

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 821 020**

51 Int. Cl.:

A61B 5/12 (2006.01)

H04R 25/00 (2006.01)

A61M 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.10.2013 PCT/EP2013/003042**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.05.2014 WO14075753**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.10.2013 E 13779520 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.06.2020 EP 2919652**

54 Título: **Procesamiento de señales de audio para el tratamiento de acúfenos**

30 Prioridad:

13.11.2012 DE 102012220620

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

23.04.2021

73 Titular/es:

**SONORMED GMBH (100.0%)
Neuer Kamp 30
20357 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**NÖTZEL, MARC ADRIAN;
WITTIG, JOHANNES ABRAXAS;
LAND, JÖRG y
LANZ, MATTHIAS**

74 Agente/Representante:

BOTELLA REYNA, Juan

ES 2 821 020 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

Procesamiento de señales de audio para el tratamiento de acúfenos

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para procesar señales de audio para un tratamiento de acúfenos subjetivos con una frecuencia de acúfeno individual. La presente invención también se refiere a un programa informático.

10 La percepción de sonidos sin la existencia de una fuente de sonido interna o externa se conoce como acúfenos subjetivos. Los acúfenos son a menudo una enfermedad crónica y generalmente ocurren con una frecuencia de acúfeno individual y constante. La causa fisiológica de esto suele ser una actividad neuronal anormal en la corteza auditiva primaria.

15 Un posible tratamiento para aliviar unos acúfenos subjetivos se basa en el principio de reducir la actividad neuronal anormal en la corteza auditiva mediante inhibición lateral, ya que esto estimula una normalización terapéuticamente eficaz de esta actividad neuronal debido a la plasticidad neuronal.

20 Se entiende por inhibición lateral, en particular, una interconexión característica de las células nerviosas en el sistema nervioso central, que provoca que determinadas células nerviosas se estimulen cuando se produce un estímulo periférico y se inhibe la actividad de otras células nerviosas para la percepción de estímulos comparables.

25 En consecuencia, el tratamiento consiste en escuchar sonidos o música en los que se han filtrado las partes de frecuencia en el intervalo de la frecuencia de los acúfenos. Por ejemplo, para esto se usa ruido blanco, a partir del cual se pueden generar datos terapéuticos para cualquier frecuencia de acúfeno, porque el ruido blanco presenta un espectro de frecuencia muy amplio y uniforme. Sin embargo, a largo plazo, los pacientes perciben el ruido blanco como molesto y desagradable. Esto reduce la disposición a utilizar el tratamiento de forma regular y permanente.

30 La música es más agradable de escuchar, aunque hasta ahora solo se ha considerado adecuada la música de una calidad de audio en particular alta con procesamiento profesional. Dado que también se requiere un procesamiento individual para cada paciente individual, un paciente generalmente solo tiene algunas piezas musicales distintas disponibles para el tratamiento. Además, estos a menudo no se corresponden con las preferencias personales del paciente.

35 El documento DE 10 2011 001 793 A1 describe un audífono y un procedimiento para configurar y operar un audífono. El audífono presenta un filtro que está configurado para reducir o cortar una señal de sonido ambiental en un intervalo de frecuencias predeterminado. Esto tiene como objetivo crear una impresión auditiva agradable para el paciente con acúfenos y aumentar la inteligibilidad del habla.

40 El documento WO 2008/087157 A2 describe un dispositivo para tratar acúfenos, donde una señal de audio generada por medio de un generador adecuado se filtra en el intervalo de una frecuencia de acúfeno. Aquí, la señal de audio generada es ruido blanco, por ejemplo.

45 El documento WO 2011/127930 A1 describe un audífono y un procedimiento para aliviar unos acúfenos. El audífono incluye un filtro de banda conmutable y, por tanto, permite el tratamiento de acúfenos con música que se percibe individualmente como agradable.

50 En base al estado de la técnica, el objeto de la presente invención es mejorar la disponibilidad de datos de audio adecuados para el tratamiento de acúfenos y, en particular, permitir el tratamiento de acúfenos basado en datos de audio seleccionados según las preferencias personales.

Este objetivo se logra mediante un procedimiento para procesar señales de audio, en particular para un tratamiento de acúfenos subjetivos con una frecuencia de acúfeno individual, que comprende las etapas del procedimiento siguientes:

55 - proporcionar una primera señal de audio,

60 - determinar un intervalo de corte en el espectro de frecuencia de la primera señal de audio con un ancho de frecuencia predeterminable basado en una frecuencia terapéutica predeterminable, donde el filtro es un filtro de corte de banda a través del cual se eliminan total o parcialmente partes de señal de la primera señal de audio con frecuencias en el intervalo de corte cuando se genera la segunda señal de audio,

- crear una segunda señal de audio a partir de la primera señal de audio usando un filtro para una parte de señal de la primera señal de audio en el intervalo de corte,

5 - determinar una energía auditiva de la primera señal de audio o de la segunda señal de audio dentro de al menos un intervalo de frecuencias predeterminado o predeterminable terapéuticamente utilizable, y

10 - determinar un parámetro de evaluación para la segunda señal de audio en función de la energía auditiva y una diferencia de frecuencia entre el intervalo de frecuencias terapéuticamente utilizable y el intervalo de corte, donde el parámetro de evaluación se define de manera adecuada para indicar cuánto se inhibe la actividad de las neuronas tonotópicas a la frecuencia terapéutica o al intervalo de corte por medio de inhibición lateral, debido a la estimulación de las neuronas tonotópicas al intervalo de frecuencias terapéuticamente utilizable cuando se escucha la segunda señal de audio.

15 Una ventaja de la invención es que, en principio, cualquier señal de audio se puede utilizar como primera señal de audio, donde mediante el parámetro de evaluación se proporciona una medida objetiva de hasta qué punto es adecuada la segunda señal de audio para el tratamiento de los acúfenos con la frecuencia de acúfeno individual del caso individual en cuestión. La segunda señal de audio preferentemente solo se libera o se usa para el tratamiento de acúfenos si el parámetro de evaluación está por encima de un valor límite de parámetro de evaluación predeterminable.

20 El parámetro de evaluación está adecuadamente definido para indicar en qué medida se inhibe la actividad de las neuronas tonotópicas a la frecuencia del tratamiento o al intervalo de corte mediante la inhibición lateral, debido a la estimulación de las neuronas tonotópicas al intervalo de frecuencias terapéuticamente utilizable cuando se escucha la segunda señal de audio. Para ello, por ejemplo, se tienen en cuenta el conocimiento y los modelos de la funcionalidad del oído humano, en particular la inhibición lateral entre las neuronas de la corteza auditiva primaria.

Por tanto, el parámetro de evaluación es, en particular, una medida objetiva de cuánto se inhibe la actividad anormal de las neuronas que provocan los acúfenos cuando se escucha la segunda señal de audio. Dado que este es el objetivo del tratamiento de acúfenos, se puede determinar el parámetro de evaluación respectivo para las señales de audio existentes que hayan demostrado empíricamente que son adecuadas o inadecuadas en el tratamiento de acúfenos, y se indica hasta qué punto es adecuada la segunda señal de audio para el tratamiento de acúfenos mediante la comparación con el parámetro de evaluación determinado para la segunda señal de audio.

