

(19)



(11)

EP 3 695 620 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
05.07.2023 Patentblatt 2023/27

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
H04R 5/033 ^(2006.01) **H04R 1/28** ^(2006.01)
H04R 1/10 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **17797442.5**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
H04R 1/2869; H04R 1/1091; H04R 5/033

(22) Anmeldetag: **11.10.2017**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/IB2017/056268

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2019/073283 (18.04.2019 Gazette 2019/16)

(54) **VERBESSERTER SCHALLWANDLER**

IMPROVED SOUND TRANSDUCER

TRANSDUCTEUR ACOUSTIQUE AMÉLIORÉ

(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

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
19.08.2020 Patentblatt 2020/34

(73) Patentinhaber: **Institut für Rundfunktechnik GmbH**
80335 München (DE)

(72) Erfinder: **STUMPNER, Roman**
80939 München (DE)

(74) Vertreter: **Koplin, Moritz**
Anne-Conway-Straße 1
28359 Bremen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-2014/138735 US-A1- 2007 154 049
US-A1- 2008 107 287

EP 3 695 620 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Schrift betrifft eine Vorrichtung, ein Verfahren, eine Signalaufbereitungseinheit, Daten zur akustischen Wiedergabe, ein Schallwandler, insbesondere ein Kopfhörer oder ein Ohrhörer, und ein Softwareprodukt zur Verbesserung einer Schallwiedergabe.

[0002] Aus der Druckschrift US 2007/154049 A1 ist eine Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1 bekannt. Weiterer Stand der Technik kann der Druckschrift WO 2014/138735 A1 und der Druckschrift US 2008/107287 A1 entnommen werden.

[0003] Aus dem Stand der Technik sind Probleme bei der Wiedergabe von Schallsignalen über Kopfhörer bekannt, sodass wenn Schallereignisse über Kopfhörer abgestrahlt werden, diese Schallereignisse vom menschlichen Gehör unter bestimmten Bedingungen deutlich anders wahrgenommen als bei vom Ohr entfernten Schallquellen wie z.B. Lautsprecher. Trotz Anwendung von Außenohrübertragungsfunktionen kann es zu räumlichen Abbildungsfehlern (Elevationswinkel) kommen, wenn sich die Schallquelle in der Medianebene (gedachte Ebene senkrecht zwischen den Ohren) des Hörers befindet. Bei solchen korrelierten Signalen fehlen dann interaurale Pegel und Laufzeitunterschiede. Insbesondere bei vorne befindlichen Schallquellen werden die Schallsignale oft im Kopf oder sehr nah am Kopf wahrgenommen (sogenannte Im-Kopf-Lokalisation). Die IKL tritt häufig in Verbindung mit einer störenden Elevation auf (Lokalisation oben im Kopf). Nur durch technisch aufwendige optische Unterstützung oder durch Headtracking können diese Probleme bisher verbessert werden. Weitere Abbildungsfehler betreffen die wahrgenommene Lautstärke von Schallsignalen, die über Kopfhörer abgestrahlt werden. Gegenüber entfernten Schallquellen werden Kopfhörer unter Umständen als leiser wahrgenommen, obwohl der Schalldruckpegel gleich ist. Es hat sich gezeigt, dass dieser sogenannte SLD-Effekt (Sound Pressure Loudness Divergenz) stets zusammen mit der Im-Kopf-Lokalisation auftritt.

[0004] Somit liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde die obigen Probleme zu beheben oder zumindest zu verringern, um eine verbesserte Schallwiedergabe zu realisieren.

[0005] Die hier gestellte Aufgabe wird erfindungsgemäß durch den Gegenstand von Anspruch 1 gelöst.

