

Filtros de paso alto 27a, 27b también puede incluirse después de la etapa de modulación. Los filtros de paso alto 27a, 27b se pueden usar para pasar la señal portadora ultrasónica modulada y asegurar que no entren frecuencias de audio al amplificador a través de las salidas 24a, 24b. Por consiguiente, en algunas realizaciones, los filtros de paso alto 27a, 27b pueden configurarse para filtrar señales por debajo de aproximadamente 25 kHz.

Como se ha indicado anteriormente, cuando la portadora modulada se transmite por el transductor a un nivel de presión sonora suficientemente alto, el portador de la señal se mezcla con la banda(s) lateral(es) para demodular la señal y reproducir el contenido de audio. Esto a veces se denomina autodemodulación. El aire es predominantemente un medio lineal, pero cuando se maneja lo suficientemente firme, tiene componentes no lineales. Esto puede ser representado por un modelo de entrada-salida,

$$Aire(x) = A'x + Gx^2, \dots\dots\dots (1)$$

donde Aire(x) representa las ondas de presión de salida en el aire para una entrada x determinada. A' es el coeficiente lineal y G es el coeficiente no lineal. A temperaturas y presiones normales, $G \ll A'$ explica por qué el audio regular viaja largas distancias sin distorsión a niveles de escucha regulares.

El audio paramétrico aprovecha el segundo término al usar el efecto de mezcla de frecuencia de x^2 . Para ilustrar este efecto, considere una entrada,

$$X_{en} = A\cos(\omega_1 t) + B\cos(\omega_2 t).$$

Utilizando la ecuación 1, la salida en el aire es, por lo tanto,

$$Aire(x_{en}) = A'x_{en} + G(A^2\cos^2(\omega_1 t) + B^2\cos^2(\omega_2 t) + 2AB\cos(\omega_1 t)\cos(\omega_2 t)) \dots\dots\dots (2)$$

Las siguientes identidades trigonométricas se pueden utilizar para volver a escribir esto en una forma más comprensible:

$$\begin{aligned} \cos^2(\theta) &= 0,5 - 0,5\cos(2\theta), \\ \cos(a)\cos(b) &= 0,5(\cos(a-b) + \cos(a+b)). \end{aligned}$$

La ecuación 2 se puede volver a escribir como (eliminando DC),

$$Aire(x_{en}) = A'x_{en} + G(-0,5A^2 \cos(2\omega_1 t) - 0,5B^2 \cos(2\omega_2 t) + \mathbf{AB} \cos((\omega_1 - \omega_2)t) + AB \cos((\omega_1 + \omega_2)t)).$$

5 Esto demuestra que utilizando el modelo dado en la ecuación 1, el aire se reproducir las frecuencias de entrada, así como dobles, sumas y diferencias de la entrada. Si la entrada es ultrasónica, el único término con la posibilidad de ser audible es el tono de diferencia (en negrita). Todos los demás son necesariamente una frecuencia más alta que la entrada y por lo tanto inaudible.

10 Las realizaciones del sistema y método de audio ultrasónico pueden configurarse para aceptar un flujo de entrada de audio regular y realizar una modulación de banda lateral única (SSB) sobre el mismo. Esto efectivamente agrega las frecuencias de audio de entrada a una frecuencia de referencia de portador. Como ejemplo, si un audio de banda base es un tono a 1 kHz y la frecuencia de portador seleccionada es de 90 kHz, la salida modulada es de 90 kHz + 1 kHz = 91 kHz. Si esto se reproduce junto con un portador igualmente fuerte (a 90 kHz), el tono de diferencia (91 kHz - 90 kHz) es exactamente 1 kHz y la entrada se reproduce en el aire.

15 La modulación de SSB y su posterior demodulación en el aire se vuelven mucho más complicadas cuando se analizan con múltiples tonos. Tomemos, por ejemplo, una entrada de 2 tonos como en el ejemplo anterior, pero en lugar de que se trate de frecuencias ultrasónicas, considérelas ahora en la banda de audio. Aplicar la modulación de SSB y agregar el tono del operador da,

$$SSB(x_{en}) = 0,5\cos(\omega_c t) + A\cos(\omega_c t + \omega_1 t) + B\cos(\omega_c t + \omega_2 t),$$

donde ω_c es la frecuencia portadora y $A + B = 0,5$, de modo que la salida máxima es +/- 1.

25 Un enfoque preferido es tener la no linealidad de aire (ecuación 1) para reproducir solo 2 tonos, ω_1 y ω_2 , pero cuando se aplica el modelo (ignorando todos los tonos fuera de la banda de audio),

$$Aire(SSB(x_{en})) = G(0,5A\cos(\omega_1 t) + 0,5B\cos(\omega_2 t) + 2AB\cos(\omega_1 t - \omega_2 t)),$$

30 que ilustra que se produce un 3^{er} tono a la frecuencia de diferencia de los tonos de entrada. Esta es una distorsión de intermodulación y es una consecuencia fundamental del método HSS SSB.

35 Los sistemas y métodos de acuerdo con diversas realizaciones se implementan para predecir este "error" y predistorcionar el audio de entrada para incluir el tono de error predicho de 180 grados fuera de fase. La inclusión de una señal de error inversa (180° fuera de fase o inversa aditiva) cancela el error real en el aire dejando solo los dos tonos deseados. Esta es la base fundamental para la "corrección de errores" como se describe en este documento.

40 Tonos de diferencia proporcional al producto de los coeficientes de entrada pueden ser generados a partir de una entrada arbitraria con el siguiente filtro,

$$Error_{im}(x) = 0,5(x^2 + H(x)^2) \dots\dots\dots (3)$$

donde $H(x)$ es la transformada de Hilbert de la señal de entrada.

45 La aplicación de esto a x_{en} ilustrará su resultado,

$$\begin{aligned} Error_{im}(x_{in}) &= 0,5 (A^2 \cos^2(\omega_1 t) + B^2 \cos^2(\omega_2 t) + 2AB \cos(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t) + A^2 \sin^2(\omega_1 t) + B^2 \sin^2(\omega_2 t) + 2AB \sin(\omega_1 t) \sin(\omega_2 t)) \\ &= 0,5 (A^2 + B^2 + 2AB \cos(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t) + 2AB \sin(\omega_1 t) \sin(\omega_2 t)) \\ &= 0,5 (A^2 + B^2 + 2AB (\cos(\omega_1 t - \omega_2 t) + \cos(\omega_1 t + \omega_2 t) + \cos(\omega_1 t - \omega_2 t) - \cos(\omega_1 t + \omega_2 t))) \\ &= 0,5 A^2 + 0,5 B^2 + AB \cos(\omega_1 t - \omega_2 t) \end{aligned}$$

55 La aplicación de un filtro de paso alto para eliminar el DC (los dos primeros términos) proporcionará entonces la frecuencia correcta y una estimación de la amplitud de la señal de distorsión IM deseada. Después de ajustar el nivel y la fase (por ejemplo, usando mediciones empíricas), restar esto de la señal de entrada cancelará la señal no deseada. Sin embargo, después de esta resta, se agrega una nueva frecuencia a la entrada y comenzarán a aparecer nuevas frecuencias de distorsión de intermodulación relacionadas con esta nueva entrada. En consecuencia, varias realizaciones usan una técnica de corrección de errores "recursiva" para compensar esto, al menos parcialmente. Aplicando el filtro de error de la ecuación 3 a la señal ya corregida de error de 1^{er} orden, comienza a cancelar los tonos deseados creados por la primera ronda. Siempre que el coeficiente AB sea < 1 , cada ronda subsiguiente debería continuar mejorando las características de distorsión total.

Esta es la teoría detrás de la distorsión IM. Para comprender las complicaciones en un sistema real, ahora se hace referencia a la figura 3. La figura 3 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una entrada de 2 tonos sin corregir. En el ejemplo de la figura 3, hay dos entradas: $f_1 = 1\text{kHz}$ y $f_2 = 5,5\text{kHz}$. Para que sean del mismo nivel, $A = 0,95$ y $B = 0,05$ para compensar la característica de filtro de paso alto de 12 dB/década del aire. Listado debajo de cada frecuencia en la figura 3 es la fase determinada experimentalmente de cada tono en relación con los tonos de entrada. Esto representa aproximadamente el 75 % de la distorsión armónica total.

Como este diagrama ilustra, hay varios tonos más no deseados que solo la f_2-f_1 predicha. Estos son generados por productos de distorsión de orden superior. Por ejemplo, $2f_1$ se puede generar tomando la 4ª potencia de x_{en} . El término relevante es,

$$SSB (x_{in})^4 = \dots + 0,25 A^2 \cos (2\omega_c + 2\omega_1) \cos (2\omega_c) + \dots$$

La figura 4 es un diagrama que ilustra el efecto de 1 aplicación de la señal de corrección de errores (ecuación 3) de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en el presente documento. Como se puede ver en este diagrama, la frecuencia objetivo, f_2-f_1 está muy disminuida (aproximadamente 10dB), como se muestra por la parte discontinua de la curva. La nueva frecuencia agregada a la señal da como resultado un aumento en f_2-2f_1 como se esperaría.

La figura 5 representa una aplicación recursiva de la ecuación 3. Tiene el efecto deseado de bajar f_2-2f_1 , pero también bajó f_2-f_1 . Esto se debe al hecho de que existe una distorsión de alto orden presente. El tono (f_2-2f_1) agregado fuera de fase está disminuyendo la contribución de orden superior a f_2-f_1 .

Al tiempo que reduce significativamente los productos de distorsión IM, la calidad de audio es aún no es perfecto. Hay productos de distorsión armónica (dobles y sumas) que contribuyen a la distorsión de la salida. Estos pueden cancelarse de manera similar a los productos de intermodulación. El filtro de error para usar viene dado por

$$Error_{ar}(x) = 0,5 (x^2 - H(x)^2) \dots\dots\dots(4)$$

Este filtro genera dobles y sumas mucho de la misma manera que la ecuación 3 genera frecuencias de diferencia. Tenga en cuenta que los productos de distorsión que se cancelarán con este término de error están 180 grados desfasados respecto de los productos de distorsión IM. Debido a que los términos de error producidos por la ecuación 4 están en fase con la entrada, se deben agregar a la señal para cancelar los términos no deseados en lugar de restar. La salida de una ronda de adición de la ecuación 4 se da en la figura 6. Particularmente, la figura 6 es un diagrama que ilustra una aplicación de ejemplo de la ecuación 4.

Como se puede ver, la aplicación de la ecuación 4 proporciona una reducción dramática de los productos de distorsión como se muestra por las líneas discontinuas. No solo reduce en gran medida el primer orden (dobles y sumas), sino que las correcciones resultantes también reducen los productos de mayor orden.

La figura 7 es un diagrama que ilustra un ejemplo de aplicación de una segunda ronda de la ecuación 4, que, en este ejemplo, cancela todos los productos de distorsión. Particularmente, los productos $2f_1$, $3f_1$, $4f_1$ y $f_1 + f_2$ se han eliminado como se muestra por las líneas punteadas. En otras disposiciones, puede ser necesaria una mejora adicional y es posible refinando las características de fase de la corrección de errores.

De manera experimental, es posible encontrar un sistema que, debido a factores electrónicos o mecánicos, tenga tonos de distorsión sobrantes después de las 4 aplicaciones de corrección de errores que se han mostrado anteriormente. Cada uno de estos tonos se puede reducir aún más mediante la aplicación directa en una amplitud y fase particulares. En este punto, la fase nunca es 180 o 0 grados. Esto implica que los cambios de fase en el sistema, ya sea en el emisor o antes, impiden la cancelación perfecta de los tonos no deseados.

Habiendo descrito un ejemplo de los efectos prácticos de corrección de errores, se describen ahora ejemplos de realización de la corrección de errores. Las realizaciones de la tecnología descrita en este documento pueden configurarse para implementar la corrección de errores para sistemas de audio ultrasónicos de una manera novedosa separando estos dos tipos de distorsión no lineal y corrigiendo cada uno de ellos individualmente.

Las soluciones convencionales han utilizado un modelo de distorsión de demodulación paramétrica para crear una señal de error. Sin embargo, las soluciones convencionales tienden a mezclar productos de intermodulación y distorsión armónica. Las mediciones de los sistemas de audio ultrasónicos han revelado que la distorsión de intermodulación y los productos de distorsión armónica no siempre están en fase y, de hecho, típicamente pueden estar 180 grados desfasados. Por lo tanto, las soluciones convencionales pueden reducir algunos subproductos y aumentar otros.

La dificultad es que prácticamente todas las funciones no lineales (Abs, Log, polinomios, etc.) sufren de los mismos desafíos. Las relaciones pueden cambiar entre los factores no lineales, pero una reducción sistemática de los productos de distorsión sigue siendo difícil de alcanzar. Si la entrada se esperaba y se conocía, se podría

implementar un sistema para cambiar las fases con anticipación para hacer la corrección apropiada. Sin embargo, un objetivo importante de la corrección de errores es corregir la entrada arbitraria y desconocida.

De acuerdo con diversas realizaciones, dos funciones no lineales han sido desarrolladas por los inventores y se puede utilizar en diversas realizaciones de hacer frente a este problema:

$$\text{IntermodError}(x) = H(x)^2 + x^2$$

$$\text{HarmonicError}(x) = H(x)^2 - x^2$$

Donde $H(x)$ es una transformada de Hilbert, que es una función de procesamiento de señal bien conocida, y x es la señal de entrada de audio. IntermodError es una función no lineal, que solo produce productos de intermodulación; y HarmonicError es una función no lineal, que solo produce productos de distorsión armónica. Estas funciones pueden implementarse en diversas realizaciones, solas o juntas, como se describe en este documento para proporcionar resultados inesperados de mejora de la corrección de distorsión más allá de los enfoques convencionales. Como tal, pueden implementarse realizaciones que permiten la corrección tanto de la distorsión armónica como de la distorsión de intermodulación en un sistema de audio paramétrico. Al separar los dos tipos de distorsión en dos funciones separadas, pueden implementarse realizaciones para abordarlas como dos señales de error separadas. Se pueden implementar correcciones para ambas fuentes de error, que generalmente arrojan mejores resultados.

En diversas realizaciones, la optimización de los sistemas puede tener lugar de forma empírica. Con un micrófono colocado a una distancia deseada (en la posición de escucha, por ejemplo), se pueden aplicar tonos de prueba al sistema. Esto puede tener un mínimo de 2 tonos, por ejemplo, pero teóricamente no existe un máximo, siempre que sus sumas y diferencias sean frecuencias únicas y puedan separarse del fondo. Se pueden usar múltiples series de tonos para optimizar el sistema en un amplio rango de frecuencias.

La figura 8 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una ruta de señal de una aplicación de corrección de errores de intermodulación de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en este documento. Este ejemplo incluye un módulo IMError 325, un módulo de inversión (* -1) 327, un módulo de Fase + EQ 329, un módulo de suma 331 y un módulo de escala 333.

En el ejemplo de la figura 8 ilustra una aplicación de corrección de errores de intermodulación (IM). El módulo de corrección de errores de intermodulación 322 recibe una señal de audio que representa el contenido de audio que se reproducirá utilizando el sistema de audio ultrasónico. La señal de entrada de audio recibida puede ser una señal analógica que representa el contenido de audio que se reproducirá a través del sistema de audio ultrasónico. En implementaciones digitales, usando un DSP, por ejemplo, la señal de entrada de audio recibida puede ser una señal digital o puede convertirse (por ejemplo, usando un convertidor analógico a digital, por ejemplo) para procesamiento digital.

El módulo de corrección de error de intermodulación 322 aplica la función IntermodError (x), $H(x)^2 + x^2$, se ha expuesto anteriormente a la señal de audio de entrada. La salida del módulo de corrección de errores de intermodulación 322 puede proceder directamente al modulador para su salida al emisor o puede proceder a rondas adicionales de corrección de errores.

