



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
20.11.2019 Patentblatt 2019/47

(51) Int Cl.:
H04R 25/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19169515.4**

(22) Anmeldetag: **16.04.2019**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Sivantos Pte. Ltd.**
Singapore 539775 (SG)

(72) Erfinder:
• **ARNOLD, Mirko**
91052 Erlangen (DE)
• **PETRAUSCH, Stefan**
91056 Erlangen (DE)

(30) Priorität: **17.05.2018 DE 102018207780**

(74) Vertreter: **FDST Patentanwälte**
Nordostpark 16
90411 Nürnberg (DE)

(54) **VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES HÖRGERÄTES**

(57) Die Erfindung nennt ein Verfahren zum Betrieb eines Hörgerätes (1), wobei durch wenigstens einen Eingangswandler (10) des Hörgerätes (1) ein Eingangssignal (32) erzeugt wird, wobei aus dem Eingangssignal (32) mittels einer Signalverarbeitung (34) ein vorläufiges Ausgangssignal (36) erzeugt wird, wobei anhand des Eingangssignals (32) ein an einem Gehör (16) eines Benutzers des Hörgerätes (1) zu erwartender Direktschall (24') ermittelt wird, wobei eine Laufzeitverzögerung (Δ) des vorläufigen Ausgangssignals (36) gegenüber dem zu er-

wartenden Direktschall (24') ermittelt wird, wobei anhand des Eingangssignals (32) und/oder des vorläufigen Ausgangssignals (36) unter Berücksichtigung des zu erwartenden Direktschalls (24') und/oder der Laufzeitverzögerung (Δ) des vorläufigen Ausgangssignals (36) gegenüber dem zu erwartenden Direktschall (24') ein Maskierungssignal (44) erzeugt wird, und wobei anhand des vorläufigen Ausgangssignals (36) und des Maskierungssignals (44) ein Ausgangssignal (50) erzeugt wird.

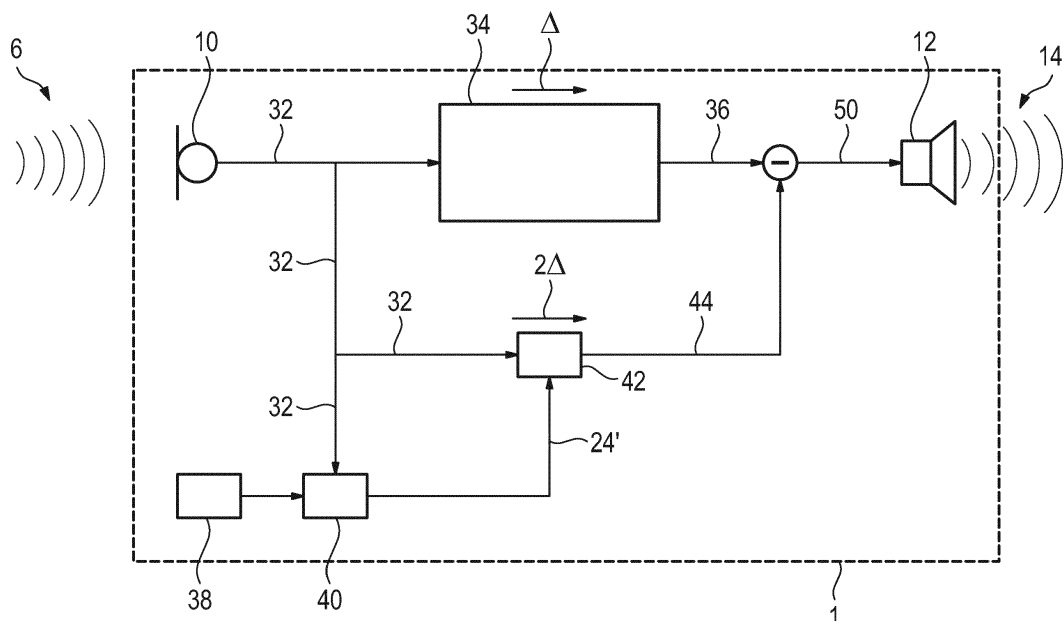


Fig. 3

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Hörgerätes, wobei durch wenigstens einen Eingangswandler des Hörgerätes ein Eingangssignal erzeugt wird, wobei aus dem Eingangssignal mittels einer Signalverarbeitung ein vorläufiges Ausgangssignal erzeugt wird, und wobei anhand des vorläufigen Ausgangssignals ein Ausgangssignal erzeugt wird.

[0002] Im Betrieb eines Hörgerätes, wird typischerweise ein Schallsignal der Umgebung mittels eines Eingangswandlers in ein elektrisches Signal umgewandelt, und in einer Signalverarbeitungseinheit gemäß den audiologischen Anforderungen des Benutzers aufbereitet und dabei insbesondere frequenzabhängig verstärkt. Das aufbereitete Signal wird nun durch einen Ausgangswandler in ein Ausgangsschallsignal umgewandelt, welches dem Gehör des Benutzers zugeführt wird. Hierbei kann sich nun im Betrieb selbst bei bestimmungsgemäßer Verwendung des Hörgerätes die Situation ergeben, dass das Ausgangsschallsignal des Hörgerätes vom Schallsignal der Umgebung überlagert wird, wenn es auf das Gehör des Benutzers trifft. Dies kann insbesondere daran liegen, dass Hörgeräte typischerweise derart konstruiert werden, dass sie den Gehörgang des Benutzers nicht vollständig verschließen, um so Okklusionseffekte zu vermeiden, welche vom Benutzer üblicherweise als störend empfunden werden. Hierfür kann gegebenenfalls auch eine kleine Bohrung ("vent") im Gehäuse des Hörgerätes vorgesehen sein.

[0003] Das vom Eingangswandler aus dem Schallsignal der Umgebung erzeugte Eingangssignal erfährt nun in der Signalverarbeitungseinheit insbesondere bei Prozessen zur Frequenzbandfilterung eine Zeitverzögerung, welche durch technische Maßnahmen der Signalverarbeitung nicht beliebig reduziert werden kann. Dies führt nun dazu, dass das Ausgangsschallsignal, welches im Hörgerät aus dem Ausgangssignal der Signalverarbeitung erzeugt wurde, sich mit einer leichten Zeitverzögerung mit dem Schallsignal der Umgebung überlagert. Hierdurch kann es im Gesamtschallsignal, welches durch den Benutzer wahrgenommen wird, zu sogenannten Kammfiltereffekten kommen. Durch die Zeitverzögerung in der Überlagerung vom Ausgangsschallsignal des Hörgerätes mit dem direkten Schallsignal der Umgebung werden, in Abhängigkeit von der Zeitverzögerung und Frequenz einzelne Signalanteile konstruktiv interferiert, was zu einer Verstärkung führt, während hingegen für Frequenzen, welche ein halbzahliges Vielfaches der inversen Zeitverzögerung sind, infolge einer destruktiven Interferenz eine erhebliche Abschwächung im Gesamtschallsignal auftreten kann. Kammfiltereffekte können dabei vom Benutzer als sehr unangenehm wahrgenommen werden, da sie beispielsweise durch die Auslöschung bestimmter Frequenzen infolge der destruktiven Interferenz die Obertonspektren des hörbaren Schallsignals wesentlich verändern können und/oder einem breitbandigen Rauschen eine harmonische Struktur "aufprägen" können.

[0004] Derartige Kammfiltereffekte treten insbesondere dann auf, wenn das direkte Schallsignal in etwa dieselbe Lautstärke aufweist wie das Ausgangsschallsignal des Hörgerätes. Für Frequenzen, bei welchen eines dieser beiden Schallsignale wesentlich lauter ist, sind die genannten Interferenzen für den Benutzer kaum wahrnehmbar. Es kann nun versucht werden, über eine Verstärkung in der Signalverarbeitung die Frequenzbereiche zu minimieren, in welchen die beiden Schallsignale in etwa gleich laut sind. Insbesondere ist bei vielen Hörverlusten oftmals eine signifikante Signalverstärkung für das Ausgangssignal erst ab einer Frequenz von ca. 1 kHz nötig, sodass unterhalb dieser Frequenz der Direktschall klar dominiert. Indem nun im Bereich des hörbaren Überlapps beider Schallsignale ein steiler Anstieg der Signalverstärkung implementiert wird, kann die spektrale Breite der Kammfiltereffekte verringert werden. Dies bedeutet jedoch, dass im wenn auch schmalen Überlappungsbereich Kammfiltereffekte immer noch auftreten, und überdies bei lautem Direktschall infolge einer meist für diesen Fall in der Signalverarbeitung implementierten Dynamik-Kompression die Möglichkeiten nur begrenzt sind.

[0005] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betrieb eines Hörgerätes anzugeben, durch welches auf möglichst einfache Weise für den Nutzer unangenehme Folgen von Kammfiltereffekten vermieden werden können, ohne dabei die benutzerspezifische Signalverarbeitung wesentlich zu verändern oder gar zu beeinträchtigen.

