



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
13.03.2019 Patentblatt 2019/11

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

(21) Anmeldenummer: **18188624.3**

(22) Anmeldetag: **13.08.2018**

(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:
• **WURZBACHER, Tobias**
90768 Fürth (DE)
• **ROSENKRANZ, Tobias Daniel**
91054 Erlangen (DE)

(30) Priorität: **07.09.2017 DE 102017215825**

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

(54) **VERFAHREN ZUM ERKENNEN EINES DEFEKTES IN EINEM HÖRINSTRUMENT**

(57) Die Erfindung nennt ein Verfahren zum Erkennen eines Defektes in einem Hörinstrument (1), welches wenigstens einen ersten Eingangswandler (4) und wenigstens einen Ausgangswandler (8) aufweist, wobei eine erste Transferfunktion (T1) eines ersten akustischen Systems (26), welches den Ausgangswandler (8) und den ersten Eingangswandler (4) umfasst, ermittelt wird, wobei wenigstens eine erste Referenzfunktion (R1) für

die erste Transferfunktion (T1) bestimmt wird, wobei die erste Transferfunktion (T1) mit der ersten Referenzfunktion (R1) verglichen wird, und wobei anhand des Vergleichs ein Defekt im Hörinstrument (1) erkannt wird. Die Erfindung nennt zudem ein Hörinstrument (1) mit wenigstens einem ersten Eingangswandler (4) und einem Ausgangswandler (8), welches zur Durchführung des Verfahrens eingerichtet ist.

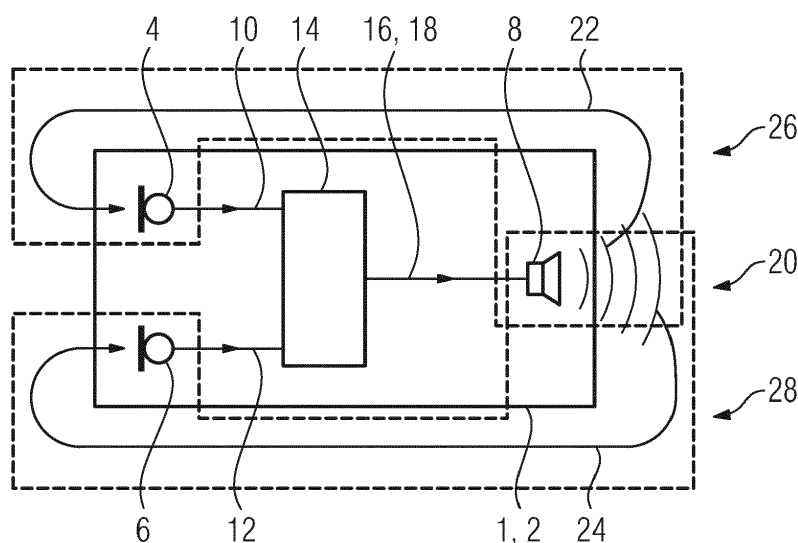


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erkennen eines Defektes in einem Hörinstrument, welches wenigstens einen ersten Eingangswandler und wenigstens einen Ausgangswandler aufweist.

[0002] In einem Hörgerät werden Schallsignale der Umgebung durch einen oder mehrere Eingangswandler in elektrische Signale umgewandelt, welche durch einen Signalprozessor o.ä. weiterverarbeitet werden, und anschließend von einem Ausgangswandler zurück in ein Ausgangsschallsignal umgewandelt werden. Das Ausgangsschallsignal wird dem Gehör eines Benutzers zugeführt, der meist eine Beeinträchtigung des Hörvermögens hat. Somit erfolgt die Verarbeitung der elektrischen Signale im Signalprozessor unter der Maßgabe, diese Beeinträchtigung durch eine entsprechende Aufbereitung möglichst zu kompensieren.

[0003] Hierfür ist insbesondere eine möglichst fehlerfreie Funktionstüchtigkeit der elektroakustischen Hardwarekomponenten, also der Eingangswandler und des Ausgangswandlers, erforderlich. Diese Komponenten bei Hörgeräten können üblicherweise mit zunehmender Betriebsdauer Teile ihrer Leistungsfähigkeit einbüßen, d.h., bei vergleichbaren Schalldrücken erzeugen die Eingangswandler elektrische Signale von zunehmend geringerer Amplitude, während der Ausgangswandler aus einem normierten Testsignal mit der Zeit einen immer geringeren Schalldruck generiert. Dieser vornehmlich durch Abnutzung der elektroakustischen Komponenten bedingte Verlust der Leistungsfähigkeit wird noch zusätzlich dadurch verstärkt, dass die Komponenten im Hörgerät beim Tragen im Ohr den Einflüssen von Feuchtigkeit oder Talg ausgesetzt sind. Eine Fehlfunktion des Hörgerätes ist daher oftmals durch eine entsprechende Beschädigung oder Beeinträchtigung einer der elektroakustischen Hardwarekomponenten bedingt.

[0004] Während ein Totalausfall einer dieser Komponenten - also eines der Eingangswandler oder des Ausgangswandlers - für den Benutzer des Hörgerätes leicht zu erkennen ist, so wird eine nur graduelle Abnahme der Leistungsfähigkeit, wie sie z.B. durch eine Dämpfung oder Abschwächung in einem bestimmten Frequenzbereich gegeben sein kann, vom Benutzer selbst oder auch von einem Hörgeräteakustiker ohne eine spezifische Messung oft nur schwer erkannt. Dies resultiert in einem dauerhaften Betrieb des Hörgerätes zu einer für den Benutzer mangelhaften Korrektur seiner Hörschwäche, was zudem aufgrund der hierdurch verringerten Sprachverständlichkeit die Teilhabe an seiner Umwelt und auch sein Konzentrationsvermögen beeinträchtigen kann.

[0005] Derartige Probleme an elektroakustischen Hardwarekomponenten können jedoch auch bei anderen Hörinstrumenten wie z.B. Mobiltelefonen auftreten. Auch hier ist ein Defekt an einem Eingangswandler für den Benutzer selbst nur schwer zu erkennen, da er das aus seiner Sprache erzeugte Eingangssignal selbst gar nicht mehr überprüfen kann, und somit auf Aussagen

hierzu seiner Gesprächspartner angewiesen ist. Auch eine breitbandige Dämpfung im Ausgangswandler ist für den Benutzer schwer zu erkennen, zumal gerade bei Mobiltelefonen die Tendenz der Benutzer zu berücksichtigen lässt, Mängel am ausgegebenen Schallsignal meist einer unzureichenden Signalübertragung durch das Mobilnetz zuzuordnen. Überdies sind auch Mobiltelefone beim Tragen am Körper, z.B. in einer Hosen- oder Jackentasche, potentiell Einflüssen wie Feuchtigkeit und auch Stößen ausgesetzt, welche die elektroakustischen Komponenten beeinträchtigen können.

[0006] Das Erkennen einer möglichen Verschlechterung der Funktionstüchtigkeit über eine längere Betriebsdauer ist somit ein generelles Problem von Hörinstrumenten mit elektroakustischen Komponenten.

[0007] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Erkennen eines Defektes in einem Hörinstrument anzugeben, welches bei hoher Zuverlässigkeit möglichst einfach durchzuführen ist, und für die Durchführung selbst keine zusätzlichen Bedingungen an das Hörinstrument stellt, sowie insbesondere keine weiteren Geräte erfordert.

[0008] Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum Erkennen eines Defektes in einem Hörinstrument, welches wenigstens einen ersten Eingangswandler und wenigstens einen Ausgangswandler aufweist, wobei eine erste Transferfunktion eines ersten akustischen Systems, welches den Ausgangswandler und den ersten Eingangswandler umfasst, ermittelt wird, wobei wenigstens eine erste Referenzfunktion für die erste Transferfunktion des ersten akustischen Systems bestimmt wird, wobei die erste Transferfunktion des ersten akustischen Systems mit der ersten Referenzfunktion verglichen wird, und wobei anhand des Vergleichs ein Defekt im Hörinstrument erkannt wird. Vorteilhafte und teils für sich gesehen erfinderische Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche und der nachfolgenden Beschreibung.

[0009] Unter einem Hörinstrument ist hierbei generell jedwedes Gerät zu verstehen, in welchem ein Schallsignal der Umgebung durch einen elektroakustischen Eingangswandler zu einem internen elektrischen Signal gewandelt wird, und in welchem aus einem elektrischen Ausgabesignal des Gerätes durch einen elektroakustischen Ausgangswandler ein Ausgangsschallsignal erzeugt wird, also insbesondere ein Hörgerät und ein Mobiltelefon.

[0010] Bevorzugt weist hierbei das Hörinstrument auch eine Signalverarbeitungseinheit auf, wobei im Betrieb der erste Eingangswandler aus einem Schallsignal der Umgebung ein erstes Eingangssignal erzeugt, welches der Signalverarbeitungseinheit zugeführt wird, und wobei im Betrieb die Signalverarbeitungseinheit ein Ausgangssignal ausgibt, welches vom Ausgangswandler in ein Ausgangsschallsignal umgewandelt wird. Das Ausgangssignal kann dabei auf dem Eingangssignal basieren, wie es in einem Hörgerät der Fall ist, oder auf einem durch eine Antenne empfangenen Signal, wie es in ei-

nem Mobiltelefon der Fall ist. In letzterem Fall kann die Signalverarbeitungseinheit insbesondere dazu eingerichtet sein, das Eingangssignal für ein Versenden durch eine Sende-Antenne aufzubereiten - z.B. durch entsprechende Codierung in einem Sendeprotokoll - und ein an einer Empfangs-Antenne empfangenes Signal zu decodieren und in ein Ausgangssignal zu wandeln.

[0011] Das Bestimmen der ersten Referenzfunktion kann insbesondere vor dem Ermitteln der aktuellen ersten Transferfunktion erfolgen. Hierbei kann die erste Referenzfunktion insbesondere auch "trivial" sein, also durch einen frequenzunabhängigen Grenzwert für die erste Transferfunktion oder für den Betrag der ersten Transferfunktion gegeben sein. Bevorzugt ist jedoch die Referenzfunktion nicht-trivial, also frequenzabhängig.

[0012] Durch das Ermitteln einer Transferfunktion für ein akustisches System, welche den ersten Eingangswandler und den Ausgangswandler umfasst, werden insbesondere für das Erkennen von Defekten an diesen Komponenten vorteilhafte Informationen geliefert. Durch die Verwendung der Transferfunktion stehen diese Informationen zudem frequenz aufgelöst zur Verfügung, was eine Analyse hinsichtlich eines Defekts vereinfacht. Bevorzugt erfolgt die Ermittlung der ersten Transferfunktion dabei ohne die Verwendung eines externen Schallerzeugers zur Stimulierung bzw. Überprüfung des ersten Eingangswandlers oder eines zusätzlichen externen Mikrofons zur Überprüfung des Ausgangswandlers. Dies lässt sich durch eine geeignete Wahl des ersten akustischen Systems erreichen.