El primer bloque en este ejemplo de intermodulación módulo de corrección de errores 322 es un módulo de IMError 325, que genera una estimación del error debido a la distorsión de intermodulación. Esto se puede denominar una señal de error o una función de error. Esta señal de error estimada 326 se invierte mediante el módulo de inversión 327 para crear una señal de error estimada invertida 328. En algunas realizaciones, el módulo de inversión 327 está configurado para transformar la señal de error estimada 326 en el valor inverso aditivo de la señal de error estimada. Esto efectivamente cambia el signo de la señal de error estimada 326. Esto se puede lograr, por ejemplo, multiplicando la señal de error por una negativa (por ejemplo, * -1) para cambiar su signo.

El módulo de Fase + EQ 329 se puede configurar para aplicar un desplazamiento de fase o un ajuste de la amplitud, o ambos, como función de la frecuencia a la señal de error invertida 328 para ajustar por emisor o filtros de respuestas. El módulo de Fase + EQ 329 también puede servir como un filtro de bloqueo de CC. El ajuste puede aplicarse a la señal de error estimada invertida 328 (después de que se calcule la estimación del error de IM) como se muestra. Se puede aplicar utilizando filtros lineales y la aplicación realizada ajustando una tabla de coeficientes (como, por ejemplo, en un DSP). Los coeficientes se pueden ajustar en función de los resultados obtenidos. Por ejemplo, se pueden realizar mediciones de distorsión y realizar ajustes en función de los resultados obtenidos.

Como un ejemplo adicional, un micrófono puede ser colocado en la salida para recoger el audio resultante de la señal emitida por el emisor (no mostrado), mediciones de distorsión y los ajustes Fase + EQ hechos en consecuencia. Por ejemplo, esto se puede lograr usando una serie de tonos como la entrada de audio y midiendo la distorsión en función de la reproducción de esos tonos por parte del emisor. La realimentación y el ajuste se pueden configurar en algunas realizaciones para que se ejecuten en tiempo real (por ejemplo, todo el tiempo) para optimizar los ajustes de forma continua durante el funcionamiento del sistema de audio. Por ejemplo, una transformada de

Fourier puede aplicarse a la señal de audio recibida y los componentes de frecuencia determinados a partir de la misma y la distorsión determinada analizando estos componentes de frecuencia. En diversas realizaciones, Fase + EQ puede implementarse como una serie de filtros de respuesta de impulso finito (FIR), filtros de respuesta de impulso infinito (IIR) o algunos otros filtros digitales, que pueden implementarse, por ejemplo, usando un DSP u otras técnicas digitales. En otra realización, la Fase + EQ podría implementarse con un circuito analógico fuera de un DSP.

La señal ajustada 330 (por ejemplo, la función de error invertida con ecualización aplicada) se combina con la entrada de audio 324, la transformación de la señal de audio en una señal de audio preacondicionado mediante la combinación de la función de error invertida con la señal de audio. En realizaciones donde la señal de error invertida 328 es la inversa aditiva de la señal de error estimada 326, la combinación se realiza añadiendo la señal de error invertida 328 (por ejemplo, ajustada por el módulo de Fase + EQ 329) a la señal de audio original para restar eficazmente la estimación de ruido de la señal. Esto se puede lograr sumando el módulo 331. En consecuencia, la señal de salida es la señal de audio menos el error estimado, con algunas escalas como se describe a continuación. Cuando se introduce el error real, se genera la señal de audio original, sin error (o con una cantidad menor de error según la calidad de la estimación y los ajustes de fase + ecualización).

La señal de audio preacondicionada puede también denominarse como una señal de audio precorregida. En diversas realizaciones, la función de error o señal de error puede considerarse como una estimación del error que se introducirá en el audio reproducido, en este caso el error de intermodulación. Por consiguiente, la combinación de la señal de audio con el inverso aditivo de este error estimado crea una señal preacondicionada que, cuando se somete al error real (de nuevo, en este caso, distorsión de intermodulación) debería 'cancelar' efectivamente este error real hasta cierto punto. Como se señala en otra parte de este documento, se pueden realizar múltiples recursiones para reducir aún más o incluso eliminar el error. Esto también se aplica a la distorsión armónica, en la que la señal está preacondicionada para errores estimados o previstos debido a la distorsión armónica.

La salida sumada (por ejemplo, efectivamente restada), en algunas realizaciones, se proporciona al módulo de escala 333. El módulo de escala puede configurarse para multiplicar la señal combinada 332 por una constante. Esto se puede configurar para ajustar la salida a una salida máxima conocida, ya que la corrección de errores puede hacer que la salida exceda la entrada. El módulo de escala también se puede configurar para reaccionar, en tiempo real, para ajustar la señal de salida y evitar exceder la escala completa. En otra realización, el módulo de escalamiento puede ajustar la salida para que coincida con el promedio (por ejemplo, RMS) de la señal de entrada y evitando simultáneamente pasar a escala completa. En otra realización, el módulo de escalamiento puede ajustar la salida para que coincida con el máximo de la señal de entrada, que por definición nunca será superior a la escala completa. En otra realización, el módulo de escala puede actuar como un compresor de rango dinámico que aplica ganancia a la entrada de menor volumen, pero no al contenido de escala completa.

Con un micrófono creado para distinguir los tonos de intermodulación no deseados de tonos de prueba de entrada dada, los parámetros de la Fase + EQ se puede ajustar usando Fase + módulo EQ 329 para reducir o minimizar los tonos no deseados en la salida. Esto puede incluir eliminar cualquier componente de CC presente en el sistema. Como resultado, la distorsión en la salida se puede reducir. Después de compensar la distorsión de intermodulación de manera óptima, la salida de esta función puede alimentarse al algoritmo de distorsión armónica que se muestra en la figura 9.

La figura 9 ilustra una aplicación de ejemplo de corrección de error de distorsión armónica de acuerdo con una realización de la tecnología descrita aquí. En este ejemplo, el módulo de corrección de errores armónicos 370 incluye un módulo HError 373, módulo Fase + EQ 375, un módulo sumador 377 y un módulo de escalado 379. La salida del módulo de corrección de errores armónicos 370 puede proceder directamente al modulador para su salida al emisor o puede proceder a más rondas de corrección de errores.

El módulo de corrección de error armónico 370 recibe una señal de audio que representa el contenido de audio para ser reproducido usando el sistema de audio de ultrasonidos. La señal de entrada de audio recibida puede ser una señal analógica que representa el contenido de audio que se reproducirá a través del sistema de audio ultrasónico. En implementaciones digitales, usando un DSP, por ejemplo, la señal de entrada de audio recibida puede ser una señal digital o puede convertirse (por ejemplo, usando un convertidor analógico a digital, por ejemplo) para procesamiento digital.

El módulo Herror 373 se puede configurar para aplicar la función de HarmonicError (x), $H(x)^2 - x^2$ para generar una estimación del error de distorsión armónica 374 introducido por el sistema de audio. El módulo 375 de Fase + EQ se puede configurar para aplicar un cambio de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia para ajustar las respuestas del emisor o del filtro. El módulo de Fase + EQ 375 también puede servir como un filtro de bloqueo de CC. El ajuste puede aplicarse a la señal corregida (después de aplicar la corrección de error de distorsión armónica) como se muestra. Se puede aplicar utilizando filtros lineales y la aplicación realizada ajustando una tabla de coeficientes (como, por ejemplo, en un DSP). Los coeficientes se pueden ajustar en función de los resultados obtenidos. Por ejemplo, se pueden tomar medidas de distorsión y se pueden hacer ajustes basados en los resultados obtenidos. Como un ejemplo adicional, se puede colocar un micrófono en la salida para recoger el

- audio resultante de la señal emitida por el emisor (no se muestra), las mediciones de distorsión realizadas y los ajustes de Fase + EQ realizados en consecuencia. Por ejemplo, esto se puede lograr usando una serie de tonos como la entrada de audio y midiendo la distorsión en función de la reproducción de esos tonos por parte del emisor. La realimentación y el ajuste se pueden configurar en algunas realizaciones para que se ejecuten en tiempo real (por ejemplo, todo el tiempo) para optimizar los ajustes de forma continua durante el funcionamiento del sistema de audio. Por ejemplo, una transformada de Fourier puede aplicarse a la señal de audio recibida y los componentes de frecuencia determinados a partir de la misma y la distorsión determinada analizando estos componentes de frecuencia.
- 10 La señal ajustada 376 se suma con la entrada de audio 372 al módulo sumado 377. La salida sumada se proporciona al módulo de escala 379. El módulo de escala puede configurarse para multiplicar la señal combinada 378 por una constante. Esto se puede configurar para ajustar la salida a una salida máxima conocida, ya que la corrección de errores puede hacer que la salida exceda la entrada. El módulo de escala también se puede configurar para reaccionar, en tiempo real, para ajustar la señal de salida y evitar exceder la escala completa. En otra realización, el módulo de escalamiento puede ajustar la salida para que coincida con el promedio (por ejemplo, RMS) de la señal de entrada y evitando simultáneamente pasar a escala completa. En otra realización, el módulo de escalamiento puede ajustar la salida para que coincida con el máximo de la señal de entrada, que por definición nunca será superior a la escala completa. En otra realización, el módulo de escala puede actuar como un compresor de rango dinámico que aplica ganancia a la entrada de menor volumen, pero no al contenido de escala completa.
- 15 Una vez más, la Fase + EQ para esta etapa se pueden ajustar utilizando los datos del micrófono para reducir o minimizar los tonos no deseados. Este bloque puede ser diferente de la etapa equivalente en la corrección de errores de intermodulación. Mientras que la distorsión de intermodulación se crea principalmente por el aire, la distorsión armónica se genera principalmente dentro de los componentes eléctricos y el emisor. Como resultado, el Fase + EQ necesario para un rendimiento óptimo para estas dos correcciones puede ser sustancialmente diferente. Por ejemplo, la magnitud de la corrección necesaria para corregir la distorsión armónica puede ser mucho menor que la necesaria para corregir la distorsión de intermodulación. En otro caso, la fase de un filtro analógico dentro del amplificador puede corregirse aquí, pero no necesariamente en la corrección de intermodulación.
- 20 Como se señaló anteriormente, en algunas realizaciones correcciones sobre tanto la distorsión e intermodulación distorsión armónica se puede aplicar. La corrección puede mejorarse adicionalmente mediante la adición recursiva de aplicaciones adicionales de los algoritmos de corrección de errores. Como la aplicación de ltermodError (x) o HarmonicError (x) agrega señal activamente, puede agregar pequeñas cantidades de distorsión. Aplicar el algoritmo por segunda vez reducirá esta distorsión. Normalmente, para cada aplicación recursiva de la corrección de errores, la distorsión añadida será progresivamente menor.
- 25 La figura 10 es un diagrama que ilustra un ejemplo de aplicación recursiva de múltiples rondas de corrección de errores de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en este documento. La aplicación de múltiples rondas puede ayudar a lograr un rendimiento óptimo. Cada ronda puede tener diferentes valores para Fase + EQ y escalado, que pueden establecerse todos secuencialmente a través de una medición empírica.
- 30 Cualquier número seleccionado de módulos de corrección de error tanto de intermodulación y distorsión armónica puede ser utilizado. En algunas realizaciones, el número de rondas está limitado solo por la potencia de cálculo. En este ejemplo, el error de intermodulación se corrige primero (módulos de corrección de errores de intermodulación 322), seguido de la corrección del error de distorsión armónica (módulos de corrección de errores armónicos 370). En otra realización, la corrección de error de distorsión armónica podría proceder primero, seguido de la corrección de error de distorsión de intermodulación. Además, pueden intercalarse, por ejemplo, aplicando una o más aplicaciones de corrección de errores de intermodulación, seguidas por una o más aplicaciones de corrección de errores de distorsión armónica, seguidas de una segunda aplicación de corrección de errores de intermodulación, y así sucesivamente (o pueden ser intercalado en el orden opuesto). En diversas realizaciones, cada módulo de corrección de errores 322, 370 puede implementarse utilizando, por ejemplo, los módulos mostrados en las figuras 8 y 9, respectivamente.
- 35 La figura 11 es un diagrama que ilustra un bloque de ejemplo para la corrección de errores de intermodulación básica de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en el presente documento. En este ejemplo, el módulo de corrección de errores de intermodulación 720 funciona de manera similar al módulo de corrección de errores de intermodulación 322 como se muestra arriba en la figura 8, pero se ilustra como que tiene dos módulos Fase + EQ 725, 731. En este ejemplo, los módulos Fase + EQ 725, 731 representan una aplicación de amplitud y/o alteración de fase dependiente de la frecuencia. Estos pueden implementarse, por ejemplo, como se discutió anteriormente con referencia a la figura 8. Uno o ambos módulos Fase + EQ 725, 731 se pueden sintonizar para que no tengan efecto (pasando la señal sin modificación) si no son necesarios. Esto se puede hacer, por ejemplo, para ahorrar en los costes de computación.
- 40 El módulo lMError 727 aplica la función de error de intermodulación, que se puede aplicar como se describe anteriormente con referencia a la figura 8. El módulo de inversión 729 puede implementarse para proporcionar el inverso aditivo de la señal de error estimada, y un módulo sumador proporcionado para agregar la señal invertida

(por ejemplo, restar la señal de error estimada) de la señal de audio, como también se describe anteriormente con referencia a la figura 8.

5 El módulo de Escala 735 representa una constante multiplicativa, que puede aplicarse para corregir la salida de sobreescala como resultado de la corrección de errores. El módulo de escala 735 también puede implementarse como se describió anteriormente con referencia a la figura 8.

10 La figura 12 es un diagrama que ilustra un bloque de ejemplo para la corrección del error de distorsión armónica básica de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en el presente documento. En este ejemplo, el módulo de corrección de error armónico 770 funciona de manera similar al módulo de corrección de error armónico 370 como se muestra arriba en la figura 9, pero se ilustra como que tiene dos módulos Fase + EQ 771, 775. Los módulos Fase + EQ 771, 775 representan una aplicación de amplitud y/o alteración de fase dependientes de la frecuencia. Estos pueden implementarse, por ejemplo, como se discutió anteriormente con referencia a la figura 9. Uno o ambos módulos Fase + EQ 771, 775 se pueden sintonizar para que no tengan efecto (pasando la señal sin modificación) si no son necesarios. Esto se puede hacer, por ejemplo, para ahorrar en los costes de computación.

20 El módulo de error distorsión armónica 773 aplica la función de error de distorsión armónica, que se puede aplicar como se describe anteriormente con referencia a la figura 9. El módulo de escalado 779 representa una constante multiplicativa, que se puede aplicar para corregir la salida sobre escala como resultado de la corrección de errores. El módulo de escalado 779 se puede configurar para multiplicar la señal por una constante. Esto se puede configurar para ajustar la salida a una salida máxima conocida, ya que la corrección de errores puede hacer que la salida exceda la entrada. El módulo de escala también se puede configurar para reaccionar, en tiempo real, para ajustar la señal de salida y evitar pasar a escala completa. En otra realización, el módulo de escala puede ajustar la salida para que coincida con el promedio (RMS) de la señal de entrada y al mismo tiempo evite pasar a escala completa. En otra realización, el módulo de escalamiento puede ajustar la salida para que coincida con el máximo de la señal de entrada, que por definición nunca será superior a la escala completa. En otra realización, el módulo de escala puede actuar como un compresor de rango dinámico que aplica ganancia a la entrada de menor volumen, pero no al contenido de escala completa.