35 Otra ventaja de la invención es que el parámetro de evaluación permite un control específico del tratamiento. Por ejemplo, al tener en cuenta el parámetro de evaluación, el médico responsable puede especificar con qué frecuencia o durante cuánto tiempo se deberá escuchar la segunda señal de audio para el éxito óptimo del tratamiento.

40 El filtro utilizado según la invención es un filtro de corte de banda mediante el cual las partes de la señal de la primera señal de audio con frecuencias en el intervalo de corte se eliminan total o parcialmente cuando se genera la segunda señal de audio. El efecto del filtro de corte de banda deberá limitarse en la medida de lo posible al intervalo de corte, de modo que, en particular, la primera señal de audio y la segunda señal de audio fuera del intervalo de corte coincidan esencialmente.

45 El intervalo de frecuencias terapéuticamente utilizable se especifica en particular de tal manera que no haya solapamiento con el intervalo de corte. Por lo tanto, la energía auditiva de la primera señal de audio dentro del intervalo de frecuencias terapéuticamente utilizable no difiere esencialmente de la de la segunda señal de audio.

50 Se entiende por energía auditiva, en particular, la energía sonora de una señal de audio que se suma o integra en todas las frecuencias de un intervalo de frecuencias. Un intervalo de frecuencias también puede entenderse como un ancho de banda. La energía auditiva dentro de un intervalo de frecuencias se correlaciona así con la fuerza de una estimulación de las neuronas tonotópicas a este intervalo de frecuencias.

55 El procedimiento según la invención preferentemente se caracteriza porque la primera señal de audio y/o la segunda señal de audio es en cada caso una señal de audio digital, en particular un archivo de audio digital o un flujo de datos de audio digital.

60 Un archivo de audio digital deberá entenderse en particular como una señal de audio digital almacenada a la que se puede acceder de forma repetida y asíncrona. Por el contrario, se entiende por flujo de datos de audio, en particular, una señal de audio que está disponible una vez y/o de forma síncrona o en tiempo real.

La primera señal de audio se normaliza preferentemente antes de que se genere la segunda señal de audio. Esto mejora la relación señal/ruido de la segunda señal de audio y, en particular, reduce los efectos de ruido que se producen cuando se genera la segunda señal de audio, en particular cuando se usa el filtro.

5 Por normalización o modulación se entiende en el alcance de la invención en particular que la primera señal de audio se escala de tal manera que el valor de señal más alto dentro de la primera señal de audio corresponda a un valor máximo predeterminado y/o el valor de señal más bajo dentro de la primera señal de audio corresponda a un valor mínimo predeterminado. En el caso de señales digitales, el valor máximo y el valor mínimo se determinan, por ejemplo, por la longitud de la palabra de cuantificación de la primera señal de audio.

10

En una señal de audio digital, se entiende por longitud de palabra de cuantificación, en particular, el tamaño o longitud de palabra de la información digital para codificar un valor de impulso codificado individual. Con una longitud de palabra de cuantificación de 16 bits, por ejemplo, están disponibles 65536 valores discretos distintos para codificar el impulso codificado de la señal de audio.

15

Preferentemente, como una etapa adicional del procedimiento, se corrige la primera señal de audio y/o la segunda señal de audio mediante un dispositivo de reproducción con una respuesta de frecuencia no lineal para compensar los picos y/o atenuaciones dependientes de la frecuencia.

20 La primera señal de audio se corrige preferentemente cuando se genera la segunda señal de audio o antes. La corrección también se puede realizar en la segunda señal de audio.

En este contexto, la corrección significa en particular que las frecuencias atenuadas debido a una respuesta de frecuencia no lineal del dispositivo de reproducción aumentan correspondientemente en la señal de audio y las frecuencias que aumentan debido al dispositivo de reproducción se atenúan correspondientemente en la señal de audio.

25

Un dispositivo de reproducción es en particular un altavoz, auriculares o un dispositivo de reproducción portátil o no portátil, por ejemplo, un sistema estéreo o un reproductor MP3.

30

La primera señal de audio o la segunda señal de audio se corrige preferentemente mediante un filtro. Los coeficientes de filtro necesarios para ello proceden, por ejemplo, de una base de datos en la que se archivan o almacenan coeficientes de filtro para una pluralidad de dispositivos de reproducción conocidos, por ejemplo, un gran número de modelos de auriculares disponibles para su uso repetido.

35

Un filtro utilizado en un procedimiento según la invención es preferentemente un filtro con una respuesta de impulso finita. Estos filtros también se conocen como filtros FIR (del inglés *Finite Impulse Response*, respuesta de impulso finita) o filtros transversales. Un filtro con una respuesta de impulso finita se puede implementar ventajosamente como un filtro digital y es estable debido a su diseño. De esta manera, en particular, se excluyen las oscilaciones no deseadas

40

El intervalo de frecuencias terapéuticamente utilizable se analiza preferentemente dividido en intervalos de frecuencias, donde una energía auditiva de la primera señal de audio o de la segunda señal de audio se determina dentro de cada intervalo de frecuencias, y el parámetro de evaluación se determina en función de la energía auditiva respectiva y una distancia de frecuencia respectiva entre el intervalo de corte y el intervalo de frecuencias respectivo teniendo en cuenta todos los intervalos de frecuencias. Por lo tanto, se puede tener en cuenta que la inhibición lateral generalmente disminuye al aumentar la distancia de frecuencia, como resultado de lo cual aumenta la correlación entre los parámetros de evaluación y la inhibición real de la actividad neuronal. Al mismo tiempo, el uso de intervalos de frecuencias reduce considerablemente el gasto para el análisis en comparación con un análisis del espectro de frecuencia continuo.

50

Los intervalos de frecuencias se seleccionan preferentemente en función del oído humano y cada uno tiene, por ejemplo, un ancho de frecuencia de 1/3 Barks o 1/3 ERB. Estas dos escalas están vinculadas de forma no lineal con la frecuencia y tienen en cuenta el comportamiento de frecuencia logarítmica del oído humano en un intervalo amplio.

55

Además, para determinar el parámetro de evaluación se analiza preferentemente la primera señal de audio o la segunda señal de audio subdividida en secciones cronológicamente sucesivas, donde cada sección comprende en particular una duración predeterminable o un número predeterminable de muestras de audio digitales. Las secciones sucesivas pueden, dentro del alcance de la invención, ser secciones distanciadas, superpuestas o contiguas. De este modo se consigue que el parámetro de evaluación se determine en función del tiempo con una resolución temporal

60

que depende en particular de la duración de una sección. Con una frecuencia de muestreo de 44,1 kHz, una sección comprende 576 muestras de audio, por ejemplo, con lo que se logra un buen compromiso entre resolución de frecuencia y resolución de tiempo. La longitud de las secciones también puede diseñarse variable para obtener tanto secciones con alta resolución temporal como secciones con alta resolución de frecuencia.

5

Se entiende que una muestra de audio significa, en particular, la información de impulso codificado de una señal de audio digitalizada en un momento determinado. La frecuencia de muestreo indica en particular la digitalización o discretización temporal de la señal de audio, es decir, cuántas muestras de audio por unidad de tiempo están codificadas en la señal de audio digital.