[0013] Die erste Referenzfunktion ist hierbei derart zu bestimmen, dass sie als eine Referenz für die erste Transferfunktion bei voller Funktionsfähigkeit des Hörinstruments, also ohne Defekte, dienen kann. Durch den Vergleich der ersten Transferfunktion mit der ersten Referenzfunktion können nun z.B. diejenigen Frequenzbereiche identifiziert werden, in welchen die Funktionsweise des Hörinstruments beeinträchtigt ist. Für eine genauere Lokalisierung des Defekts können nun die erste Transferfunktion und die erste Referenzfunktion insbesondere in der Frequenz-Domäne und der Zeit-Domäne untersucht werden. Dies liefert einen zusätzlichen Informationsgehalt und kann Rückschlüsse darauf erlauben, an welcher Komponente ein Defekt genau vorliegt, ob also der Defekt am ersten Eingangswandler oder am Ausgangswandler vorliegt. Ein Defekt des Ausgangswandlers kann in einer gegenüber den Werten der ersten Referenzfunktion erheblich abgeschwächten Impulsantwort der ersten Transferfunktion resultieren, während ein Defekt des Eingangswandlers u.a. eine gegenüber den Werten der ersten Referenzfunktion zeitverschobene Impulsantwort der ersten Transferfunktion aufweisen kann.

[0014] Günstigerweise wird als die erste Transferfunktion des ersten akustischen Systems die Transferfunktion der offenen Signalschleife ermittelt, wobei die offene Signalschleife gebildet wird aus dem Ausgangswandler, einem akustischen Rückkopplungspfad vom Ausgangs-

wandler zum ersten Eingangswandler, und aus dem ersten Eingangswandler. Die Transferfunktion der offenen Signalschleife lässt sich auf besonders einfache Weise bestimmen, beispielsweise durch ein geeignetes Testsignal, welches vom Ausgangswandler in ein Testschallsignal umgewandelt wird, und eine Analyse des Signalanteils des Testsignals in einem vom ersten Eingangswandler erzeugten ersten Eingangssignal, um hieraus den am ersten Eingangswandler ankommenden Anteil des Testschallsignals abzuschätzen. Ein weiterer Vorteil der Verwendung der offenen Signalschleife als erstes akustisches System und somit der Verwendung der Transferfunktion der offenen Signalschleife als erster Transferfunktion liegt darin, dass der erste Eingangswandler und der Ausgangswandler vollständig von diesem System umfasst werden, so dass keine zusätzlichen Schallerzeuger und auch keine zusätzliche Messapparatur erforderlich sind.

[0015] Bevorzugt wird hierbei eine weitere Transferfunktion einer geschlossenen Signalschleife bestimmt, und hieraus die Transferfunktion der offenen Signalschleife als die erste Transferfunktion ermittelt, wobei die geschlossene Signalschleife gebildet wird aus dem Ausgangswandler, einem akustischen Rückkopplungspfad vom Ausgangswandler zum ersten Eingangswandler, dem ersten Eingangswandler und einem Signalverarbeitungspfad vom ersten Eingangswandler zum Ausgangswandler. Die geschlossene Signalschleife wird also gebildet durch die offene Signalschleife, welche durch den Signalverarbeitungspfad vom Eingangswandler zum Ausgangswandler geschlossen wird. Dies ist insbesondere in einem als Hörgerät ausgebildeten Hörinstrument vorteilhaft, da dort eine Transferfunktion der geschlossenen Signalschleife oftmals ohnehin im Zusammenhang der Unterdrückung einer akustischen Rückkopplung ermittelt wird, und somit gar keine weiteren Messungen erforderlich sind oder zusätzliche Funktionen zu implementieren sind.

[0016] Bevorzugt wird die Transferfunktion der geschlossenen Signalschleife durch ein adaptives Filter bestimmt, wobei die offene Signalschleife anhand der geschlossenen Signalschleife unter Berücksichtigung einer entlang des Signalverarbeitungspfades erfolgenden Signalverarbeitung bestimmt wird. Dies kann insbesondere durch eine Korrektur der durch das adaptive Filter ermittelten Transferfunktion der geschlossenen Signalschleife um eine entsprechende Transferfunktion der internen Signalverarbeitungsprozesse, welche entlang des Signalverarbeitungspfades des Hörinstruments erfolgen, erreicht werden, da diese Signalverarbeitungsprozesse als vollständig bekannt vorausgesetzt werden.

[0017] Vorteilhafterweise wird das adaptive Filter dabei im Hörinstrument zur Unterdrückung einer akustischen Rückkopplung über den akustischen Rückkopplungspfad vom Ausgangswandler zum ersten Eingangswandler eingesetzt. Dies bedeutet insbesondere, dass das adaptive Filter für eine bedarfsweise Unterdrückung der Rückkopplung während des bestimmungsgemäßen

Gebrauches des Hörinstrumentes vorgesehen und eingerichtet ist, und eine Verwendung des adaptiven Filters im Zusammenhang der Erkennung eines Defekts im Hörinstrument durch einen Zugriff auf die Transferfunktion der geschlossenen Signalschleife erfolgen kann, welche zum Zweck der Unterdrückung der Rückkopplung ermittelt wurde. Wahlweise kann das adaptive Filter auch in einem eigens vorgesehenen Modus zur Erkennung eines Defekts des Hörinstruments betrieben werden.

[0018] Alternativ dazu wird dem Ausgangswandler ein Testsignal zugeführt, durch den Ausgangswandler aus dem Testsignal ein Testschallsignal erzeugt, vom ersten Eingangswandler aus einem das Testschallsignal umfassenden Eingangsschall ein erstes Eingangssignal erzeugt, und aus dem Eingangssignal und dem Testsignal die Transferfunktion der offenen Signalschleife als erste Transferfunktion ermittelt wird. Dies bedeutet, dass die Transferfunktion der offenen Signalschleife durch eine direkte Messung ermittelt wird. Insbesondere ist hierbei die spektrale Leistungsdichte des Testsignals über die Frequenz konstant, das Testsignal ist also ein "weißes Rauschen". Eine direkte Messung der Transferfunktion der offenen Signalschleife lässt sich somit besonders einfach realisieren. Dies gilt auch für den Fall, dass das Hörinstrument durch ein Mobiltelefon gegeben ist, da hierfür der Lautsprecher lediglich das Testschallsignal zu erzeugen hat, und am Mikrofon nur der davon ankommende Anteil zu messen ist.

[0019] Insbesondere erfolgt das Ermitteln der ersten Transferfunktion in vorbestimmten Abständen, also entweder regelmäßig oder in Abhängigkeit der jeweiligen Dauer der Betriebsphasen. Auch kann die erste Transferfunktion durch eine Benutzereingabe ermittelt werden. Insbesondere kann die Benutzerangabe hierbei das vollständige Verfahren zum Erkennen eines Defektes aktivieren, wenn beispielsweise der Benutzer den subjektiven Eindruck einer vorliegenden Fehlfunktion im Hörinstrument hat, und hierüber objektive Klarheit erhalten möchte. Auch kann das vollständige Verfahren zum Erkennen eines Defektes regelmäßig oder in Abhängigkeit der jeweiligen Dauer der Betriebsphasen, beispielsweise als Teil eines Wartungsprogrammes o.ä. erfolgen.

[0020] In einer vorteilhaften Ausgestaltung wird für den Vergleich der ersten Transferfunktion mit der ersten Referenzfunktion eine Kreuzkorrelation herangezogen. Die Kreuzkorrelation kann dabei insbesondere gebildet werden aus der ersten Transferfunktion und der ersten Referenzfunktion in der Frequenz-Domäne und/oder aus der ersten Transferfunktion und der ersten Referenzfunktion in der Zeit-Domäne, in welchem die Impulsantwort des ersten akustischen Systems angegeben wird. Die Kreuzkorrelation wird hierbei insbesondere als zusätzliches Kriterium zur Kontrolle von Abweichungen der ersten Transferfunktion zur ersten Referenzfunktion herangezogen. Insbesondere kann dabei der entsprechende Korrelationskoeffizient verwendet werden. Dies hat den Vorteil, dass bei einer frequenzbandweisen Abweichung zwischen der ersten Transferfunktion und der

ersten Referenzfunktion der Grad an Abweichung schwer zu quantifizieren und insbesondere schwerer in Relation zu anderen Szenarien zu setzen ist. Der Korrelationskoeffizient liefert hierfür einen einzelnen, eine derartige Vergleichbarkeit herstellenden Wert.

[0021] Zweckmäßigerweise wird die erste Referenzfunktion aus einer Messung der ersten Transferfunktion unter normierten Bedingungen bestimmt. Insbesondere kann dies für ein Hörgerät bei einem Hörgeräteakustiker erfolgen. Eine derartige Messung lässt sich besonders leicht in das ohnehin erfolgende Fitting mit implementieren. Bei einem Mobiltelefon ist eine derartige Messung beim Hersteller oder auch bei einem qualifizierten Vertrieb möglich.

[0022] Alternativ dazu kann die erste Referenzfunktion aus einer zeitlichen Mittelung einer Vielzahl von Werten der ersten Transferfunktion zu verschiedenen Zeitpunkten bestimmt werden. Die Werte zu einer Vielzahl an Zeitpunkten können dabei insbesondere durch eine regelmäßige Feststellung der Werte in einem vorgegebenen Betriebsintervall nach der Inbetriebnahme ermittelt werden, z.B. in den ersten Tagen. Dies beruht auf der Annahme, dass das Hörinstrument bei Inbetriebnahme noch voll funktionstüchtig ist, und daher die so anfangs festgestellten Werte der ersten Transferfunktion als Basis für die erste Referenzfunktion geeignet sind, wobei für eine echte Referenz unabhängig der jeweiligen Bedingungen zum Zeitpunkt, zu welchem der jeweilige Wert festgestellt wurde, eine Mittelwertbildung über mehrere Werte vorteilhaft ist. Dieses Vorgehen ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn eine direkte Messung der ersten Transferfunktion unter normierten Bedingungen nicht möglich ist - etwa, wenn bei der Inbetriebnahme eines Hörgerätes kein Fitting bei einem Hörgeräteakustiker vorgesehen ist.

[0023] Vorteilhafterweise wird erste Transferfunktion aus einer zeitlichen Mittelung einer Mehrzahl von Werten der Transferfunktion der offenen Signalschleife bestimmt. Hierdurch lassen sich kurzfristige Schwankungen ausgleichen. Bevorzugt umfassen die zeitliche Mittelung dabei vorrangig solche Werte, welche den aktuellen Status des Hörinstruments möglichst akkurat wiedergeben, was insbesondere durch eine erhebliche Gewichtung der neuesten Werte geschehen kann. Die Ermittlung der Werte der Transferfunktion der offenen Signalschleife kann dabei über eine längere Zeitdauer im Hintergrund ablaufen, und die Ermittlung der ersten Transferfunktion aus diesen Werten dann über eine in die Vergangenheit abnehmende Gewichtung der Werte bei der Mittelung erfolgen.