30 Al igual que con las realizaciones descritas anteriormente con respecto a las figuras 8 y 9, y similar a la que se muestra en la figura 10, el filtro mostrado en las figuras 11 y 12 se pueden aplicar recursivamente en serie para reducir aún más la distorsión. La figura 13 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una aplicación recursiva de corrección de errores de intermodulación y corrección de errores armónicos de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en este documento. En esta aplicación, la corrección de intermodulación se aplica primero, N veces, seguida de correcciones armónicas, N veces. El número de aplicaciones de cada corrección no necesita ser el mismo, y el orden no tiene que seguir el orden que se muestra en la figura 13. En otras palabras, la corrección del error de distorsión armónica se puede aplicar primero, seguido de la corrección del error de intermodulación. Además, pueden intercalarse con una o más aplicaciones de corrección de errores de intermodulación, seguidas de una o más aplicaciones de corrección de errores de distorsión armónica, seguidas por una segunda aplicación de corrección de errores de intermodulación, y así sucesivamente. En esta y otras realizaciones recursivas, cada ronda puede tener valores diferentes para Fase + EQ y Escalado, que pueden establecerse todos secuencialmente mediante medición empírica.

45 Las figuras 14, 15 y 16 son diagramas que ilustran ejemplos de corrección de errores de intermodulación de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en este documento. Particularmente, estos ejemplos aplican la entrada de audio original en el proceso de corrección.

50 La figura 14 es un diagrama que ilustra un ejemplo de un módulo de corrección de distorsión de intermodulación 722 que utiliza la entrada de audio original como una entrada al proceso de recursión de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en este documento. Si este es el primer bloque en la recursión, "Audio in" y "Original Audio in" son la misma señal. En el caso de recursiones subsiguientes, "Audio in" representa la salida 737 del bloque de corrección de errores de intermodulación anterior. Se pueden implementar otros bloques en diversas realizaciones usando los mismos o similares módulos 725, 727, 729, 731, 733, en 735 como se describió anteriormente con referencia a la figura 11.

55 La figura 15 es un diagrama que ilustra un ejemplo de un módulo de corrección de error de distorsión armónica 772 que utiliza la entrada de audio original como una entrada al proceso de recursión de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en este documento.

60 Si este es el primer bloque en la recursión, "Audio in" y "Original Audio in" son la misma señal. En el caso de recursiones subsiguientes, "Audio in" representa la salida 780 del bloque de corrección de errores de intermodulación anterior. Se pueden implementar otros bloques en diversas realizaciones usando los mismos módulos 771, 773, 775, 777 y 779, como se describió anteriormente con referencia a la figura 12.

65 La figura 16 es un diagrama que ilustra un ejemplo de procesamiento recursivo que usa la entrada de audio original de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en este documento. Observe que el "Audio Original en" 790

para la corrección de errores armónicos no es la entrada de audio original absoluta 718, sino la entrada 790 al inicio de la cadena de recursiones armónicas. Al igual que en la realización anterior de la corrección recursiva de errores, el orden de aplicación de la corrección de intermodulación y error armónico puede invertirse con la entrada al segundo esquema de corrección que sirve como el "Audio Original en" para ese esquema de corrección. El
 5 entrelazado de estas correcciones también puede implementarse, pero debe implementarse en pares (por ejemplo, un par de módulos de corrección de errores de intermodulación 722 seguidos por un par de módulos de corrección de errores armónicos 772, y así sucesivamente, o viceversa), de lo contrario no difiere significativamente de la figura 15. De nuevo, en esta y otras realizaciones recursivas, cada ronda puede tener valores diferentes para Fase + EQ y Escalado, que pueden establecerse todos secuencialmente mediante medición empírica.

10 Se describe ahora otra realización ejemplar que implica error de alimentación anticipada. Esto fue detallado en un documento anterior para la corrección de errores de distorsión armónica. Lo que se muestra en las figuras 17, 18 y 19 son los diagramas de bloques de avance que ilustran ejemplos de corrección de errores tanto de armónicos como de intermodulación.

15 La figura 17 es un diagrama que ilustra una corrección de errores de intermodulación de ejemplo con procesamiento de alimentación de avance de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en el presente documento. Como se muestra en la figura 17, este ejemplo incluye dos módulos Fase + EQ 841, 853, un módulo de corrección de errores de IM 843, dos módulos de suma 845, 847, dos módulos de inversión 849, 851 y un módulo de escala 854. Los módulos de inversión 849, 851 pueden implementarse para generar la inversión aditiva de sus respectivas
 20 señales de entrada (por ejemplo, realizar una operación $\ast -1$). Los módulos Fase + EQ 841, 853, el módulo de corrección de errores IM 843, el módulo sumador 847, el módulo de inversión 851 y el módulo de escala 854 pueden implementarse usando las mismas características y funcionalidad que se describió anteriormente para los bloques correspondientes en la figura 14.

25 En este ejemplo, con alimentación hacia delante, el error de intermodulación de un ciclo anterior, en su caso, se introduce en el módulo del inversor 849 y la inversa de la misma se combina con (por ejemplo, el inverso aditivo se suma con) la salida del módulo de corrección de error IM 843 sumando el módulo 845. Si el ciclo actual es el primer ciclo en la recursión, se agrega un 0 (es decir, nada) a la salida del módulo de corrección de errores de IM 843. La
 30 salida distorsionada previamente del módulo sumador 845 está disponible para el siguiente ciclo en la recursión, a menos que el ciclo actual sea el último ciclo.

35 La figura 18 es un diagrama que ilustra un ejemplo de un módulo de corrección de errores de distorsión armónica 870 con procesamiento de alimentación de avance de acuerdo con una realización de la tecnología descrita en este documento. Particularmente, este ejemplo ilustra que en realizaciones que usan múltiples rondas de corrección de errores de distorsión armónica, la información de cálculos previos se puede usar en un cálculo actual para mejorar la corrección de errores. Este ejemplo es similar al que se muestra arriba en la figura 17, sin embargo, esto muestra la corrección de errores de distorsión armónica en lugar de la corrección de errores de intermodulación. Este ejemplo
 40 incluye dos módulos Fase + EQ 871, 881, un módulo de estimación de error de distorsión armónica 873, dos módulos sumadores 875, 877, un módulo inversor de fase 879 y un módulo de escala 884. Aunque dos módulos Fase + EQ 871, 881, el módulo 870 de corrección de errores de distorsión armónica se puede implementar con un módulo Fase + EQ. Por ejemplo, el módulo Fase + EQ 871 o 881 puede omitirse o configurarse para que no se realicen ajustes en la señal. Los módulos Fase + EQ 871, 881, el módulo de estimación HError 873, el módulo sumador 883 y el módulo de escala 884 pueden implementarse usando las mismas características y funcionalidad
 45 que las descritas anteriormente para los módulos correspondientes en la figura 15.

50 En el caso de la corrección de errores de distorsión armónica como en la figura. 18, la señal de error de distorsión armónica del ciclo anterior, si existe, se alimenta al módulo inversor de fase 879. El inverso de esa señal de error del ciclo anterior (por ejemplo, el inverso aditivo) se suma con la salida del módulo de estimación de error de distorsión armónica 873 sumando el módulo 875. Si el ciclo actual es el primer ciclo en la recursión, no hay nada que se pueda resumir en esta etapa. La salida distorsionada previamente del módulo sumador 875 está disponible para el siguiente ciclo en la recursión a menos que el ciclo actual sea el último ciclo.

55 La figura 19 es un diagrama que ilustra un ejemplo de procesamiento recursivo de realimentación de acuerdo con otra realización de los sistemas y métodos descritos en este documento. Este ejemplo muestra varias rondas de corrección de errores de avance para la corrección de errores de intermodulación y la corrección de errores de distorsión armónica. Esto también ilustra un ejemplo en el que las señales de error de una ronda dada (las señales de error de avance) pueden alimentarse hacia adelante y usarse en la siguiente ronda de corrección.

60 Como con varios de los modos de realización para el procesamiento recursivo discutidos anteriormente, el orden de corrección de errores puede ser revertido. Del mismo modo, cada ronda puede tener diferentes valores para Fase + EQ y Escalado, que pueden establecerse todos secuencialmente mediante medición empírica. Además, en este ejemplo, las correcciones para los diferentes tipos se pueden intercalar, pero tal intercalación se debe hacer en
 65 pares porque la señal de error de avance debe ser del mismo tipo de corrección de error. Por último, uno puede mezclar procesamiento de avance y retroalimentación entre los diferentes tipos de corrección de errores. Esto significa que, para la corrección de la intermodulación, por ejemplo, se podría usar el procesamiento de no avance y

seguirlo con el procesamiento de avance para la corrección de errores armónicos, o viceversa. La elección para implementar dicho enfoque híbrido puede depender, por ejemplo, del tipo de emisor utilizado y de la cantidad de potencia de procesamiento disponible para el proceso.

5 En las realizaciones descritas anteriormente, se pueden incluir circuitos de recepción para recibir las diversas señales de entrada de audio (o señales de entrada de audio procesadas) en forma analógica o digital. La señal de entrada de audio recibida puede ser una señal analógica que representa contenido de audio que se reproducirá a través del sistema de audio ultrasónico, o en etapas posteriores de realizaciones de múltiples etapas, una señal de audio procesada previamente procesada por la(s) etapa(s) anterior(es). En implementaciones digitales, usando un DSP, por ejemplo, la señal de entrada de audio recibida puede ser una señal digital o puede convertirse (por ejemplo, usando un convertidor analógico a digital, por ejemplo) para procesamiento digital. Por consiguiente, los receptores pueden incluir, por ejemplo, una línea de entrada, una circuitería (por ejemplo, formando un amplificador operacional u otro receptor de señal), o cualquiera de una serie de receptores de entrada de audio convencionalmente disponibles o utilizados convencionalmente. Para DSP u otras aplicaciones digitales similares, la entrada de audio recibida puede digitalizarse para procesamiento digital antes o después de ser recibida en el módulo de corrección.

Una o más de las operaciones de procesamiento descritas con referencia a la figura 2, como ecualización, compresión y filtrado, se puede hacer antes de que los módulos de corrección reciban la señal de entrada de audio original, o se pueden aplicar después de que se hayan aplicado una o más etapas de corrección. Aunque en varias realizaciones descritas anteriormente, la corrección de errores se describe como aplicada a las señales de audio antes de la modulación en un soporte ultrasónico, pueden implementarse realizaciones de los sistemas y métodos descritos en este documento en los que la corrección de errores se realiza antes o después de la modulación de la señal de audio en el transportador ultrasónico.

Tal como se usa en el presente documento, el término módulo podría describir una unidad de funcionalidad dada que se puede realizar de acuerdo con una o más realizaciones de la tecnología descrita en este documento. Tal como se usa en el presente documento, módulos que incluyen módulos IMError, módulos HError, módulos sumadores, inversores de fase, módulos de escala, etc. pueden implementarse utilizando cualquier forma de hardware, software o una combinación de los mismos. Por ejemplo, uno o más procesadores, controladores, ASIC, PLA, PAL, CPLD, FPGA, componentes lógicos, rutinas de software u otros mecanismos podrían implementarse para conformar un módulo. Por ejemplo, para realizaciones digitales, se pueden implementar diversas realizaciones usando uno o más DSP y componentes asociados (por ejemplo, memoria, I/O ADC, DAC, etc.). Diversos componentes utilizados en la corrección de errores tales como los módulos de suma (por ejemplo, combinadores) e inversores de fase, escaladores y módulos de fase y ecualización son bien conocidos por los expertos en la técnica y pueden implementarse usando tecnologías convencionales.

En la implementación, los diversos módulos descritos en este documento podrían implementarse como módulos discretos o las funciones y características descritas se pueden compartir en parte o en total entre uno o más módulos. En otras palabras, como sería evidente para un experto habitual en la técnica después de leer esta descripción, las diversas características y funcionalidades descritas en este documento pueden implementarse en cualquier aplicación dada y pueden implementarse en uno o más módulos separados o compartidos en diversas combinaciones y permutaciones. Aunque varias características o elementos de funcionalidad pueden describirse individualmente o reivindicarse como módulos separados, un experto en la materia entenderá que estas características y funcionalidades pueden compartirse entre uno o más elementos comunes de software y hardware, y dicha descripción no debe ser compartida. requerir o implicar que se utilicen componentes de hardware o software por separado para implementar dichas funciones o funcionalidades. A menos que se especifique lo contrario, el acoplamiento comunicativo de un módulo a otros módulos o a otros componentes puede referirse a un acoplamiento directo o indirecto. En otras palabras, un módulo puede estar acoplado comunicativamente a otro componente incluso aunque pueda haber componentes intermedios a través de los cuales pasan señales o datos entre el módulo y el otro componente.

Cuando componentes o módulos de la tecnología se implementan total o parcialmente usando software, en una realización, estos elementos de software pueden implementarse para operar con un módulo de procesamiento o procesamiento capaz de llevar a cabo la funcionalidad descrita con respecto a los mismos. Un ejemplo de dicho módulo de cálculo se muestra en la figura 20. Se describen diversas realizaciones en términos de este módulo de cálculo de ejemplo 900. Después de leer esta descripción, será evidente para una persona experta en la técnica relevante cómo implementar la tecnología usando otros módulos o arquitecturas de cómputo.

Con referencia ahora a la figura 20, el módulo de cómputo 900 puede representar, por ejemplo, capacidades informáticas o de procesamiento que se encuentran en ordenadores de escritorio, portátiles y miniportátiles; dispositivos de computación de mano (PDA, teléfonos inteligentes, teléfonos celulares, ordenadores de bolsillo, etc.); mainframes, supercomputadoras, estaciones de trabajo o servidores; o cualquier otro tipo de dispositivos informáticos de propósito general o propósito general que puedan ser deseables o apropiados para una aplicación o entorno determinado. El módulo de cómputo 900 también puede representar capacidades informáticas integradas o disponibles de otro modo para un dispositivo determinado. Por ejemplo, un módulo de cómputo podría encontrarse

en otros dispositivos electrónicos como, por ejemplo, cámaras digitales, sistemas de navegación, teléfonos celulares, dispositivos informáticos portátiles, módems, enrutadores, WAP, terminales y otros dispositivos electrónicos que podrían incluir algún tipo de capacidad de procesamiento.

5 El módulo de cálculo 900 podría incluir, por ejemplo, uno o más procesadores, controladores, módulos de control u otros dispositivos de procesamiento, tales como un procesador 904. El procesador 904 podría implementarse usando un motor de procesamiento de propósito general o de propósito especial tal como, por ejemplo, un microprocesador, controlador, procesador de señal digital u otra lógica de control. En el ejemplo ilustrado, el procesador 904 está conectado a un bus 902, aunque cualquier medio de comunicación puede usarse para facilitar la interacción con otros componentes del módulo de cómputo 900 o para comunicarse externamente.

15 El módulo de cómputo 900 también podría incluir uno o más módulos de memoria, a los que se hace referencia aquí como memoria principal 908. Por ejemplo, preferiblemente la memoria de acceso aleatorio (RAM) u otra memoria dinámica, se podría usar para almacenar información e instrucciones para ser ejecutadas por el procesador 904. La memoria principal 908 también podría usarse para almacenar variables temporales u otra información intermedia durante la ejecución de las instrucciones para ser ejecutadas por el procesador 904. El módulo de cómputo 900 podría incluir también una memoria de solo lectura ("ROM") u otro dispositivo de almacenamiento estático acoplado al bus 902 para almacenar información estática e instrucciones para el procesador 904.

20 El módulo de cálculo 900 también puede incluir una o más diversas formas de mecanismo de almacenamiento de información 910, que pueden incluir, por ejemplo, una unidad de medios 912 y una interfaz de unidad de almacenamiento 920. La unidad de medios 912 podría incluir una unidad u otro mecanismo para soportar medios de almacenamiento 914 fijos o extraíbles. Por ejemplo, se pueden proporcionar una unidad de disco duro, una unidad de disquete, una unidad de cinta magnética, una unidad de disco óptico, una unidad de CD o DVD (R o RW) u otra unidad de medios extraíble o fija. En consecuencia, los medios de almacenamiento 914 pueden incluir, por ejemplo, un disco duro, un disquete, cinta magnética, cartucho, disco óptico, un CD o DVD u otro medio fijo o extraíble que sea leído, escrito o accedido por un disco de medios. 912. Como ilustran estos ejemplos, los medios de almacenamiento 914 pueden incluir un medio de almacenamiento utilizable por ordenador que tiene almacenados en él software o datos informáticos.

