



(10) **DE 10 2011 006 129 B4** 2013.06.06

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 006 129.0**  
(22) Anmeldetag: **25.03.2011**  
(43) Offenlegungstag: **27.09.2012**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **06.06.2013**

(51) Int Cl.: **H04R 25/00 (2006.01)**  
**H04R 3/02 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Siemens Medical Instruments Pte. Ltd.,  
Singapore, SG**

(72) Erfinder:  
**Puder, Henning, Dr., 91052, Erlangen, DE**

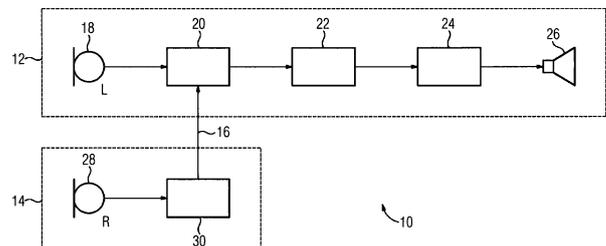
(74) Vertreter:  
**Maier, Daniel Oliver, Dipl.-Ing. Univ., 81739,  
München, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**US 2010 / 0 254 555 A1**  
**WO 2007/ 113 282 A1**  
**WO 2010/ 027 722 A1**

(54) Bezeichnung: **Hörvorrichtung mit Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung und Verfahren zum Betreiben der Hörvorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Hörvorrichtung (10, 10'), bei der ein erstes Mikrophon (18, 18') über ein Pre-Whitening-Filter (20, 20') mit einer Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung (22, 22') gekoppelt ist, wobei die Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung (22, 22') dazu ausgelegt ist, im Falle einer Rückkopplung in einem Mikrofonsignal des ersten Mikrofons zu adaptieren, dadurch gekennzeichnet, dass die Hörvorrichtung (10, 10') dazu ausgelegt ist, einen Frequenzgang (F2, F4, F6) des Pre-Whitening-Filters (20, 20') in Abhängigkeit von einem Signal eines zweiten Mikrofons (28) der Hörvorrichtung (10) einzustellen.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Hörvorrichtung, bei der ein Mikrofon über ein Pre-Whitening-Filter mit einer Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung gekoppelt ist. Unter dem Begriff Hörvorrichtung wird hier insbesondere eine Hörhilfe verstanden. Darüber hinaus fallen unter den Begriff aber auch andere tragbare akustische Geräte wie Headsets, Kopfhörer und dergleichen. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben der Hörvorrichtung.

**[0002]** Hörhilfen sind tragbare Hörvorrichtungen, die zur Versorgung von Schwerhörigen dienen. Um den zahlreichen individuellen Bedürfnissen entgegenzukommen, werden unterschiedliche Bauformen von Hörhilfen bereitgestellt. Sie können Hörgeräte wie Hinter-dem-Ohr-Hörgeräte (HdO), Hörgeräte mit externem Hörer (RIC: receiver in the canal) und In-dem-Ohr-Hörgeräte (IdO), z. B. auch Concha-Hörgeräte oder Kanal-Hörgeräte (ITE, CIC), umfassen. Die beispielhaft aufgeführten Hörgeräte werden am Außenohr oder im Gehörgang getragen. Darüber hinaus stehen auf dem Markt aber auch Knochenleitungshörhilfen, implantierbare oder vibrotaktile Hörhilfen zur Verfügung. Dabei erfolgt die Stimulation des geschädigten Gehörs entweder mechanisch oder elektrisch.

**[0003]** Hörgeräte besitzen prinzipiell als wesentliche Komponenten einen Eingangswandler, einen Verstärker und einen Ausgangswandler. Der Eingangswandler ist in der Regel ein Schallempfänger, z. B. ein Mikrofon, und/oder ein elektromagnetischer Empfänger, z. B. eine Induktionsspule. Der Ausgangswandler ist meist als elektroakustischer Wandler, z. B. Miniaturlautsprecher, oder als elektromechanischer Wandler, z. B. Knochenleitungshörer, realisiert. Der Verstärker ist üblicherweise in eine Signalverarbeitungseinheit integriert. Dieser prinzipielle Aufbau ist in [Fig. 1](#) am Beispiel eines Hinterdem-Ohr-Hörgeräts dargestellt. In ein Hörgerätegehäuse **1** zum Tragen hinter dem Ohr sind ein oder mehrere Mikrofone **2** zur Aufnahme des Schalls aus der Umgebung eingebaut. Eine Signalverarbeitungseinheit **3**, die ebenfalls in das Hörgerätegehäuse **1** integriert ist, verarbeitet die Mikrofonsignale und verstärkt sie. Das Ausgangssignal der Signalverarbeitungseinheit **3** wird an einen Lautsprecher bzw. Hörer **4** übertragen, der ein akustisches Signal ausgibt. Der Schall wird gegebenenfalls über einen Schallschlauch, der mit einer Otoplastik im Gehörgang fixiert ist, zum Trommelfell des Geräteträgers übertragen. Anstelle einer Otoplastik kann auch ein als Dome (Dome – Kuppel) bezeichnetes kuppelförmiges Ohrstück verwendet werden, das sich beim Einsetzen in den Gehörgang an eine Form desselben anpasst. Im Zusammenhang mit einer offenen Anpassung wird oft ein sogenannter Tip (Tip – Spitze) verwendet, der eine besonders schmale Form aufweist, so dass er eine Belüftung des Gehörgangs

nicht beeinträchtigt. Die Energieversorgung des Hörgeräts und insbesondere die der Signalverarbeitungseinheit **3** erfolgt durch eine ebenfalls ins Hörgerätegehäuse **1** integrierte Batterie **5**.

**[0004]** Bei einer akustischen Rückkopplung (Englisch: feedback) gelangt ein Teil des vom Hörer **4** erzeugten Schalls (als Luft- oder Körperschall) über einen Rückkopplungspfad wieder zu wenigstens einem der Mikrofone **2**. Dies kann dazu führen, dass das Hörgerät **1** einen unerwünschten Pfeifton erzeugt. Um einen solchen Pfeifton zu vermeiden, kann eine Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung (Englisch: feedback canceller) vorgesehen sein, die beispielsweise Bestandteil der Signalverarbeitungseinheit **3** sein kann.

**[0005]** Für eine erfolgreiche Unterdrückung eines Pfeiftons muss in der Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung zunächst ein Modell für den Rückkopplungspfad adaptiert werden. Während der Adaption können hierbei unerwünschte Artefakte entstehen, die im Schallsignal des Hörers wahrnehmbar sind. Zu dieser Artefaktbildung kann es insbesondere bei Mikrofonsignalen mit tonalem Anteil kommen.

**[0006]** Hierzu ist als theoretische Lösung bekannt, das Mikrofon über ein Pre-Whitening-Filter mit der Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung zu koppeln. Als Pre-Whitening-Filter ist hier ein Filter bezeichnet, das innerhalb eines Kurzzeitspektrums eines Mikrofonsignals Unterschiede zwischen den Amplituden einzelner Frequenzanteile verringert. Man spricht auch vom Weißen (Englisch: Whitening) des Kurzzeitspektrums. Eine solche Nivellierung des Kurzzeitspektrums entspricht einer Verringerung der Autokorrelation des Signals, d. h. seiner Dekorrelation. Insbesondere wird eine Tonalität des Mikrofonsignals verringert. Für eine ideale Weißung entspricht der Frequenzgang eines Pre-Whitening-Filters dem invertierten Kurzzeitspektrum des zu weißenden Signals.