[0024] Bevorzugt wird ein Defekt des ersten Eingangswandlers und/oder des Ausgangswandlers erkannt. Für das Erkennen von Defekten an diesen Komponenten ist das beschriebene Verfahren besonders geeignet.

[0025] Günstigerweise wird ein Maß für eine Korrelation zwischen der ersten Transferfunktion und der ersten Referenzfunktion ermittelt, wobei der Defekt anhand des Maßes der Korrelation erkannt wird. Als Maß der Korre-

lation kann hierbei beispielsweise eine Kreuzkorrelation verwendet werden.

[0026] Alternativ dazu oder auch zusätzlich können ein erstes Polynom, welches die erste Transferfunktion approximiert, und ein erstes Referenzpolynom, welches die erste Referenzfunktion approximiert, ermittelt werden, wobei der Defekt anhand eines Koeffizientenvergleiches vom ersten Polynom und dem ersten Referenzpolynom erkannt wird. Hierbei kann beispielsweise ein Schwellwert für die Abweichung der Polynomkoeffizienten voneinander vorgegeben werden, oberhalb dessen auf einen Defekt im Hörinstrument geschlossen wird. Der Schwellwert kann dabei für die unterschiedlichen Ordnungen der Polynomkoeffizienten jeweils verschieden gewählt werden. Insbesondere kann als Kriterium für einen Defekt im Hörinstrument zusätzlich zum genannten Koeffizientenvergleich auch das besagte Maß für die Korrelation der genannten Transferfunktionen mit herangezogen werden.

Als weiter vorteilhaft erweist es sich, wenn eine zweite Transferfunktion eines zweiten akustischen Systems, welches den Ausgangswandler und einen zweiten Eingangswandler des Hörinstruments umfasst, ermittelt wird, wenigstens eine zweite Referenzfunktion für die zweite Transferfunktion bestimmt wird, die zweite Transferfunktion mit der zweiten Referenzfunktion verglichen wird, und anhand des Vergleichs der ersten Transferfunktion mit der ersten Referenzfunktion und anhand des Vergleichs der zweiten Transferfunktion mit der zweiten Referenzfunktion ein Defekt im Hörinstrument erkannt wird. Dies ist einerseits vorteilhaft für Hörinstrumente, welche einen zweiten Eingangswandler aufweisen, also beispielsweise bestimmte Ausführungsformen von Hörgeräten.

[0027] Insbesondere wird zusätzlich auch ein Vergleich der ersten Transferfunktion mit der zweiten Transferfunktion zum Erkennen eines Defekts im Hörinstrument herangezogen. Dieser Vergleich erlaubt andererseits auch eine leichtere Lokalisierung des Defektes. Grob gesagt gibt es mindestens drei Möglichkeiten für einen Defekt an elektroakustischer Hardware: Die beiden Eingangswandler und der Ausgangswandler. Die genannten Vergleiche der Transferfunktion mit der entsprechenden Referenzfunktion betreffen dabei entweder jeweils einen Eingangswandler und den Ausgangswandler, oder beide Eingangswandler, da sich in einem Vergleich von erster und zweiter Transferfunktion, beispielsweise durch einfache Differenzbildung, der Beitrag des Ausgangswandlers eliminieren lässt.

[0028] Insbesondere können die erste und die zweite Transferfunktion mit der jeweils zugehörigen ersten bzw. zweiten Referenzfunktion bzw. auch miteinander anhand eines Maßes für die Korrelation der zu vergleichenden Transfer- und/oder Referenzfunktionen verglichen werden. Alternativ oder zusätzlich dazu können zwei zu vergleichende Transfer- und/oder Referenzfunktionen jeweils durch Polynome approximiert werden, und für einen Vergleich der besagten Funktionen ein Vergleich der

betreffenden Polynomkoeffizienten herangezogen werden.

[0029] Das Bestimmen der zweiten Referenzfunktion kann dabei insbesondere vor dem Ermitteln der aktuellen zweiten Transferfunktion erfolgen. Hierbei kann die zweite Referenzfunktion insbesondere auch "trivial" sein, also durch einen frequenzunabhängigen Grenzwert für die zweite Transferfunktion oder für den Betrag der zweiten Transferfunktion gegeben sein. Bevorzugt ist jedoch die Referenzfunktion nicht-trivial, also frequenzabhängig.

[0030] Zweckmäßigerweise werden hierbei ein erster Grenzwert, ein zweiter Grenzwert und ein dritter Grenzwert vorgegeben, wobei eine erste Differenz aus der ersten Transferfunktion und der ersten Referenzfunktion gebildet wird, wobei eine zweite Differenz aus der zweiten Transferfunktion und der zweiten Referenzfunktion gebildet wird, wobei eine dritte Differenz aus der ersten Transferfunktion und der zweiten Referenzfunktion gebildet wird. Ein Defekt am ersten Eingangswandler wird erkannt, wenn die erste Differenz den ersten Grenzwert wenigstens in einem Frequenzbereich überschreitet, ohne dass die zweite Differenz den zweiten Grenzwert überschreitet, und/oder ein Defekt am Ausgangswandler wird erkannt, wenn jeweils für die erste Differenz und die zweite Differenz Frequenzbereiche existieren, in welchen der erste Grenzwert bzw. der zweite Grenzwert überschritten wird, ohne dass die dritte Differenz den dritten Grenzwert überschreitet. Insbesondere sind hierbei der erste Grenzwert und der zweite Grenzwert identisch. Diese Ausführungsform ist infolge der geringen Komplexität der verwendeten Rechenoperationen besonders einfach zu implementieren.

[0031] Die Erfindung nennt weiter ein Hörinstrument mit wenigstens einem ersten Eingangswandler und einem Ausgangswandler, welches zur Durchführung des vorbeschriebenen Verfahrens eingerichtet ist. Die für das Verfahren und seine Weiterbildungen angegebenen Vorteile können dabei sinngemäß auf das Hörinstrument übertragen werden. Bevorzugt umfasst das Hörinstrument für die Durchführung des Verfahrens eine entsprechend eingerichtete Steuereinheit. Diese kann beispielsweise auch durch entsprechende Befehlsblöcke innerhalb einer Signalverarbeitungseinheit des Hörinstruments implementiert sein.

[0032] In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung ist das Hörinstrument als ein Hörgerät ausgebildet. Gerade für die bei Hörgeräten verwendeten Eingangs- und Ausgangswandler, sowie angesichts möglichen Umwelteinflüsse, welchen ein Hörgerät und seine Komponenten im Betrieb ausgesetzt sind, ist das genannte Verfahren besonders praktisch, um ohne eine aufwendige Messung bei einem Hörgeräteakustiker einen Defekt erkennen zu können.

[0033] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Hierbei zeigen jeweils schematisch:

Fig. 1 in einem Blockschaltbild ein Hörgerät, in wel-

- chem ein Verfahren zum Erkennen von Defekten einzelner Komponenten implementiert ist,
- Fig. 2 in drei Frequenzbanddiagrammen für ein störungsfreies Hörgerät die Vergleiche von zwei Transferfunktionen mit den zugehörigen Referenzfunktionen sowie miteinander,
- Fig. 3 in drei Frequenzbanddiagrammen für ein Hörgerät mit einem defekten Eingangswandler die Vergleiche von zwei Transferfunktionen mit den zugehörigen Referenzfunktionen sowie miteinander,
- Fig. 4 in drei Frequenzbanddiagrammen für ein Hörgerät mit einem defekten Ausgangswandler die Vergleiche von zwei Transferfunktionen mit den zugehörigen Referenzfunktionen sowie miteinander,
- Fig. 5 jeweils in der Frequenz- und in der Zeit-Domäne die Transferfunktionen zweier offener Signalschleifen eines störungsfreien Hörgerätes, sowie die zugehörigen Referenzfunktionen,
- Fig. 6 jeweils in der Frequenz- und in der Zeit-Domäne die Transferfunktionen zweier offener Signalschleifen eines Hörgerätes mit einem defekten Eingangswandler, sowie die zugehörigen Referenzfunktionen,
- Fig. 7 jeweils in der Frequenz- und in der Zeit-Domäne die Transferfunktionen zweier offener Signalschleifen eines Hörgerätes mit einem defekten Ausgangswandler, sowie die zugehörigen Referenzfunktionen, und
- Fig. 8 in einem Blockschaltbild ein Hörgerät, in welchem eine alternative Ausführungsform des Verfahrens zum Erkennen von Defekten einzelner Komponenten implementiert ist.

[0034] Einander entsprechende Teile und Größen sind in allen Figuren jeweils mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0035] In Fig. 1 ist schematisch in einem Blockschaltbild ein Hörinstrument 1 dargestellt, welches als ein Hörgerät 2 ausgebildet ist. Das Hörgerät 2 umfasst einen ersten Eingangswandler 4 und einen zweiten Eingangswandler 6, welche jeweils durch ein Mikrofon gebildet werden, sowie einen Ausgangswandler 8, welcher durch einen Lautsprecher gegeben ist. Der erste Eingangswandler 4 und der zweite Eingangswandler 6 sind dazu eingerichtet, jeweils ein nicht näher dargestelltes Schallsignal in ein erstes Eingangssignal 10 bzw. ein zweites Eingangssignal 12 umzuwandeln. Das erste Eingangssignal 10 und das zweite Eingangssignal 12 werden jeweils einer Signalverarbeitungseinheit 14 zugeführt, in

welcher die hörgerätespezifische Verarbeitung erfolgt, also insbesondere eine frequenzbandabhängige Verstärkung der Eingangssignale 10, 12 in Abhängigkeit von der Hörbeeinträchtigung des Benutzers des Hörgerätes sowie eine Verbesserung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses, u.a. mittels Richtmikrofonie. Die Signalverarbeitungseinheit 14 erzeugt ein Ausgangssignal 16, welches vom Ausgangswandler 8 in ein nicht näher dargestelltes Ausgangsschallsignal umgewandelt wird.

[0036] Um nun einen Defekt am ersten Eingangswandler 4, am zweiten Eingangswandler 6 oder am Ausgangswandler 8 im Rahmen des Betriebes des Hörgerätes 2 zu erkennen, gibt die Signalverarbeitungseinheit 14 als Ausgangssignal 16 ein Testsignal 18 aus, welches vom Ausgangswandler 8 in ein Testschallsignal 20 umgewandelt wird. Das Testschallsignal 20 ist dabei vorliegend im Wesentlichen durch weißes Rauschen gegeben, weist also ein im Wesentlichen flaches Frequenzspektrum auf. Jedoch sind hierbei auch andere Signalarten, z.B. Sinustöne unterschiedlicher Frequenz, Chirps, sog. "perfect sweeps" o.ä., welche Aussagen über ein möglichst breites Frequenzspektrum erlauben, denkbar.

[0037] Der erste Eingangswandler 4 und der zweite Eingangswandler 6 wandeln nun jeweils die entsprechenden Schallsignale in die Eingangssignale 10 bzw. 12, und somit auch den am jeweiligen Eingangswandler 4, 6 über den entsprechenden akustischen Rückkopplungspfad 22 bzw. 24 vom Ausgangswandler 8 zum Eingangswandler 4, 6 ankommenden Anteil des Testschallsignals 20.