30 En realizaciones alternativas, el mecanismo de almacenamiento de información 910 podría incluir otros medios similares para permitir que programas de ordenador u otras instrucciones o datos sean cargados en el módulo de cálculo 900. Dichos instrumentos podrían incluir, por ejemplo, una unidad de almacenamiento fija o extraíble 922 y una interfaz 920. Ejemplos de tales unidades de almacenamiento 922 e interfaces 920 pueden incluir un cartucho de programa y una interfaz de cartucho, una memoria extraíble (por ejemplo, una memoria flash u otro módulo de memoria extraíble) y ranura de memoria, una ranura y tarjeta PCMCIA y otras unidades de almacenamiento fijo o extraíble 922 y las interfaces 920 que permiten que el software y los datos se transfieran desde la unidad de almacenamiento 922 al módulo de cómputo 900.

40 El módulo de cálculo 900 también podría incluir una interfaz de comunicaciones 924. La interfaz de comunicaciones 924 podría usarse para permitir la transferencia de software y datos entre el módulo informático 900 y los dispositivos externos. Los ejemplos de la interfaz de comunicaciones 924 pueden incluir un módem o un módem blando, una interfaz de red (como Ethernet, tarjeta de interfaz de red, WiMedia, IEEE 802.XX u otra interfaz), un puerto de comunicaciones (como, por ejemplo, un puerto USB, un puerto IR, un puerto RS232, interfaz Bluetooth® u otro puerto) u otra interfaz de comunicaciones. El software y los datos transferidos a través de la interfaz de comunicaciones 924 podrían transportarse típicamente en señales, que pueden ser electrónicas, electromagnéticas (que incluyen óptica) u otras señales capaces de ser intercambiadas por una interfaz de comunicaciones dada 924. Estas señales podrían proporcionarse a la interfaz de comunicaciones 924 a través de un canal 928. Este canal 928 podría llevar señales y podría implementarse usando un medio de comunicación alámbrico o inalámbrico. Algunos ejemplos de un canal pueden incluir una línea telefónica, un enlace celular, un enlace de RF, un enlace óptico, una interfaz de red, una red de área local o amplia, y otros canales de comunicación por cable o inalámbricos.

55 En este documento, los términos "medio de programa informático" y "equipo medio utilizable" se utilizan para referirse en general a medios tales como, por ejemplo, la memoria 908, la unidad de almacenamiento 922, los medios de comunicación 914, y el canal 928. Estas y otras diversas formas de medios de programas informáticos o medios utilizables por ordenador pueden estar implicados en llevar una o más secuencias de una o más instrucciones a un dispositivo de procesamiento para su ejecución. Tales instrucciones incorporadas en el medio, generalmente se denominan "código de programa de ordenador" o "producto de programa de ordenador" (que pueden agruparse en forma de programas de ordenador u otras agrupaciones). Cuando se ejecutan, tales instrucciones pueden permitir que el módulo informático 900 realice características o funciones de la tecnología divulgada como se describe en este documento.

65 Si bien varias realizaciones de la tecnología dada a conocer se han descrito anteriormente, debe entenderse que se han presentado a modo de ejemplo solamente, y no de limitación. Asimismo, los diversos diagramas pueden representar un ejemplo arquitectónico u otra configuración para la tecnología divulgada, que se hace para ayudar a comprender las características y la funcionalidad que se pueden incluir en la tecnología divulgada. La tecnología

divulgada no está restringida a las arquitecturas o configuraciones de ejemplo ilustradas, sino que las características deseadas pueden implementarse usando una variedad de arquitecturas y configuraciones alternativas. De hecho, será evidente para un experto en la técnica cómo se pueden implementar configuraciones y particiones funcionales, lógicas o físicas alternativas para implementar las características deseadas de la tecnología descrita en este documento. Además, una multitud de diferentes nombres de módulos constituyentes distintos de los representados en este documento se pueden aplicar a las diversas particiones. Además, con respecto a diagramas de flujo, descripciones operativas y reivindicaciones de método, el orden en el que se presentan los pasos no exigirá que se implementen diversas realizaciones para realizar la funcionalidad enumerada en el mismo orden a menos que el contexto dicte lo contrario.

Aunque la tecnología descrita se describe anteriormente en términos de diversas realizaciones e implementaciones a modo de ejemplo, debe entenderse que las diversas características, aspectos y funcionalidad descritos en una o más de las realizaciones individuales no están limitados en su aplicabilidad a la realización particular. con el que se describen, pero en su lugar se pueden aplicar, solos o en varias combinaciones, a una o más de las otras realizaciones de la tecnología divulgada, ya sea que tales realizaciones se describan y si dichas características se presentan o no como parte de una realización descrita. Por lo tanto, la amplitud y el alcance de la tecnología divulgada en este documento no deberían estar limitados por ninguna de las realizaciones ejemplares descritas anteriormente.

Los términos y frases utilizados en este documento, y las variaciones de los mismos, a menos que se indique expresamente lo contrario, deben interpretarse como de final abierto en lugar de limitar. Como ejemplos de lo anterior: el término "incluir" debe leerse como "incluyendo, sin limitación" o similar; el término "ejemplo" se usa para proporcionar instancias ejemplares del ítem en discusión, no una lista exhaustiva o limitante del mismo; los términos "un/una" deben leerse como "al menos uno", "uno o más" o similares; y los adjetivos tales como "convencional", "tradicional", "normal", "estándar", "conocido" y términos de significado similar no deben interpretarse como una limitación del artículo descrito para un período de tiempo dado o para un artículo disponible a partir de un dado el tiempo, pero debe leerse para abarcar tecnologías convencionales, tradicionales, normales o estándar que pueden estar disponibles o conocidas ahora o en cualquier momento en el futuro. Del mismo modo, cuando este documento se refiere a tecnologías que serían evidentes o conocidas por los expertos en la técnica, tales tecnologías abarcan aquellas evidentes o conocidas por los expertos en la técnica ahora o en cualquier momento en el futuro.

La presencia de palabras y frases más amplias, como "uno o más", "al menos", "pero no limitado a" u otras frases similares en algunos casos no debe leerse para indicar que el caso más estrecho es intencionado o requerido en los casos en que tales frases de ampliación pueden estar ausentes. El uso del término "módulo" no implica que los componentes o la funcionalidad descritos o reclamados como parte del módulo estén todos configurados en un paquete común. De hecho, cualquiera o todos los diversos componentes de un módulo, ya sea la lógica de control u otros componentes, pueden combinarse en un solo paquete o mantenerse por separado y además pueden distribuirse en múltiples agrupaciones o paquetes o en múltiples ubicaciones.

Además, las diversas realizaciones expuestas en este documento se describen en términos de ejemplos de diagramas de bloques, diagramas de flujo y otras ilustraciones. Como será evidente para un experto habitual en la técnica después de leer este documento, las realizaciones ilustradas y sus diversas alternativas pueden implementarse sin confinamiento a los ejemplos ilustrados. Por ejemplo, los diagramas de bloques y su descripción adjunta no deben interpretarse como un mandato de una arquitectura o configuración particular.

REIVINDICACIONES

1. Un método para reducir la distorsión en un sistema de audio ultrasónico, que comprende:

5 recibir una primera señal de audio, en la que la primera señal de audio recibida representa el contenido de audio que se reproducirá usando el sistema de audio ultrasónico;
 calcular una primera función de error para el sistema de audio ultrasónico, la primera función de error que comprende $H(x_1)^2 + x_1^2$, donde x_1 es la primera señal de audio recibida y $H(x_1)$ es una transformada de Hilbert de la primera señal de audio recibida; y
 10 transformar la primera señal de audio recibida en una primera señal de audio preacondicionada combinando una inversión aditiva de la primera función de error con la primera señal de audio recibida.

2. El método de la reivindicación 1, que comprende además aplicar un cambio de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la primera función de error o al inverso aditivo de la primera función de error antes de la etapa de combinar para ajustar para emisor o respuestas de filtro.

3. Un método para reducir la distorsión en un sistema de audio ultrasónico, que comprende:

20 recibir una primera señal de audio, en la que la primera señal de audio recibida representa el contenido de audio que se reproducirá usando el sistema de audio ultrasónico;
 calcular una primera función de error para el sistema de audio ultrasónico, la primera función de error que comprende $H(x_1)^2 - x_1^2$, donde x_1 es la primera señal de audio recibida y $H(x_1)$ es una transformada de Hilbert de la primera señal de audio recibida; y
 25 transformar la primera señal de audio recibida en una primera señal de audio preacondicionada combinando la primera función de error con la primera señal de audio recibida.

4. El método de la reivindicación 3, que comprende además aplicar un cambio de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la primera función de error antes de la etapa de combinación para ajustar las respuestas del emisor o del filtro.

5. El método de la reivindicación 2, que comprende además aplicar un cambio de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la primera señal de audio recibida.

6. El método de la reivindicación 4, que comprende además aplicar un cambio de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la primera señal de audio recibida.

7. El método de la reivindicación 5, que además comprende:

40 recibir la primera señal de audio preacondicionada;
 aplicar un cambio de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la primera señal de audio preacondicionada para generar una señal de audio preacondicionada ajustada;
 calcular una segunda función de error para el sistema de audio ultrasónico, donde la segunda función de error comprende $H(x_2)^2 - x_2^2$, donde x_2 es la señal de audio preacondicionada ajustada y $H(x_2)$ es una transformada de Hilbert de la señal de audio preacondicionada ajustada;
 45 aplicar un cambio de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la segunda función de error para producir una tercera función de error; y
 transformar la primera señal de audio preacondicionada en una segunda señal de audio preacondicionada combinando la tercera función de error con la señal de audio preacondicionada ajustada.

8. El método de la reivindicación 2, que comprende además un ciclo adicional de corrección de errores, que comprende:

55 recibir la primera señal de audio preacondicionada y la primera función de error para el ciclo adicional de corrección de errores;
 calcular una segunda función de error para el sistema de audio ultrasónico, la segunda función de error que comprende $H(x_2)^2 + x_2^2$, donde x_2 es la primera señal de audio preacondicionada y $H(x_2)$ es una transformada de Hilbert de la primera señal de audio preacondicionada; y
 transformar la primera señal de audio preacondicionada en una segunda señal de audio preacondicionada combinando la función aditiva inversa de la segunda función de error con la primera señal de audio recibida.

9. El método de la reivindicación 8, que comprende además ajustar las respuestas de emisor o filtro aplicando un cambio de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la segunda función de error o al inverso aditivo de la segunda función de error antes de la etapa de combinar el inverso aditivo de la segunda función de error.

10. El método de la reivindicación 4, que comprende además un ciclo adicional de corrección de errores, que

comprende:

recibir la primera señal de audio preacondicionada y la primera función de error para el ciclo adicional de corrección de errores;

5 calcular una segunda función de error para el sistema de audio ultrasónico, la segunda función de error que comprende $H(x_2)^2 - x_2^2$, donde x_2 es la primera señal de audio preacondicionada y $H(x_2)$ es una transformada de Hilbert de la primera señal de audio preacondicionada; y

transformar la primera señal de audio preacondicionada en una segunda señal de audio preacondicionada combinando la segunda función de error con la primera señal de audio recibida.

10 11. El método de la reivindicación 4, que comprende además un ciclo adicional de corrección de errores, que comprende:

15 recibir la primera señal de audio preacondicionada y la primera función de error para el ciclo adicional de corrección de errores antes de la modulación;

calcular una segunda función de error para el sistema de audio ultrasónico, la segunda función de error que comprende $H(x_2)^2 - x_2^2$, donde x_2 es la primera señal de audio preacondicionada y $H(x_2)$ es una transformada de Hilbert de la primera señal de audio preacondicionada;

20 combinando el inverso aditivo de la primera función de error con la segunda función de error para generar una tercera función de error; y

transformar la primera señal de audio preacondicionada en una segunda señal de audio preacondicionada combinando la inversa aditiva de la tercera función de error con la primera señal de audio preacondicionada.

25 12. El método de la reivindicación 5, que comprende además un ciclo adicional de corrección de errores, que comprende:

recibir la primera señal de audio preacondicionada y la primera función de error para el ciclo adicional de corrección de errores;

30 aplicar un cambio de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la señal de audio preacondicionada para generar una señal de audio preacondicionada ajustada;

calcular una segunda función de error para el sistema de audio ultrasónico, la segunda función de error que comprende $H(x_2)^2 + x_2^2$, donde x_2 es la señal de audio preacondicionada ajustada y $H(x_2)$ es una transformada de Hilbert de la señal de audio preajustada ajustada;

35 aplicar un desplazamiento de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la segunda función de error para producir una tercera función de error; y

transformar la primera señal de audio preacondicionada en una segunda señal de audio preacondicionada combinando la inversa aditiva de la tercera función de error con la primera señal de audio recibida.

40 13. El método de la reivindicación 5, que comprende además un ciclo adicional de corrección de errores, que comprende:

recibir la primera señal de audio preacondicionada y la primera función de error para el ciclo adicional de corrección de errores;

45 aplicar un cambio de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la señal de audio preacondicionada para generar una señal de audio preacondicionada ajustada;

calcular una segunda función de error para el sistema de audio ultrasónico, la segunda función de error que comprende $H(x_2)^2 + x_2^2$, donde x_2 es la señal de audio preacondicionada ajustada y $H(x_2)$ es una transformada de Hilbert de la señal de audio preajustada ajustada;

50 combinando el inverso aditivo de la primera función de error con la segunda función de error para generar una tercera función de error;

aplicar un cambio de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la tercera función de error para producir una cuarta función de error; y

calcular el inverso aditivo de la cuarta función de error;

55 transformar la primera señal de audio preacondicionada en una segunda señal de audio preacondicionada combinando la función aditiva inversa de la cuarta función de error con la primera señal de audio preacondicionada.

14. El método de la reivindicación 12, que además comprende:

60 recibir la segunda señal de audio preacondicionada;

aplicar un cambio de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, en función de la frecuencia, a la segunda señal de audio preacondicionada para generar una segunda señal de audio preacondicionada ajustada;

65 calcular una cuarta función de error para el sistema de audio ultrasónico, donde la cuarta función de error comprende $H(x_3)^2 - x_3^2$, donde x_3 es la segunda señal de audio preacondicionada ajustada y $H(x_3)$ es una transformada de Hilbert de la segunda señal de audio preacondicionada ajustada;

aplicar un desplazamiento de fase o un ajuste de amplitud, o ambos, como una función de frecuencia, a la cuarta

función de error para producir una quinta función de error; y
transformar la segunda señal de audio preacondicionada en una tercera señal de audio preacondicionada combinando la función de quinto error con la segunda señal de audio preacondicionada.

5 15. El método de la reivindicación 1, que además comprende:

recibir la primera señal de audio preacondicionada;
calcular una segunda función de error para el sistema de audio ultrasónico, donde la segunda función de error comprende $H(x_2)^2 - x_2^2$, donde x_2 es la señal de audio preacondicionada recibida y $H(x_2)$ es una transformada de Hilbert de la señal de audio preacondicionada; y
10 transformar la primera señal de audio preacondicionada en una segunda señal de audio preacondicionada combinando la segunda función de error con la primera señal de audio preacondicionada.