**[0007]** Nachteilig bei der Verwendung eines Pre-Whitening-Filters ist, dass durch die Nivellierung auch diejenigen spektralen Spitzen im Kurzzeitspektrum des Mikrofonsignals gedämpft werden, die für den Pfeifton der Rückkopplung charakteristisch sind. Hierdurch wird die Adaption des Modells in der Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung wegen der dann nur noch schwach ausgeprägten spektralen Spitze erschwert. Sie wird insbesondere sehr langsam.

**[0008]** In der Druckschrift US 2010/0254555 A1 ist ein Hörgerät beschrieben, bei welchem ein Mikrofon über eine Signalaufbereitung mit einer Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung gekoppelt ist, die aus einem Steuerelement und einem adaptiven Filter besteht. Zusätzlich zu dem adaptiven Filter

der Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung kann bei dem Hörgerät ein zweites adaptives Filter innerhalb der Signalaufbereitung vorgesehen sein. Dieses zweite adaptive Filter ist dann zwischen ein externes Mikrofon und einen Signalpfad geschaltet, welcher das erste Mikrofon direkt mit der Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung verbindet.

**[0009]** In der Druckschrift WO 2007/113282 A1 ist ein Hörgerät beschrieben, bei dem das Ausgangssignal einer Signalverarbeitungseinrichtung über ein Whitening-Filter mit einem adaptiven Filter einer Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung gekoppelt sein kann.

**[0010]** In der Druckschrift WO 2010/027722 A1 ist ein Filtersystem beschrieben, mit dem zu einem unbekanntem System dessen Übertragungsfunktion auf der Grundlage eines adaptiven Filters geschätzt wird. Die Filterkoeffizienten des adaptiven Filters werden durch ein Schattenfilter ermittelt, dessen Signaleingängen jeweils ein Pre-Whitening-Filter vorgeschaltet ist.

**[0011]** Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, bei einer Hörvorrichtung eine artefaktfreie, schnelle Rückkopplungsunterdrückung zu ermöglichen sowie ein Verfahren hierfür zu schaffen. Die Aufgabe wird durch eine Hörvorrichtung gemäß Anspruch 1 und durch ein Verfahren gemäß Anspruch 7 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind durch die Unteransprüche gegeben.

**[0012]** Bei der erfindungsgemäßen Hörvorrichtung ist ein erstes Mikrofon über ein Pre-Whitening-Filter mit einer Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung gekoppelt. Zusätzlich weist die Hörvorrichtung ein zweites Mikrofon auf. Die Hörvorrichtung ist dabei dazu ausgelegt, einen Frequenzgang des Pre-Whitening-Filters (für das erste Mikrofon) in Abhängigkeit von einem Signal des zweiten Mikrofons festzulegen.

**[0013]** Zum Betreiben der erfindungsgemäßen Hörvorrichtung sieht das erfindungsgemäße Verfahren in einem ersten Schritt vor, ein erstes Mikrofonsignal des ersten Mikrofons und ein zweites Mikrofonsignal des zweiten Mikrofons zu erfassen. Das erste Mikrofonsignal wird mittels des Pre-Whitening-Filters gefiltert. Ein Frequenzgang des Pre-Whitening-Filters für das erste Mikrofonsignal wird dabei in Abhängigkeit von dem zweiten Mikrofonsignal festgelegt. Auf Grundlage des gefilterten ersten Mikrofonsignals wird dann die Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung für das erste Mikrofonsignal adaptiert.

**[0014]** Die erfindungsgemäße Hörvorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren weisen den Vorteil auf, dass die Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung im Falle einer Rückkopplung im ersten Mikrofonsignal schnell adaptiert wird und dennoch kei-

ne Artefakte während der Adaption entstehen. Mit der Adaption der Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung ist hier und im Folgenden die Adaption des von der Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung verwendeten Modells für den Rückkopplungspfad gemeint.

**[0015]** Die Artefakte werden durch das Pre-Whitening-Filter vermieden. Indem der Frequenzgang des Pre-Whitening-Filters aber auf der Grundlage des zweiten Mikrofonsignals festgelegt wird, in dem kein (oder zumindest ein anderer) Rückkopplungsanteil enthalten ist, ergibt sich bei der Filterung des ersten Mikrofonsignals während einer Rückkopplung keine Dämpfung der spektralen Spitze im Kurzzeitspektrum des ersten Mikrofonsignals. Dadurch ist die schnelle Adaption der Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung ermöglicht.

**[0016]** Um den Frequenzgang des Pre-Whitening-Filters einzustellen, kann dieses mit einem adaptiven Filter gekoppelt sein, welches dazu ausgelegt ist, Filterkoeffizienten für eine Pre-Whitening-Filterung in Abhängigkeit von dem Mikrofonsignal des zweiten Mikrofons zu bestimmen. Das Pre-Whitening-Filter empfängt dann die Filterkoeffizienten von dem adaptiven Filter und legt den Frequenzgang anhand der Filterkoeffizienten fest. Die Filterkoeffizienten werden dabei bevorzugt auch entsprechend adaptiv ermittelt, d. h. kontinuierlich. Somit stehen auch bei einer Veränderung des Kurzzeitspektrums des Umgebungsschallsignals stets die passenden Filterkoeffizienten bereit.

**[0017]** Die Filterkoeffizienten, oder allgemeiner der Frequenzgang, können beispielsweise auf der Grundlage eines Least-Mean-Square-Algorithmus oder des Levinson-Durbin-Algorithmus oder einer linearen Prädiktion oder einer Autokorrelationsbestimmung festgelegt werden.

**[0018]** Die Hörvorrichtung wird in vorteilhafter Weise weitergebildet, wenn die Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung ein Schattenfilter aufweist. Mittels eines Schattenfilters können Rausch- und Stabilitätsprobleme in besonders kritischen akustischen Umgebungen vermieden werden. Alternativ zu einem Schattenfilter kann bei der Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung eine Schätzeinrichtung für einen Rückkopplungspfad auch in einen Nutzsinalpfad integriert sein. Durch diese Integration müssen weniger Filter bereitgestellt sein, um eine adaptive Rückkopplungsunterdrückung zu bewirken.

**[0019]** Eine andere vorteilhafte Weiterbildung ergibt sich, wenn das erste Mikrofon in einer bestimmungsgemäß an einem Ohr eines Benutzers der Hörvorrichtung zu tragenden Komponente der Hörvorrichtung, z. B. einem Hörgerät, und das zweite Mikrofon in einem Abstand zu dieser Komponente angeordnet

ist. Durch den Abstand ist es sehr unwahrscheinlich, dass sich eine Rückkopplung mit einem Pfeifton bei einer bestimmten Frequenz gleichzeitig in beiden Mikrofonen ausbildet. So ist gewährleistet, dass durch das Pre-Whitening keine Dämpfung des Rückkopplungsanteils, d. h. der spektralen Spitzen in den Kurzzeitspektren des ersten Mikrofonsignals, verursacht wird.