[0038] Anhand des ersten Eingangssignals 10 und des Ausgangssignals 8 wird für ein erstes akustisches System 26, welches gebildet wird durch die offene Signalschleife vom Ausgangswandler 8 über den akustischen Rückkopplungspfad 22 zum ersten Eingangswandler 4, eine erste Transferfunktion T1 ermittelt. Dies kann einerseits durch eine direkte Messung des Anteils des Testsignals 18 im ersten Eingangssignal 4 erfolgen, oder andererseits über eine Schätzung anhand der geschlossenen Signalschleife, welche aus dem ersten akustischen System 26, also der offenen Signalschleife, und aus der Signalverarbeitungseinheit 14 gebildet wird. Die geschlossene Signalschleife bzw. ihre Transferfunktion steht in Hörgeräten oftmals ohnehin zur Verfügung, da sie zur Unterdrückung einer akustischen Rückkopplung über den akustischen Rückkopplungspfad 22 ermittelt wird.

[0039] Des Weiteren wird anhand des zweiten Eingangssignals 12 und des Ausgangssignals 8 für ein zweites akustisches System 28, welches gebildet wird durch die offene Signalschleife vom Ausgangswandler 8 über den akustischen Rückkopplungspfad 24 zum zweiten Eingangswandler 6, eine zweite Transferfunktion T2 ermittelt.

[0040] Für die erste Transferfunktion T1 und die zweite Transferfunktion T2 werden nun jeweils eine erste Referenzfunktion bzw. eine zweite Referenzfunktion hinter-

legt. Dies kann einerseits durch Messungen der ersten Transferfunktion T1 und der zweiten Transferfunktion T2 unter normierten Bedingungen bei einem Hörgeräteaustester erfolgen, oder andererseits durch eine zeitliche Mittelung der jeweiligen Werte der ersten Transferfunktion T1 bzw. T2 während der ersten Tage nach einer Inbetriebnahme, da davon ausgegangen werden darf, dass zu dieser Zeit die zu überprüfenden Hardware-Komponenten noch die volle Funktionsfähigkeit aufweisen.

[0041] Die jeweils aktuell ermittelte erste bzw. zweite Transferfunktion T1, T2 wird nun mit den entsprechenden Referenzfunktionen verglichen, um hieraus auf einen möglichen Defekt der Hardwarekomponenten schließen zu können. Dies wird anhand der Figuren 2 bis 4 erklärt.

[0042] In Fig. 2a-2c sind jeweils in einem Frequenzbanddiagramm gegen die Frequenz f die erste Transferfunktion T1 und die erste Referenzfunktion (Fig. 2a), die zweite Transferfunktion T2 und die zweite Referenzfunktion R2 (Fig. 2b) sowie die Differenz aus der ersten Transferfunktion T1 und der zweiten Transferfunktion T2 (Fig. 2c) dargestellt. In Fig. 2a verbleibt die erste Transferfunktion T1 über den gesamten dargestellten Frequenzbereich innerhalb eines Korridors, welcher durch den ersten Grenzwert g_1 von 10 dB vorgegeben wird. Die erste Transferfunktion T1 verzeichnet zudem keine nennenswerten Abweichungen von der ersten Referenzfunktion R1, welche den ungestörten Betrieb des Hörgerätes 2 repräsentiert. Auch die in Fig. 2b dargestellte zweite Transferfunktion T2 liegt über den gesamten dargestellten Frequenzbereich innerhalb des Korridors, welcher durch den zweiten Grenzwert g_2 von 10 dB vorgegeben wird. Ebenso liegen keine nennenswerten Abweichungen zur zweiten Referenzfunktion R2 vor. Die Differenz T1-T2 von erster und zweiter Transferfunktion T1 bzw. T2 liegt, wie anhand von Fig. 2c ersichtlich, innerhalb des durch den dritten Grenzwert g_3 bestimmten Korridors. Das Hörgerät 2 arbeitet somit störungsfrei.

[0043] In Fig. 3a-3c sind die gleichen Größen dargestellt wie in Fig. 2a-2c. Im hier vorliegenden Fall liegt jedoch für einen kleinen Frequenzbereich von knapp unterhalb 5 kHz bis knapp unterhalb 7 kHz die erste Transferfunktion außerhalb des durch den ersten Grenzwert über $\pm g_1$ definierten Korridors. Im vorliegenden Fall ist für diesen Bereich auch die erste Referenzfunktion leicht negativ, so dass die Differenz T1-R1 (nicht dargestellt) wieder innerhalb des Korridors liegt, und noch kein ernsthaft auffälliges Verhalten vorliegt. Die zweite Transferfunktion T2 weist jedoch eine ab ca. 2,5 kHz stetig zunehmende Abweichung vom zweiten Referenzwert R2 auf, und liegt oberhalb von ca. 4,5 kHz auch außerhalb des durch den zweiten Grenzwert g_2 definierten Korridors. Oberhalb von ca. 6,5 kHz übersteigt die Abweichung der zweiten Transferfunktion T2 von der zweiten Referenzfunktion R2 (deren Funktionsverlauf im Wesentlichen in der Größenordnung von 0 dB bis - 5 dB liegt, siehe Fig. 2b) bereits 20 dB, und nimmt weiter mo-

noton bis weit über 40 dB bei 8 kHz zu. Ein vergleichbarer Verlauf, nur mit umgekehrtem Vorzeichen, zeigt sich für die in Fig. 3c dargestellte Differenz aus erster und zweiter Transferfunktion T1-T2.

[0044] Hieraus kann nun geschlossen werden, dass einerseits das erste akustische System 26, bestehend aus dem Ausgangswandler 8, dem entsprechenden akustischen Rückkopplungspfad 22 und dem ersten Eingangswandler 4 weitgehend störungsfrei arbeitet, jedoch im zweiten akustischen System 28, gebildet aus dem Ausgangswandler 8, dem akustischen Rückkopplungspfad 24 und dem zweiten Eingangswandler 6, ein erheblicher Defekt vorliegen muss. Der Defekt ist somit dem zweiten Eingangswandler 6 zuzuordnen.

[0045] Das Unterschreiten des negativen ersten Grenzwertes $-g_1$ durch die erste Transferfunktion T1 in Fig. 3a kann zusätzlich als Hinweis darauf gewertet werden, dass auch im ersten Eingangswandler 4 die Funktionalität bereits leicht beeinträchtigt ist, jedoch liegt hier - aufgrund des entsprechenden Verlaufes der ersten Referenzfunktion - noch kein kritisches Verhalten vor.

[0046] Im anhand von Fig. 4a-4c dargestellten Sachverhalt liegen sowohl die erste Transferfunktion T1 (Fig. 4a) als auch die zweite Transferfunktion T2 (Fig. 4b) erheblich außerhalb des durch den ersten bzw. zweiten Grenzwert g_1, g_2 definierten Korridors, und unterscheiden sich maßgeblich von den jeweiligen Referenzfunktionen R1 bzw. R2, wobei die Abweichung im jeweils günstigsten Fall immer noch über 20 dB beträgt. Die in Fig. 4c dargestellte Differenz der ersten und der zweiten Transferfunktion T1-T2 liegt jedoch innerhalb des durch den dritten Grenzwert g_3 vorgegebenen Korridors. Dies lässt darauf schließen, dass die Defekte, welche zu den erheblichen Abweichungen in den beiden Diagrammen in Fig. 4a und Fig. 4b führen, durch die Differenzbildung weitgehend eliminiert werden.

[0047] Die Differenz aus der ersten Transferfunktion T1 und der zweiten Transferfunktion T2 gibt im Wesentlichen die Unterschiede zwischen den beiden akustischen Rückkopplungspfaden 22, 24 vom Ausgangswandler 8 zum ersten bzw. zweiten Eingangswandler 4 bzw. 6, und die Unterschiede zwischen den beiden Eingangswandlern 4, 6 selbst wieder. Zudem können die Unterschiede in den akustischen Rückkopplungspfaden 22, 24 zumindest gegenüber den Beiträgen des Ausgangswandlers 8 in der ersten und zweiten Transferfunktion vorliegend aufgrund der erheblichen Abweichung von der jeweiligen Referenzfunktion R1 bzw. R2 vernachlässigt werden. Dies bedeutet, dass vorliegend aus der im Verhältnis zu den Abweichungen der beiden Transferfunktionen von der jeweiligen Referenzfunktion T1-R1 bzw. T2-R2 relativ geringen Differenz T1-T2 der beiden Transferfunktionen auf eine weitgehend störungsfreie Funktion der beiden Eingangswandler 4, 6 geschlossen werden kann, und somit der Defekt beim Ausgangswandler 8 liegt.

[0048] Eine weitere Möglichkeit, die Transferfunktion der offenen Signalschleife vom Ausgangswandler 8 über

den jeweiligen akustischen Rückkopplungspfad 22 bzw. 24 zum entsprechenden Eingangswandler 4 bzw. 6 hinsichtlich einer defekten Hardware zu überprüfen, bedient sich der Kreuzkorrelation der jeweiligen Transferfunktion T1 bzw. T2 mit ihrer entsprechenden Referenzfunktion R1 bzw. R2 in der Frequenz- und in der Zeit-Domäne.

[0049] Dies ist anhand der Figuren 5 bis 7 dargestellt. Dort sind in den Diagrammen der linken Spalte jeweils die erste Transferfunktion T1 (durchgezogene Linien) und die erste Referenzfunktion R1 (gestrichelte Linien) gegen die Frequenz f/Hz (jeweils Diagramm links oben) und die entsprechende Impulsantwort der ersten Transferfunktion T1 und der ersten Referenzfunktion R1 in der Zeit-Domäne gegen die Koeffizientennummer N (jeweils Diagramm links unten) aufgetragen. Die jeweils rechte Spalte zeigt die hierzu entsprechenden Diagramme für die zweite Transferfunktion T2 (durchgezogene Linien) und die zweite Referenzfunktion R2 (gestrichelte Linien).

[0050] In Fig. 5 ist ein Fall dargestellt, welcher zum anhand der Fig. 2a bis Fig. 2c beschriebenen Szenario vergleichbar ist. Der erste Eingangswandler 4, der zweite Eingangswandler 6 und der Ausgangswandler 8 arbeiten störungsfrei. Entsprechend gering sind die Abweichungen der beiden Transferfunktionen T1, T2 von der jeweiligen Referenzfunktion R1, R2 im Frequenz- und im Fourierraum. Der Korrelationskoeffizient beträgt jeweils 1,0 mit Ausnahme der Kreuzkorrelation zwischen der zweiten Transferfunktion T2 und der zweiten Referenzfunktion R2 in der Zeit-Domäne, dort ist die Korrelation 0,9.