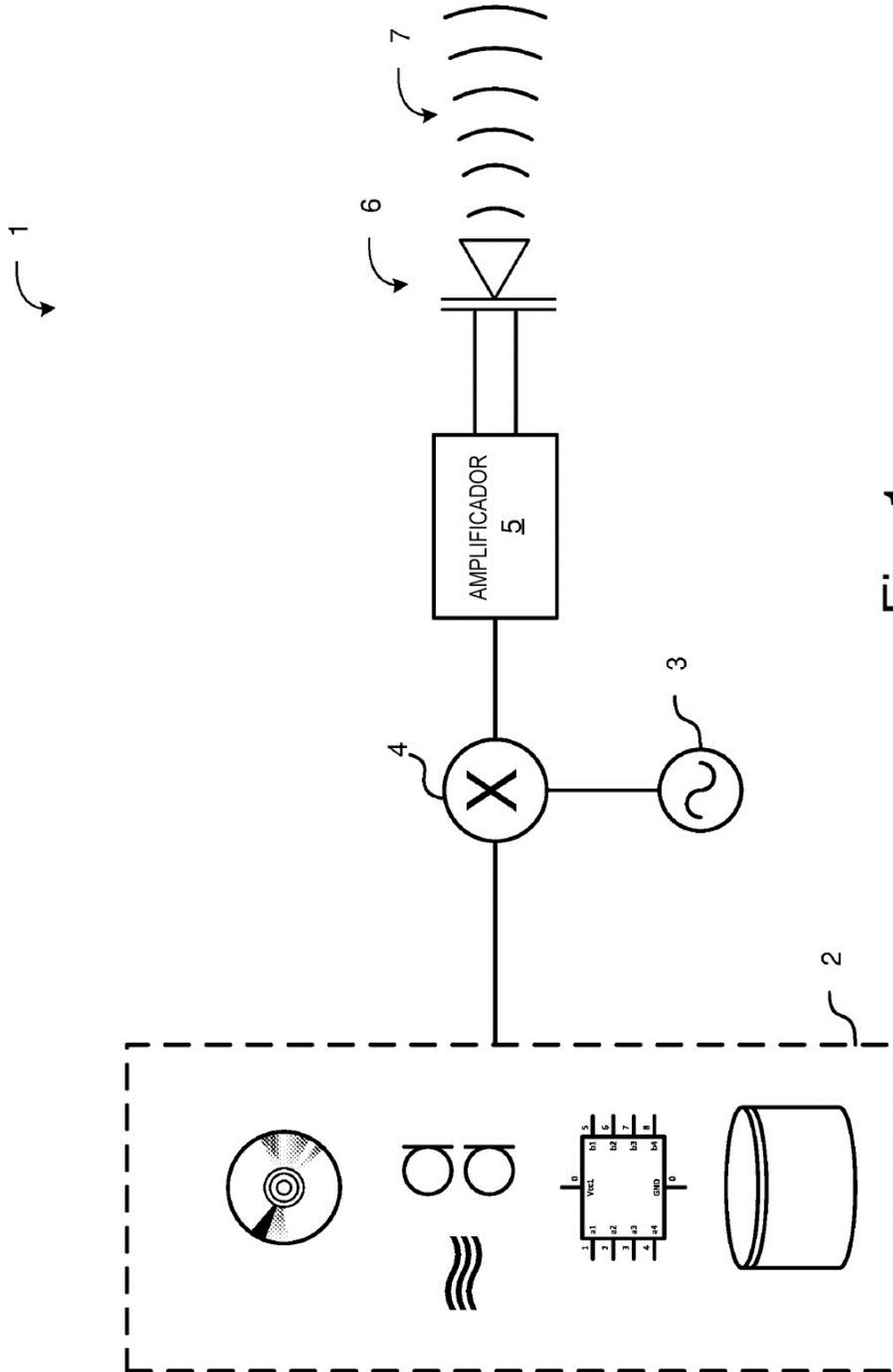


Fig. 1

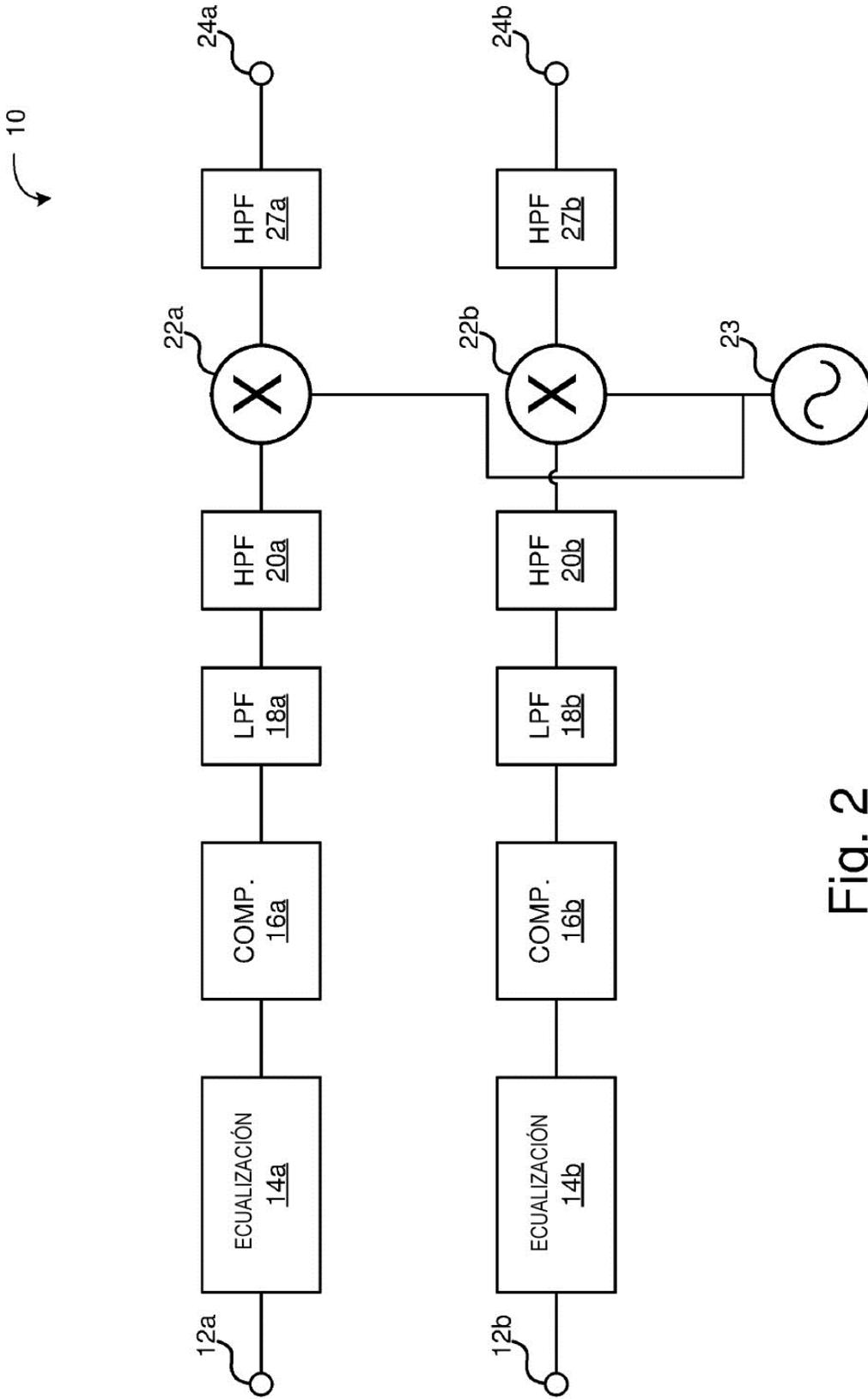


Fig. 2

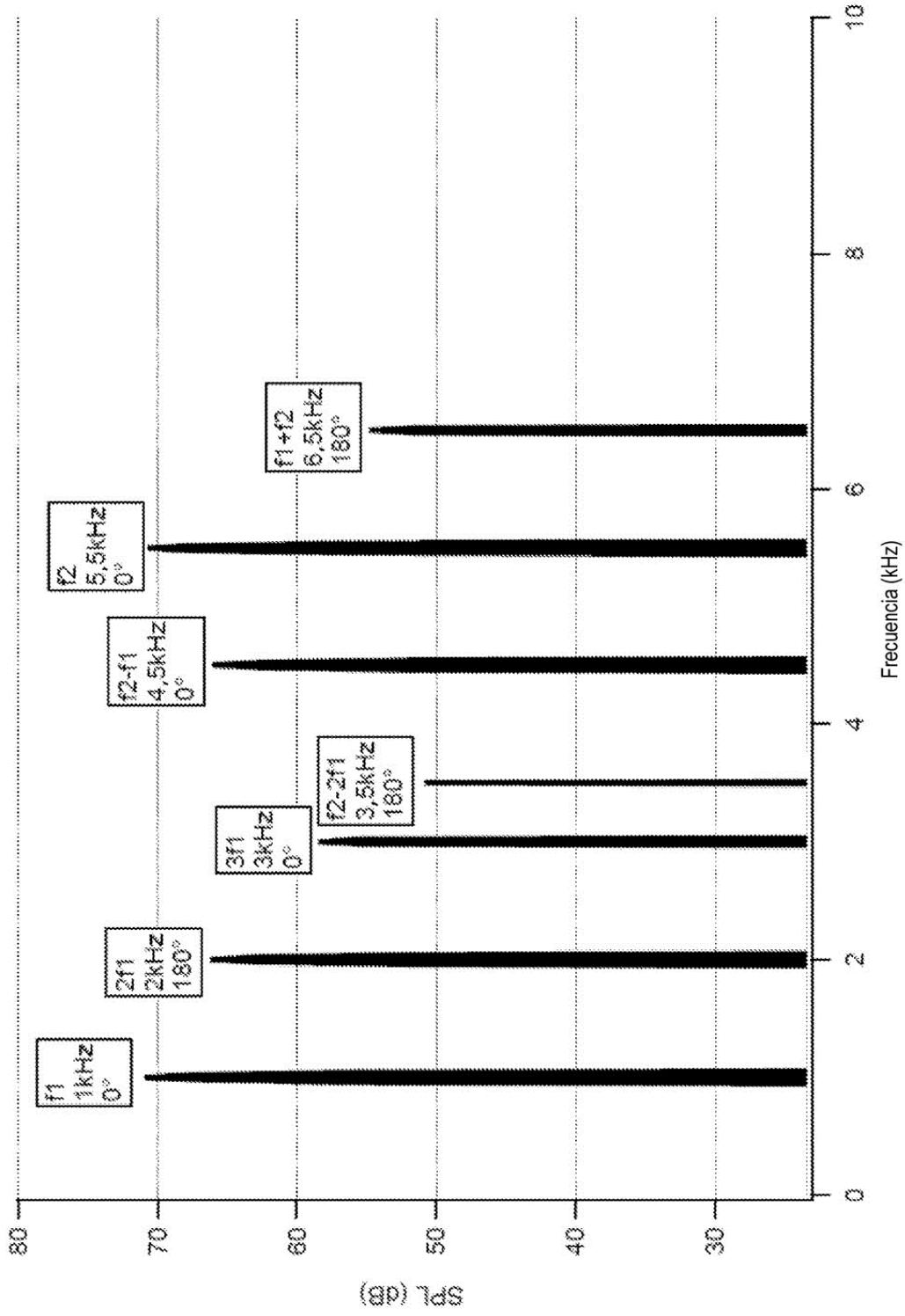


Fig. 3

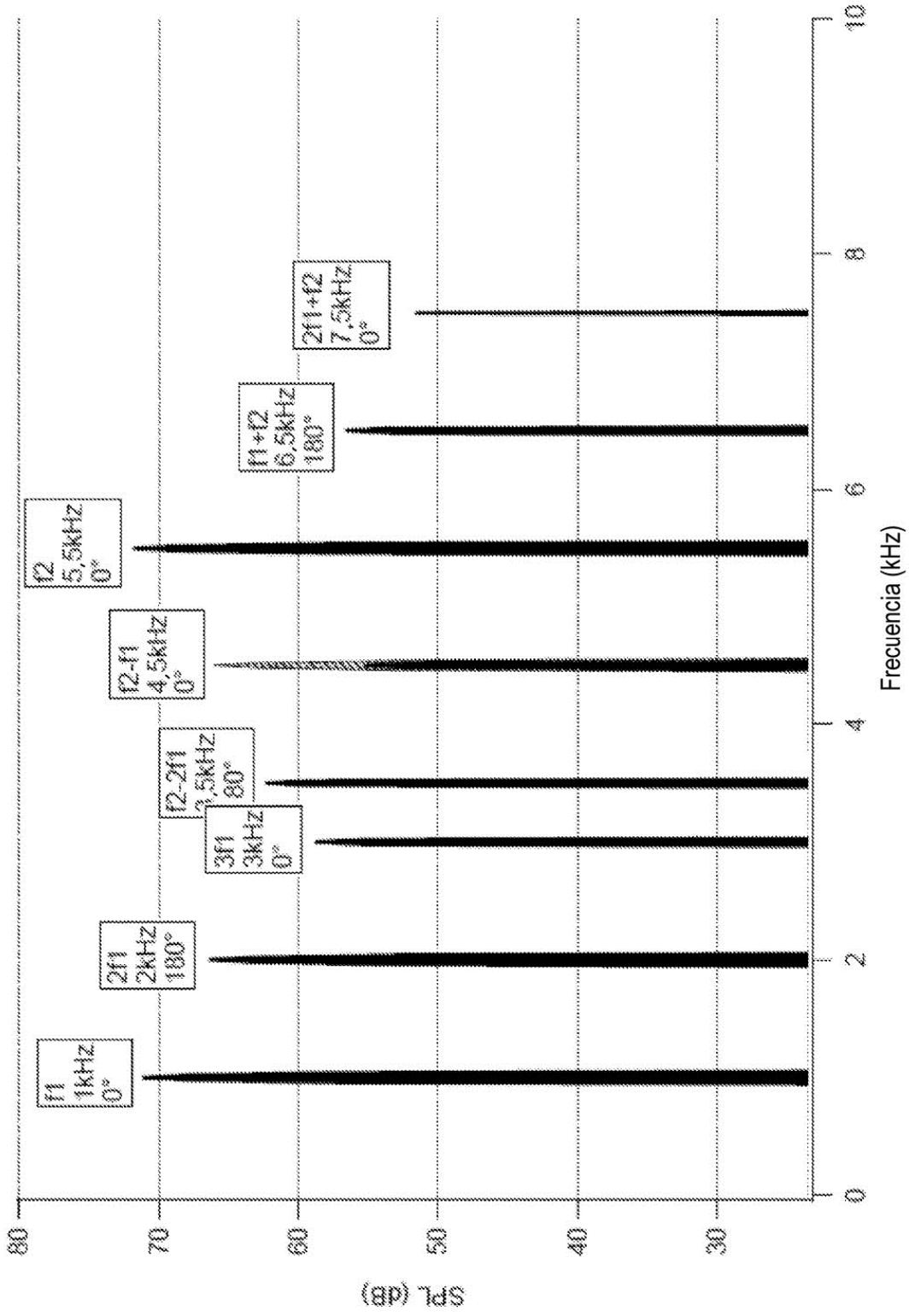


Fig. 4

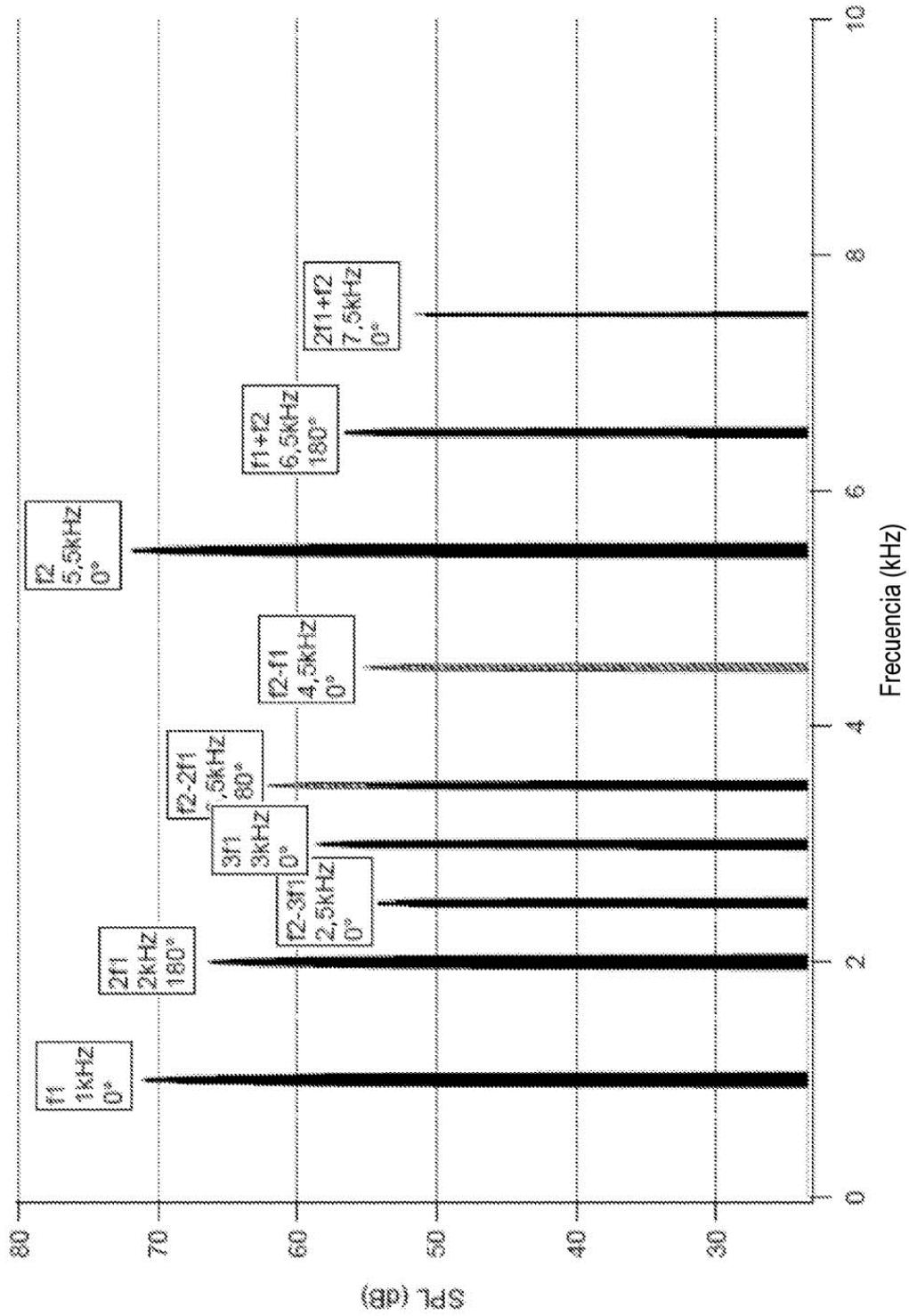


Fig. 5