**[0020]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn die beiden Mikrofone in Komponenten der Hörvorrichtung angeordnet sind, die an unterschiedlichen Seiten des Kopfes eines Benutzers zu tragen sind, also z. B. in zwei Hörgeräten. Diese Weiterbildung beruht auf der Beobachtung, dass in den beiden Komponenten eine Rückkopplung für die gleiche Frequenz fast nie zugleich entsteht. Dagegen sind die Umgebungsschallsignale, die von den beiden Komponenten empfangen werden, stets sehr ähnlich. Somit ist ein Weißes (Whitening) des Signalanteils des Umgebungsschalls in dem ersten Mikrofonsignal mithilfe eines Pre-Whitening-Filters möglich, dessen Frequenzgang auf der Grundlage des zweiten Mikrofonsignals ermittelt ist. Der Signalanteil, der durch eine lokale Rückkopplung in das erste Mikrofon verursacht wird, wird dabei nicht gedämpft. Die Kopfabschattung bewirkt, dass das Rückkopplungssignal, das sich an einem der Hörgeräte ausprägt, bei dem anderen gar nicht oder nur stark gedämpft ankommt, so dass dessen Pre-Whitening-Filter keine Dämpfungen bei dem Rückkopplungssignal aufweist.

**[0021]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Dazu zeigt:

**[0022]** [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines Hinter-dem-Ohr-Hörgeräts gemäß dem Stand der Technik,

**[0023]** [Fig. 2](#) ein schematische Darstellung einer binauralen Hörhilfe gemäß einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Hörvorrichtung,

**[0024]** [Fig. 3](#) zwei Diagramme mit je zwei Graphen zu Frequenzgängen von Pre-Whitening-Filtern, deren Filterkoeffizienten jeweils ohne eine Rückkopplung bestimmt wurden,

**[0025]** [Fig. 4](#) drei Diagramme mit je zwei Graphen zu Frequenzgängen von Pre-Whitening-Filtern, deren Koeffizienten einmal während einer Rückkopplung und einmal ohne eine Rückkopplung bestimmt wurden,

**[0026]** [Fig. 5](#) eine schematische Darstellung eines Hörgeräts der Hörhilfe von [Fig. 2](#) und

**[0027]** [Fig. 6](#) eine schematische Darstellung eines Hörgeräts einer binauralen Hörhilfe gemäß einer wei-

teren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Hörvorrichtung.

**[0028]** In [Fig. 2](#) ist ein schematischer Aufbau einer binauralen Hörhilfe **10** gezeigt. Die Hörhilfe **10** weist als Komponenten ein linkes Hörgerät **12** und ein rechtes Hörgerät **14** auf, die von einem Benutzer der Hörhilfe **10** jeweils am Ohr zu tragen sind. In [Fig. 2](#) deuten die Buchstaben L (links) und R (rechts) an, an welcher Seite des Kopfes die Hörgeräte jeweils getragen werden. Bei den Hörgeräten **12** und **14** kann es sich beispielsweise um In-dem-Ohr-Hörgeräte oder um Hinter-dem-Ohr-Hörgeräte handeln.

**[0029]** Die beiden Hörgeräte **12** und **14** sind über eine Kommunikationsverbindung **16** miteinander verbunden. Es kann sich dabei beispielsweise um ein Kabel oder um eine Funkverbindung handeln. Über die Kommunikationsverbindung **16** können zwischen den Hörgeräten **12** und **14** z. B. Audiosignale oder andere Daten ausgetauscht werden.

**[0030]** Das linke Hörgerät **12** weist ein erstes Mikrofon **18** auf, das über ein Pre-Whitening-Filter **20** mit einer Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung **22** gekoppelt ist. Die Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung **22** ist über eine Nachverarbeitungseinrichtung **24** mit einem Hörer **26** des Hörgeräts **12** gekoppelt.

**[0031]** In dem rechten Hörgerät **14** befindet sich ein zweites Mikrofon **28**, das mit einem adaptiven Filter **30** gekoppelt ist. Von dem adaptiven Filter **30** ermittelte Filterkoeffizienten werden über die Kommunikationsverbindung **16** zum Pre-Whitening-Filter **20** übertragen.

**[0032]** Ein Mikrofonsignal des ersten Mikrofons **18** wird durch das Pre-Whitening-Filter **20** geweißt. Dies verringert die Tonalität des Mikrofonsignals, wodurch während einer Adaption der Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung **22** weniger Artefakte im Ausgangssignal der Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung **22** erzeugt werden.

**[0033]** Die Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung **22** kann auf einer adaptiven Systemidentifikation basieren, mit der auf der Grundlage eines Modells für eine Übertragungsfunktion eines lokalen Rückkopplungspfad vom Hörer **26** zu dem Mikrofon **18** ein Rückkopplungsanteil in dem aus dem Pre-Whitening-Filter **20** empfangenen Signal ermittelt wird. Die Adaption der Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung **22** erfolgt anhand des in dem Mikrofonsignal des ersten Mikrofons **18** enthaltenen Rückkopplungsanteils.

**[0034]** Der Frequenzgang des Pre-Whitening-Filters **20**, d. h. sein Übertragungsverhalten, ist durch die Filterkoeffizienten festgelegt, welche das Pre-Whitening-Filter **20** von dem adaptiven Filter **30** empfängt.

**[0035]** Das adaptive Filter **30** bestimmt die Filterkoeffizienten auf der Grundlage eines Mikrofonsignals des zweiten Mikrofons **28**. Die Filterkoeffizienten können beispielsweise auf der Grundlage einer linearen Prädiktion bestimmt werden. Anstelle einer linearen Prädiktion kann beispielsweise auch der Levinson-Durbin-Algorithmus oder generell ein Verfahren zum Bestimmen einer Autokorrelationsfunktion des Mikrofonsignals verwendet werden. Im spektralen Bereich ist beispielsweise eine Invertierung eines Auto-Leistungsdichtespektrums des Mikrofonsignals eine Methode zum Bestimmen eines Filters für ein Pre-Whitening.

**[0036]** Das adaptive Filter **30** kann auch Bestandteil des linken Hörgeräts **12** sein.

**[0037]** Durch die Nachverarbeitungseinrichtung **24** wird die Signalverzerrung, wie sie durch das Pre-Whitening-Filter **20** im Mikrofonsignal bewirkt wurde, d. h. durch das Weißén, wieder rückgängig gemacht. Für diese Entzerrung kann das Ausgangssignal der Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung **22** beispielsweise mit einem Filter prozessiert werden, dessen Übertragungsfunktion durch Invertieren einer momentanen Übertragungsfunktion des Pre-Whitening-Filters **20** gebildet ist.

**[0038]** Zu der Nachverarbeitungseinrichtung **24** gehört auch ein Verstärker, durch den das entzerrte Signal zum Betreiben des Hörers **24** verstärkt wird.

**[0039]** Bei der Hörhilfe **10** ist auch für einen (nicht dargestellten) Hörer des rechten Hörgeräts **14** eine Rückkopplungsunterdrückung ermöglicht. Dazu weist das rechte Hörgerät **14** ebenfalls ein Pre-Whitening-Filter und eine Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung auf, die beide der Übersichtlichkeit halber in [Fig. 2](#) nicht dargestellt sind. Filterkoeffizienten für das Pre-Whitening-Filter des rechten Hörgeräts **14** werden über ein zweites adaptives Filter auf Grundlage des Mikrofonsignals des ersten Mikrofons **18** bestimmt.