[0006] Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum Betrieb eines Hörgerätes, wobei durch wenigstens einen Eingangswandler des Hörgerätes ein Eingangssignal erzeugt wird, wobei aus dem Eingangssignal mittels einer Signalverarbeitung ein vorläufiges Ausgangssignal erzeugt wird wobei anhand des Eingangssignals ein an einem Gehör eines Benutzers des Hörgerätes zu erwartender Direktschall ermittelt wird, wobei eine Laufzeitverzögerung des vorläufigen Ausgangssignals gegenüber dem zu erwartenden Direktschall ermittelt wird, wobei anhand des Eingangssignals und/oder des vorläufigen Ausgangssignals unter Berücksichtigung des am Gehör des Benutzers zu erwartenden Direktschalls und/oder der Laufzeitverzögerung des vorläufigen Ausgangssignals gegenüber dem am Gehör des Benutzers zu erwartenden Direktschall ein Maskierungssignal erzeugt wird, und wobei anhand des vorläufigen Ausgangssignals und des Maskierungssignals ein Ausgangssignal erzeugt wird. Vorteilhafte und teils für sich gesehen erfinderische Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen und in der nachfolgenden Beschreibung dargelegt.

[0007] Bevorzugt wird das vorläufige Ausgangssignal aus dem Eingangssignal mittels einer frequenzbandabhängigen und insbesondere benutzerspezifischen Signalverarbeitung erzeugt. Insbesondere bedeutet hierbei die Erzeugung des vorläufigen Ausgangssignals aus dem Eingangssignal, dass Signalanteile des Eingangssignals in das vorläufige Aus-

gangssignal eingehen, und somit anhand des Eingangssignals nicht nur ein Parameter für eine Signalverarbeitung eines anderen Signals ermittelt wird. Die Signalanteile des Eingangssignals gehen hierbei gegebenenfalls unter einer Veränderung ihrer Dynamik, des Frequenzspektrums, oder einer Richtcharakteristik ein. Der an einem Gehör des Benutzers des Hörgerätes zu erwartende Direktschall kann, über die im Eingangssignal selbst enthaltene Information hinaus, gegebenenfalls auch anhand von Formparametern des Hörgerätes und/oder des Gehörgangs des Benutzers ermittelt werden. Der Vorgang des Ermittels umfasst hierbei insbesondere ein Abschätzen. Bevorzugt wird das Ausgangssignal durch wenigstens einen Ausgangswandler des Hörgerätes in ein Ausgangsschallsignal umgewandelt, welches zum Gehör des Benutzers ausgegeben wird.

[0008] Das vorläufige Ausgangssignal ist vorliegend insbesondere durch dasjenige Signal gegeben, welches ohne eine Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens durch den Ausgangswandler des Hörgerätes an das Gehör des Benutzers ausgegeben werden würde. Die Erzeugung des Ausgangssignals anhand des vorläufigen Ausgangssignals und des Maskierungssignals erfolgt hierbei insbesondere durch eine lineare Überlagerung der beiden genannten Signale.

[0009] Das Ermitteln der Laufzeitverzögerung des vorläufigen Ausgangssignals gegenüber dem zu erwartenden Direktschall kann hierbei insbesondere vorab erfolgen, entweder durch eine rechnerische Berücksichtigung der in der Signalverarbeitung durch die dort verwendeten Filter auftretenden Latenzen, oder durch einen standardisierten Meßprozess der Verzögerung in der Wiedergabe von eingestreuten Testsignalen.

[0010] Das Maskierungssignal ist anhand des Eingangssignals und/oder des vorläufigen Ausgangssignals bevorzugt derart zu erzeugen, dass diejenigen Signalanteile im vorläufigen Ausgangssignal, welche am Gehör des Benutzers des Hörgerätes zusammen mit dem zu erwartenden Direktschall zu für den Benutzer hörbaren Kammfiltereffekten führen würden, möglichst kompensiert werden, ohne, dass der Benutzer die Präsenz des Maskierungssignals selbst in Form von Artefakten wahrnehmen kann. Da ein Auftreten von Kammfiltereffekten einerseits vom zu erwartenden Direktschall selbst, andererseits auch vom vorläufigen Ausgangssignal abhängt, ist hierbei zusätzlich zur Kenntnis des Eingangssignals, und zur Kenntnis des angesichts des Eingangssignals zu erwartenden Direktschalls auch die Kenntnis des vorläufigen Ausgangssignals erforderlich. Diese liegt jedoch durch die Kenntnis der in der Signalverarbeitung verwendeten Algorithmen unmittelbar vor, weswegen das vorläufige Ausgangssignal für die Implementierung des Verfahrens nicht erneut abgezweigt werden muss, sondern die für das Verfahren erforderlichen Kenntnisse seiner Signaleigenschaften sich insbesondere auch aus dem Eingangssignal ableiten lassen.

[0011] Das Maskierungssignal wird dann insbesondere derart erzeugt, dass destruktive Interferenzen zwischen dem zu erwartenden Direktschall und dem vorläufigen Ausgangssignal, welche zu einer teilweisen Signalauslöschung im Rahmen von Kammfiltereffekten führen, durch eine entgegengesetzte, konstruktive Interferenz mit dem Maskierungssignal kompensiert werden, während konstruktive Interferenzen des zu erwartenden Direktschalls mit dem vorläufigen Ausgangssignal durch eine destruktive Interferenz mit dem Maskierungssignal kompensiert werden.

[0012] Bevorzugt wird anhand des Eingangssignals ein Amplitudenspektrum des zu erwartenden Direktschalls bestimmt, wobei in Abhängigkeit des Amplitudenspektrums des zu erwartenden Direktschalls ein Amplitudenspektrum des Maskierungssignals vorgegeben wird. Hierdurch kann dem Umstand Rechnung getragen werden, dass das Maskierungssignal den zu erwartenden Direktschall insbesondere zur Vermeidung von Kammfiltereffekten kompensieren soll. Da Kammfiltereffekte eine mit einer besonderen Struktur im Amplitudenspektrum, also den gegen die Frequenz aufgetragenen Amplitudenbeiträgen eines Signals einhergehen, ist das Amplitudenspektrum des Maskierungssignals bevorzugt auf das des zu erwartenden Direktschalls bezüglich der entsprechenden Kompensierung abzustimmen. Das Amplitudenspektrum des zu erwartenden Direktschalls kann hierbei anhand des Eingangssignals, insbesondere unter einer Berücksichtigung von Formparametern des Hörgerätes und/oder des Gehörgangs des Benutzers bestimmt werden, wobei insbesondere eine durch eine entsprechende Messung ermittelte Transferfunktion des Eingangssignals bezüglich des zu erwartenden Direktschalls verwendet werden kann.

[0013] Vorzugsweise sind dabei die von Null verschiedenen Werte des Amplitudenspektrums des Maskierungssignals im Wesentlichen durch das Amplitudenspektrum des zu erwartenden Direktschalls gegeben. Dies bedeutet, dass in denjenigen Frequenzbereichen, in welchen eine Maskierung mittels des Maskierungssignals überhaupt erfolgt, das Amplitudenspektrum desselben, gegebenenfalls bis auf einen frequenzunabhängigen linearen Verstärkungsfaktor durch den zu erwartenden Direktschall gegeben sind. Die Bereiche, in welchen das Maskierungssignal zu Null gesetzt wird, können dabei insbesondere in Abhängigkeit von einem Hörverlust des Benutzers vorab vorgegeben oder auch dynamisch in Abhängigkeit des Eingangssignals ermittelt werden.

[0014] Als vorteilhaft erweist es sich hierbei, wenn ein Amplitudenspektrum des vorläufigen Ausgangssignals ermittelt wird, und das Amplitudenspektrum des Maskierungssignals weiter in Abhängigkeit des Amplitudenspektrums des vorläufigen Ausgangssignals vorgegeben. Dies erlaubt es, insbesondere auch die erfolgende Signalverarbeitung im Hörgerät für die Erzeugung des Maskierungssignals zu berücksichtigen, da diese nach Möglichkeit nicht verändert werden sollte, um einen Hörverlust des Benutzers des Hörgerätes optimal ausgleichen zu können, jedoch insbesondere das Verhältnis von Amplituden des zu erwartenden Direktschalls und eines anhand des vorläufigen Ausgangssignals erzeugten Ausgangsschallsignal maßgeblich für die Bildung von Kammfiltereffekten ist.