10

Si la primera señal de audio o la segunda señal de audio presenta al menos dos canales, cada canal se analiza preferentemente individualmente para determinar el parámetro de evaluación. Como resultado, los cambios de fase entre los dos canales y los efectos correspondientes sobre la inhibición lateral de las neuronas en la corteza auditiva pueden tenerse en cuenta al determinar o calcular el parámetro de evaluación.

15

Alternativamente, el parámetro de evaluación se puede determinar mediante un solo canal o una señal mixta de varios canales. Esto es en particular ventajoso si el gasto de análisis es urgente, por ejemplo, en aplicaciones en tiempo real del procedimiento según la invención.

20 Un procedimiento según la invención se lleva a cabo de manera en particular preferida usando un dispositivo de procesamiento de datos.

El dispositivo de procesamiento de datos está diseñado en particular para el procesamiento digital de señales de audio analógicas y/o digitales, donde las señales de audio analógicas se digitalizan, por ejemplo, mediante el dispositivo de procesamiento de datos antes de que se lleve a cabo el procedimiento según la invención.

25

Un dispositivo de procesamiento de datos adecuado es, por ejemplo, un servidor, un ordenador multimedia o un ordenador portátil, que tienen la ventaja de que están disponibles para todos.

30 El dispositivo de procesamiento de datos está conectado o estará conectado preferentemente a un dispositivo de reproducción mediante una primera conexión de datos, donde la segunda señal de audio se transmite desde el dispositivo de procesamiento de datos al dispositivo de reproducción a través de la primera conexión de datos.

Un dispositivo de reproducción está diseñado en particular para reproducir señales de audio y es, por ejemplo, un ordenador u ordenador portátil, un teléfono inteligente o un reproductor móvil.

35

Las conexiones de datos adecuadas se proporcionan, por ejemplo, a través de una red como Ethernet, LAN (del inglés *Local Area Network*) o WLAN (del inglés: *Wireless Local Area Network*), a través de interfaces estándar como Bluetooth, USB (del inglés: *Universal Serial Bus*) o infrarrojos o como conexión de telecomunicaciones como ISDN, DSL, GSM o UMTS.

40

El dispositivo de procesamiento de datos está o estará conectado preferentemente a una memoria de datos mediante una segunda conexión de datos, donde la primera señal de audio se transmite desde la memoria de datos al dispositivo de procesamiento de datos a través de la segunda conexión de datos.

45

La invención también incluye expresamente aquellas realizaciones en las que el dispositivo de reproducción está diseñado como un dispositivo de almacenamiento de datos. En este caso, la primera conexión de datos y la segunda conexión de datos pueden ser en particular idénticas o pueden establecerse una tras otra.

50 La primera conexión de datos y/o la segunda conexión de datos se establece o se establecerá o se establecen o se establecerán preferentemente a través de una red de datos, en particular a través de Internet.

Independientemente del formato de la primera señal de audio, la segunda señal de audio es, por ejemplo, un archivo de audio que se mantiene listo para su recuperación o descarga a través de la red de datos. La segunda señal de audio también puede ser un flujo de datos de audio que se transmite en tiempo real a través de la red de datos al dispositivo de reproducción.

55

El objeto en el que se basa la invención se logra además mediante un producto de programa informático con medios de código de programa que están diseñados para llevar a cabo un procedimiento según la invención cuando los medios de código de programa se ejecutan en un dispositivo de procesamiento de datos.

60

Los medios de código de programa se almacenan preferentemente en un soporte de datos que puede ser leído por un ordenador. Puede ser un CD, un disquete, un disco duro o un espacio de almacenamiento en un servidor. El almacenamiento también se puede proporcionar en una RAM o ROM o en una memoria de estado sólido o en una memoria de disco duro intercambiada a un servidor.

En el alcance de la invención, se entienden también como productos de programas informáticos los códigos de programa que se almacenan en un servidor de Internet y se ofrecen como descarga para almacenamiento temporal o permanente, instalación y/o uso en un ordenador u ordenador portátil.

El objeto en el que se basa la invención también se logra mediante un sistema informático con un dispositivo de procesamiento de datos que está configurado para llevar a cabo un procedimiento según la invención.

Para este propósito, el sistema informático comprende, por ejemplo, medios de código de programa que están diseñados para realizar un procedimiento según la invención cuando los medios de código de programa se ejecutan en el dispositivo de procesamiento de datos. Como alternativa o adicionalmente, el dispositivo de procesamiento de datos tiene componentes adecuados, por ejemplo, circuitos electrónicos o componentes microelectrónicos, para realizar pasos individuales o todos los pasos del procedimiento.

Otras características de la invención resultarán evidentes a partir de la descripción de realizaciones según la invención junto con las reivindicaciones y los dibujos adjuntos. Las realizaciones según la invención pueden cumplir características individuales o una combinación de varias características.

La invención se describe a continuación sin restringir el concepto inventivo general sobre la base de ejemplos de realización con referencia a los dibujos, donde se hace referencia expresa a los dibujos con respecto a todos los detalles inventivos no explicados con más detalle en el texto. Lo que muestran:

la figura 1 muestra esquemáticamente una implementación ejemplar del procedimiento según la invención,

la figura 2 muestra esquemáticamente la característica de respuesta amplitud/frecuencia de un filtro utilizado según la invención,

la figura 3 muestra esquemáticamente un diagrama de flujo de un filtro de un procedimiento según la invención,

la figura 4 muestra esquemáticamente un diagrama de flujo de un análisis de señales de un procedimiento según la invención,

la figura 5 muestra esquemáticamente otro ejemplo de implementación del procedimiento según la invención,

la figura 6 muestra esquemáticamente otro ejemplo de implementación del procedimiento según la invención,

la figura 7a muestra esquemáticamente una sección de un diagrama de flujo de un filtro de un procedimiento según la invención y

la figura 7b muestra esquemáticamente una sección de un diagrama de flujo de un análisis de señales de un procedimiento según la invención.

En los dibujos, elementos y/o partes idénticos o similares están provistos de los mismos números de referencia, de modo que no se vuelvan a representar.

En la figura 1 se muestra un ejemplo de implementación del procedimiento según la invención. En este caso, se proporciona un servidor 40, al que se puede acceder desde un ordenador cliente 44 a través de una interfaz web correspondiente a través de Internet 42, por ejemplo.

A través del ordenador cliente 44, se transmite una señal de audio original 10, por ejemplo, un archivo de audio almacenado en el ordenador cliente 44, a través de Internet 42 al servidor 40, donde se crea una señal terapéutica 12 mediante un filtro digital 120. Para configurar el filtro, se proporciona una frecuencia individual de acúfenos 20 o una frecuencia terapéutica 20 y, opcionalmente, un ancho de corte 22, en particular un ancho de banda de corte, a través del ordenador cliente 44, que, por ejemplo, han sido determinados por el médico responsable para los acúfenos individuales del paciente. Si no se especifica un ancho de corte 22, se utiliza un valor predeterminado, por ejemplo,

una octava, para el ancho de corte 22.

La señal terapéutica 12 se analiza en un análisis de señal 130 y se determina al menos un parámetro de evaluación 30. En función del contenido de información de ser una medida para la inhibición de la actividad neuronal, el parámetro de evaluación 30 también se denomina a continuación parámetro de inhibición 30.

En una evaluación de parámetros 140, el parámetro de inhibición 30 se compara con los parámetros de referencia para determinar la idoneidad de la señal terapéutica 12 para el tratamiento del acúfeno individual con la frecuencia de acúfeno 20.