**[0040]** Das Pre-Whitening mittels des Pre-Whitening-Filters **20** kann auch mit einer Frequenzverschiebung (Englisch: frequency shifting) kombiniert sein. Dies ergibt den Vorteil, dass die Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung **22** besonders robust gegen eine Artefaktbildung ist. Die Frequenzverschiebung kann z. B. durch eine Einseitenbandmodulation, beispielsweise mittels eines Hilbert-Filters, bewirkt werden. Die Verschiebung kann beispielsweise 20 Hz betragen.

**[0041]** Für das in [Fig. 2](#) erläuterte Beispiel sei im Folgenden angenommen, dass ein Teil eines vom Hörer **26** erzeugter Schall in das erste Mikrofon **18** rückgekoppelt wird, so dass im Mikrofonsignal des ersten Mikrofons **18** ein Signalanteil eines Um-

gebungsschalls und ein Signalanteil der Rückkopplung enthalten sind. Das zweite Mikrofon **28** erfasst ebenfalls den Umgebungsschall. Der Signalanteil der Rückkopplung ist dagegen wegen einer Abschirmung durch den Kopf des Benutzers nicht im Mikrofonsignal des zweiten Mikrofons **28** enthalten.

**[0042]** Indem das Weißén (Whitening) des Mikrofonsignals des ersten Mikrofons **18** auf der Grundlage der Filterkoeffizienten aus dem adaptiven Filter **30** erfolgt, wird der Signalanteil der Rückkopplung in dem Mikrofonsignal des ersten Mikrofons **18** nicht gedämpft. Daher adaptiert die Rückkopplungsunterdrückungseinheit **22** schnell genug, um das Entstehen eines Pfeiftons zu verhindern. Dennoch ist eine Artefaktbildung stark vermindert oder sogar ganz verhindert.

**[0043]** Im Folgenden wird anhand der [Fig. 3](#) und der [Fig. 4](#) die Vermeidung einer Verlangsamung der Adaption der Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung **22** noch einmal näher erläutert.

**[0044]** Dazu sind in [Fig. 3](#) zwei Diagramme D1 und D2 gezeigt. In beiden Diagrammen D1, D2 sind jeweils zwei Graphen zu Frequenzgängen (Englisch: frequency response) von Pre-Whitening-Filtern gezeigt. Die Abszissenachse der Diagramme D1 und D2 gibt die Frequenz  $f$  (in Kilohertz) an, die Ordinatenachse die Amplitude  $A$  (in Dezibel).

**[0045]** In dem Diagramm D1 sind ein Frequenzgang F1 und ein Frequenzgang F2 dargestellt. Der Frequenzgang F1 wurde auf der Grundlage des Mikrofonsignals des Mikrofons **18** des linken Hörgeräts **12** bestimmt, der Frequenzgang F2 auf der Grundlage des Mikrofonsignals des Mikrofons **28** des rechten Hörgeräts **14**. Mittels der beiden Mikrofone **18**, **28** wurde ein Umgebungsschall erfasst. Eine Rückkopplung war bei beiden Hörgeräten **12**, **14** nicht vorhanden.

**[0046]** Die den Frequenzgängen zugrundeliegenden Filterkoeffizienten wurden im Falle des Frequenzgangs F2 mittels des adaptiven Filters **30** (rechtes Mikrofonsignal) bzw. im Falle des Frequenzgangs F1 mittels des adaptiven Filters des linken Hörgeräts **12** (linkes Mikrofonsignal) bestimmt.

**[0047]** Wie in Diagramm D1 zu erkennen ist, ergeben sich für beide Mikrofonsignale sehr ähnliche Frequenzgänge F1 und F2. Daher ist es möglich, die Filterkoeffizienten, welche den Frequenzgang F2 (rechtes Mikrofonsignal) ergeben, zum Weißén des Mikrofonsignals des linken Mikrofons mittels des Pre-Whitening-Filters **20** zu verwenden. Genauso können die Filterkoeffizienten für den Frequenzgang F2 (linkes Mikrofonsignal) problemlos in dem Pre-Whitening-Filter des rechten Hörgeräts **14** verwendet werden.

**[0048]** Im Diagramm D2 sind Frequenzgänge F3 und F4 gezeigt. Der Frequenzgang F3 entspricht dem Frequenzgang E1, wie er sich zu einem anderen Zeitpunkt ergibt, wenn sich das adaptive Filter an eine Änderung des Umgebungsschalls angepasst hat. Der Frequenzgang F4 entspricht dem Frequenzgang F2 zu dem anderen Zeitpunkt.

**[0049]** Anhand des Diagramms D2 ist zu erkennen, dass sich auch zu einem anderen Zeitpunkt für beide Mikrofone **18**, **28** stets sehr ähnliche Frequenzgänge ergeben.

**[0050]** In [Fig. 4](#) sind in drei Diagrammen D3, D4 und D5 jeweils weitere Frequenzgänge gezeigt, die anhand der Mikrofonsignale des linken Mikrofons **18** und des rechten Mikrofons **28** ermittelt worden sind. Die Diagramme D3 bis D5 zeigen dabei wieder Frequenzgänge, wie sie sich zu jeweils unterschiedlichen Zeitpunkten ergeben. Im Unterschied zu den Diagrammen aus [Fig. 3](#), zeigen die Diagramme D3 bis D5 Frequenzgänge zu Pre-Whitening-Filtern, wie sie sich ergeben, wenn am linken Hörgerät **12** eine akustische Rückkopplung vorhanden ist, aufgrund welcher ein oder mehrere Pfeiftöne vom linken Hörgerät **12** erzeugt werden.

**[0051]** Im Diagramm D3 ist ein Frequenzgang F5 für ein Pre-Whitening-Filter gezeigt, der auf der Grundlage des linken Mikrofonsignals bestimmt wurde. Der Frequenzgang F5 weist eine starke Einkerbung **32** auf. Die Einkerbung **32** befindet sich bei der Frequenz eines Pfeiftons, der durch die Rückkopplung verursacht ist. Wenn die Filterkoeffizienten, welche den Frequenzgang F5 ergeben, auch zum Weißén des linken Mikrofonsignals in dem Pre-Whitening-Filter **20** verwendet würden, würde dies wegen der Einkerbung **32** zu einer starken Dämpfung des aus der Rückkopplung stammenden Signalanteils führen, d. h. die durch den Pfeifton verursachten spektralen Spitze im Kurzzeitspektrum des Mikrofonsignals des linken Mikrofons **18** würde gedämpft. Entsprechend würde sich eine Adaption der nachgeschalteten Rückkopplungsunterdrückungseinheit **22** verlangsamen.