[0015] Bevorzugt wird dabei das Amplitudenspektrum des Maskierungssignals derart vorgegeben, dass das Maskie-

5 rungssignal im wesentlichen nur für solche Frequenzen von Null verschiedene Amplitudenbeiträge aufweist, für welche ein aus dem vorläufigen Ausgangssignal durch einen Ausgangswandler des Hörgerätes erzeugtes Ausgangsschallsignal einen zwischen -6 dB niedrigeren und 12 dB höheren Schallpegel als der zu erwartende Direktschall aufweist. Hierdurch liefert das Maskierungssignal nur in denjenigen Frequenzbereichen nichtverschwindende Beiträge, in welchen infolge
 10 des Verhältnisses der Amplituden vom zu erwartenden Direktschall zum vorläufigen Ausgangssignal bzw. einem hieraus erzeugten Ausgangsschallsignal überhaupt eine nennenswerte Wahrscheinlichkeit für die Bildung von Kammfiltereffekten vorliegt. Ist nämlich eines der beiden Schallsignale - also zu erwartender Direktschall oder ein aus dem vorläufigen Ausgangssignal erzeugtes Ausgangsschallsignal - wesentlich lauter, also um deutlich mehr als 10 dB, so sind die konstruktiven und destruktiven Interferenz derart gering, dass sie vom Benutzer des Hörgerätes kaum oder gar nicht
 15 wahrgenommen werden können. In diesem Fall kann auf ein entsprechendes Maskierungssignal im Frequenzbereich verzichtet werden.

[0016] Insbesondere, wenn eine hohe Signalverstärkung durch das Hörgerät vorliegt, und somit ein vorläufiges Ausgangssignal zu einem wesentlich lauterem Ausgangsschallsignal als der zu erwartende Direktschall führen würde, kann einerseits das beschriebene Ausblenden des Maskierungssignals in bestimmten Frequenzbereichen sicherstellen, dass
 15 gewünschte Eigenschaften des vorläufigen Ausgangssignals wie z.B. eine Direktionalität oder ein Dynamikbereich nicht durch das Maskierungssignal gestört werden, obwohl letzteres in einem bestimmten Frequenzbereich gar nicht erforderlich ist. Andererseits stellt ein Maskierungssignal für ein Verhältnis der Schallpegel von vorläufigem Ausgangssignal und zu erwartendem Direktschall im beschriebenen Bereich sicher, dass bei kurzfristigen Änderungen der Verstärkung - z.B. durch eine Störgeräuschunterdrückung oder durch ein Einsetzen einer Kompression - und einer damit einhergehenden
 20 Änderung des vorläufigen Ausgangssignals dieses immer noch kompensiert werden kann.

[0017] In einer vorteilhaften Ausgestaltung wird das Maskierungssignal derart erzeugt, dass eine Signalverzögerung eines Amplitudenbeitrages des Maskierungssignals gegenüber einem entsprechenden Amplitudenbeitrag des zu erwartenden Direktschalls zwischen 190 % und 210 % der, bevorzugt zwischen 195% und 205%, besonders bevorzugt
 25 genau 200 %, Laufzeitverzögerung des vorläufigen Ausgangssignals gegenüber dem zu erwartenden Direktschall gewählt wird. In einem Pol-Nullstellen-Diagramm des Signals, welches sich aus dem zu erwartenden Direktschall und dem vorläufigen Ausgangssignal bilden lässt, sind Kammfiltereffekte durch eine Signalauslöschung repräsentiert, welche durch Nullstellen in der Nähe des Einheitskreises dargestellt wird. Die Frequenz der Auslöschungen bestimmt hierbei die Winkelposition der Nullstelle, während der Abstand von der Einheitskreislinie durch das Verhältnis der Amplituden des zu erwartenden Direktschalls und des Ausgangsschallsignals stimmt wird. Das Ausgangsschallsignal ist hierbei
 30 anhand des vorläufigen Ausgangssignals zu erzeugen. Ein Maskierungssignal mit den genannten Eigenschaften ist in diesem Fall so zu interpretieren, dass der Transferfunktion des resultierenden Schallsignals zusätzliche Nullstellen hinzugefügt werden, deren Winkelpositionen zwischen den bisherigen Nullstellen, bevorzugt exakt beim jeweils halben Zwischenwinkel, belegen sind, und die zu einer Verschiebung der bisherigen Nullstellen weg von der Einheitskreislinie führen. Dies hat zur Folge, dass die Signalauslöschung wesentlich verringert wird.

[0018] Zweckmäßigerweise wird eine Anzahl an Amplitudenbeiträgen des Maskierungssignals anhand von phaseninvertierten Amplitudenbeiträgen des zu erwartenden Direktschalls gebildet. Dies soll insbesondere umfassen, dass ein konkreter spektraler Beitrag des zu erwartenden Direktschalls zu einem entsprechenden spektraler Beitrag im Maskierungssignal mit invertierter Phase führt. Hierdurch lässt sich der zu erwartende Direktschall besonders vorteilhaft kompensieren.

[0019] Ist beispielsweise ein Schallsignal einer Schallquelle gegeben durch $x(t)$, und werden der direkte Schallweg bzw. die Signalverarbeitung im Hörgerät in erster Näherung durch eine skalare Multiplikation mit einem Faktor D bzw. einer Verstärkung A angenähert, so ist das resultierende Schallsignal $y(t)$ infolge der Laufzeitverzögerung Δt im Hörgerät
 40 gegeben durch

$$(i) \quad y(t) = D \cdot x(t) + A \cdot x(t - \Delta t),$$

bzw. durch

$$(ii) \quad Y(z) = (D + A \cdot z^{-\Delta n}) \cdot X(z)$$

in der Frequenz-Domäne, wobei Δn der Laufzeitverzögerung Δt entspricht. Addiert man nun zum vorläufigen Ausgangssignal, welches durch die Verstärkung A gegeben ist, ein Maskierungssignal, so bewirkt dieses einen additiven Term in der Transferfunktion, welche in Gleichung (ii) auf der rechten Seite durch den Term in Klammern gegeben ist. Vorteilhafterweise weist das Maskierungssignal die doppelte Laufzeitverzögerung $2 \cdot \Delta t$ gegenüber dem Direktschall $D \cdot x(t)$ auf, was zu einem Term $C \cdot z^{-2\Delta n}$ in der Transferfunktion von Gleichung (ii) führt:

$$(iii) \quad Y(z) = (D + A \cdot z^{-\Delta n} - C \cdot z^{-2\Delta n}) \cdot X(z) = H(z) \cdot X(z)$$

[0020] Hierbei kann auch eine Frequenzabhängigkeit von D in Gleichung (iii) über eine entsprechende Frequenzabhängigkeit des Terms C, also durch $D = D(z) \Rightarrow C = C(z)$, berücksichtigt werden. Es kann nun gezeigt werden, dass ein hinsichtlich einer Unterdrückung von Kammfiltereffekten optimales Maskierungssignal durch einen entsprechenden Term in der Transferfunktion H(z) nach Gleichung (iii) mit folgenden Eigenschaften gegeben ist:

$$(iv) \quad C = D \cdot e^{2(\angle A - \angle D)} = |D| \cdot e^{2\angle A - \angle D},$$

wobei $\angle A$ bzw. $\angle D$ die komplexe Phase von A bzw. D bezeichnet. Vorteilhafte Werte für das Maskierungssignal, welches nach der Wiedergabe durch den Ausgangswandler im Signalbeitrag $Y_C(z) = -C \cdot z^{-2\Delta n} \cdot X(z)$ resultiert, können hierbei auch für kleine Abweichungen sowohl im für die Amplitude des Maskierungssignals relevanten Betrag $|C|$ der Transferfunktion H(z) vom idealen Wert $|D|$, als auch für kleine Abweichungen in der genannten Phase von C erzielt werden. Insbesondere können hierbei die relativen Abweichungen im Betrag $|C|$ bis zu 6 dB bezogen auf den idealen Betrag $|D|$ und die absoluten Abweichungen der Phase $\angle C$ bis zu $\pm 30^\circ$, also $\pi/6$ von der idealen Phase $2\angle A - \angle D$ betragen.

[0021] In einer weiter vorteilhaften Ausgestaltung wird durch einen weiteren Eingangswandler des Hörgerätes ein weiteres Eingangssignal erzeugt, wobei das vorläufige Ausgangssignal mittels der Signalverarbeitung anhand des weiteren Eingangssignals als ein Richtsignal erzeugt wird, und wobei das Maskierungssignal anhand des Eingangssignals und/oder des weiteren Eingangssignals und/oder des Richtsignals erzeugt wird. Dies erlaubt eine Kompensierung von Kammfiltereffekten auch bei richtungsabhängigem Direktschall. Insbesondere wird hierbei jede Richtkeule der Richtcharakteristik des Richtsignals als eine eigene Signalquelle interpretiert, deren Überlagerung mit dem zu erwartenden Direktschall zu eigenen Kammfiltereffekten führen kann, sodass zu jeder dieser Signalquellen bevorzugt ein eigenes Maskierungssignal erzeugt wird.

[0022] Die Erfindung nennt weiter ein Hörgerät mit wenigstens einem Eingangswandler zur Erzeugung eines Eingangssignals, einer mit dem Eingangswandler verbundenen Signalverarbeitungseinheit zur Erzeugung eines vorläufigen Ausgangssignals aus dem Eingangssignal und wenigstens einem Ausgangswandler zur Wiedergabe eines Ausgangssignals, wobei die Signalverarbeitungseinheit dazu eingerichtet ist, anhand des Eingangssignals und des vorläufigen Ausgangssignals das Ausgangssignal durch ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche zu erzeugen. Die für das Verfahren und für seine Weiterbildungen genannten Vorteile können hierbei sinngemäß auf das Hörgerät übertragen werden.