[0051] In Fig. 6 ist ein Fall dargestellt, welcher zum anhand der Fig. 3a bis Fig. 3c beschriebenen Szenario vergleichbar ist. Der erste Eingangswandler 4 und der Ausgangswandler 8 arbeiten weitgehend störungsfrei, auch wenn bereits geringe Beeinträchtigungen der Funktionalität vorliegen; der zweite Eingangswandler 6 weist einen erheblichen Defekt auf. Entsprechend deutlich sind in beiden Diagrammen der rechten Spalte die Abweichungen der zweiten Transferfunktion T2 von der zweiten Referenzfunktion. In der Frequenz-Domäne (Diagramm rechts oben) beträgt der Korrelationskoeffizient nur 0,3, in der Zeit-Domäne (Diagramm rechts unten) zeigt sich gar eine Antikorrelation von -0,7. Die Korrelationskoeffizienten der ersten Transferfunktion T1 mit der ersten Referenzfunktion R1 beträgt für beide Diagramme der linken Spalte 0,8, was auf eine nur geringe Beeinträchtigung schließen lässt.

[0052] Der in Fig. 7 dargestellte Fall ist zum anhand der Fig. 4a bis Fig. 4c beschriebenen Szenario vergleichbar. Der erste Eingangswandler 4 und der zweite Eingangswandler 6 arbeiten im Wesentlichen störungsfrei; hier weist der Ausgangswandler 8 einen maßgeblichen Defekt auf. Eine breitbandige Dämpfung der Ausgangsleistung ist hier anhand der Abweichungen von der jeweiligen Referenzfunktion R1, R2 sowohl für die erste als auch für die zweite Transferfunktion T1 bzw. T2 in der Frequenz-Domäne sichtbar (obere Diagramme). Aufgrund der geringen Frequenzabhängigkeit der Abschwächung der Wiedergabe im Ausgangswandler 8 be-

trägt der Korrelationskoeffizient für die beiden Transferfunktionen T1, T2 in der Frequenz-Domäne 0,8 bzw. 0,7. Hieraus allein ließe sich noch nicht auf eine erhebliche Beeinträchtigung einer Hardwarefunktion schließen. Die Unterschiede zur jeweiligen Referenzfunktion R1, R2 werden hier erst durch die Betrachtungen in der Zeit-Domäne deutlich (untere Diagramme). Die Korrelationskoeffizienten betragen hier -0,4 bzw. -0,5. Dies bedeutet also, dass sich im vorliegenden Fall die Frequenzantwort für beide Transferfunktionen T1, T2 im Wesentlichen nur durch eine Translation von der jeweiligen Referenzfunktion R1, R2 unterscheidet, während die beiden Impulsantworten maßgebliche Abweichungen aufweisen. Hieraus kann auf den Defekt des Ausgangswandlers 8 geschlossen werden.

[0053] In Fig. 8 ist schematisch in einem Blockschaltbild ein als Hörgerät 2 ausgebildetes Hörinstrument 1 dargestellt, welches in seinen wesentlichen Merkmalen dem Hörgerät nach Fig. 1 gleicht. Um im Hörgerät nach Fig. 8 einen Defekt am ersten Eingangswandler 4, am zweiten Eingangswandler 6 oder am Ausgangswandler 8 erkennen zu können, wird hier durch den Ausgangswandler 8 kein Testschallsignal 20 ausgegeben. Vielmehr sind hier adaptive Filter 30, 32 zur Unterdrückung von akustischen Rückkopplungen entlang der akustischen Rückkopplungspfade 22 bzw. 24 vorgesehen. In diesen adaptiven Filtern 30, 32 wird jeweils eine Transferfunktion der geschlossenen Signalschleifen geschätzt, welche durch das erste akustische System 26 bzw. das zweite akustische System 28 und die entsprechende Signalverarbeitung im Hörgerät 2 gebildet werden, welche u.a. das jeweilige adaptive Filter 30 bzw. 32 und die Signalverarbeitungseinheit 14 umfasst. Durch Kenntnis der internen Transferfunktion der Signalverarbeitungseinheit 14 können so anhand der adaptiven Filter 30, 32 die Transferfunktionen des ersten akustischen Systems 26 und des zweiten akustischen Systems 28 ermittelt werden.

[0054] 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 Schutzbereich der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

[0055]

- | | |
|----|----------------------------|
| 1 | Hörinstrument |
| 2 | Hörgerät |
| 4 | erster Eingangswandler |
| 6 | zweiter Eingangswandler |
| 8 | Ausgangswandler |
| 10 | erstes Eingangssignal |
| 12 | zweites Eingangssignal |
| 14 | Signalverarbeitungseinheit |
| 16 | Ausgangssignal |

18 Testsignal
 20 Testschallsignal
 22 akustischer Rückkopplungspfad
 24 akustischer Rückkopplungspfad
 26 erstes akustisches System
 28 zweites akustisches System
 30 adaptives Filter
 32 adaptives filter

g1 erster Grenzwert
 g2 zweiter Grenzwert
 g3 dritter Grenzwert
 R1 erste Referenzfunktion
 R2 zweite Referenzfunktion
 T1 erste Transferfunktion
 T2 zweite Transferfunktion

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erkennen eines Defektes in einem Hörinstrument (1), welches wenigstens einen ersten Eingangswandler (4) und wenigstens einen Ausgangswandler (8) aufweist, wobei eine erste Transferfunktion (T1) eines ersten akustischen Systems (26), welches den Ausgangswandler (8) und den ersten Eingangswandler (4) umfasst, ermittelt wird, wobei wenigstens eine erste Referenzfunktion (R1) für die erste Transferfunktion (T1) bestimmt wird, wobei die erste Transferfunktion (T1) mit der ersten Referenzfunktion (R1) verglichen wird, und wobei anhand des Vergleichs ein Defekt im Hörinstrument (1) erkannt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei als die erste Transferfunktion (T1) des ersten akustischen Systems (26) die Transferfunktion der offenen Signalschleife ermittelt wird, wobei die offene Signalschleife gebildet wird aus dem Ausgangswandler (8), einem akustischen Rückkopplungspfad (22) vom Ausgangswandler (8) zum ersten Eingangswandler (4), und aus dem ersten Eingangswandler (4).
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei eine weitere Transferfunktion einer geschlossenen Signalschleife, welche gebildet wird aus dem Ausgangswandler (8), einem akustischen Rückkopplungspfad (22) vom Ausgangswandler (8) zum ersten Eingangswandler (4), dem ersten Eingangswandler (4) und einem Signalverarbeitungspfad (10, 14, 16) vom ersten Eingangswandler (4) zum Ausgangswandler (8), bestimmt wird, und hieraus die Transferfunktion der offenen Signalschleife als die erste Transferfunktion (T1) ermittelt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Transferfunktion der geschlossenen Signalschleife durch ein adaptives Filter (30, 32) bestimmt wird, und
5. wobei die offene Signalschleife anhand der geschlossenen Signalschleife unter Berücksichtigung einer entlang des Signalverarbeitungspaths (10, 14, 16) erfolgenden Signalverarbeitung bestimmt wird.
- 10 5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das adaptive Filter (30, 32) im Hörinstrument (1) zur Unterdrückung einer akustischen Rückkopplung über den akustischen Rückkopplungspfad (22) vom Ausgangswandler (8) zum ersten Eingangswandler (4) eingesetzt wird.
- 15 6. Verfahren nach Anspruch 2, wobei dem Ausgangswandler (8) ein Testsignal (18) zugeführt wird,
- 20 wobei durch den Ausgangswandler (8) aus dem Testsignal (18) ein Testschallsignal (20) erzeugt wird, wobei vom ersten Eingangswandler (4) aus einem das Testschallsignal (20) umfassenden Eingangsschall ein erstes Eingangssignal (10) erzeugt wird, und wobei aus dem ersten Eingangssignal (10) und dem Testsignal (18) die Transferfunktion der offenen Signalschleife als erste Transferfunktion (T1) ermittelt wird.
- 30 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für den Vergleich der ersten Transferfunktion (T1) mit der ersten Referenzfunktion (R1) eine Kreuzkorrelation herangezogen wird.
- 35 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Referenzfunktion (R1) aus einer Messung der ersten Transferfunktion (T1) unter normierten Bedingungen bestimmt wird.
- 40 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die erste Referenzfunktion (R1) aus einer zeitlichen Mittelung einer Vielzahl von Werten der ersten Transferfunktion (T1) zu verschiedenen Zeitpunkten bestimmt wird.
- 45 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 9, wobei die erste Transferfunktion (T1) aus einer zeitlichen Mittelung einer Mehrzahl von Werten der Transferfunktion der offenen Signalschleife bestimmt wird.
- 50 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Defekt des ersten Eingangswandlers (4) und/oder des Ausgangswandlers (8) erkannt wird.
- 55

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Maß für eine Korrelation zwischen der ersten Transferfunktion (T1) und der ersten Referenzfunktion (R1) ermittelt wird, und wobei der Defekt anhand des Maßes der Korrelation erkannt wird.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein erstes Polynom ermittelt wird, welches die erste Transferfunktion (T1) approximiert, wobei ein erstes Referenzpolynom ermittelt wird, welches die erste Referenzfunktion (R1) approximiert, und wobei der Defekt anhand eines Koeffizientenvergleiches vom ersten Polynom und dem ersten Referenzpolynom erkannt wird.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine zweite Transferfunktion (T2) eines zweiten akustischen Systems (28), welches den Ausgangswandler (8) und einen zweiten Eingangswandler (6) des Hörinstruments (1) umfasst, ermittelt wird, wobei wenigstens eine zweite Referenzfunktion (R2) für die zweite Transferfunktion (T2) bestimmt wird, wobei die zweite Transferfunktion (T2) mit der zweiten Referenzfunktion (R2) verglichen wird, und wobei anhand des Vergleichs der ersten Transferfunktion (T1) mit der ersten Referenzfunktion (R1) und anhand des Vergleichs der zweiten Transferfunktion (T2) mit der zweiten Referenzfunktion (R1) ein Defekt im Hörinstrument (1) erkannt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 11 in Verbindung mit Anspruch 14, wobei ein erster Grenzwert (g1), ein zweiter Grenzwert (g2) und ein dritter Grenzwert (g3) vorgegeben werden, wobei eine erste Differenz aus der ersten Transferfunktion (T1) und der ersten Referenzfunktion (R1) gebildet wird, wobei eine zweite Differenz aus der zweiten Transferfunktion (T1) und der zweiten Referenzfunktion (R2) gebildet wird, wobei eine dritte Differenz aus der ersten Transferfunktion (T1) und der zweiten Transferfunktion (T2) gebildet wird, wobei ein Defekt am ersten Eingangswandler (4) erkannt wird, wenn die erste Differenz den ersten Grenzwert (g1) wenigstens in einem Frequenzbereich überschreitet, ohne dass die zweite Differenz den zweiten Grenzwert (g2) überschreitet, und/oder wobei ein Defekt am Ausgangswandler (8) erkannt wird, wenn jeweils für die erste Differenz und die zweite Differenz Frequenzbereiche existieren, in welchen der erste Grenzwert (g1) bzw. der zweite Grenzwert (g2) überschritten wird, ohne dass die dritte Differenz den dritten (g3) Grenzwert überschreitet.
16. Hörinstrument (1) mit wenigstens einem ersten Eingangswandler (4) und einem Ausgangswandler (8), welches zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche eingerichtet ist.
17. Hörinstrument (1) nach Anspruch 16, welches als Hörgerät (2) ausgebildet ist.