**[0052]** Ein Frequenzgang F6, der auf der Grundlage des Mikrofonsignals des rechten Hörgeräts **14** vom adaptiven Filter **30** bestimmt wurde, ist in einem Frequenzbereich **34**, in welchem die Frequenz des Pfeiftons liegt, nicht von der Rückkopplung beeinflusst. Der Frequenzgang F6 repräsentiert somit ausschließlich den Umgebungsschall. Mit den Filterkoeffizienten aus dem adaptiven Filter **30** ist es deshalb möglich, das linke Mikrofonsignal mittels des Pre-Whitening-Filters **20** zu weißén, ohne dabei den aus der Rückkopplung stammenden Signalanteil zu dämpfen. Dies ermöglicht die schnelle und dennoch artefaktfreie Rückkopplungsunterdrückung.

**[0053]** In den Diagrammen D4 und D5 sind jeweils noch einmal Frequenzgänge entsprechend den Frequenzgängen F5 und F6 gezeigt, wie sie sich für zwei andere Umgebungsschallsignale ergeben. Die Rückkopplung am linken Hörgerät **12** verursacht stets nur in demjenigen Frequenzgang F7, F8 Einkerbungen, der im linken Hörgerät **12** auf der Grundlage des Mikrofonsignals des linken Mikrofons **18** bestimmt wurde.

**[0054]** In [Fig. 5](#) ist zur Veranschaulichung der Funktionsweise der Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung **22** das linke Hörgerät **12** der in [Fig. 2](#) gezeigten Hörhilfe **10** noch einmal genauer dargestellt.

**[0055]** Die Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung **22** weist eine Schätzeinheit **36** auf, mittels welcher zu einer Übertragungsfunktion  $\hat{H}$  eines Rückkopplungspfads eine geschätzte Übertragungsfunktion  $\hat{H}$  ermittelt wird. Im Folgenden wird die Übertragungsfunktion  $\hat{H}$  als der geschätzte Rückkopplungspfad  $\hat{H}$  bezeichnet. Der geschätzte Rückkopplungspfad  $\hat{H}$  stellt das bereits erwähnte Modell für den Rückkopplungspfad dar. Auf der Grundlage des geschätzten Rückkopplungspfads  $\hat{H}$  wird aus einem Ausgabesignal **38** einer Verarbeitungseinheit **40** ein Rückkopplungsanteil **42** geschätzt.

**[0056]** Der geschätzte Rückkopplungsanteil **42** wird mittels einer Berechnungseinheit **44** von dem Ausgangssignal des Pre-Whitening-Filters **20** subtrahiert. Bei einer idealen Adaption der Schätzeinheit **36** würde hierdurch ein Rückkopplungsanteil in einem Ausgangssignal des Pre-Whitening-Filters **20** entfernt. Das Ausgangssignal der Berechnungseinheit **44** wird zum einen als Nutzsignal an die Verarbeitungseinheit **40** übertragen. Zum anderen bildet das Ausgangssignal ein Fehlersignal **46** zum Adaptieren der Schätzeinheit **36**, d. h. zum Adaptieren des geschätzten Rückkopplungspfads  $\hat{H}$ .

**[0057]** Die Verarbeitungseinheit **40** kann beispielsweise eine selektive Verstärkung einzelner Frequenzbereiche bewirken, für welche ein Hörvermögen des Benutzers der Hörhilfe **10** beeinträchtigt ist.

**[0058]** In [Fig. 5](#) ist auch die Funktionsweise der Nachverarbeitungseinrichtung **24** genauer veranschaulicht. Zu aktuellen Filterkoeffizienten PW für das Pre-Whitening-Filter **20** empfängt ein einstellbares Filter **48** der Nachverarbeitungseinrichtung **24** über eine Kommunikationsverbindung **16'** Filterkoeffizienten  $PW^{-1}$ , mittels welcher der Frequenzgang des einstellbaren Filters **48** festgelegt wird. Durch die Filterkoeffizienten  $PW^{-1}$  ergibt sich dabei ein Frequenzgang des einstellbaren Filters **48**, der invers zu demjenigen des mit den Filterkoeffizienten PW betriebenen Pre-Whitening-Filters **20** ist, so dass durch Filtern des Ausgangssignals **38** der Verarbeitungseinheit **40**

mit dem einstellbaren Filter **48** die bereits beschriebene Entzerrung bewirkt wird.

[0059] Der Verstärker **50** bewirkt dann die ebenfalls bereits beschriebene Verstärkung des entzerrten Signals für den Betrieb des Hörers **26**.

[0060] Wie bereits erwähnt, wird bei dem Hörgerät **12** durch eine einzige Filterung des Ausgangssignals **38** mit der Schätzeinheit **36** ein Signal, nämlich der geschätzte Rückkopplungsanteil **42**, ermittelt, mittels welchem sowohl das Bilden des Fehlersignals **46** für die Adaption der Schätzeinheit **36** als auch die Entfernung des Rückkopplungsanteils in dem Nutzsinal für den Hörer **26** ermöglicht wird. Die Schätzung des Rückkopplungspfades  $H$  ist somit in den Nutzsinalpfad integriert, der hier vom Mikrofon **18** über das Pre-Whitening-Filter **20**, die Berechnungseinheit **44**, die Verarbeitungseinheit **40** und die Nachbearbeitungseinrichtung **24** zum Hörer **26** führt.

[0061] Im Folgenden ist in diesem Zusammenhang eine alternative Ausführungsform eines Hörgeräts beschrieben, bei dem ein Schattenfilter verwendet wird.

[0062] In [Fig. 6](#) ist ein Hörgerät **12'** einer nicht weiter dargestellten binauralen Hörhilfe **10'** gezeigt. In [Fig. 6](#) sind Elemente des Hörgeräts **12'**, welche in ihrer Funktion Elementen des Hörgeräts **12** entsprechen, mit gleichen, aber gestrichenen Bezugszeichen versehen.

[0063] Bei dem Hörgerät **12'** kann die Adaption einer Schätzeinheit **36'** auf Basis eines „pre-whitened“ Signals durchgeführt werden, ohne dass eine Filterung von Signalen mit dem invertierten Frequenzgang nötig ist. Ein von einem Hörer **26'** ausgegebenes Signal muss somit bei dem Hörgerät **12'** nicht erst entzerrt werden, wodurch mögliche Probleme mit einem stabilen Betrieb des für die Entzerrung nötigen inversen Filters und ein mögliches Rauschen in dem ausgegebenen Signal vermieden werden können. Das Hörgerät **12'** kann so auch in Umgebungen verwendet werden, in denen ein Weißes eines Mikrofonsignals eines Mikrofons **18'** eine verhältnismäßig starke Verzerrung verursacht. Zudem müssen zu Filterkoeffizienten  $PW$  für ein Pre-Whitening-Filter **20'** keine Filterkoeffizienten für eine inverse Filterung, eben die Entzerrung, berechnet werden.

[0064] Die Schätzeinheit **36'** ist Bestandteil einer Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung **22'** des Hörgeräts **12'**. Sie bildet zusammen mit einer Berechnungseinheit **44'** ein Schattenfilter **52**, mit dem ein Rückkopplungspfad  $\hat{H}$  in der im Zusammenhang mit der Schätzeinheit **36** und der Berechnungseinheit **44** beschriebenen Weise geschätzt wird. Eine Rückführung eines Ausgabesignals einer Verarbeitungseinheit **40'** zur Schätzeinheit **36'** erfolgt über ein weite-

res Pre-Whitening-Filter **20''**. Die beiden Pre-Whitening-Filter **20'** und **20''** sind über eine Kommunikationsverbindung **16''** mit einem nicht dargestellten adaptiven Filter verbunden, welches dem adaptiven Filter **30** entspricht. Damit ist auch bei dem Hörgerät **12'** eine schnelle Adaption der Schätzeinheit **36'** aus den benannten Gründen gewährleistet.