[0023] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Hierbei zeigen jeweils schematisch:

- Fig. 1 in einer Längsschnittdarstellung ein Hörgerät in einem Gehörgang, durch welchen auch Direktschall zum Gehör propagiert,
- Fig. 2 in einem Diagramm den Frequenzgang für Direktschall, ein Ausgangsschallsignal des Hörgerätes und ein aus der Überlagerung resultierendes Schallsignal,
- Fig. 3 in einem Blockschaltbild ein Verfahren zur Unterdrückung von Kammfiltereffekten in einem Hörgerät nach Fig. 1,
- Fig. 4a in einem Pol-Nullstellen-Diagramm eine Transferfunktion eines von Direktschall überlagerten Ausgangsschallsignals ohne Maskierungssignal,
- Fig. 4b den Frequenzgang der Transferfunktion des resultierenden Schallsignals nach Fig. 4a,
- Fig. 5a in einem Pol-Nullstellen-Diagramm die Transferfunktion nach Fig. 4a mit Maskierungssignal,
- Fig. 5b den Frequenzgang der Transferfunktion des resultierenden Schallsignals nach Fig. 5a, und
- Fig. 6 ist in einem Blockdiagramm eine alternative Ausgestaltung des Verfahrens nach Fig. 3 mittels Richtmikrofonie.

[0024] Einander entsprechende Teile und Größen sind in allen Figuren jeweils mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0025] In Fig. 1 ist schematisch in einer Längsschnittdarstellung ein Hörgerät 1 gezeigt, welches in einem Gehörgang 2 ein eines nicht näher dargestellten Benutzers angeordnet ist. Das Hörgerät 1 ist vorliegend als ein ITE-Instrument

("in-the-ear") ausgestaltet. Weit abseits des Hörgerätes 1 befindet sich eine externe Schallquelle 4, von welcher aus ein Schallsignal 6 zum Ohr 8 des Benutzers des Hörgerätes 1 ausgesandt wird. Das Schallsignal 6 wird dabei in noch zu beschreibender Weise von einem Eingangswandler 10 des Hörgerätes in ein Eingangssignal umgewandelt, welches im Hörgerät 1 weiterverarbeitet und hierbei insbesondere frequenzabhängig verstärkt wird, wobei als Resultat der Verarbeitung von einem Ausgangswandler 12 des Hörgerätes 1 ein vom Schallsignal 6 abhängiges Ausgangsschallsignal 14 im Gehörgang 2 erzeugt wird. Das Ausgangsschallsignal 14 propagiert durch den Gehörgang 2 zum Gehör 16, welches insbesondere das Trommelfell 18 umfasst. Durch einen schmalen Spalt 20 zwischen dem Hörgerät 1 und dem Gehörgang 2 oder auch durch einen im Hörgerät 1 vorgesehenen Vent 22, welcher dort zur Verhinderung von Okklusionseffekten vorgesehen sein kann, propagiert nun ein Anteil des Schallsignals 6, als Direktschall 24 ebenfalls zum Gehör 16. Hierbei kommt es im Gehörgang 2 zu einer Überlagerung von Ausgangsschallsignal 14 und Direktschall 24. Da das Ausgangsschallsignal 14 gegenüber dem Direktschall 24 infolge der im Hörgerät 1 für die Signalverarbeitung angewandten Filter eine gewisse Laufzeitverzögerung aufweist, treten bei dieser Überlagerung in Abhängigkeit des Verhältnisses der Amplituden von Ausgangsschallsignal 14 zu Direktschall 24 und in Abhängigkeit der Frequenz zu sogenannte Kammfiltereffekte auf. Diese sind in Fig. 2 dargestellt.

[0026] In Fig. 2 ist schematisch in einem Diagramm der Frequenzgang für Direktschall 24 (gestrichelte Linie), für das durch das Hörgerät nach Fig. 1 verstärkte Ausgangsschallsignal 14 (gepunktete Linie) und das aus der Überlagerung resultierende Schallsignal 26 (durchgezogene Linie) gezeigt, indem jeweils der Schallpegel P gegen eine Frequenz f aufgetragen ist. Infolge der bereits erwähnten Laufzeitverzögerung bei der Signalverarbeitung im Hörgerät überlagern sich der Direktschall 24 und das Ausgangsschallsignal 14 mit einer Zeitverzögerung.

[0027] Am resultierenden Schallsignal 26 ist nun ersichtlich, dass bei bestimmten Frequenzen die zeitverzögerte Überlagerung zu konstruktiven Interferenzen 28 führt, was im überlagerten Schallsignal 26 insgesamt zu einem erhöhten Schallpegel führt. Andererseits führt bei einigen Frequenzen die zeitverzögerte Überlagerung zu destruktiven Interferenzen 30, welche bisweilen gar eine fast vollständige Auslöschung im überlagerten Schallsignal 26 zur Folge haben. Die Maxima für die konstruktiven Interferenzen 28 finden sich hierbei jeweils bei ganzzahligen Vielfachen derjenigen Frequenz, welche der reziproken Zeitverzögerung im Hörgerät entspricht, die Minima der destruktiven Interferenzen 30 jeweils bei halbzahligen Vielfachen dieser Frequenz. Je nach Frequenzspektrum des Schallsignals 6 nach Fig. 1 und des Direktschalls 24, der benutzerspezifischen Verstärkung zur Erzeugung des Ausgangsschallsignals 14 sowie der auftretenden Zeitverzögerung können die auftretenden Kammfiltereffekte vom Benutzer des Hörgerätes als sehr unangenehm wahrgenommen werden.

[0028] In Fig. 3 ist schematisch in einem Blockschaltbild ein Verfahren zur Unterdrückung der Kammfiltereffekte nach Fig. 2 im Hörgerät 1 nach Fig. 1 gezeigt. Der Eingangswandler 10, welcher vorliegend durch ein Mikrofon gegeben ist, erzeugt aus dem Schallsignal 6 zunächst ein Eingangssignal 32. Anhand dieses Eingangssignals 32 wird nun durch die Signalverarbeitung 34, welche insbesondere die benutzerspezifischen Algorithmen zur Kompensierung einer Hörschwäche des Benutzers mittels frequenzbandabhängiger Verstärkung gemäß dem Audiogramm umfasst, ein vorläufiges Ausgangssignal 36 erzeugt. Ebenfalls anhand des Eingangssignals 32 wird nun mittels vorab ermittelter und hinterlegter Parameter 38, welche Informationen über einen direkten Schallweg durch den Gehörgang 2 am Hörgerät 1 vorbei und über dessen Frequenzgang liefern, ein am Gehör 16 zu erwartender Direktschall 24' ermittelt, welcher im Idealfall exakt dem realen Direktschall 24 entspricht, welcher zum Gehör 16 des Benutzers propagiert.

[0029] Hierbei wird beispielsweise über eine entsprechende erste Transferfunktion 40, welche die Parameter 38 berücksichtigt, anhand des Schallsignals 6 über das Eingangssignal 32 ein Amplitudenspektrum des zu erwartenden Direktschalls 24' bestimmt.

[0030] In Abhängigkeit des zu erwartenden Direktschalls 24' wird nun für diejenigen Frequenzbereiche, für welche ein anhand des vorläufigen Ausgangssignals 36 durch den Ausgangswandler 12 erzeugtes Schallsignal einen zwischen -6 dB niedrigeren und 12 dB höheren Schallpegel aufweisen würde, ein Maskierungssignal 44 erzeugt. Das Maskierungssignal 44 ist hierbei derart, dass seine Amplitudenbeiträge unter Berücksichtigung der Wiedergabecharakteristik des Ausgangswandlers 12 im Wesentlichen den Amplitudenbeträgen des zu erwartenden Direktschalls 6' entsprechen, gegenüber diesem - und im Wesentlichen gegenüber dem Eingangssignal 32 - jedoch um ein Zeitintervall 2Δ verzögert sind, wobei Δ die Laufzeitverzögerung im Hörgerät 1 bezeichnet, welche im Wesentlichen auf den in der Signalverarbeitung 34 eingesetzten Filtern beruht.

[0031] Die konkrete Erzeugung des Maskierungssignals 44 kann dabei auch erneut durch eine zweite Transferfunktion 42 und das Eingangssignal 32 erfolgen, wobei sich dann die Abhängigkeit vom zu erwartenden Direktschall 24' mittelbar über das Eingangssignal 32 ergibt. Jedoch liefert eine Änderung im zu erwartenden Direktschall 24' auch in diesem Fall eine Änderung im Maskierungssignal 44, da für eine Änderung im zu erwartenden Direktschall 24' eine Änderung des Schallsignals 6 und mithin eine Änderung des Eingangssignals 32 erforderlich ist.

[0032] Das Maskierungssignal 44 wird nun mit dem vorläufigen Ausgangssignal 36 überlagert, und hieraus das Ausgangssignal 50 erzeugt. Dieses Ausgangssignal 50 wird nun vom Ausgangswandler 12, welcher vorliegend durch einen Lautsprecher gegeben ist, in das Ausgangsschallsignal 14' umgewandelt. Das Ausgangsschallsignal 14' unterscheidet sich hierbei vom Ausgangsschallsignal 14 nach Fig. 2 durch die Berücksichtigung des zu erwartenden Direktschalls 24'

mittels des Maskierungssignals 44.