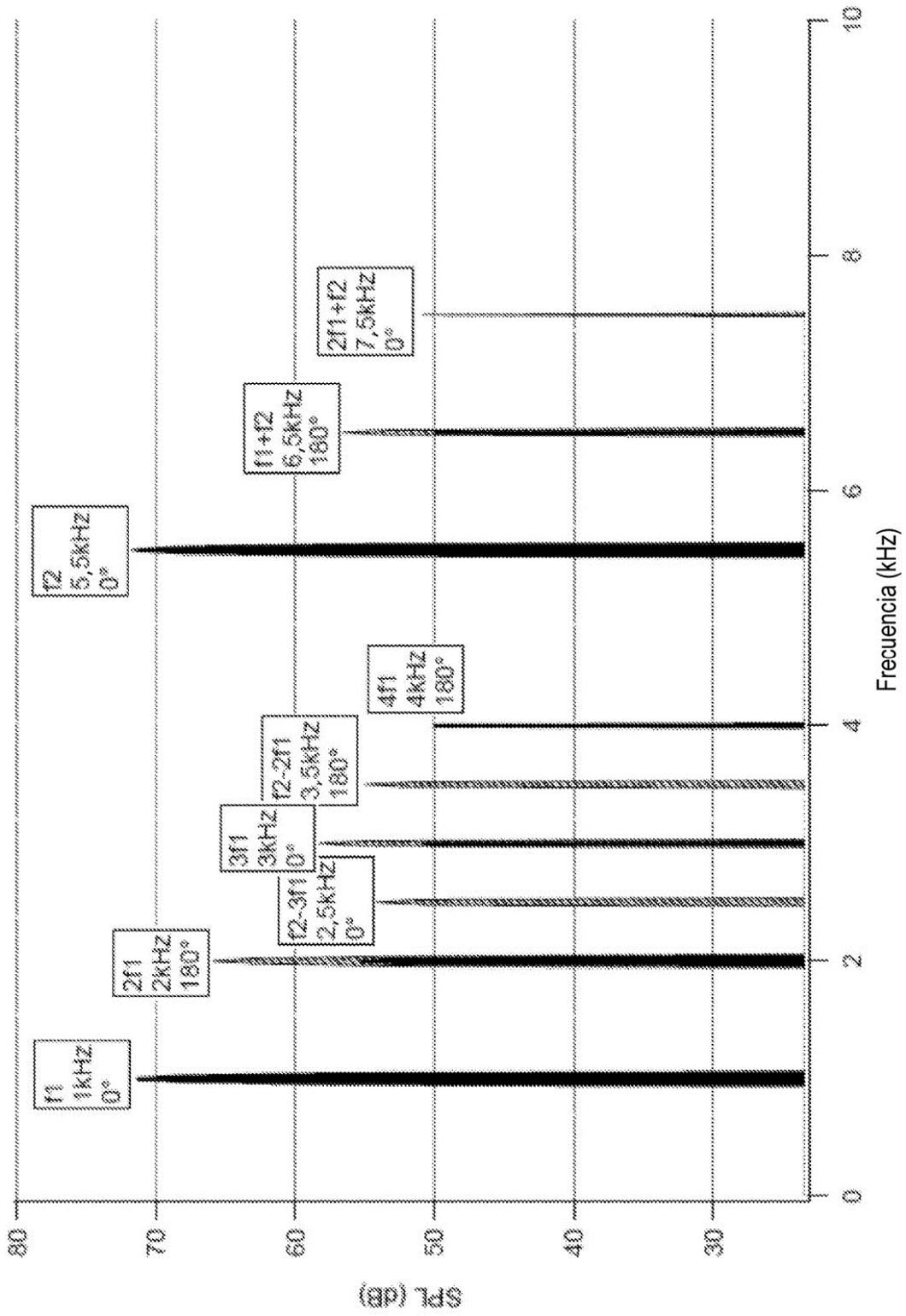


Fig. 6

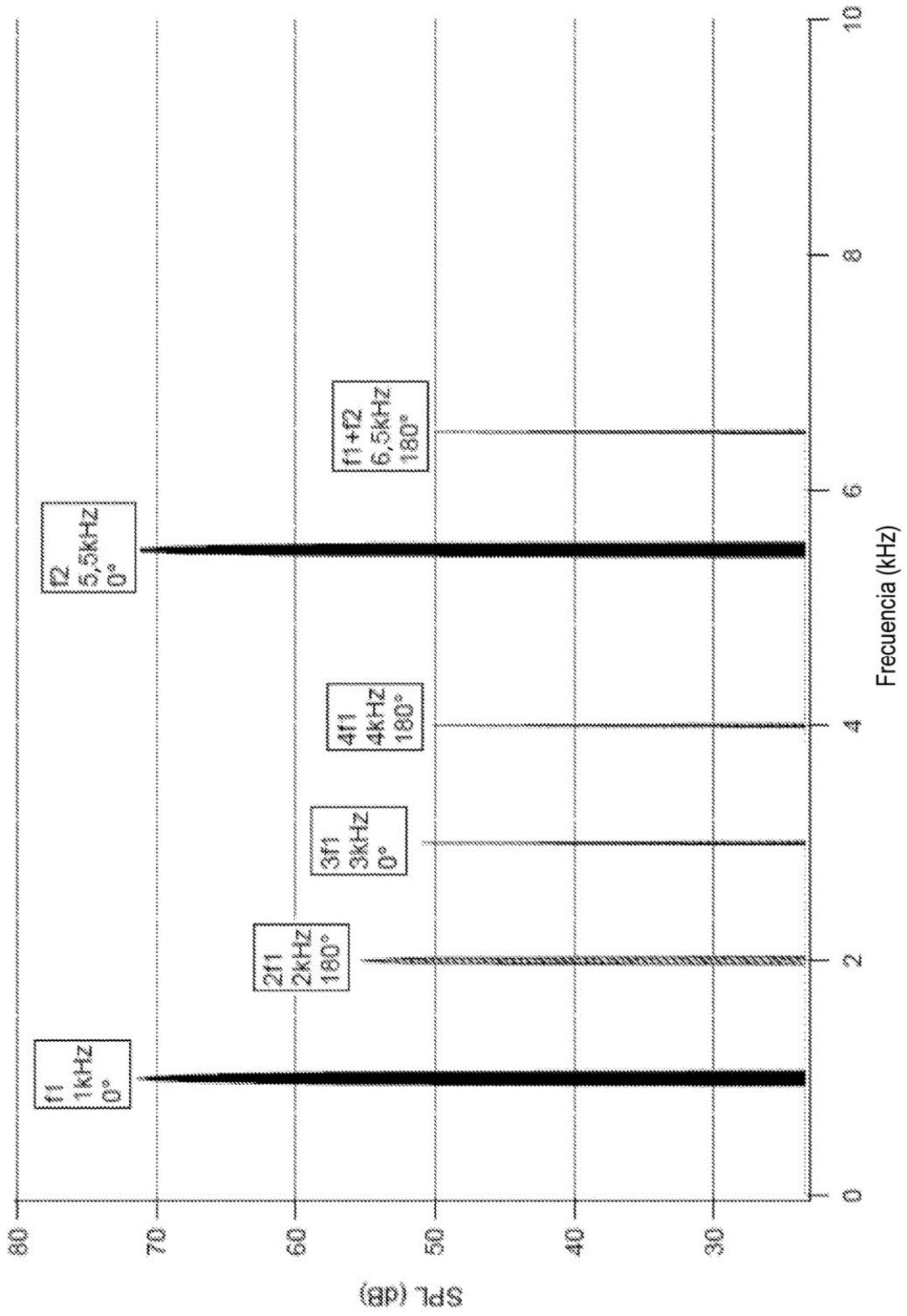


Fig. 7

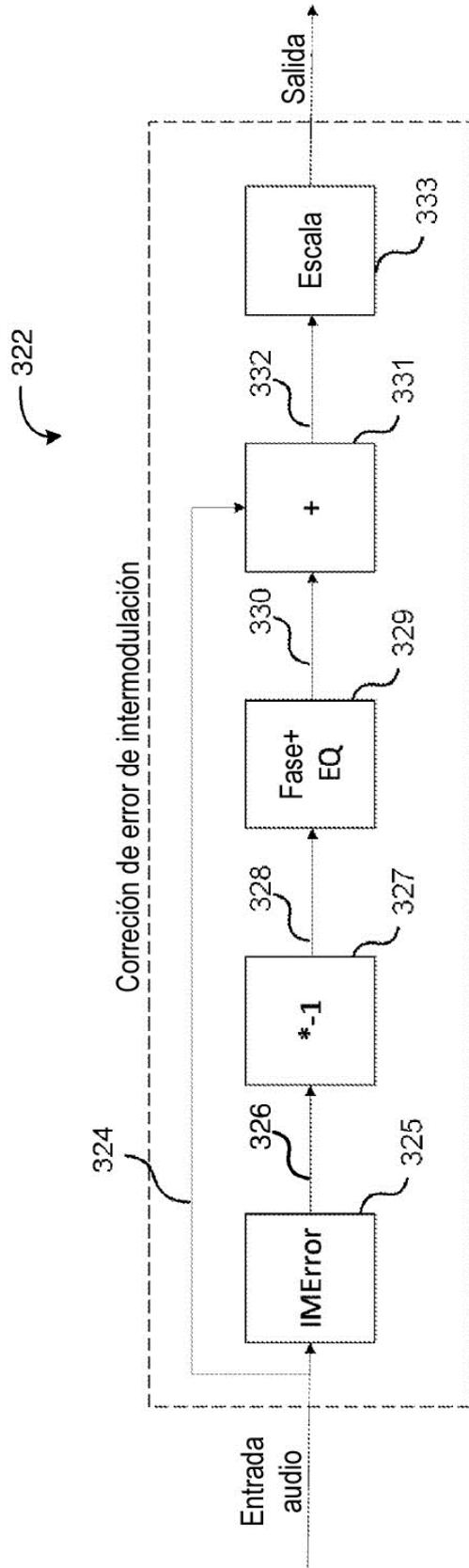


Fig. 8

370

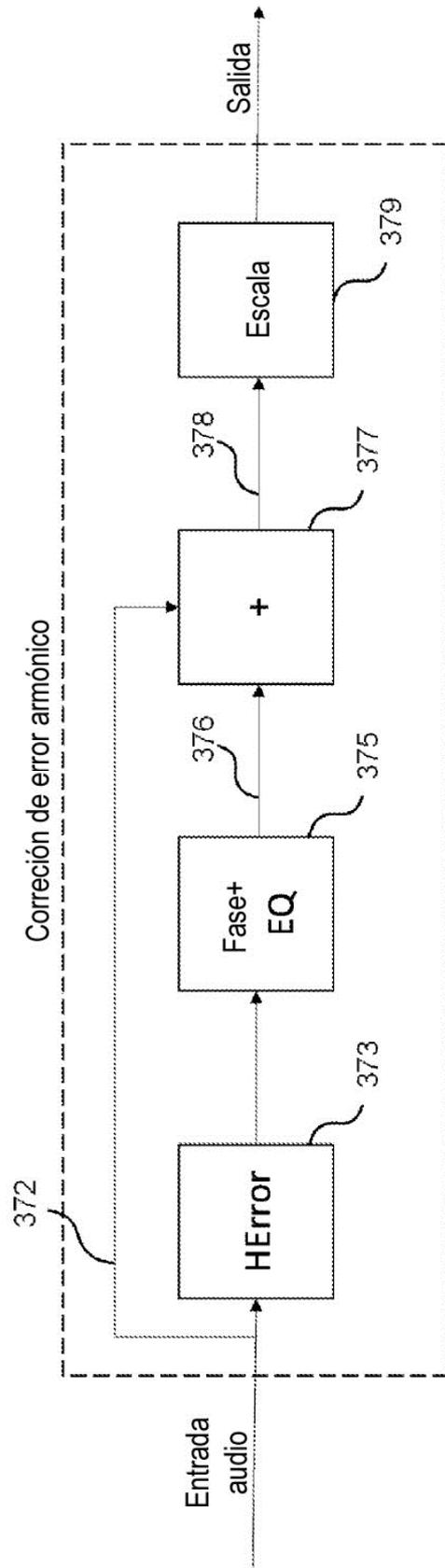


Fig. 9

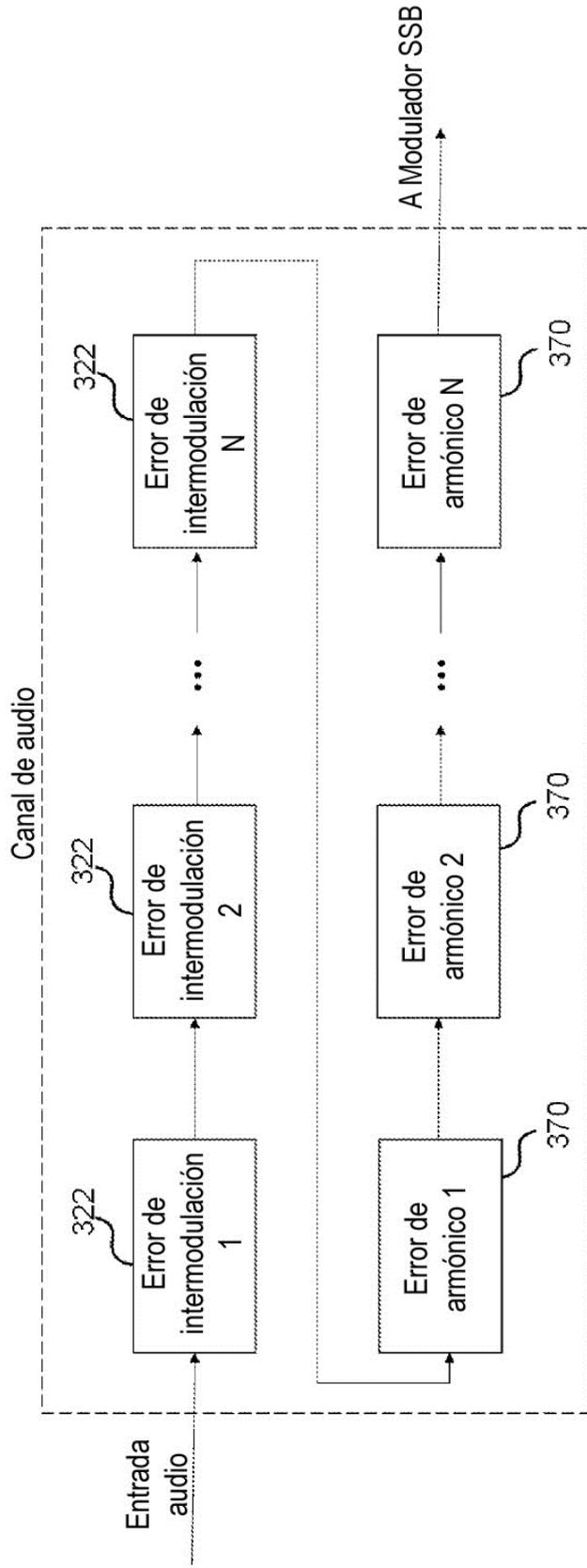


Fig. 10