10 Los parámetros de referencia se basan, por ejemplo, en señales de referencia que hayan demostrado ser adecuadas o inadecuadas para el tratamiento de los acúfenos en estudios empíricos, donde los parámetros de referencia se predeterminan por medio de los parámetros de inhibición 30 determinados mediante el análisis de señales 130 para las señales de referencia.

15 El resultado de la evaluación de parámetros 140 se transmite al ordenador cliente 44 a través de un diálogo de usuario 150. Al mismo tiempo, el diálogo de usuario 150 proporciona un flujo de datos de audio 160 con la señal terapéutica 12 para su reproducción por medio del ordenador cliente 44 o un archivo de audio 162 con la señal terapéutica 12 para su almacenamiento en el ordenador cliente 44.

20 La característica de respuesta amplitud/frecuencia del filtro 120 se muestra esquemáticamente en la figura 2 en forma de curva característica 60. El eje horizontal corresponde a la frecuencia de la señal de audio a filtrar y el eje vertical a la atenuación del filtro.

25 La curva característica 60 del filtro 120 presenta un filtro de corte de banda 70 alrededor de una frecuencia central F_0 , que corresponde en particular a la frecuencia de acúfeno individual 20. El filtro de corte de banda 70 presenta un intervalo objetivo terapéutico o un intervalo de corte con un ancho de corte 22 que es, por ejemplo, una octava o se especifica como un ancho de corte variable 22. El intervalo de corte define una frecuencia límite inferior F_2 del intervalo objetivo terapéutico o intervalo de corte y una frecuencia límite superior F_3 del intervalo objetivo terapéutico o intervalo de corte, donde el intervalo de corte se dispone, por ejemplo, en una escala de frecuencia logarítmica simétricamente alrededor de la frecuencia central F_0 . La atenuación del filtro de corte de banda 70, en particular la atenuación del filtro en el intervalo objetivo terapéutico, se determina en particular en función de la longitud de palabra de cuantificación M de una señal de audio digital 10 a filtrar y es, por ejemplo, $M * 6 \text{ dB} + 2 \text{ dB}$.

35 Por encima y por debajo del intervalo de corte, el filtro de corte de banda 70 presenta intervalos de transición que se caracterizan por la frecuencia límite inferior F_1 del filtro de corte de banda 70 y la frecuencia límite superior F_4 del filtro de corte de banda 70. El ancho de los intervalos de transición depende de la implementación del filtro 120 respectivo, donde un ancho decreciente de los intervalos de transición en el caso de un filtro 120 implementado digitalmente se asocia con un mayor gasto de cálculo y, por lo tanto, con un mayor gasto de tiempo en la generación de la señal del tratamiento 12. El filtro 120 está diseñado o configurado preferentemente de tal manera que la anchura de los intervalos de transición sea pequeña en comparación con la anchura de corte 22. Por ejemplo, el ancho de los intervalos de transición es un cuarto de tono en cada caso si el ancho de corte 22 es una octava o seis etapas de tono completo.

45 Fuera de las regiones de transición, la curva característica 60 del filtro 120 presenta los respectivos intervalos de paso en los que la señal de audio a filtrar permanece esencialmente sin cambios. En estos intervalos, la atenuación es correspondientemente cero.

50 Una implementación ejemplar del filtro digital 120 se muestra en la figura 3. Los parámetros de entrada para el filtro 120 son la señal de audio original 10, que es en particular una señal de audio digital, la frecuencia de acúfeno individual 20 y el ancho de corte 22.

En una unidad de procesamiento de señales 210, la señal de audio original 10 se decodifica y, si es necesario, se convierte en un formato PCM lineal (del inglés: *Pulse Code Modulation*, modulación por impulsos codificados), siempre que la señal de audio original 10 no esté todavía en dicho formato.

55 La señal de audio procesada de esta forma se somete a una normalización 212 para mantener baja la relación señal/ruido de la señal de audio filtrada. Si la respuesta escalonada del filtro 120 produce sobremodulaciones, la señal de audio también se reduce en una atenuación lineal 214 en aproximadamente la altura de las sobremodulaciones para evitar distorsiones en la señal de audio filtrada.

60

Además, en una determinación de parámetros 220, se determinan la frecuencia de muestreo de la señal de audio 10 y el ancho de la palabra de cuantificación M de la señal de audio procesada.

El filtrado real de la señal de audio se realiza mediante un filtro FIR 250 mediante convolución numérica con coeficientes de filtro adecuados que se determinaron previamente teniendo en cuenta la frecuencia de muestreo, la longitud de palabra de cuantificación M, la frecuencia de acúfeno individual 20 y el ancho de corte 22 (bloque 240).

En una subsiguiente supresión de ruido 260 se aleatorizan las rondas de digitalización, los denominados «dithering», en la señal de audio filtrada. Finalmente, en un posprocesamiento de señal 270, la señal de audio filtrada se convierte en un formato de datos libremente seleccionable y se pone a disposición como señal terapéutica 12. Por ejemplo, se usa el formato de datos de la señal de audio original 10.

La figura 4 muestra esquemáticamente un diagrama de flujo de una implementación ejemplar del análisis de señal 130. En el lado de entrada, la señal de audio original 10 o la señal terapéutica 12, la frecuencia de acúfeno 20 y el ancho de corte 22 se alimentan al análisis de señal 130.

La señal de audio a analizar 10, 12 se analiza en secciones, donde una sección comprende, por ejemplo, 576 muestras de audio a una frecuencia de muestreo de 44,1 kHz y que a continuación se denomina gránulo. Además, el canal estéreo izquierdo y el canal estéreo derecho de la señal de audio se pueden analizar individualmente si están disponibles.

Cada gránulo de la señal de audio 10, 12 a analizar se analiza en el intervalo de frecuencias basado en la funcionalidad del oído humano. El modelado de la audición humana generalmente se basa en filtros auditivos con anchos de banda distintos y en su mayoría relativos. Tales son, por ejemplo, los grupos de frecuencia según Zwicker, es decir, la llamada escala Bark, o el ancho de banda rectangular equivalente, es decir, la llamada escala ERB (en inglés *Equivalent Rectangular Bandwidth*, ancho de banda rectangular equivalente) según Moore. Tanto la escala Bark como la escala ERB están vinculadas de forma no lineal a la frecuencia y se seleccionan de tal manera que la división de la escala en segmentos de escala con números enteros corresponde al procesamiento de la señal del oído humano. Para un análisis más diferenciado, cada sección de la escala se puede dividir en varias, por ejemplo, tres partes. Dicha parte se denomina a continuación banda de partición y tiene un ancho de 1/3 Barks o 1/3 ERB, por ejemplo.

En cada gránulo de la señal de audio 10, 12 a analizar, se determina una energía auditiva contenida en la banda de partición para cada banda de partición (bloque 310). Esto se produce, por ejemplo, por medio de una transformación rápida de Fourier, FFT (del inglés *Fast Fourier Transformation*), y al asumir un nivel de presión acústica que, cuando se escucha la señal de audio 10, 12, conduce a un volumen que se percibe como moderado. Por ejemplo, la señal de audio 10, 12 a analizar se escala de tal manera que el nivel máximo de presión acústica sea aproximadamente 70 dB.