[0033] In der Darstellung der Fig. 1 propagiert das Ausgangsschallsignal 14' durch den Gehörgang 2, wo es sich mit dem realen Direktschall 24 überlagert, zum Trommelfell 18 des Benutzers. Durch das Maskierungssignal 44 werden hierbei Kammfiltereffekte im aus der Überlagerung des Ausgangsschallsignals 14' mit dem Direktschall 24 resultierenden Schallsignal vermieden. Die Funktionsweise dieser Unterdrückung wird anhand der Fig. 4 und 5 verdeutlicht.

[0034] In Fig. 4a ist ein Pol-Nullstellen-Diagramm für die Transferfunktion $H(z)$ eines von Direktschall überlagerten Ausgangsschallsignals ohne Verwendung eines Maskierungssignals 44 nach Fig. 3 gezeigt. Die Nullstellen 54 des resultierenden Signals verlaufen hierbei entlang der Einheitskreislinie 56. Im vorliegenden Fall weisen das Ausgangsschallsignal und der Direktschall für das untersuchte Frequenzspektrum von 0 bis 500 Hz dieselbe Amplitude auf. In Fig. 4b ist hierbei in dB gegen die Frequenz f der Frequenzgang der Transferfunktion des resultierenden Schallsignals 26 bzgl. des eingehenden Schallsignals 6 nach Fig. 1 dargestellt. Man sieht dabei deutlich die Abschwächungen 58, welche jeweils einer Nullstelle 54 in der positiven und der negativen imaginären Halbebene entsprechen. Die Auslöschungen 58, welche also einer Nullstelle 54 der Transferfunktion entsprechen, sind dabei durch die destruktiven Interferenzen 30 nach Fig. 2 bedingt.

[0035] In Fig. 5a ist nun ein Pol-Nullstellen-Diagramm für die Situation nach Fig. 4a dargestellt, wobei für die Erzeugung des Ausgangsschallsignals überdies das Verfahren nach Fig. 3 angewandt wurde, also dem vorläufigen Ausgangssignal 36 insbesondere ein Maskierungssignal 44 beigemischt wurde. Es ist klar zu erkennen, dass die Nullstellen 54 nun nicht mehr entlang der Einheitskreislinie 56 verlaufen, sondern mit abwechselnd geringerem Radius r_1 oder größerem Radius r_2 von dieser leicht beabstandet sind. Der in Fig. 5b dargestellte Frequenzgang der Transferfunktion weist keinerlei Auslöschungen 58 mehr auf, sondern lediglich einen geringen Ripple von ca. 6 dB. Die Amplitude des Maskierungssignals entspricht hierbei der Amplitude des Direktschalls, und das Maskierungssignal ist gegenüber dem Direktschall um die doppelten Wert der Laufzeitverzögerung verzögert, welche zwischen dem Direktschall und dem vorläufigen Ausgangssignal vorliegt.

[0036] In Fig. 6 ist in einem Blockdiagramm eine alternative Ausgestaltung des Verfahrens nach Fig. 3 dargestellt. Hierbei weist das Hörgerät 1 einen weiteren Eingangswandler 60 auf, welcher ein weiteres Eingangssignal 62 erzeugt. Aus dem Eingangssignal 32 und dem weiteren Eingangssignal 62 wird in einem ersten Block 64 der Signalverarbeitung 34 ein Richtsignal 66 erzeugt. Das Maskierungssignal 44 kann hierbei durch eine Schätzung des zu erwartenden Direktschalls 24' anhand des Eingangssignals 32 und anhand des weiteren Eingangssignals 62 und/oder anhand des Richtsignals 66 erzeugt werden. Hierbei wird anhand der vorliegenden Eingangssignale 32, 62 ggf. unter Berücksichtigung des Richtsignals 66 ein weiteres Richtsignal 68 erzeugt. Dieses kann zum Richtsignal 66 identisch sein, oder ggf. auch Unterschiede aufweisen, wenn das Richtsignal 66 beispielsweise nicht exakt auf die Quelle des Direktschalls ausgerichtet ist. Anhand des weiteren Richtsignals 68 wird nun vergleichbar dem anhand von Fig. 3 beschriebenen Verfahren das Maskierungssignal 44 erzeugt.

[0037] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, ist die Erfindung nicht durch dieses Ausführungsbeispiel eingeschränkt. Andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

[0038]

- 1 Hörgerät
- 2 Gehörgang
- 4 externe Schallquelle
- 6 Schallsignal
- 8 Ohr
- 10 Eingangswandler
- 12 Ausgangswandler
- 14 Ausgangsschallsignal
- 14' Ausgangsschallsignal
- 16 Gehör
- 18 Trommelfell
- 20 Spalt
- 22 Vent
- 24 Direktschall
- 24' zu erwartender Direktschall
- 26 resultierendes Schallsignal
- 28 konstruktive Interferenz

30	destruktive Interferenz
32	Eingangssignal
34	Signalverarbeitung
36	vorläufiges Ausgangssignal
5 38	Parameter
40	erste Transferfunktion
42	zweite Transferfunktion
44	Maskierungssignal
50	Ausgangssignal
10 54	Nullstelle
56	Einheitskreislinie
58	Auslöschung
60	weiterer Eingangswandler
62	weiteres Eingangssignal
15 64	erster Block der Signalverarbeitung
66	Richtsignal
f	Frequenz
H(z)	Transferfunktion
20 r ₁	Radius
r ₂	Radius
Δ	Laufzeitverzögerung

25 Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Hörgerätes (1),
wobei durch wenigstens einen Eingangswandler (10) des Hörgerätes (1) ein Eingangssignal (32) erzeugt wird,
wobei aus dem Eingangssignal (32) mittels einer Signalverarbeitung (34) ein vorläufiges Ausgangssignal (36) erzeugt
30 wird,
wobei anhand des Eingangssignals (32) ein an einem Gehör (16) eines Benutzers des Hörgerätes (1) zu erwartender
Direktschall (24') ermittelt wird,
wobei eine Laufzeitverzögerung (Δ) des vorläufigen Ausgangssignals (36) gegenüber dem zu erwartenden Direkt-
schall (24') ermittelt wird,
35 wobei anhand des Eingangssignals (32) und/oder des vorläufigen Ausgangssignals (36) unter Berücksichtigung
des zu erwartenden Direktschalls (24') und/oder der Laufzeitverzögerung (Δ) des vorläufigen Ausgangssignals (36)
gegenüber dem zu erwartenden Direktschall (24') ein Maskierungssignal (44) erzeugt wird, und
wobei anhand des vorläufigen Ausgangssignals (36) und des Maskierungssignals (44) ein Ausgangssignal (50)
erzeugt wird.
40
2. Verfahren nach Anspruch 1,
wobei anhand des Eingangssignals (32) ein Amplitudenspektrum des zu erwartenden Direktschalls (24') bestimmt
wird, und
wobei in Abhängigkeit des Amplitudenspektrums des zu erwartenden Direktschalls (24') ein Amplitudenspektrum
45 des Maskierungssignals (44) vorgegeben wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2,
wobei die von Null verschiedenen Werte des Amplitudenspektrums des Maskierungssignals (44) im Wesentlichen
durch das Amplitudenspektrum des zu erwartenden Direktschalls (24') gegeben sind.
50
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder Anspruch 3,
wobei ein Amplitudenspektrum des vorläufigen Ausgangssignals (36) ermittelt wird, und das Amplitudenspektrum
des Maskierungssignals (44) weiter in Abhängigkeit des Amplitudenspektrums des vorläufigen Ausgangssignals (36)
vorgegeben wird.
55
5. Verfahren nach Anspruch 4,
wobei das Amplitudenspektrum des Maskierungssignals (44) derart vorgegeben wird, dass das Maskierungssignal
(44) im Wesentlichen nur für solche Frequenzen von Null verschiedene Amplitudenbeiträge aufweist, für welche

ein aus dem vorläufigen Ausgangssignal (36) durch einen Ausgangswandler (12) des Hörgerätes (1) erzeugtes Ausgangsschallsignal (14) einen zwischen -6 dB niedrigeren und 12 dB höheren Schallpegel als der zu erwartende Direktschall (24') aufweist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei das Maskierungssignal (44) derart erzeugt wird, dass eine Verzögerung eines Amplitudenbeitrages des Maskierungssignals (44) gegenüber einem entsprechenden Amplitudenbeitrag des zu erwartenden Direktschalls (24') zwischen 190% und 210% der Laufzeitverzögerung des vorläufigen Ausgangssignals (36) gegenüber dem zu erwartenden Direktschall (24') gewählt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei eine Anzahl an Amplitudenbeiträgen des Maskierungssignals (44) anhand von phaseninvertierten Amplitudenbeiträgen des zu erwartenden Direktschalls (24') gebildet wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei durch einen weiteren Eingangswandler (60) des Hörgerätes (1) ein weiteres Eingangssignal (62) erzeugt wird, wobei das vorläufige Ausgangssignal (36) mittels der Signalverarbeitung (34) anhand des weiteren Eingangssignals (62) als ein Richtsignal (66) erzeugt wird, und wobei das Maskierungssignal (44) anhand des Eingangssignals (32) und/oder des weiteren Eingangssignals (62) und/oder des Richtsignals (66) erzeugt wird.