[0065] Anders als bei dem Hörgerät **12**, ist bei dem Hörgerät **12'** eine Unterdrückung eines Rückkopplungsanteils durch ein Rückkopplungsfilter **36''** und eine Berechnungseinheit **44''** unmittelbar in dem nicht-geweißten Mikrofonsignal bewirkt. Eine Übertragungsfunktion des Rückkopplungsfilters **36''**, d. h. dessen Frequenzgang, entspricht dabei der von der Schätzeinheit **36'** geschätzten Übertragungsfunktion  $\hat{H}$  des Rückkopplungspfades. Die Schätzeinrichtung **36'** überträgt dazu entsprechende Koeffizienten an das Rückkopplungsfilter **36''**. Mittels des Schattenfilters **52** wird somit ein geschätzter Rückkopplungspfad  $\hat{H}$  ermittelt, ohne dass hierzu ein Nutzsinal auf einem das Mikrofon **18'** mit dem Hörer **26'** verbindenden Nutzsinalpfad verändert werden muss. Indem das Schattenfilter **52** hierbei die geweißten Signale der Pre-Whitening-Filter **20'** und **20''** verarbeitet, ist bei dem Rückkopplungsfilter **36''** eine artefaktfreie Verarbeitung des Mikrofonsignals des Mikrofons **18'** durch das Rückkopplungsfilter **36''** ermöglicht.

[0066] Ein zum Betreiben des Hörers **26'** vorgesehener Verstärker des Hörgeräts **12'**, der dem Verstärker **50** entspricht, ist in [Fig. 6](#) nicht dargestellt.

[0067] Wie in den Beispielen gezeigt ist, ist bei der Hörhilfe **10** für beide Hörgeräte **12** und **14** eine artefaktfreie, schnell adaptierende Rückkopplungsunterdrückung ermöglicht.

## Patentansprüche

1. Hörvorrichtung (**10, 10'**), bei der ein erstes Mikrofon (**18, 18'**) über ein Pre-Whitening-Filter (**20, 20'**) mit einer Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung (**22, 22'**) gekoppelt ist, wobei die Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung (**22, 22'**) dazu ausgelegt ist, im Falle einer Rückkopplung in einem Mikrofonsignal des ersten Mikrofons zu adaptieren, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hörvorrichtung (**10, 10'**) dazu ausgelegt ist, einen Frequenzgang ( $F_2, F_4, F_6$ ) des Pre-Whitening-Filters (**20, 20'**) in Abhängigkeit von einem Signal eines zweiten Mikrofons (**28**) der Hörvorrichtung (**10**) einzustellen.

2. Hörvorrichtung (**10, 10'**) nach Anspruch 1, bei welcher das Pre-Whitening-Filter (**20, 20'**) mit einem adaptiven Filter (**30**) gekoppelt ist, welches dazu ausgelegt ist, Filterkoeffizienten für eine Pre-Whitening-Filterung in Abhängigkeit von dem Mikrofonsignal des zweiten Mikrofons (**28**) zu bestimmen, wobei das Pre-Whitening-Filter (**20, 20'**) dazu ausgelegt ist, die Fil-

terkoeffizienten von dem adaptiven Filter (30) zu empfangen und den Frequenzgang (F2, F4, F6) anhand der Filterkoeffizienten einzustellen.

3. Hörvorrichtung (10, 10') nach Anspruch 1 oder 2, bei welcher die Hörvorrichtung (10, 10') dazu ausgelegt ist, den Frequenzgang (F2, F4, F6) auf der Grundlage eines Least-Mean-Square-Algorithmus oder des Levinson-Durbin-Algorithmus oder einer linearen Prädiktion oder einer Autokorrelationsbestimmung einzustellen.

4. Hörvorrichtung (10, 10') nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung (22') ein Schattenfilter (52) aufweist oder bei der Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung (22) eine Schätzeinrichtung (36, 44, 46) für einen Rückkopplungspfad ( $\hat{H}$ ) in einen Nutzsinalpfad integriert ist.

5. Hörvorrichtung (10, 10') nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher das erste Mikrofon (18, 18') in einer bestimmungsgemäß an einem Ohr eines Benutzers der Hörvorrichtung (10, 10') zu tragenden Komponente (12, 12') der Hörvorrichtung (10, 10') und das zweite Mikrofon (28) in einem Abstand zu dieser Komponente (12, 12') angeordnet ist.

6. Hörvorrichtung (10, 10') nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher die beiden Mikrofone (18, 28; 18') in an unterschiedlichen Seiten des Kopfes eines Benutzers zu tragenden Komponenten (12, 14; 12') angeordnet sind.

7. Verfahren zum Betreiben einer Hörvorrichtung (10, 10'), umfassend die Schritte:

- Erfassen eines ersten Mikrofonsignals eines ersten Mikrofons (18, 18'),
- Filtern des ersten Mikrofonsignals mittels eines Pre-Whitening-Filters (20, 20'),
- Adaptieren einer Rückkopplungsunterdrückungseinrichtung (22, 22') auf Grundlage des gefilterten ersten Mikrofonsignals, gekennzeichnet durch die Schritte:
  - Erfassen eines zweiten Mikrofonsignals eines zweiten Mikrofons (28) und
  - Festlegen eines Frequenzgangs des Pre-Whitening-Filters (20, 20') für das erste Mikrofonsignal in Abhängigkeit von dem zweiten Mikrofonsignal.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei Filterkoeffizienten (PW) ermittelt werden, durch welche eine Pre-Whitening-Filterung des zweiten Mikrofonsignals ermöglicht ist, und der Frequenzgang (F2, F4, F6) des Pre-Whitening-Filters (20, 20') mittels der Filterkoeffizienten (PW) festgelegt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die Filterkoeffizienten (PW) adaptiv ermittelt werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei der Frequenzgang (F2, F4, F6) auf der Grundlage eines Least-Mean-Square-Algorithmus oder des Levinson-Durbin-Algorithmus oder einer linearen Prädiktion oder einer Autokorrelationsbestimmung festgelegt wird.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