Además, se determina una tonalidad para cada banda de partición en cada gránulo (bloque 320). La tonalidad es una medida que determina si un evento acústico es ruidoso, es decir, de banda ancha, o tonal, es decir, de banda estrecha. Puede determinarse, por ejemplo, mediante la previsibilidad o periodicidad de la señal de audio en el tiempo, por lo que para ello es necesaria una consideración de varias secciones de tiempo sucesivas de la señal de audio a analizar 10, 12. Por tanto, se prefieren procedimientos de determinación alternativos, por ejemplo, basados en la distribución de la energía sonora en el espectro de frecuencias del gránulo actualmente analizado, en particular dentro de las bandas de partición individuales del gránulo.

Si la banda de partición actual se encuentra total o parcialmente fuera del intervalo objetivo terapéutico, primero se determina una fuerza de excitación de la banda de partición actual en función de la energía auditiva y la tonalidad (bloque 330), donde se puede tener en cuenta que los eventos acústicos ruidosos se perciben más fuertes o más altos a la misma presión acústica que los eventos acústicos tonales. También se puede tener en cuenta que las frecuencias más altas se perciben más débiles o menos altas que tonos más bajos a la misma energía sonora, por ejemplo, al reducir la fuerza de excitación cuando la banda de partición actual está por encima de la frecuencia de acúfeno 20 o por encima del intervalo objetivo terapéutico. La fuerza de excitación es una medida de la estimulación de las neuronas tonotópicas de la corteza auditiva primaria para la banda de partición actual.

A partir de la fuerza de excitación para la banda de partición actual, se determina una fuerza de atenuación para todas las demás bandas de partición (bloque 332), que es una medida de la inhibición lateral de las neuronas tonotópicas para las otras bandas de partición. Para ello se utilizan en particular funciones de difusión neuroacústicas o psicoacústicas. En particular, se tiene en cuenta que el alcance de la inhibición lateral depende en gran medida de la fuerza de excitación o de la fuerza de estimulación de las neuronas tonotópicas para la banda de partición actual. Cuanto mayor sea la fuerza de excitación, mayor será el intervalo de frecuencias o el número de bandas de partición

adyacentes en las que la inhibición lateral muestra efectos relevantes. Si se utilizan funciones de dispersión psicoacústicas determinadas empíricamente, preferentemente se lleva a cabo una corrección utilizando las curvas de frecuencia del mismo volumen (isófonas) según la norma ISO 226:2003, en particular para compensar las propiedades de evaluación de frecuencia del oído externo, medio e interno.

5

Si la banda de partición actual se encuentra dentro del intervalo objetivo terapéutico, que está predeterminado en particular por la frecuencia de acúfeno 20 y el ancho de corte 22, también se determina una fuerza de excitación (bloque 334). Se hace una distinción según si la señal de audio 10, 12 a analizar es una señal de audio original o sin filtrar 10 o una señal terapéutica 12.

10

En el caso de una señal de audio sin filtrar 10, la fuerza de excitación se establece en cero. En consecuencia, la señal de audio sin filtrar 10 se trata como si se hubiera procesado con un filtro de corte de banda con atenuación ideal con intervalos de transición infinitamente estrechos.

15 En el caso de una señal de audio filtrada o una señal terapéutica 12, la fuerza de excitación se determina, como en el caso de una banda de partición, fuera del intervalo objetivo terapéutico o intervalo de corte.

Las etapas de análisis 310, 320, 330, 332, 334 descritas anteriormente se repiten para todas las bandas de partición de un gránulo. Después de eso, se dispone de una fuerza de excitación y una pluralidad de fuerzas de atenuación para cada banda de partición del gránulo.

20

Las fuerzas de atenuación para cada banda de partición se combinan cada una en una fuerza de atenuación total para esta banda de partición (bloque 340). Esto se hace, por ejemplo, mediante adición de intensidad, mediante adición no lineal o mediante el cálculo del valor máximo.

25

Opcionalmente, las fuerzas de excitación así como las fuerzas de atenuación total de todas las bandas de partición de un gránulo se corrigen con respecto a las de uno o más gránulos distintos (bloque 350).

30 Al corregir uno o más gránulos anteriores, se puede tener en cuenta, por ejemplo, que una fuerte excitación o amortiguación de un intervalo neuronal continúa teniendo efecto durante un corto tiempo incluso después de que el estímulo haya disminuido.

35 De manera correspondiente, mediante la corrección referente a un gránulo simultáneo para otro canal de la señal de audio 10, 12, se puede tener en cuenta que una excitación de las neuronas responsables de un oído puede resultar en la atenuación de las neuronas responsables del otro oído.

40 Las fuerzas de atenuación total de esas bandas de partición que se encuentran dentro del intervalo objetivo terapéutico se combinan finalmente para formar un parámetro de inhibición 30 (bloque 360), lo que se lleva a cabo, por ejemplo, mediante adición de intensidad, mediante adición no lineal o mediante el cálculo del valor máximo. Si la señal de audio a analizar es una señal terapéutica 12, las fuerzas de excitación de las bandas parciales que se encuentran dentro del intervalo de corte también se incluyen con signos opuestos.

45 Por lo tanto, finalmente está disponible un parámetro de inhibición 30 para cada gránulo, que es una medida de una inhibición de la actividad neuronal en la corteza auditiva primaria cuando se escucha el gránulo actual de la señal terapéutica analizada 12 o una señal terapéutica generada a partir de la señal de audio no filtrada analizada 10.

A partir de los parámetros de inhibición 30, pueden determinarse otros parámetros que también se correlacionan con la inhibición de la actividad neuronal en la corteza auditiva primaria.

50 En particular, los gránulos simultáneos de dos canales estéreo se pueden combinar en un parámetro de suma y un parámetro de diferencia. El parámetro de suma, para el que se tienen en cuenta los parámetros de inhibición 30 de los gránulos de ambos canales estéreo, en particular con el mismo signo, es, por ejemplo, una medida del potencial terapéutico de la señal de audio 10, 12. Esto también se aplica en el caso de que el tratamiento se lleve a cabo utilizando un altavoz y, por tanto, ambos oídos estén igualmente expuestos a ambos canales estéreo. El parámetro de diferencia, para el cual se tienen en cuenta los parámetros de inhibición 30 de los gránulos de los dos canales estéreo, en particular con signos distintos, por otro lado, indica, por ejemplo, cómo se distribuye el potencial terapéutico de la señal de audio 10, 12 por los canales estéreo. Esto es en particular interesante en el caso de que el tratamiento se lleve a cabo con auriculares y, por tanto, un oído esté expuesto a un canal estéreo.

60 Los parámetros de inhibición 30, los parámetros de suma o los parámetros de diferencia de todos los gránulos de una

señal de audio 10, 12 también se pueden combinar para formar un parámetro global que especifique en consecuencia, en particular, el potencial terapéutico de toda la señal de audio 10, 12. Esto se hace, por ejemplo, mediante adición de intensidad, adición no lineal, determinación del valor máximo o también promediación.

5 La figura 5 muestra esquemáticamente otra implementación del procedimiento según la invención, que difiere de la implementación según la figura 1 porque primero se lleva a cabo el análisis de la señal 130 y se determina el parámetro de inhibición 30.