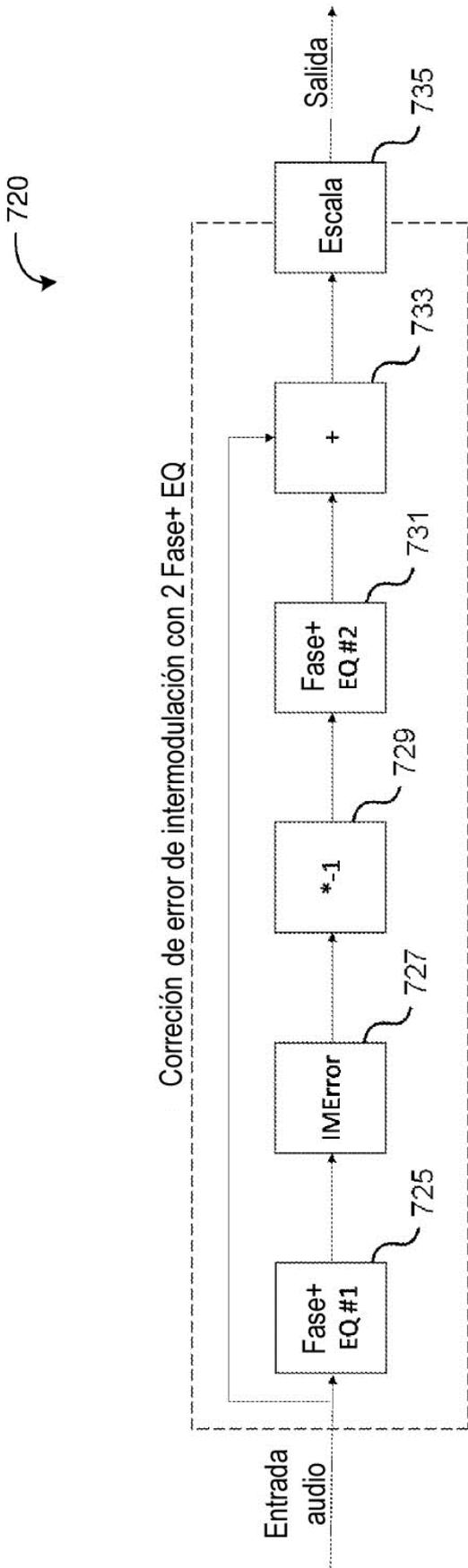


Fig. 11

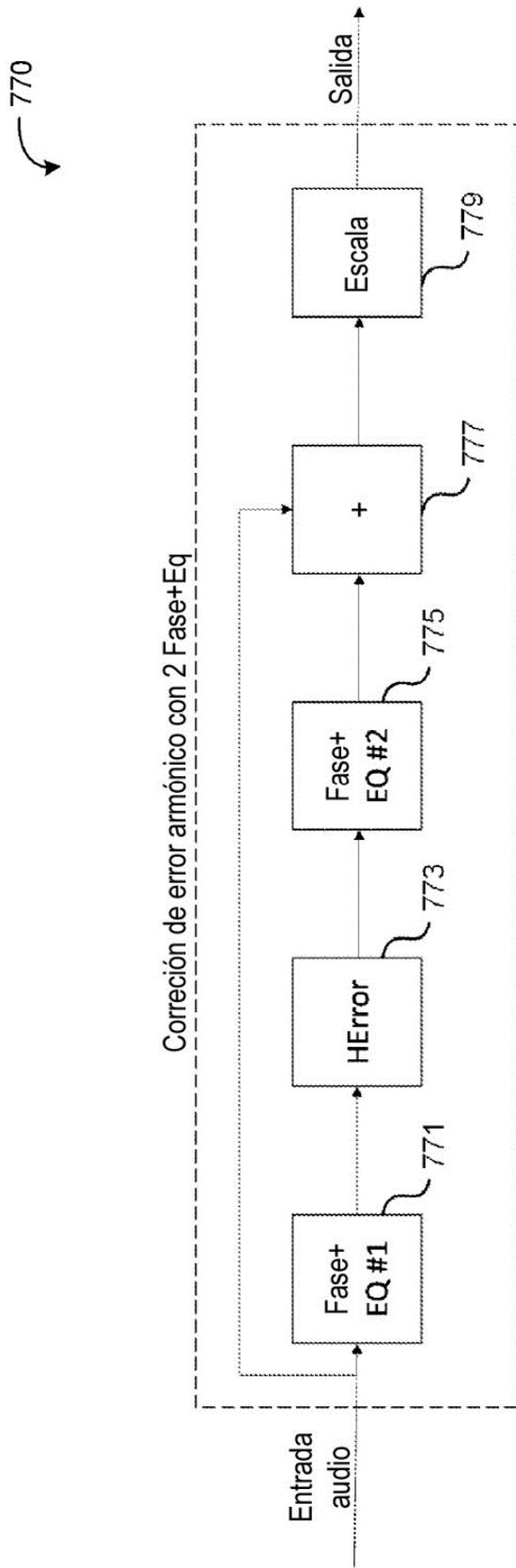


Fig. 12

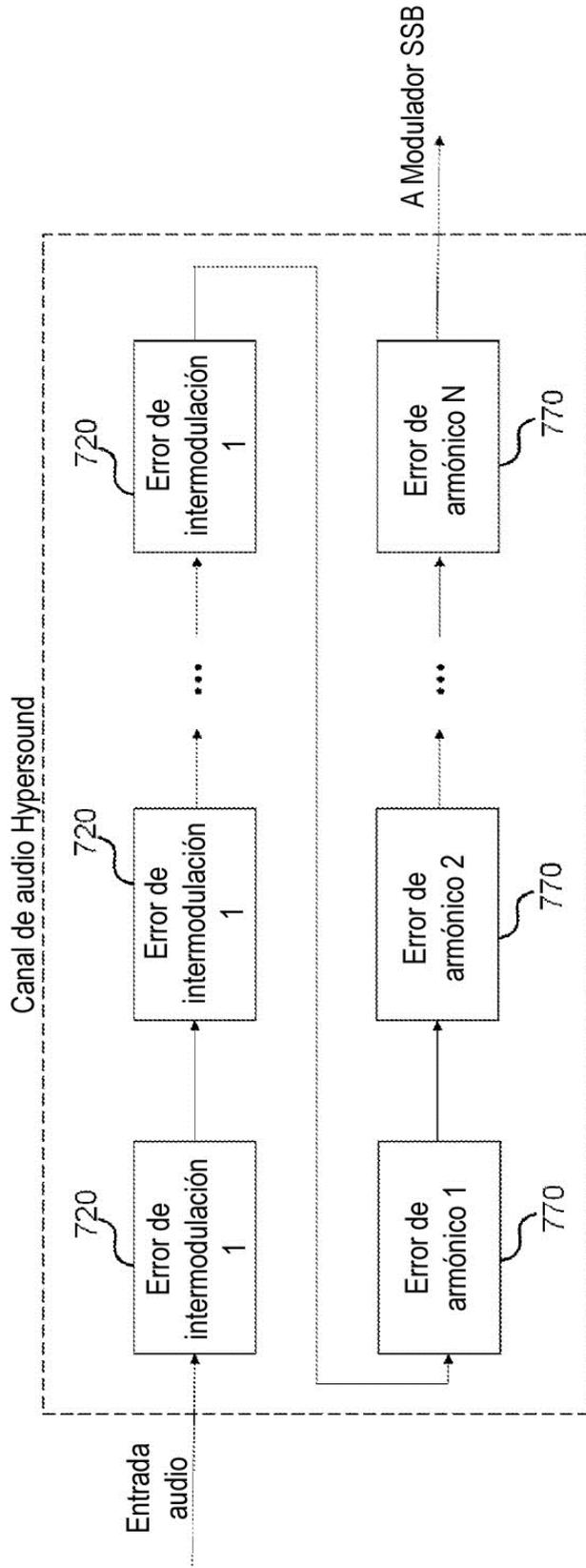


Fig. 13

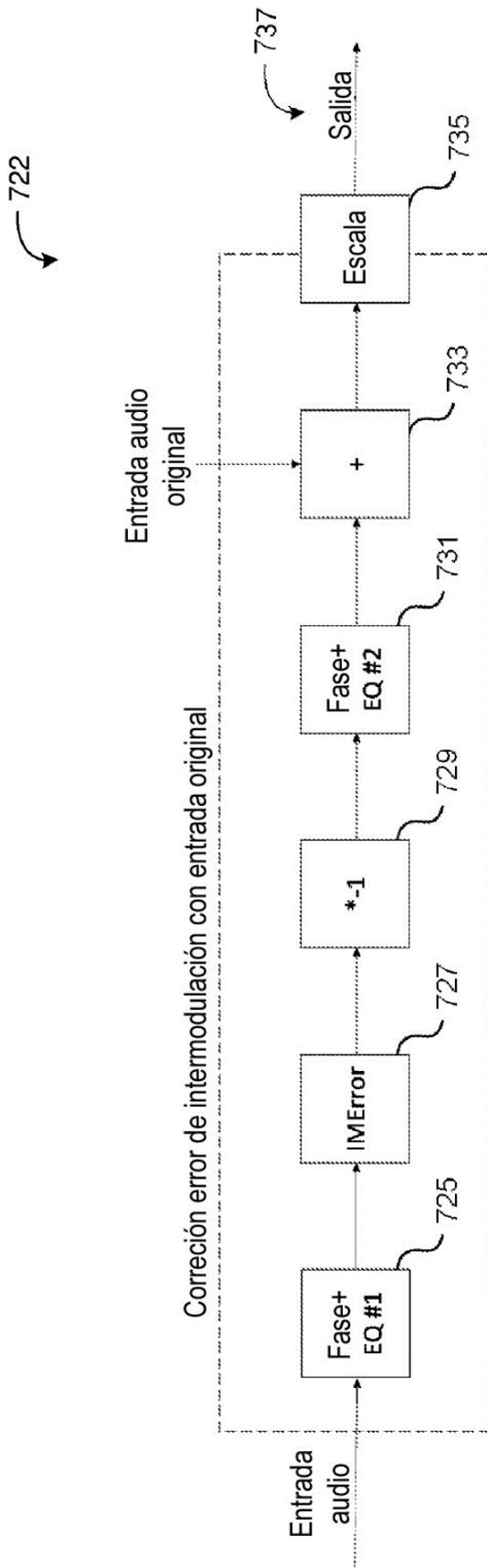


Fig. 14

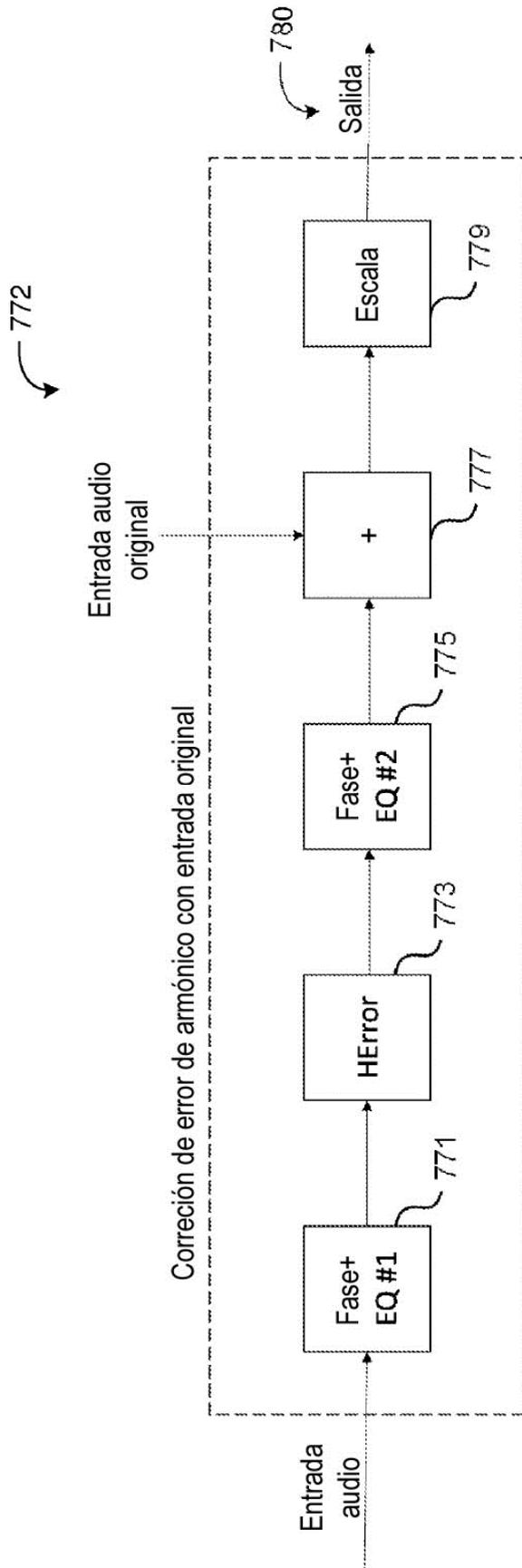


Fig. 15