**FIG 1**  
(Stand der Technik)

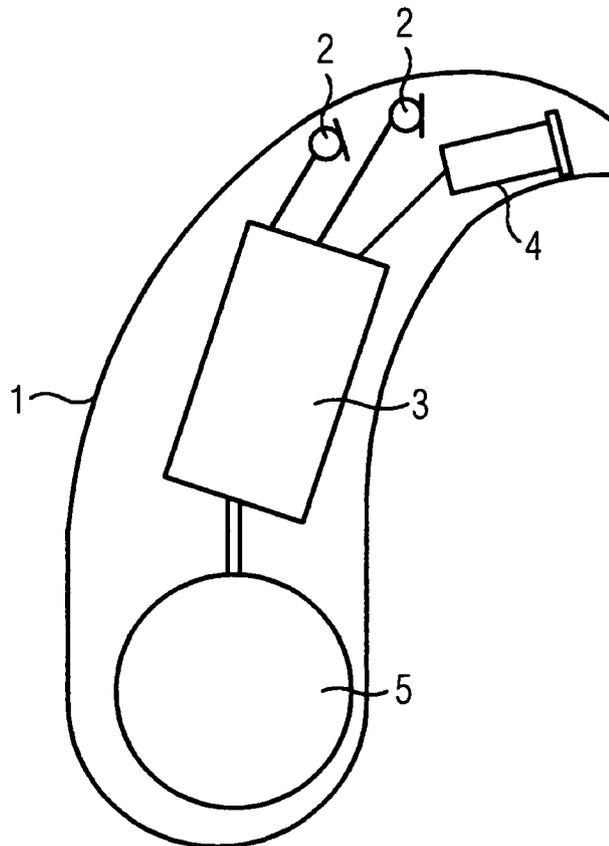


FIG 2

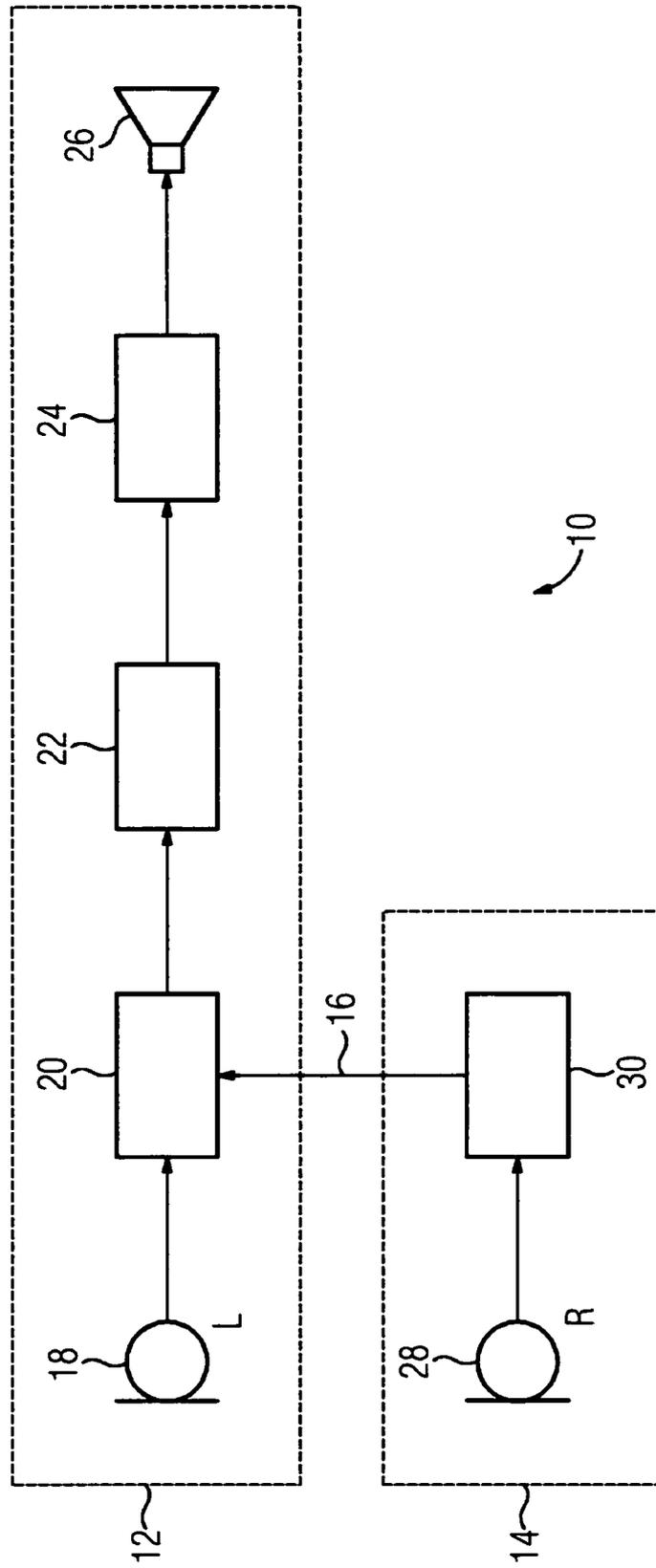
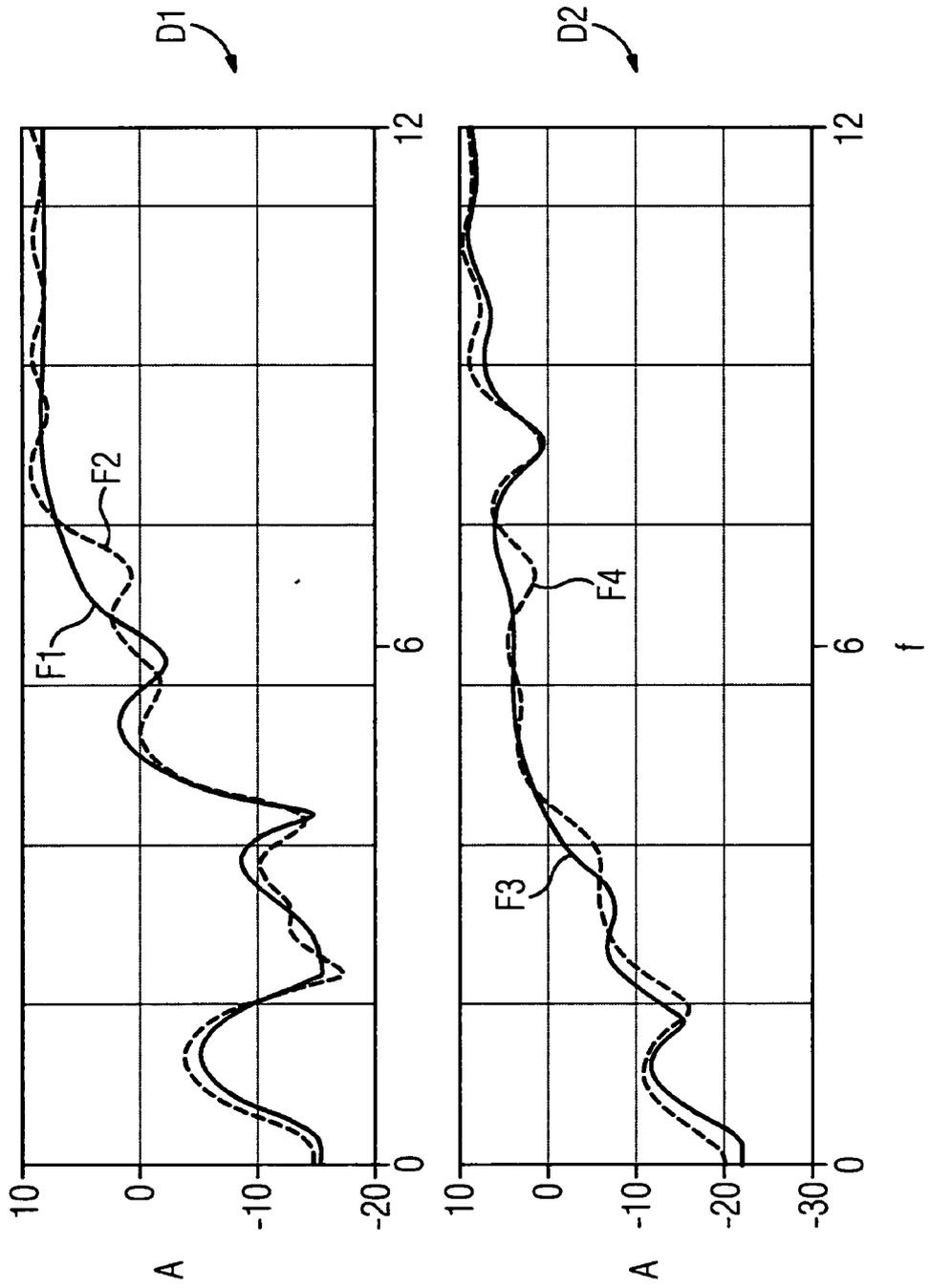