A continuación, esto se evalúa en la evaluación de parámetros 140, donde la señal terapéutica 12 se determina solo mediante el filtro 120 si la evaluación de parámetros 140 ha demostrado que la señal de audio original 10 es suficientemente adecuada para el tratamiento.

Las implementaciones según las figuras 1 y 5 también se pueden combinar, en cuyo caso el análisis de la señal 130 se lleva a cabo tanto en la señal de audio original 10 como en la señal terapéutica 12.

15 La figura 6 muestra otra forma de realización del procedimiento según la invención, que es en particular adecuado para aplicaciones en tiempo real. En este sentido, el filtrado 120 y el análisis de la señal 130 se llevan a cabo en paralelo, de modo que la señal terapéutica 12 y el parámetro de inhibición 30 están disponibles al mismo tiempo.

20 El procedimiento según la invención también es adecuado para proporcionar o procesar señales de audio para el tratamiento de acúfenos para su uso con dispositivos de reproducción que presenten una respuesta de frecuencia no lineal.

Por ejemplo, los auriculares disponibles comercialmente a menudo tienen una respuesta de frecuencia no lineal debido a su diseño o cuando se manipulan de manera específica, donde la no linealidad generalmente es homogénea y correspondientemente conocida o al menos determinable para todos los modelos de una serie.

Al usar un dispositivo de reproducción no lineal o un dispositivo de reproducción con una respuesta de frecuencia no lineal, se reducen las cualidades terapéuticas de la señal de audio proporcionada para el tratamiento de acúfenos y se falsifica la evaluación de la idoneidad terapéutica de la señal de audio como se describió anteriormente.

Para evitar esto, se proporciona una corrección opcional de la señal de audio proporcionada para el tratamiento dentro del alcance de la invención. Una realización ejemplar de esta corrección se describe en las figuras 7a y 7b.

35 La figura 7a muestra esquemáticamente una sección de un diagrama de flujo de un filtro 120 para un procedimiento según la invención. El filtro 120 corresponde al filtro 120 mostrado en la figura 3, donde la sección mostrada en la figura 7a reemplaza los bloques 214, 240 y 250 de la figura 3.

Delante del filtro FIR 250 se utiliza otro filtro de corrección 251, por ejemplo, diseñado como un filtro FIR, mediante el cual se lleva a cabo una corrección con respecto a la no linealidad del dispositivo de reproducción. Para ello, se utilizan, por ejemplo, coeficientes de filtro 241 o coeficientes de corrección 241 de una base de datos, que se adaptan al dispositivo de reproducción a corregir. El filtro de corrección 251 aumenta aquellas frecuencias en la señal de audio filtrada que se reproduzcan atenuadas debido a la no linealidad del dispositivo de reproducción. De manera correspondiente, esas frecuencias se atenúan en la señal de audio filtrada, que se reproducen en exceso o se amplifican debido a la no linealidad del dispositivo de reproducción.

La corrección realizada en la señal de audio 12 proporcionada para tratamiento también se tiene en cuenta preferentemente al determinar el parámetro de inhibición 30, como se muestra en la figura 7b. La figura 7b muestra una sección de un diagrama de flujo comparable a la figura 4, donde, por ejemplo, la parte superior de la ilustración de la figura 4 se reemplaza por la sección de la figura 7b.

Aquí, antes de que se determine la energía auditiva (bloque 310), se lleva a cabo una simulación de no linealidad 311 para tener en cuenta correctamente la no linealidad del dispositivo de reproducción. La simulación de no linealidad 311 se basa en los coeficientes de corrección 241 ya utilizados para el filtro de corrección 251.

55 Lista de referencias de los dibujos

10	Señal de audio sin filtrar
12	Señal terapéutica
60 20	Frecuencia de acúfeno

22	Ancho de corte
30	Parámetro de inhibición
40	Servidor
42	Internet
5 44	Ordenador cliente
60	Curva característica del filtro
70	Filtro de corte de banda
120	Filtro
130	Análisis de señal
10 140	Evaluación de parámetros
150	Diálogo de usuario
160	Flujo de datos de audio
162	Archivo de audio
210	Procesamiento de señal
15 212	Normalización
214	Atenuación
220	Determinación de parámetros
240	Determinación de coeficientes
241	Coefficiente de corrección
20 250	Filtro FIR
251	Filtro de corrección
260	Supresión de ruido
270	Posprocesamiento de señal
310	Determinación de energía
25 311	Simulación de no linealidad
320	Determinación de tonalidad
330	Determinación de fuerzas de excitación
332	Determinación de fuerzas de atenuación
334	Determinación de fuerzas de excitación
30 340	Combinación
350	Corrección
360	Determinación de parámetros de inhibición
F0	Frecuencia central
F1	Frecuencia límite inferior del filtro de corte de banda
35 F2	Frecuencia límite inferior del intervalo objetivo terapéutico
F3	Frecuencia límite superior del intervalo objetivo terapéutico
F4	Frecuencia límite superior del filtro de corte de banda
M	Longitud de palabra de cuantificación

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para procesar señales de audio (10, 12), en particular para un tratamiento de acúfenos subjetivos con una frecuencia de acúfeno individual, que comprende las etapas del procedimiento siguientes:
- 5 - proporcionar una primera señal de audio (10),
 - determinar un intervalo de corte en el espectro de frecuencia de la primera señal de audio (10) con un ancho de frecuencia predeterminable (22) mediante una frecuencia terapéutica predeterminable (20),
 10 - crear una segunda señal de audio (12) a partir de la primera señal de audio (10) utilizando un filtro (120, 121) para una parte de señal de la primera señal de audio (10) en el intervalo de corte, donde el filtro (120, 121) es un filtro de corte de banda a través del cual las partes de señal de la primera señal de audio (10) con frecuencias en el intervalo de corte se eliminan total o parcialmente al crear la segunda señal de audio (12),
 - determinar una energía auditiva de la primera señal de audio (10) o de la segunda señal de audio (12) dentro de al menos un intervalo de frecuencias predeterminado o predeterminable terapéuticamente utilizable, y
 15 - determinar un parámetro de evaluación (30) para la segunda señal de audio (12) en función de la energía auditiva y una diferencia de frecuencia entre el intervalo de frecuencias terapéuticamente utilizable y el intervalo de corte, donde el parámetro de evaluación (30) se define de manera adecuada para indicar cuánto se inhibe la actividad de las neuronas tonotópicas a la frecuencia terapéutica (20) o al intervalo de corte por medio de inhibición lateral, debido a la estimulación de las neuronas tonotópicas al intervalo de frecuencias terapéuticamente utilizable cuando se escucha la segunda señal de audio (12).
 20
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la primera señal de audio (10) y/o la segunda señal de audio (12) es en cada caso una señal de audio digital, en particular un archivo de audio digital o un flujo de datos de audio digital.
 25
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** la primera señal de audio (10) se normaliza antes de que se genere la segunda señal de audio (12).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** la primera señal de audio (10) y/o la segunda señal de audio (12) se corrige mediante un dispositivo de reproducción con una respuesta de frecuencia no lineal para compensar los picos y/o atenuaciones dependientes de la frecuencia.
 30
5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado porque** la primera señal de audio (10) o la segunda señal de audio (12) se corrige mediante un filtro (251).
 35
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** el filtro (120, 121) utilizado es un filtro con una respuesta de impulso finita.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** el intervalo de frecuencias terapéuticamente utilizable se analiza dividido en intervalos de frecuencias, donde una energía auditiva de la primera señal de audio (10) o de la segunda señal de audio (12) se determina dentro de cada intervalo de frecuencias, y el parámetro de evaluación (30) se determina en función de la energía auditiva respectiva y una distancia de frecuencia respectiva entre el intervalo de corte y el intervalo de frecuencias respectivo teniendo en cuenta todos los intervalos de frecuencias del intervalo de frecuencias terapéuticamente utilizable.
 40
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** para la determinación del parámetro de evaluación (30) se analiza la primera señal de audio (10) o la segunda señal de audio (12) dividida en secciones sucesivas, donde en particular cada sección comprende una duración predeterminable o un número predeterminable de muestras de audio digital.
 45
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** la primera señal de audio (10) o la segunda señal de audio (12) presentan al menos dos canales, donde cada canal se analiza individualmente para determinar el parámetro de evaluación (30).
 50
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** el procedimiento se realiza mediante el uso de un dispositivo de procesamiento de datos (40).
 55
11. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado porque** el dispositivo de procesamiento de datos (40) está o estará conectado a un dispositivo de reproducción (44) por medio de una primera conexión de datos, donde la segunda señal de audio (12) del dispositivo de procesamiento de datos (40) se transmite al dispositivo de
 60