[0006] Im Folgenden wird eine nicht beanspruchte Vorrichtung zur akustischen Wiedergabe vorgeschlagen, wobei die Vorrichtung versehen ist mit einem ersten elektroakustischen Schallwandler zum Erzeugen eines Schallfeldes und wobei der erste elektroakustische Schallwandler einen Eingang zum Empfangen eines elektrischen Signals zum Erzeugen des entsprechenden Schallfeldes aufweist, wobei die Vorrichtung dadurch gekennzeichnet ist, dass weiter eine Einrichtung vorgesehen ist, welche eingerichtet ist eine akustische Wechselwirkung mit dem erzeugten Schallfeld des ersten elektroakustischen Schallwandlers einzugehen, um ein mo-

difiziertes Schallfeld zu erzeugen und wobei vorgesehen ist, dass das modifizierte Schallfeld einen vorbestimmten akustischen Impedanzwert aufweist.

[0007] Die Einrichtung kann zumindest ein akustischer Resonator und/oder zumindest ein weiterer elektroakustischer Schallwandler sein. Somit wird ein elektroakustischer Schallwandler entweder in Zusammenarbeit mit zumindest einem weiteren elektroakustischen Schallwandler oder in Zusammenarbeit mit zumindest einem Resonator vorgeschlagen. Hierbei gilt für beide der vorgenannten Varianten, dass eine akustische Wechselwirkung darauf gerichtet ist, ein modifiziertes Schallfeld zu erzeugen, sodass das modifizierte Schallfeld einen vorbestimmten akustischen Impedanzwert aufweist. Alternativ ist vorgesehen, dass beide der vorgenannten Varianten eingerichtet sind, unterschiedliche Impedanzwerte bzw. variable Impedanzwerte für das modifizierte Schallfeld einzustellen.

[0008] Der erste elektroakustische Schallwandler und/oder der weitere elektroakustische Schallwandler kann eingerichtet sein, ein elektrisches Signal in Abhängigkeit einer Impedanzinformation zu empfangen und in ein akustisches Signal umzusetzen damit durch die entsprechende akustische Wechselwirkung das modifizierte Schallfeld einen vorbestimmten akustischen Impedanzwert aufweist.

[0009] Der akustische Resonator kann als Ausnahme, Loch oder als Helmholtzresonator ausgeführt sein, wobei diese insbesondere am Gehäuse der Vorrichtung, insbesondere im inneren und/oder äußeren Gehäusebereich realisiert ist.

[0010] Der erste elektroakustische Schallwandler und/oder der weitere elektroakustische Schallwandler und/oder der akustische Resonator kann mittels eines entsprechenden elektrischen Signals steuerbar sein, um unterschiedliche akustische Impedanzwerte im modifizierten Schallfeld einzustellen. Hierbei kann die Steuerung entweder direkt über das einzuspeisende elektrische Audiosignal und/oder über eine gesonderte Signalisierung erfolgen.

[0011] Ferner wird eine der Vorrichtungen der obigen Art vorgeschlagen, wobei die Vorrichtung eine Messeinheit, insbesondere ein Mikrofon zum Messen eines Schallfeldparameters aufweist, um daraus einen gegebenen Impedanzwert im Schallfeld ableiten zu können, um ein Erzeugen eines anschließenden elektrischen Anpassungssignals zu ermöglichen. Hierbei wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass eine oder mehrere der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Ausführungsformen eingerichtet sind, über eine Regelschleife aktiv eine Messung vorzunehmen, um einen aktuellen Impedanzwert im Schallfeld zu messen, um eine anschließend Nachregelung durch Generieren eines geeigneten Signals zu realisieren.

[0012] Die Vorrichtung ist als Kopfhörer oder als Ohrhörer ausgeführt. Insbesondere kann ein entsprechendes Gehäuse zum Aufnehmen der Vorrichtung vorgesehen, sowie als Helm ausgeführt sein.