9. Hörgerät (1) mit

- wenigstens einem Eingangswandler (10) zur Erzeugung eines Eingangssignals (32),
- einer mit dem Eingangswandler (10) verbundenen Signalverarbeitungseinheit (34) zur Erzeugung eines vorläufigen Ausgangssignals (36) aus dem Eingangssignal (32) und
- wenigstens einem Ausgangswandler (12) zur Wiedergabe eines Ausgangssignals (50), wobei die Signalverarbeitungseinheit (34) dazu eingerichtet ist, anhand des Eingangssignals (32) und des vorläufigen Ausgangssignals (36) das Ausgangssignal (50) durch ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche zu erzeugen.

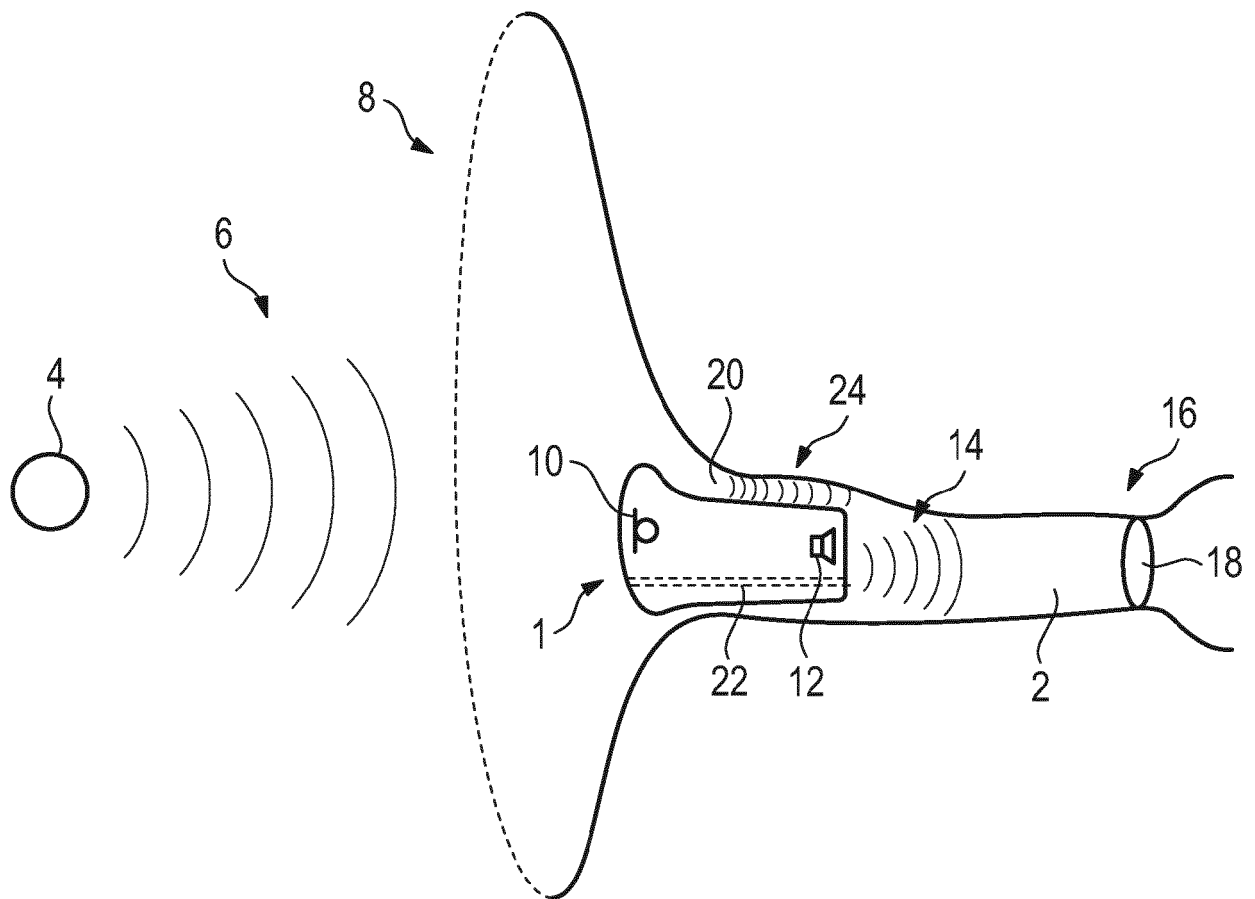


Fig. 1

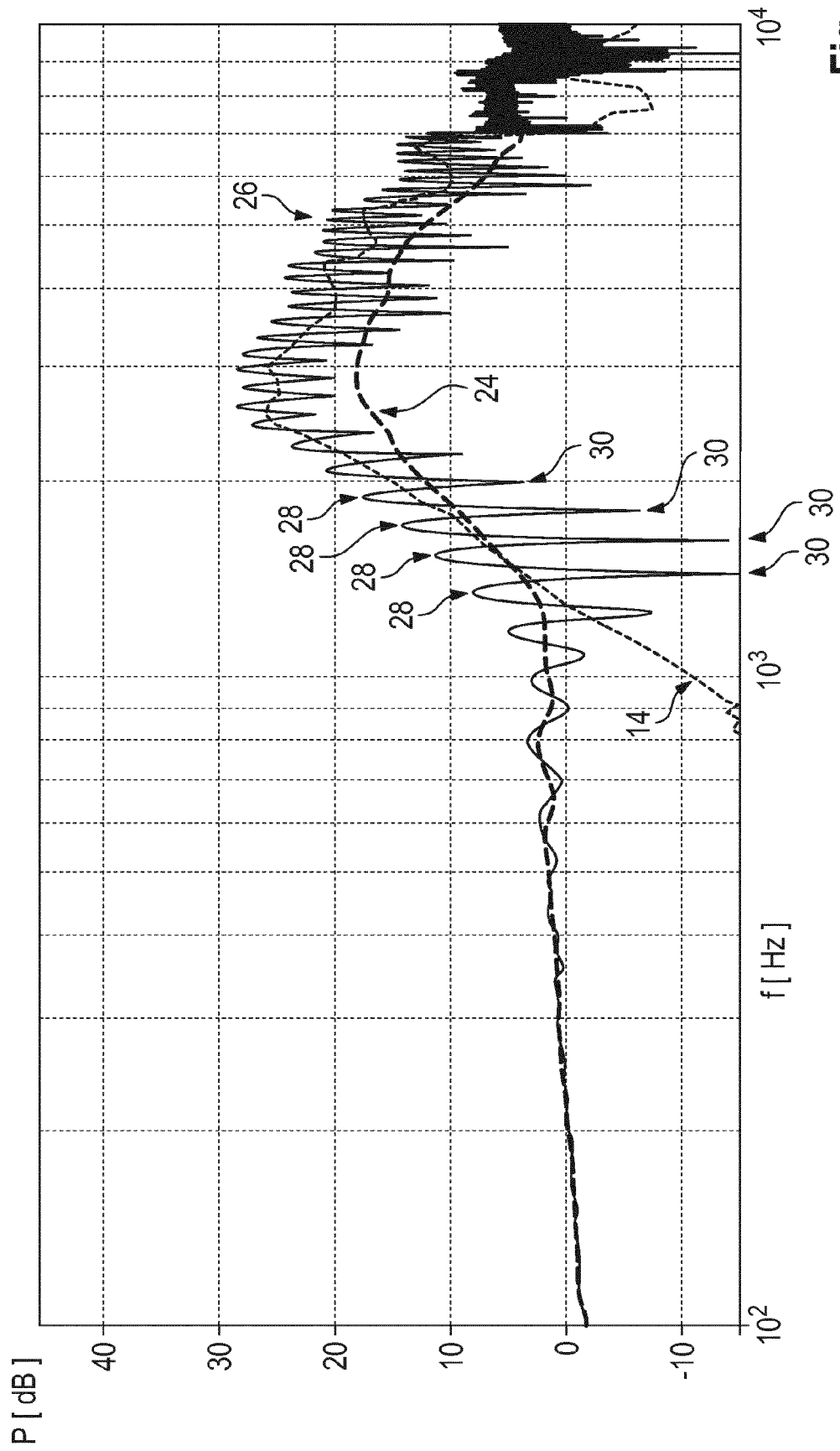


Fig. 2

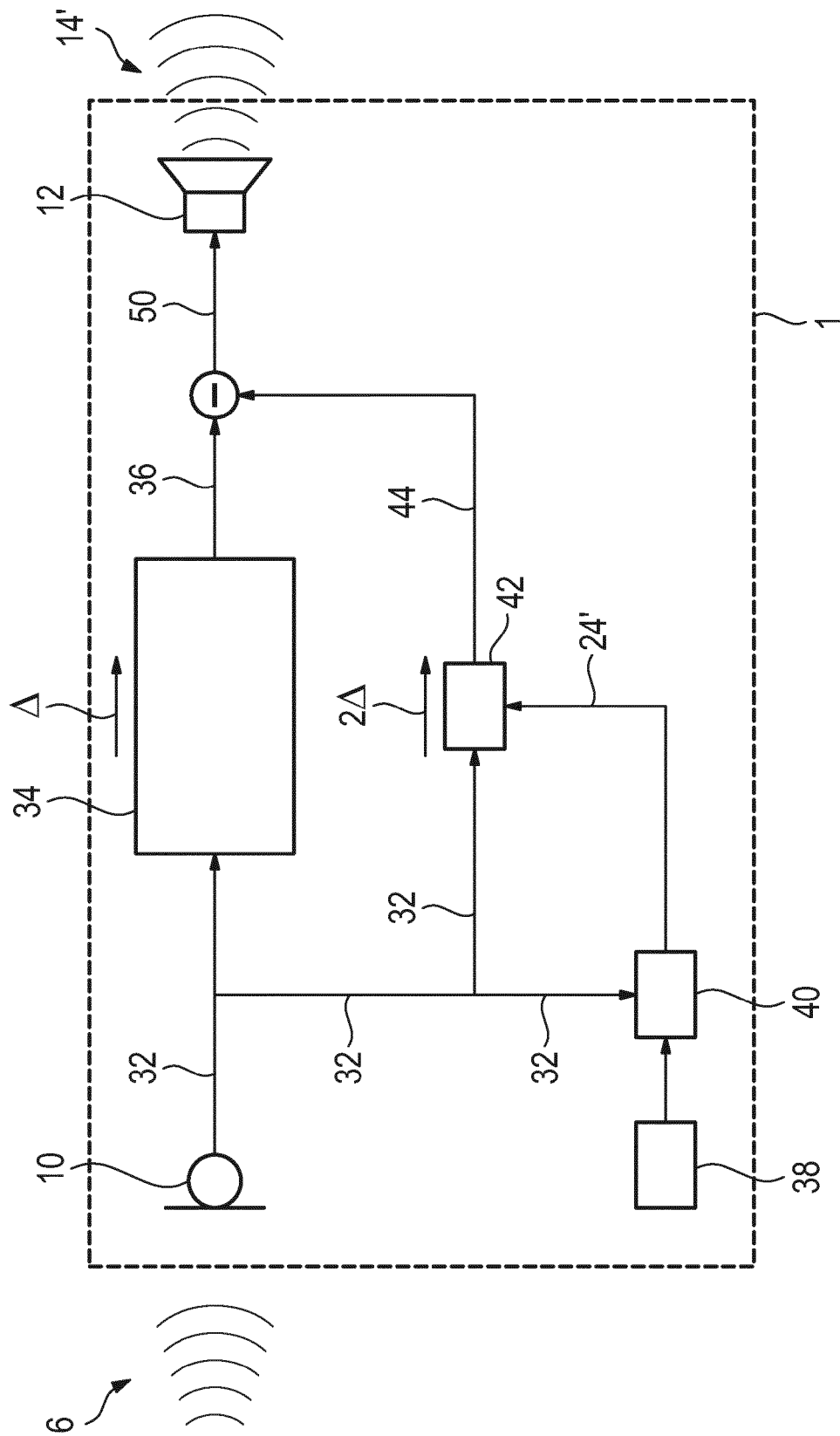


Fig. 3

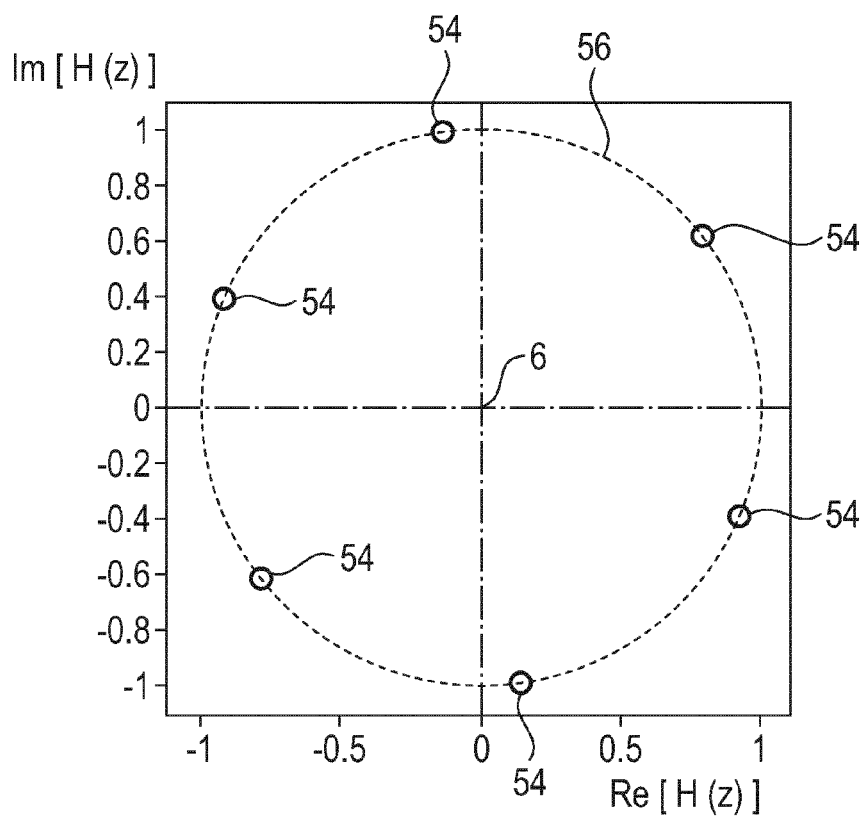


Fig. 4a

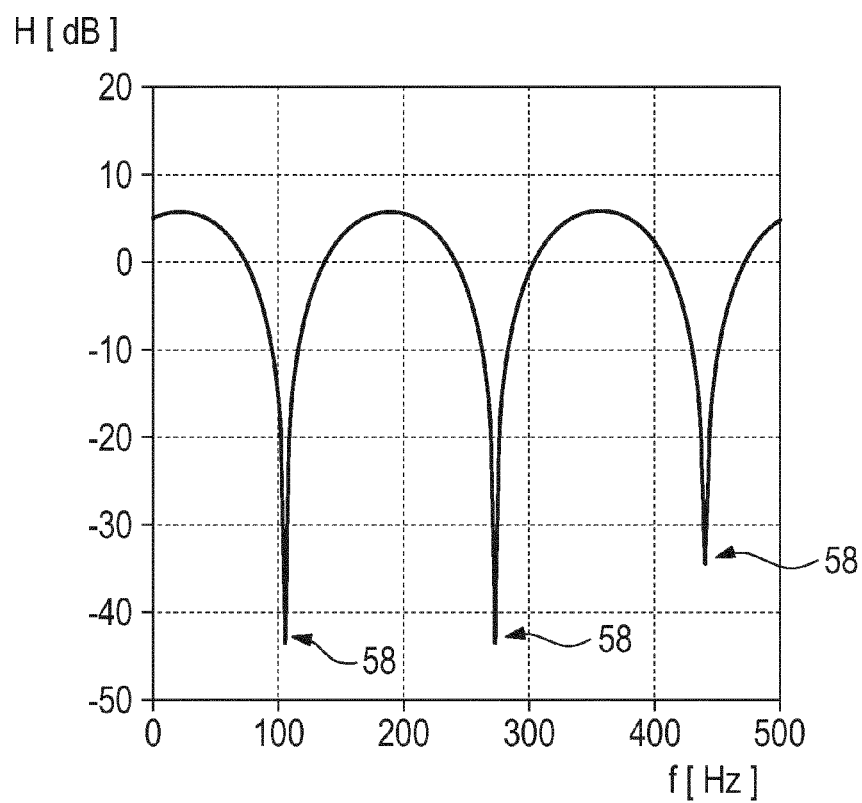