FIG 3



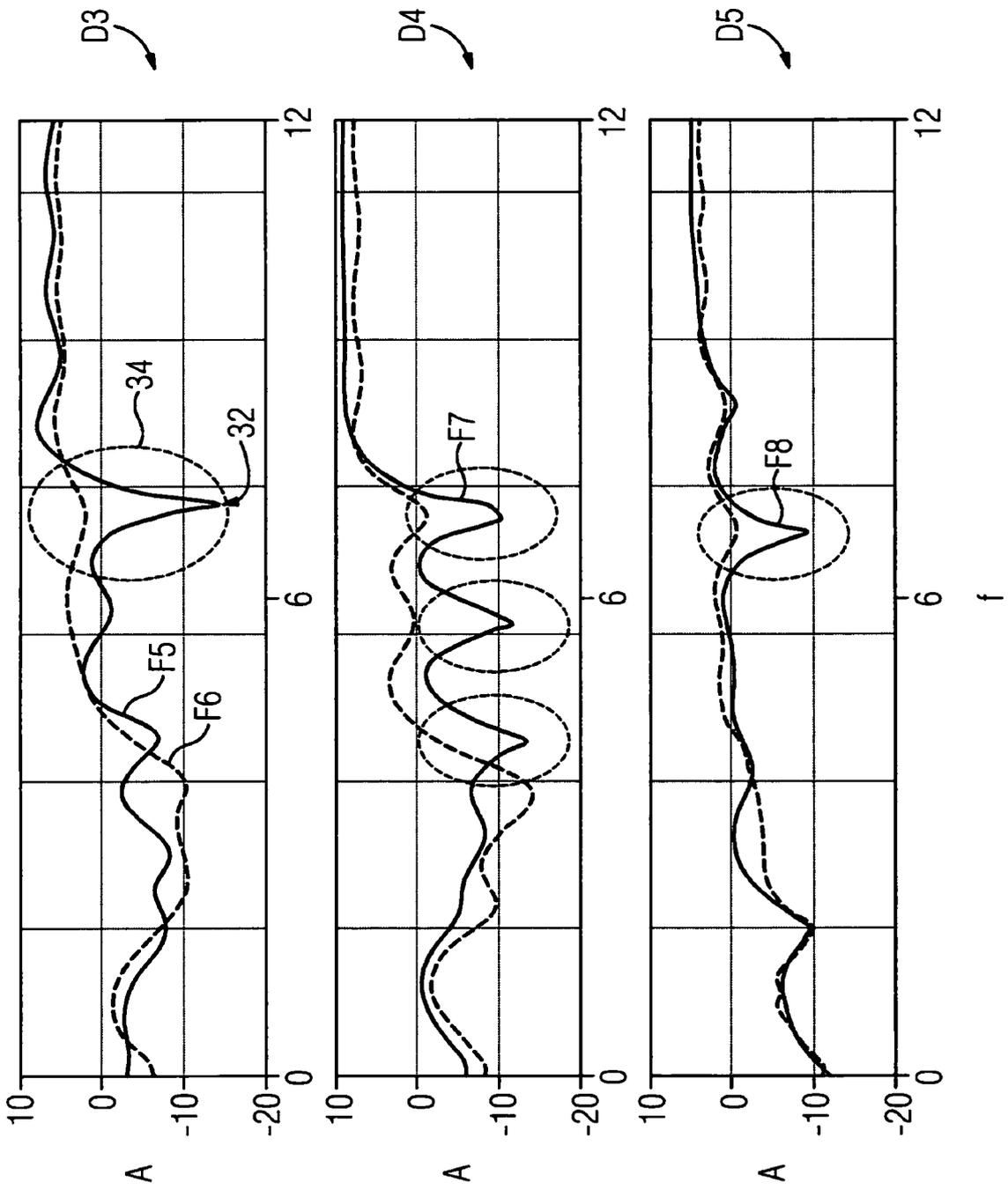


FIG 4

FIG 5

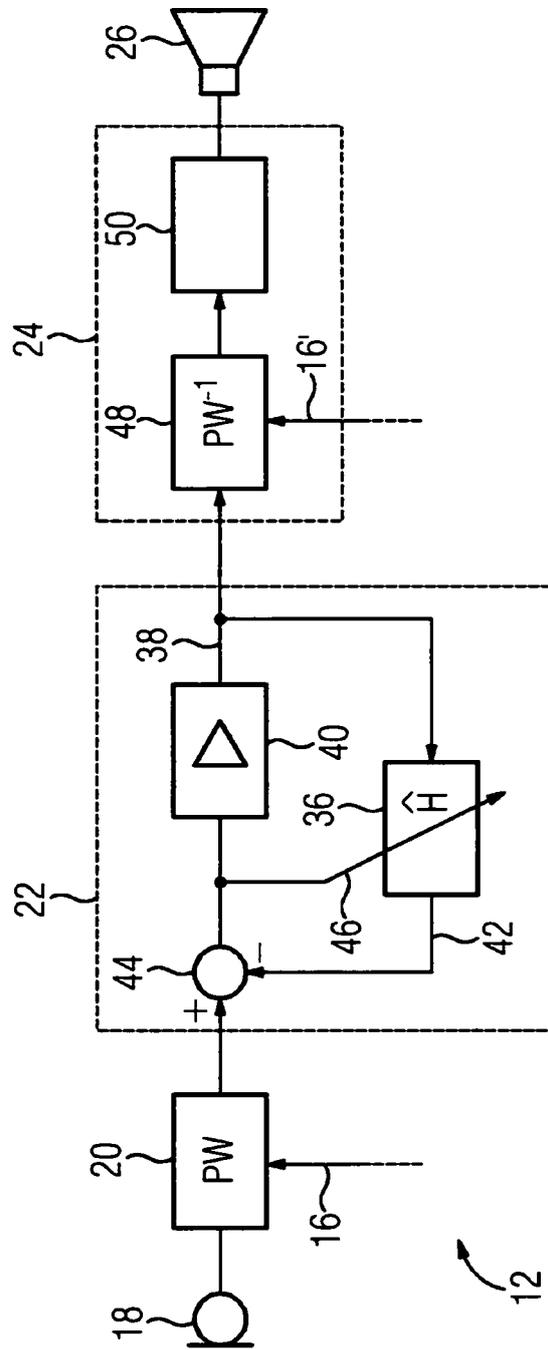


FIG 6