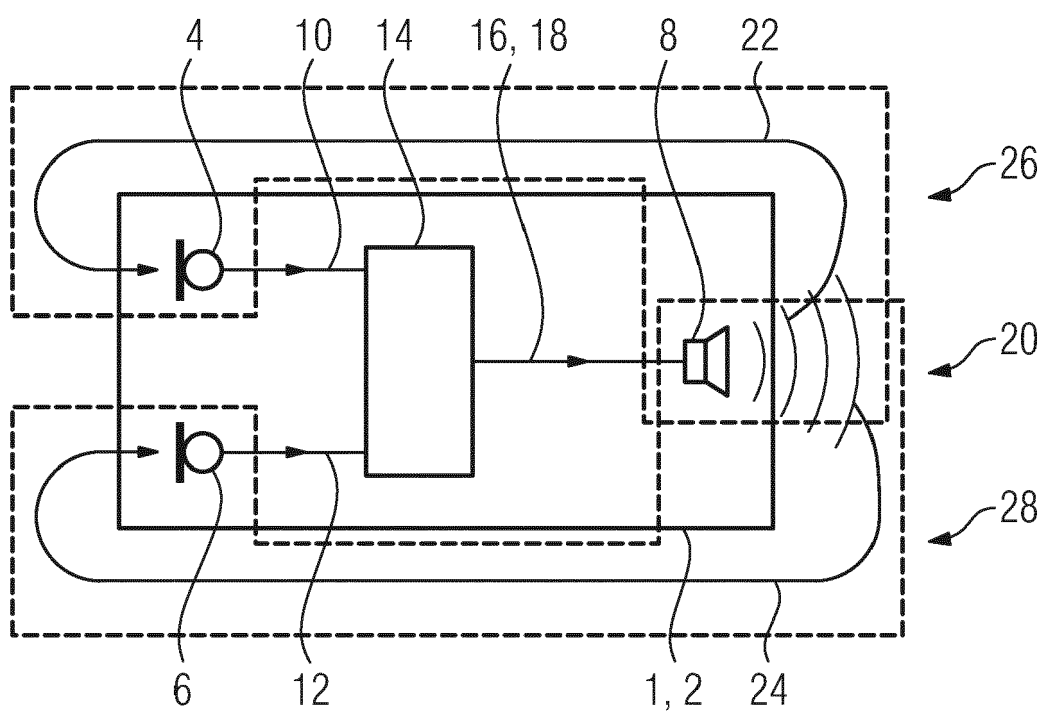


Fig. 1

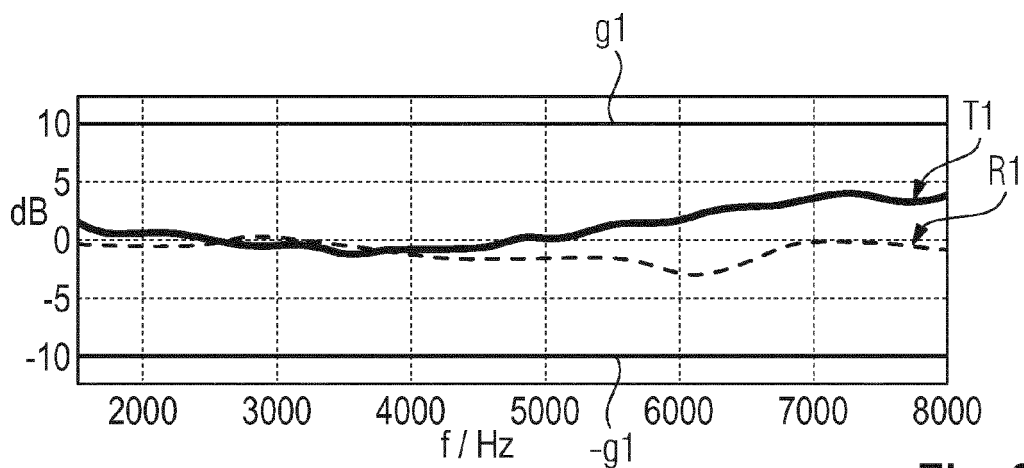


Fig. 2a

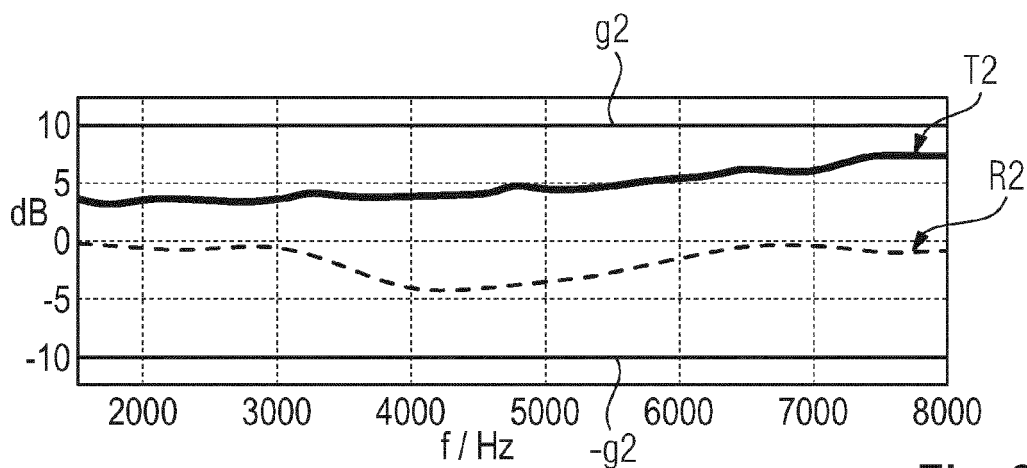


Fig. 2b

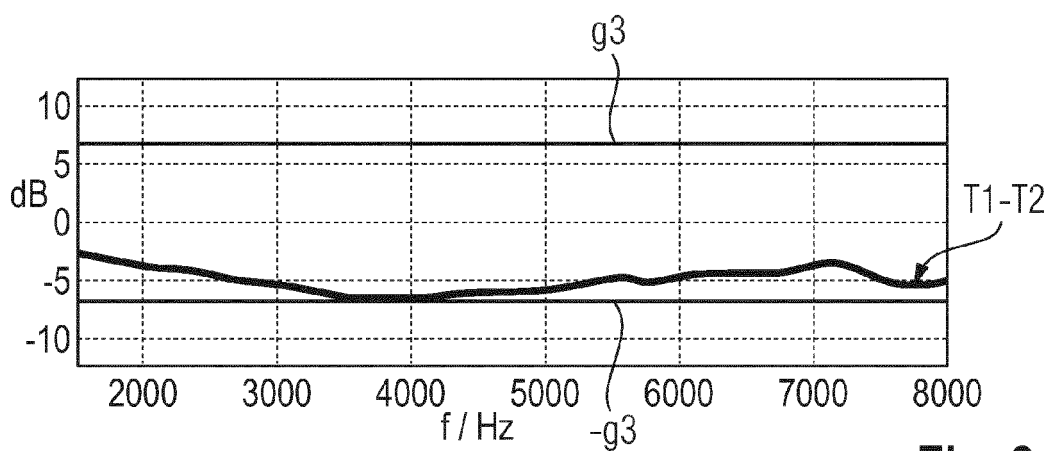


Fig. 2c

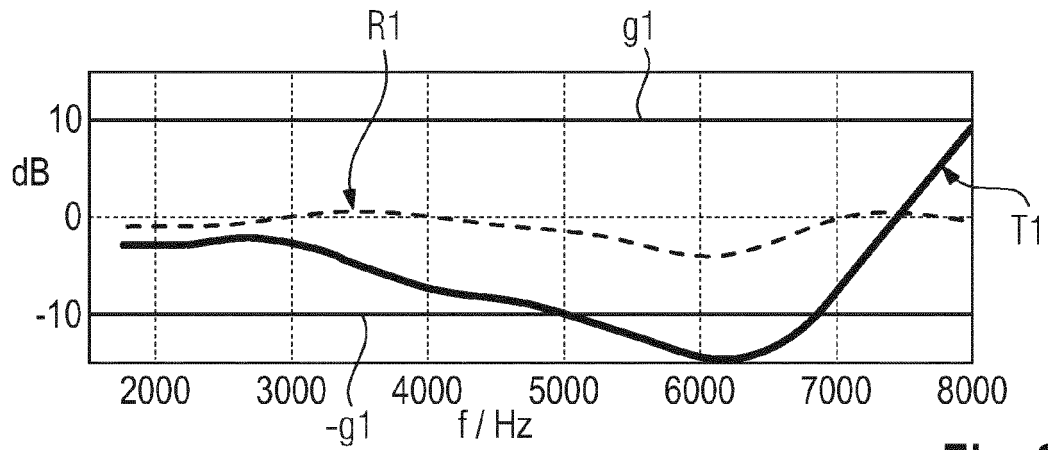


Fig. 3a

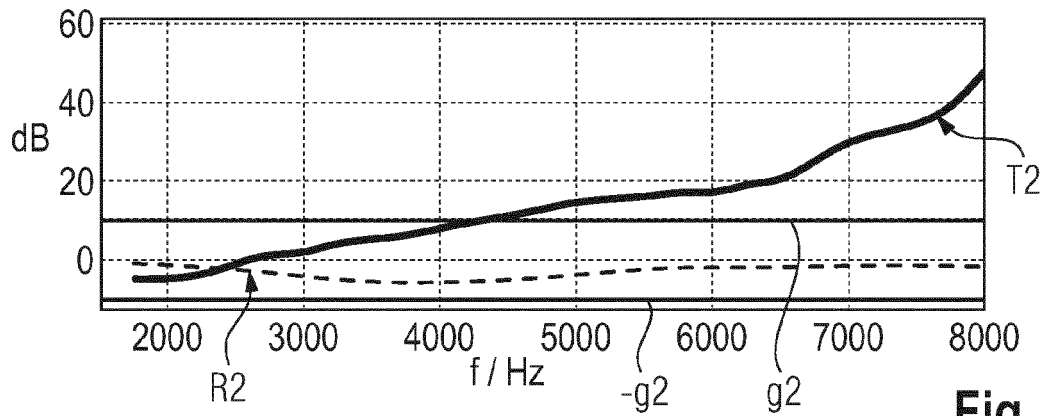


Fig. 3b

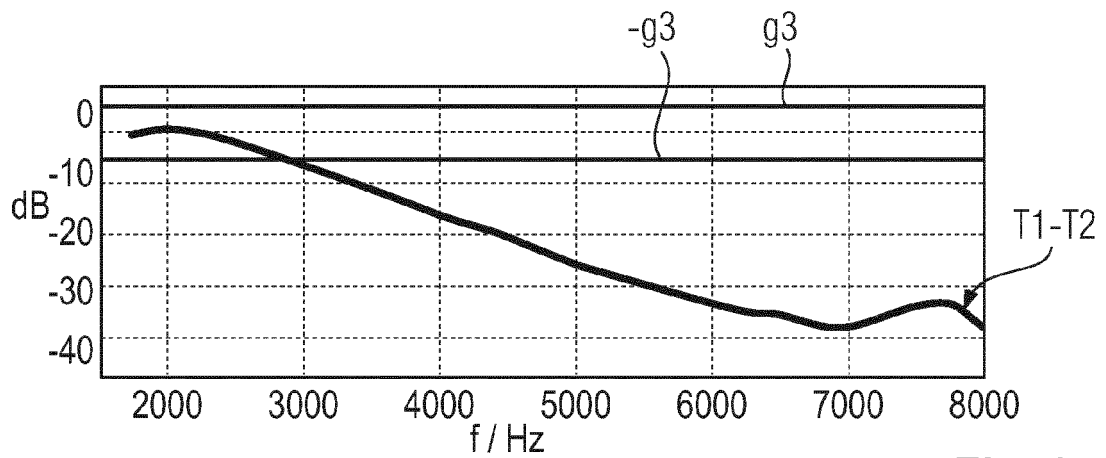


Fig. 3c

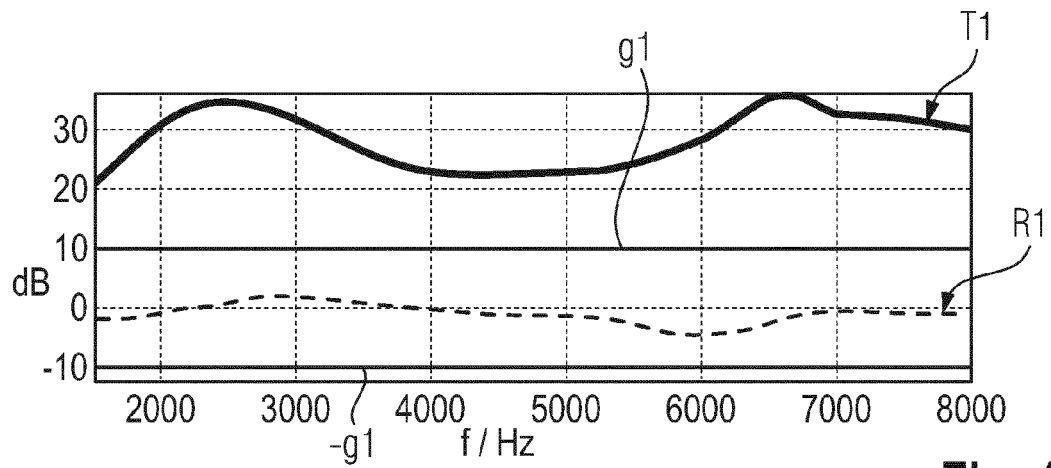


Fig. 4a

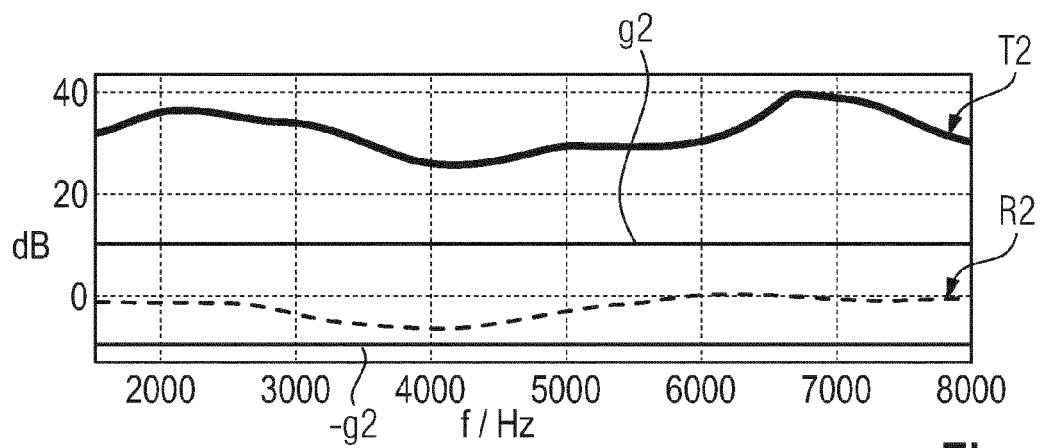


Fig. 4b

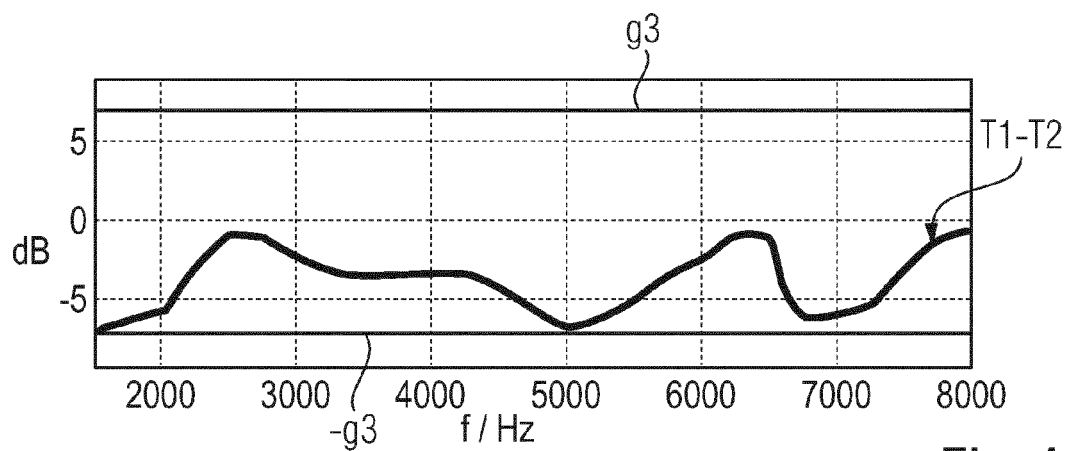


Fig. 4c

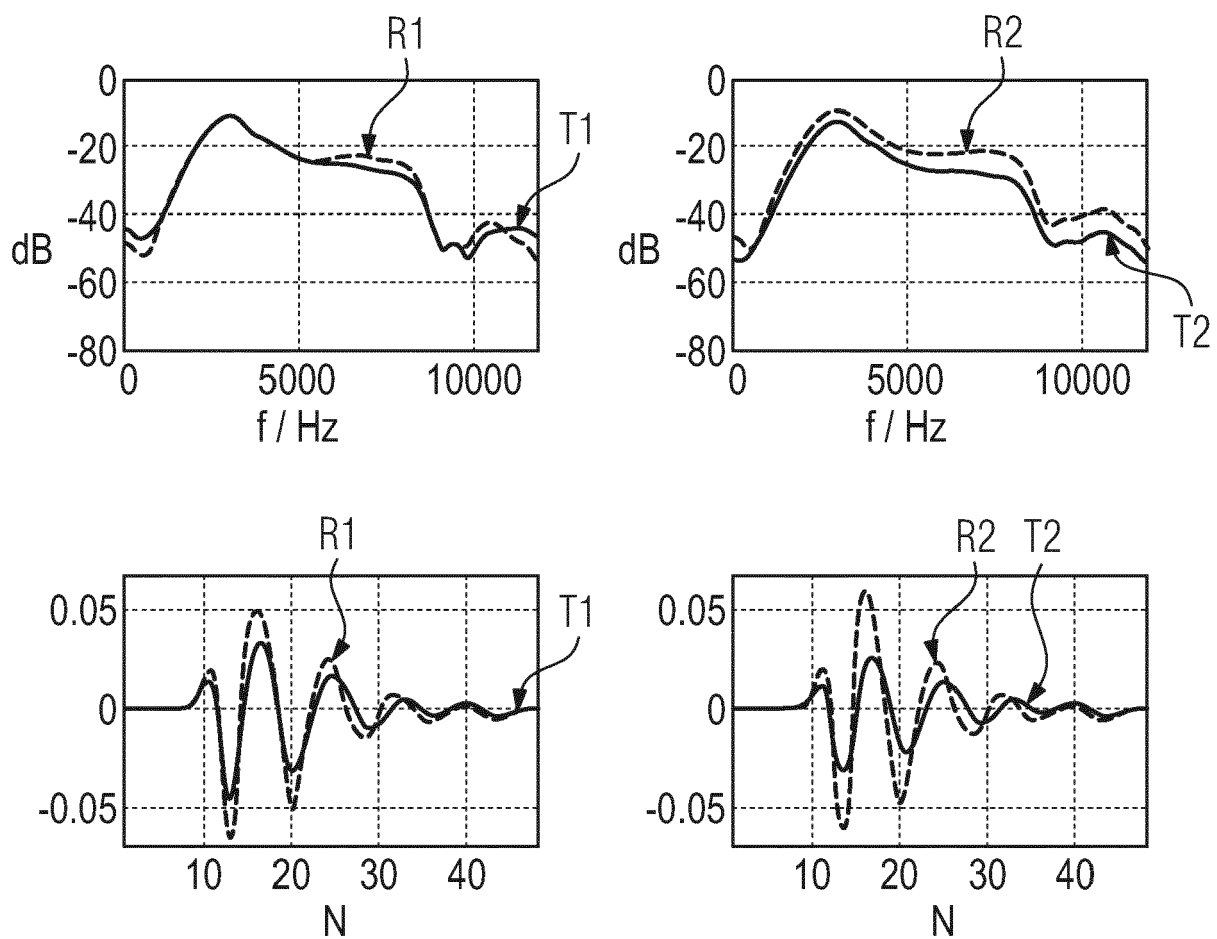


Fig. 5

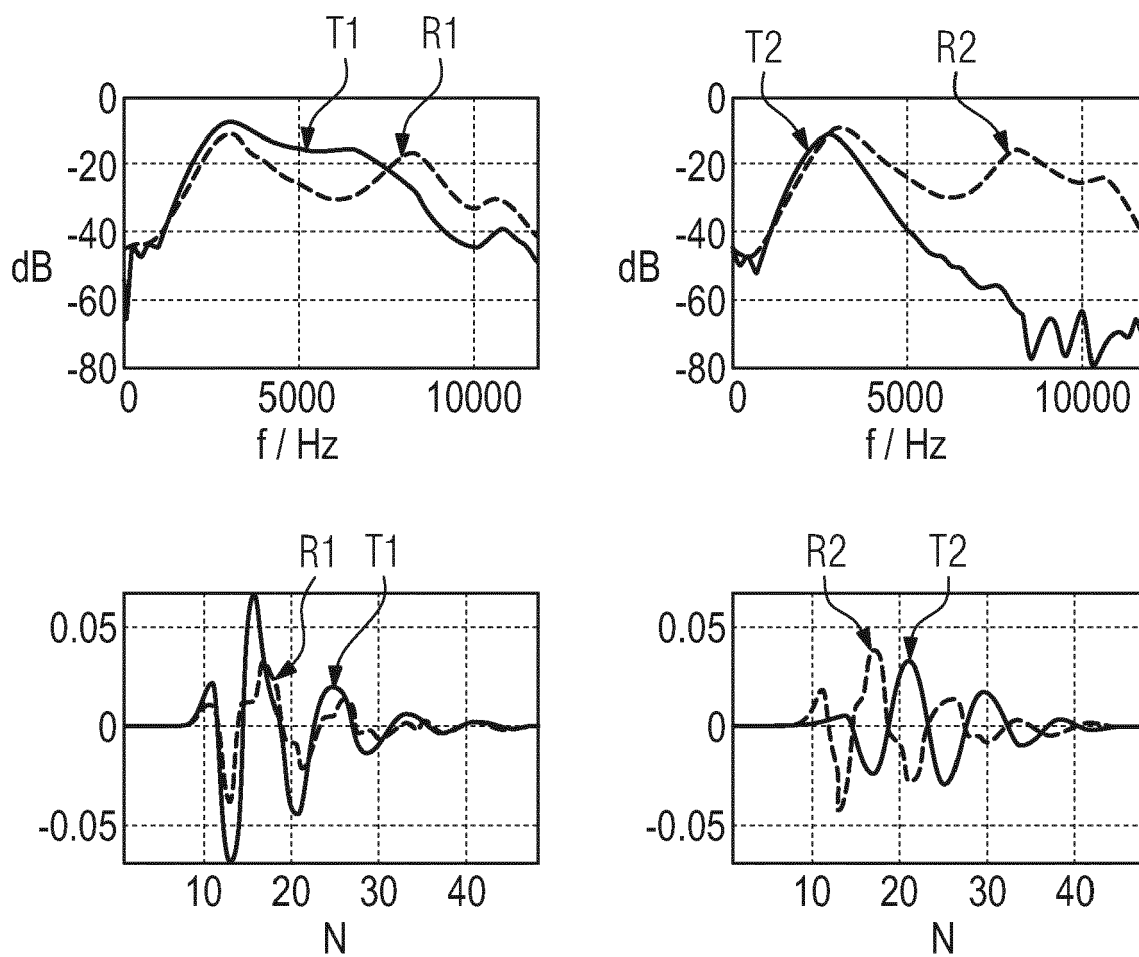


Fig. 6

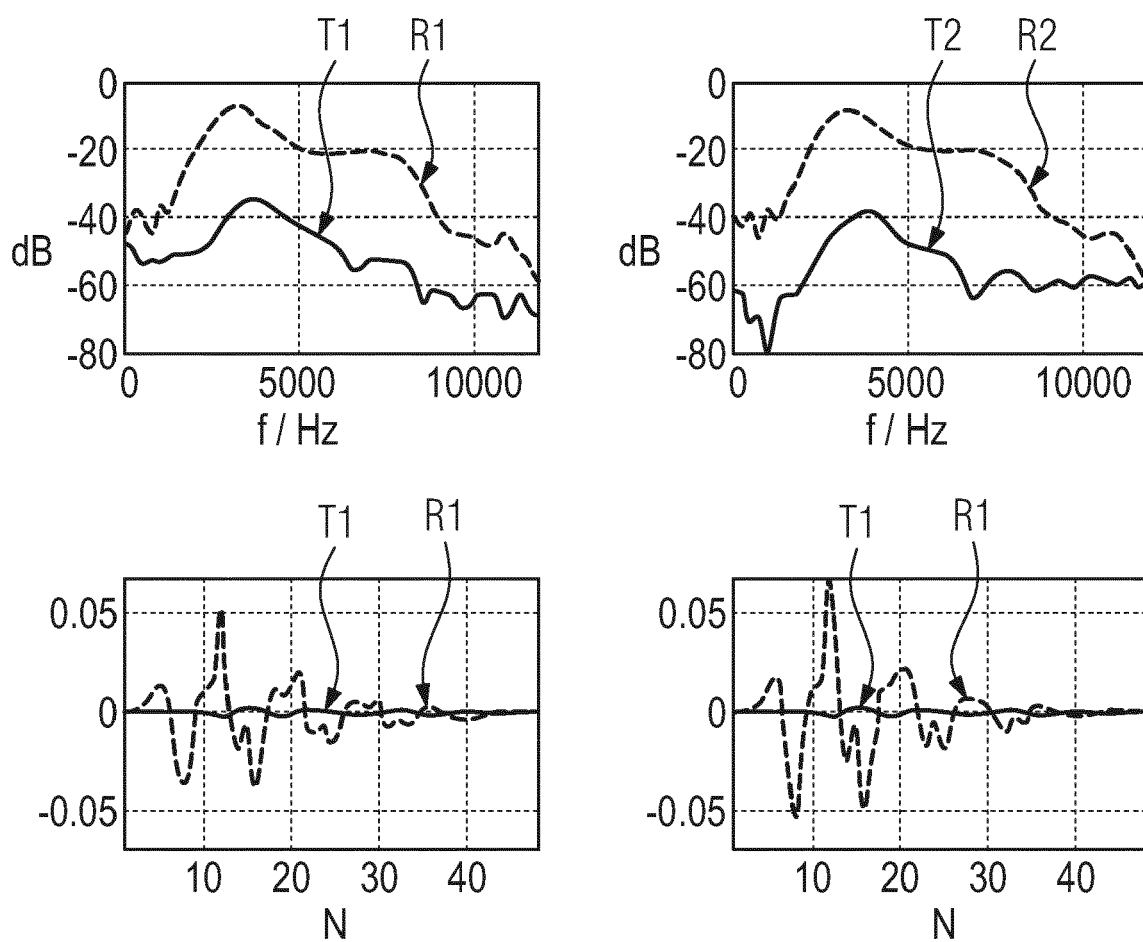


Fig. 7

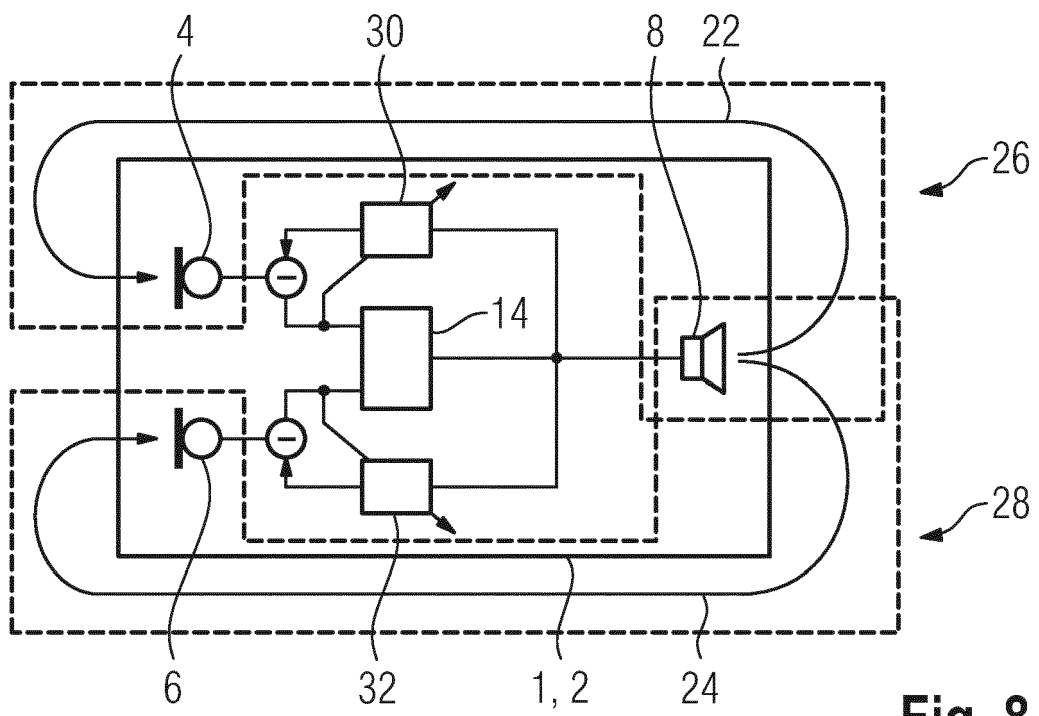


Fig. 8



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 18 18 8624

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	US 2003/007647 A1 (NIELSEN KIM HJORTGAARD [DK] ET AL) 9. Januar 2003 (2003-01-09)	1-6,8,13,14,16,17	INV. H04R25/00