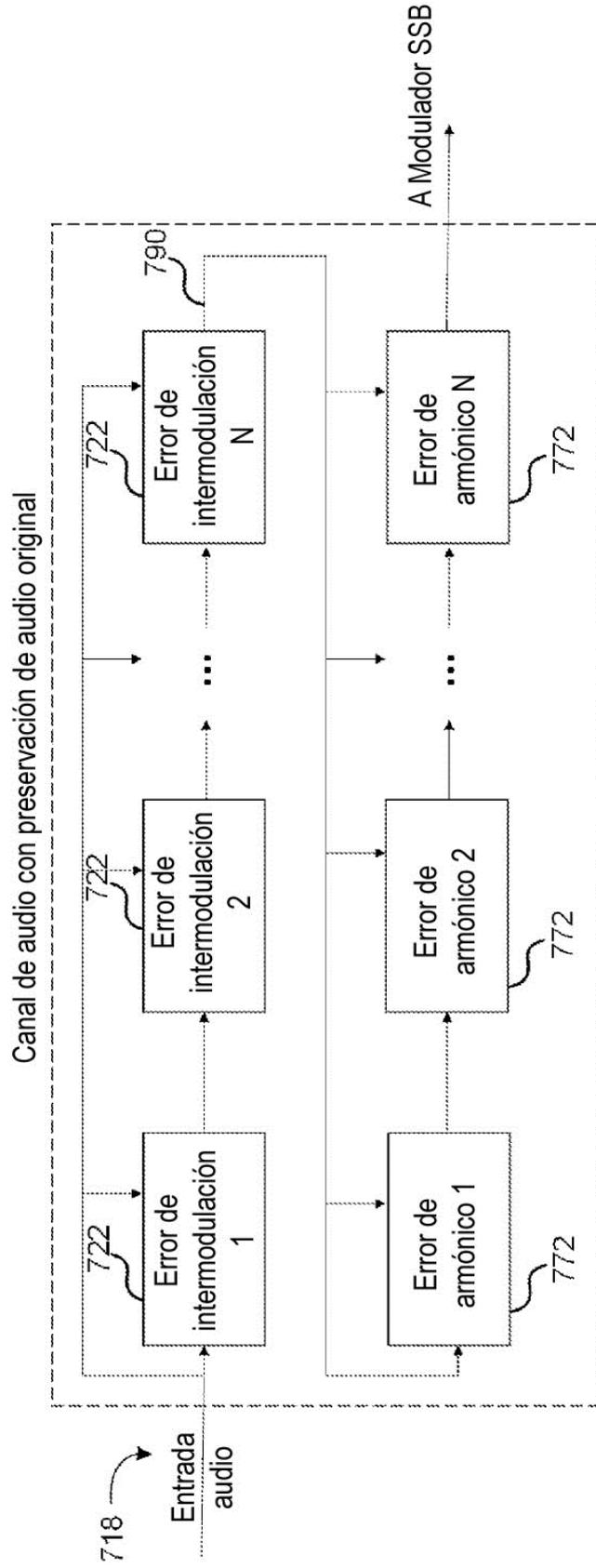


Fig. 16

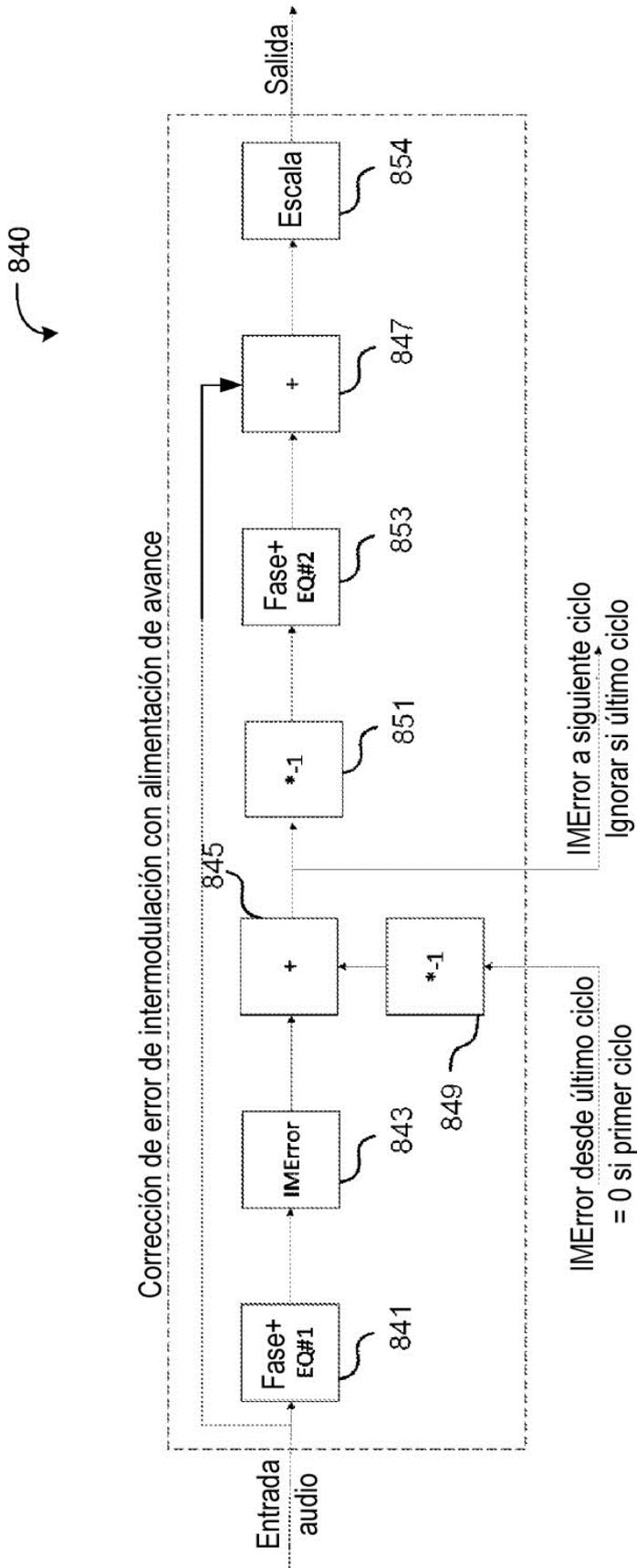


Fig. 17

870

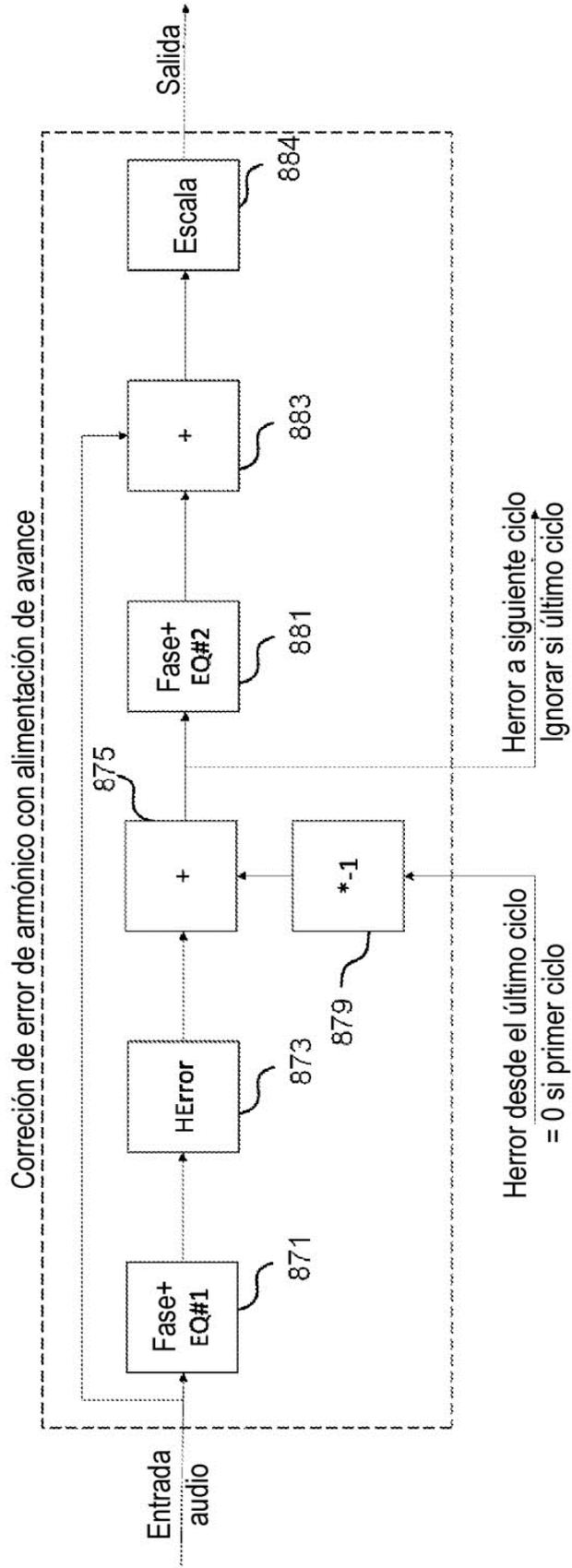


Fig. 18

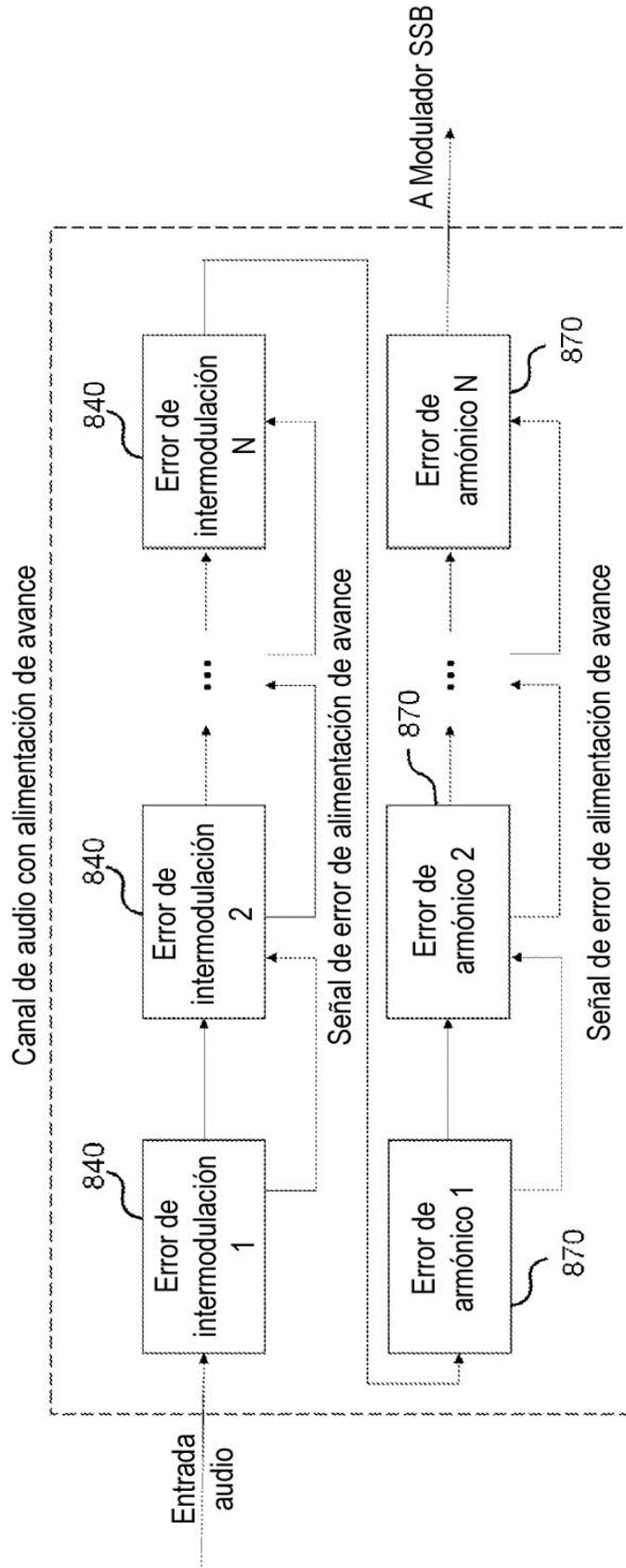


Fig. 19

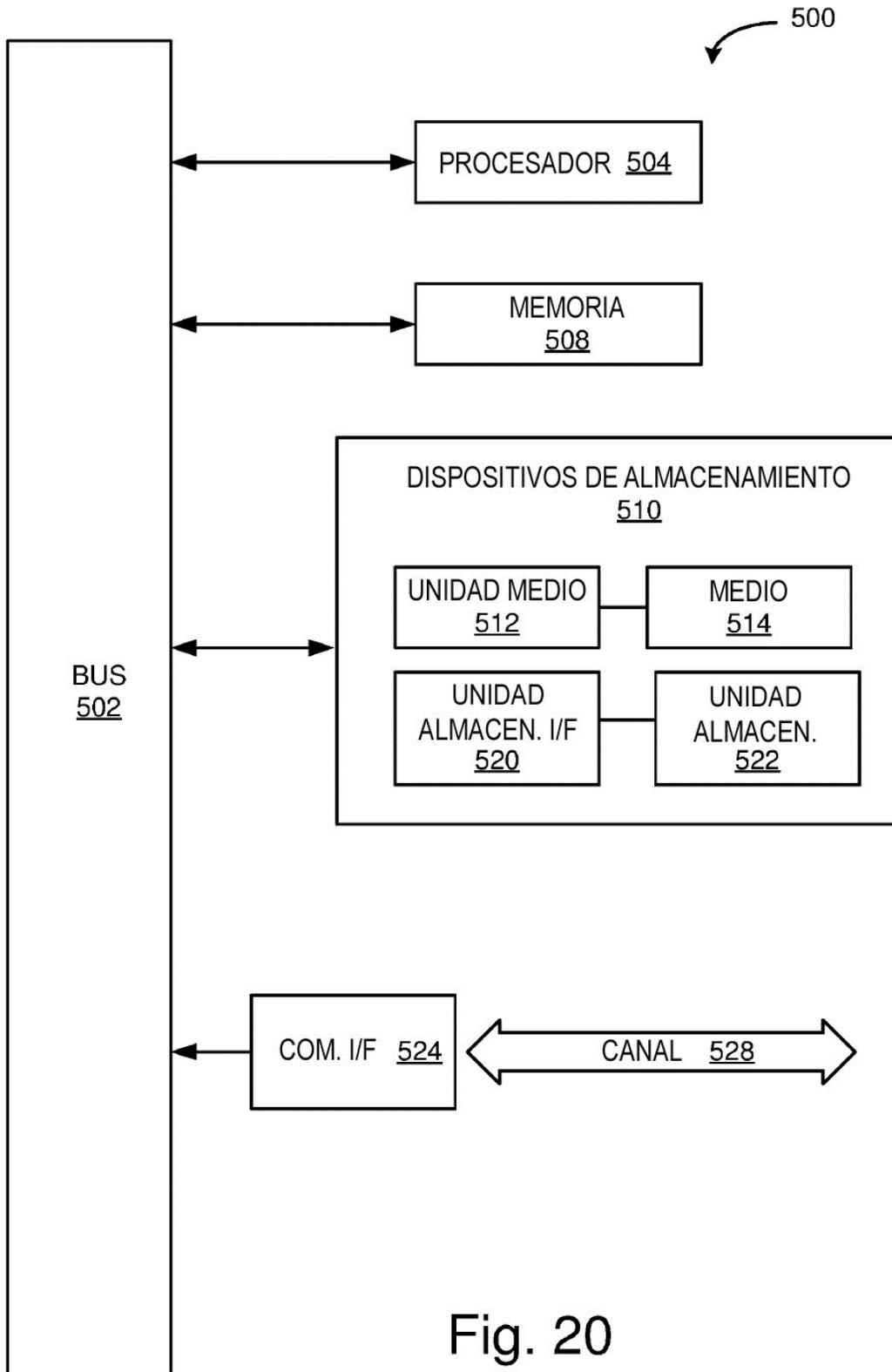


Fig. 20