Fig. 4b

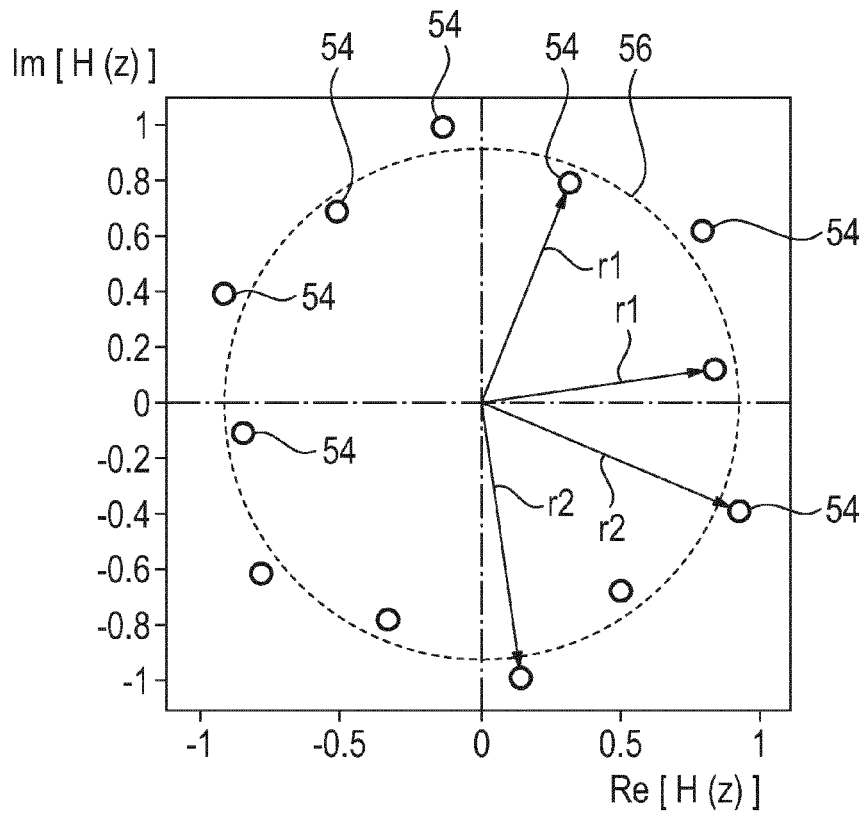


Fig. 5a

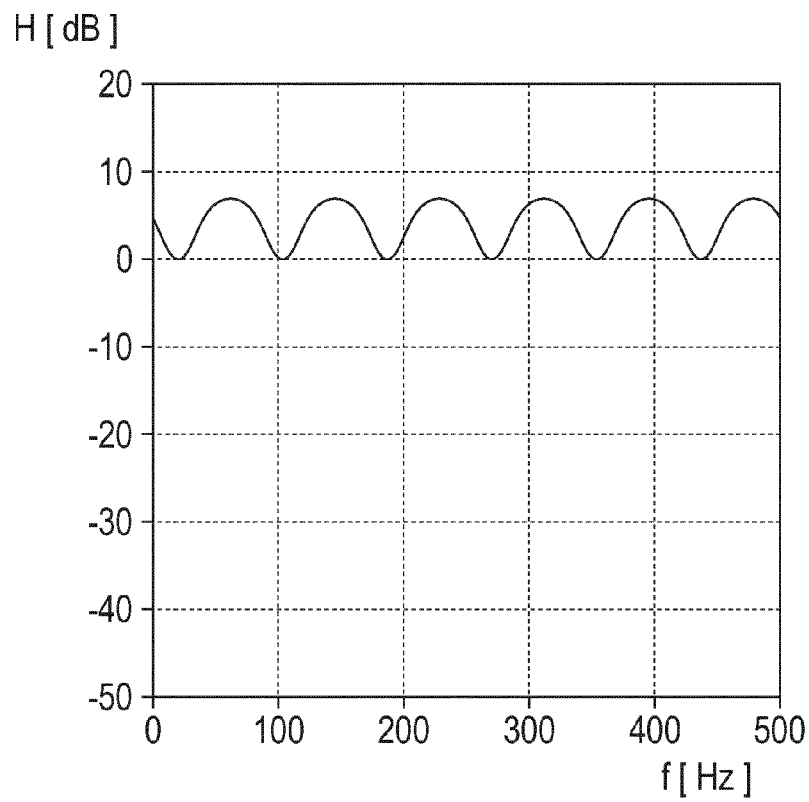


Fig. 5b

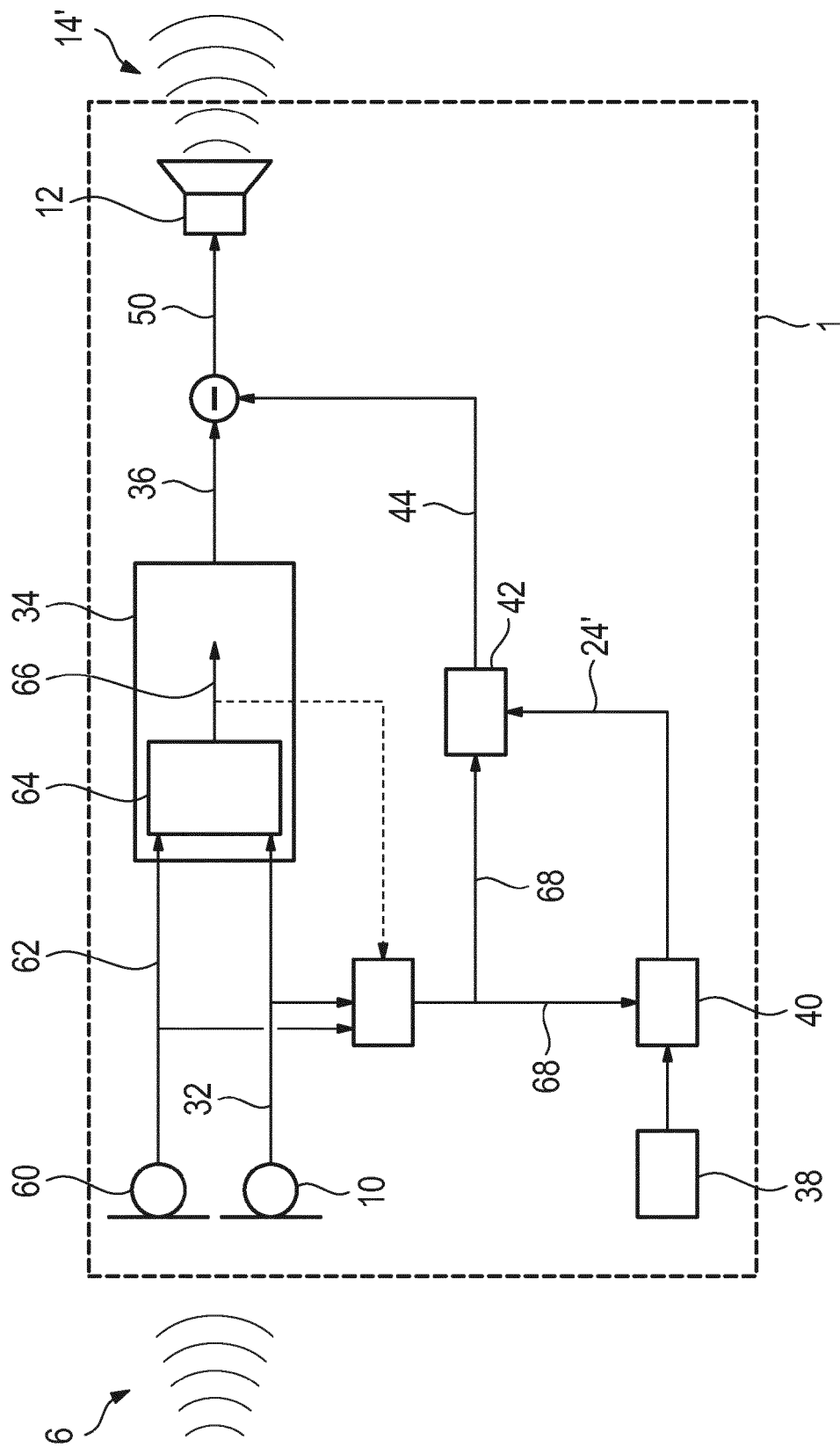


Fig. 6



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 19 16 9515

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X,P	EP 3 419 310 A1 (GN HEARING AS [DK]) 26. Dezember 2018 (2018-12-26) * Absätze [0025], [0066] - [0072], [0090] - [0107], [0130] - [0135]; Abbildung 1 *	1-9	INV. H04R25/00
A	DE 10 2011 075006 B3 (SIEMENS MEDICAL INSTR PTE LTD [SG]) 31. Oktober 2012 (2012-10-31) * Absätze [0007], [0008], [0039] - [0043] *	1-9	
A	DE 10 2016 200637 B3 (SIVANTOS PTE LTD [SG]) 27. April 2017 (2017-04-27) * Absätze [0006] - [0020] *	1-9	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			H04R
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 1. Oktober 2019	Prüfer Fruhmann, Markus
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 19 16 9515

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

01-10-2019

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	EP 3419310	A1	26-12-2018	CN 109121055 A		01-01-2019
				EP 3419310 A1		26-12-2018
				JP 2019033477 A		28-02-2019
15				US 2018376258 A1		27-12-2018

	DE 102011075006 B3		31-10-2012	CN 102761815 A		31-10-2012
				DE 102011075006 B3		31-10-2012
				DK 2519033 T3		05-03-2018
20				EP 2519033 A2		31-10-2012
				US 2012275630 A1		01-11-2012

	DE 102016200637 B3		27-04-2017	CN 106982409 A		25-07-2017
				DE 102016200637 B3		27-04-2017
				DK 3197181 T3		21-01-2019
25				EP 3197181 A1		26-07-2017
				US 2017208397 A1		20-07-2017

30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82