Y	* Seite 1, Absatz 2 - Seite 1, Absatz 13 *	7,9-12 15	
A	* Seite 2, Absatz 18 - Seite 2, Absatz 19 *		
	* Abbildung 1 *		
X,P	WO 2018/129242 A1 (KNOWLES ELECTRONICS LLC [US]) 12. Juli 2018 (2018-07-12)		1-6,8,13,14,16,17
	* Seite 7, Absatz 43 - Seite 10, Absatz 50 *		
	* Seite 21, Absatz 76 - Seite 25, Absatz 94 *		
	* Seite 40, Absatz 119 - Seite 43, Absatz 123 *		
	* Abbildungen 10,15 *		
	* Ansprüche 1-10 *		
Y	US 2005/259829 A1 (VAN DEN HEUVEL KOEN [BE] ET AL) 24. November 2005 (2005-11-24)	7,9-12	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
	* Seite 1, Absatz 5 *		H04R
	* Seite 3, Absatz 39 - Seite 3, Absatz 40 *		
	* Ansprüche 9,16 *		
X	EP 1 467 595 A2 (GENNUM CORP [CA]) 13. Oktober 2004 (2004-10-13)	1,16	
Y	* Spalte 4, Absatz 14 - Spalte 4, Absatz 17 *	11	
	* Abbildung 1 *		
A	US 2017/070826 A1 (PEDERSEN MICHAEL SYSKIND [DK] ET AL) 9. März 2017 (2017-03-09)	14	
	* Seite 5, Absatz 74 - Seite 5, Absatz 78 *		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 18. Dezember 2018	Prüfer Meiser, Jürgen
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 18 18 8624

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.

18-12-2018

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	US 2003007647 A1	09-01-2003	KEINE	

15	WO 2018129242 A1	12-07-2018	KEINE	

	US 2005259829 A1	24-11-2005	AU 2005202243 A1	08-12-2005
			US 2005259829 A1	24-11-2005
			US 2012195437 A1	02-08-2012

20	EP 1467595 A2	13-10-2004	AT 397368 T	15-06-2008
			CA 2463195 A1	08-10-2004
			DK 1467595 T3	29-09-2008
			EP 1467595 A2	13-10-2004
			US 2004202333 A1	14-10-2004

25	US 2017070826 A1	09-03-2017	CN 106507259 A	15-03-2017
			EP 3139637 A1	08-03-2017
			US 2017070826 A1	09-03-2017

30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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