reproducción (44) a través de la primera conexión de datos.

12. Procedimiento según la reivindicación 10 u 11, **caracterizado porque** el dispositivo de procesamiento de datos (40) está o estará conectado a una memoria de datos (44) mediante una segunda conexión de datos, donde la primera señal de audio (10) se transmite desde la memoria de datos (44) al dispositivo de procesamiento de datos a través de la segunda conexión de datos (40).
13. Procedimiento según la reivindicación 11 o 12, **caracterizado porque** la primera conexión de datos y/o la segunda conexión de datos se establece o se establecerá o se establecen o se establecerán preferentemente a través de una red de datos (42), en particular a través de Internet.
14. Producto de programa informático con medios de código de programa que están diseñados para realizar un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 13 cuando los medios de código de programa se ejecutan en un dispositivo de procesamiento de datos (40).
15. Sistema informático con un dispositivo de procesamiento de datos (40) que está configurado para realizar un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 13.

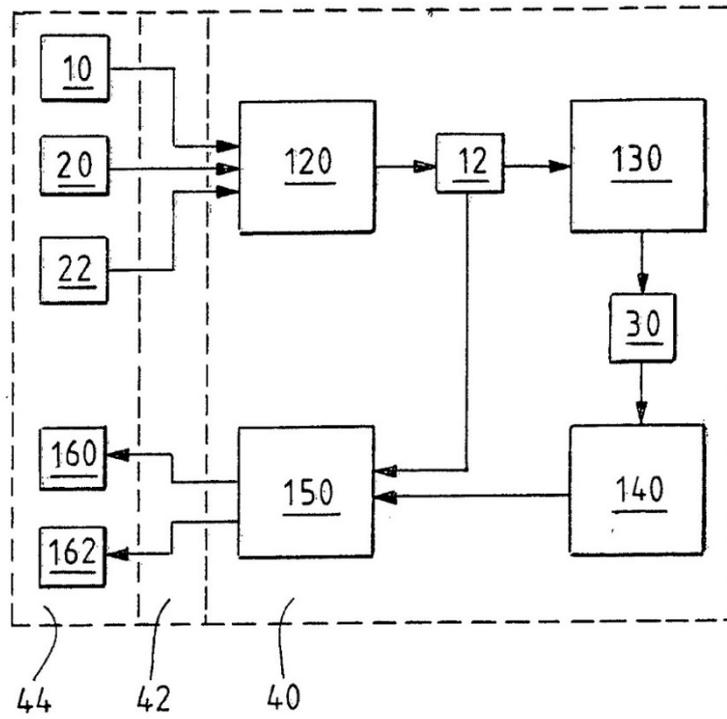


Fig. 1

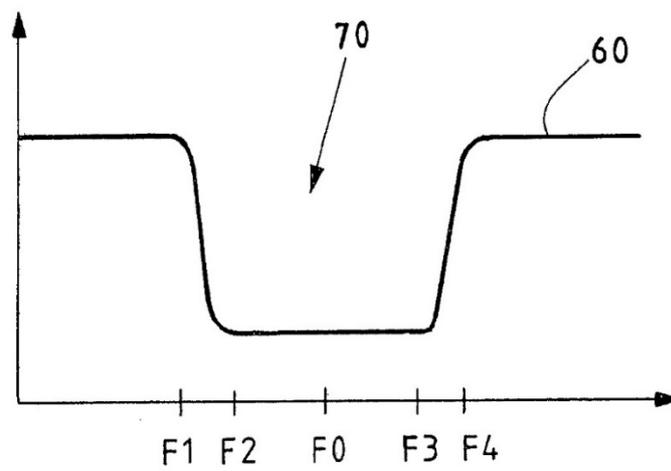


Fig. 2

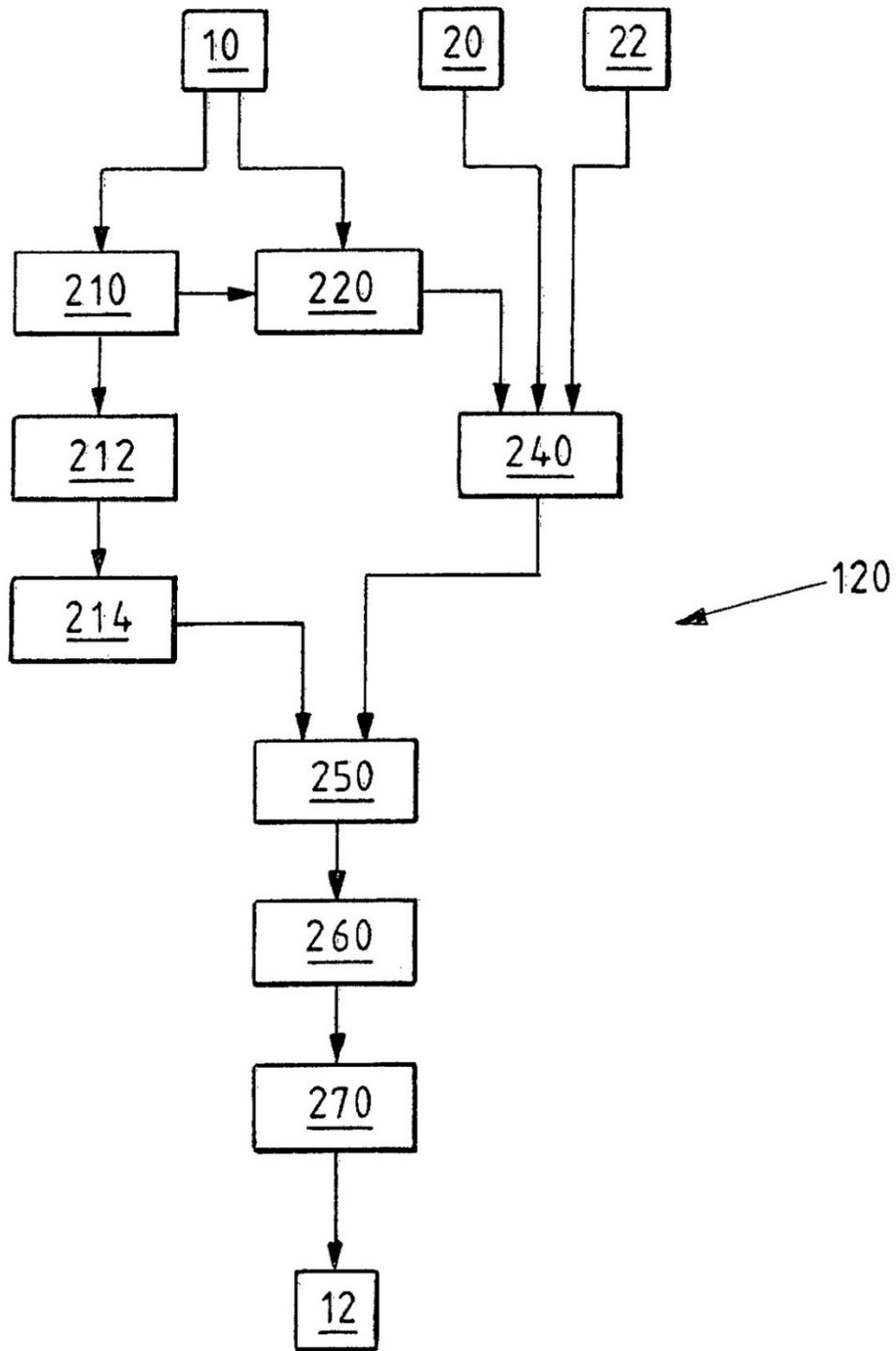


Fig. 3

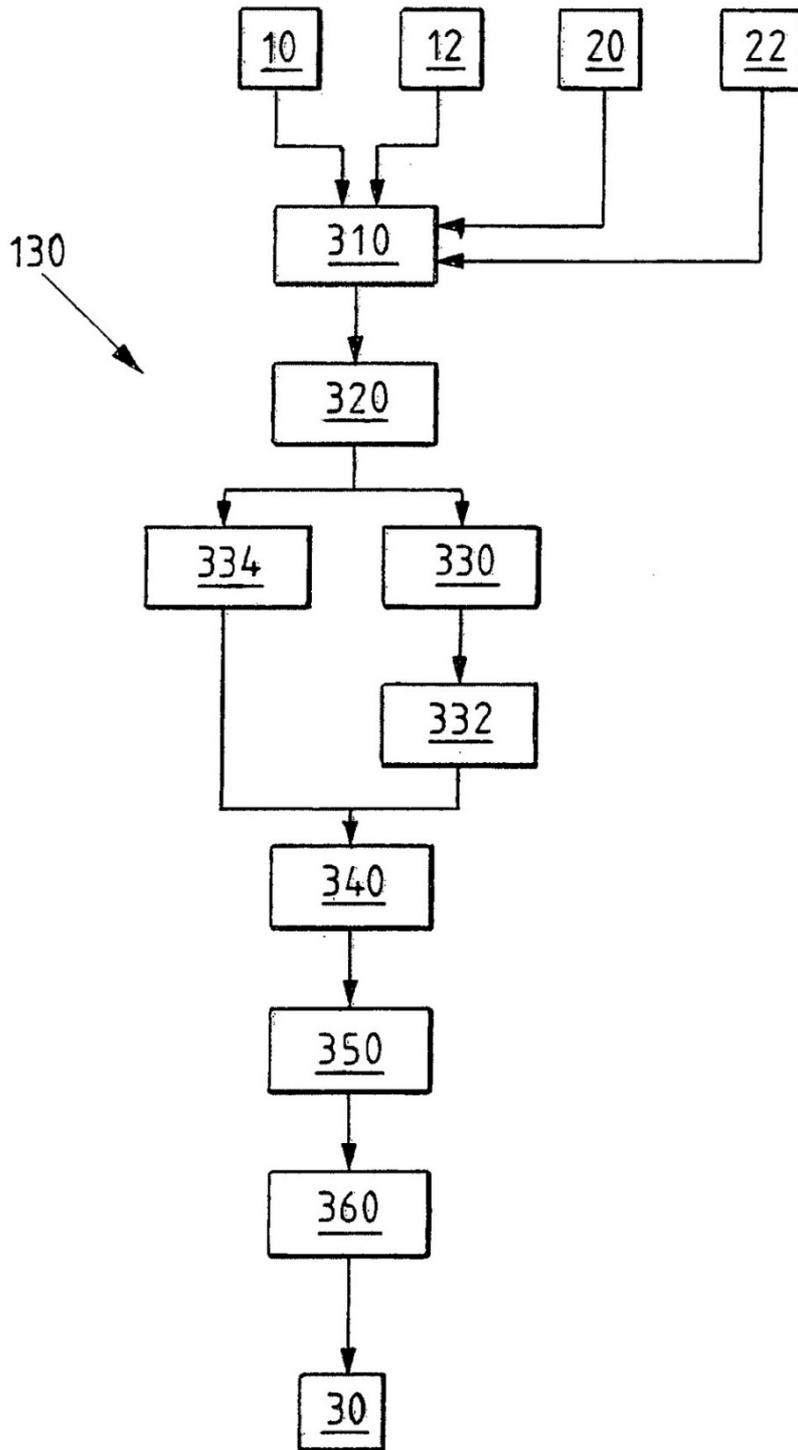


Fig. 4

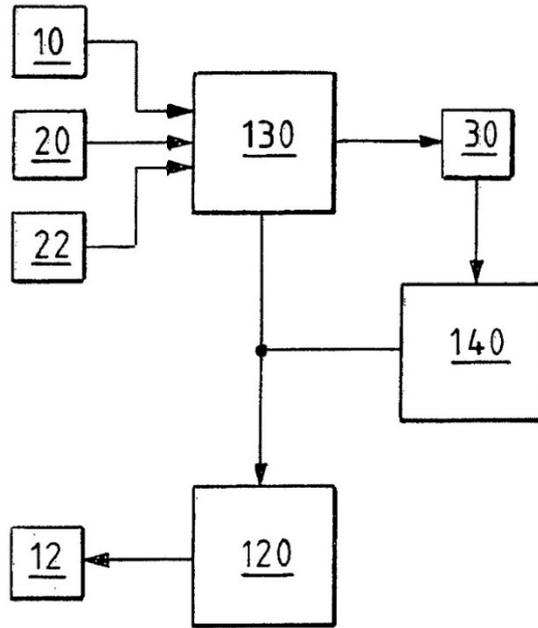


Fig. 5

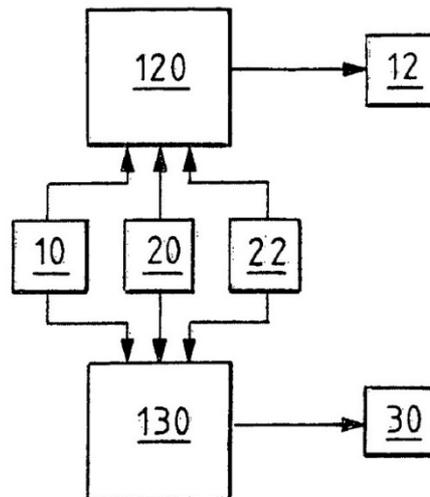


Fig. 6