[0013] Des Weiteren wird eine Vorrichtung vorgeschlagen wobei die Position und/oder die Ausrichtung des ersten elektroakustischer Schallwandlers und/oder des weiteren elektroakustischen Schallwandlers und/oder des akustischen Resonators veränderbar ausgeführt ist und insbesondere mittels eines geeigneten elektrischen Signals verändert und bedarfsweise eingestellt werden kann. Hierbei ist insbesondere eine Variabilität in der Position und/oder Ausrichtung eines Schallwandlers oder Resonator zu verstehen. Weiter kann im Falle eines Resonators der Frequenzgang und/oder die Schwingmasse steuerbar ausgestaltet sein.

[0014] Gemäß einem weiteren Aspekt wird eine Signalaufbereitungseinheit zum Aufbereiten von Signalen zur akustischen Wiedergabe vorgeschlagen, welche dazu eingerichtet ist, in Abhängigkeit eines ersten Signals, welches zum Erzeugen eines ersten Schallfeldes vorgesehen ist, ein weiteres Signal zur akustischen Wechselwirkung mit dem ersten Schallfeld aufzubereiten, um ein modifiziertes Schallfeld zu erzeugen, wobei vorgesehen ist, dass das modifizierte Schallfeld einen vorbestimmten akustischen Impedanzwert aufweist.

[0015] Ferner wird eine Signalaufbereitungseinheit vorgeschlagen, wobei die Signalaufbereitungseinheit in Abhängigkeit von zumindest einem Schalldrucksignal und/oder einer Schallschnelle des ersten Signals einen Faktor bereitstellt, um ein modifiziertes Schallfeld zu erzeugen, wobei vorgesehen ist, dass das modifizierte Schallfeld einen vorbestimmten akustischen Impedanzwert aufweist.

[0016] Ferner wird eine Signalaufbereitungseinheit vorgeschlagen, wobei das Schalldrucksignal und/oder die Schallschnelle mittels einer Messung, insbesondere mittels von zumindest einem Mikrofon abgeleitet wird.

[0017] Ferner wird eine Signalaufbereitungseinheit vorgeschlagen, wobei die Signalaufbereitungseinheit eingerichtet ist, ein Impedanzsignal aufzubereiten, damit das Impedanzsignal einem Schallwandler bereitgestellt werden kann.

[0018] Ferner wird eine Signalaufbereitungseinheit vorgeschlagen, wobei das modifizierte Schallfeld einen zeitlich vorbestimmten variablen akustischen Impedanzwert aufweist.

[0019] Ferner wird eine Signalaufbereitungseinheit vorgeschlagen, wobei die Signalaufbereitungseinheit eingerichtet ist, weitere relevante akustische Parameter, insbesondere geometrische Parameter eines Kopfhörers oder eines Ohrhörers zu verarbeiten, um für das modifizierte Schallfeld den vorbestimmten akustischen Impedanzwert einzustellen. Ferner werden Daten zur akustischen Wiedergabe vorgeschlagen, welche Datenelemente zur akustischen Wechselwirkung mit einem ersten Schallfeld aufweisen, wobei die Datenelemente eingerichtet sind, ein modifiziertes Schallfeld zu erzeugen, wobei vorgesehen ist, dass das modifizierte Schallfeld einen vorbestimmten akustischen Impedanzwert aufweist.

[0020] Ferner werden Daten vorgeschlagen, wobei die

Datenelemente eingerichtet und derart ausgestaltet sind, in ein entsprechendes elektrisches Signal umgesetzt zu werden, um in einem späteren Schritt von einem akustischen Resonator und/oder von zumindest einem elektroakustischen Schallwandler wiedergegeben zu werden.

[0021] Die Datenelemente können eine Impedanzinformation aufweisen.

[0022] Ferner werden Daten vorgeschlagen, wobei die Daten Steuerdaten zum Steuern des akustischen Resonators und/oder des zumindest einem elektroakustischen Schallwandlers beinhalten.

[0023] Ferner werden Daten vorgeschlagen, wobei die Daten mittels einer der obigen Signalaufbereitungseinheiten erzeugt werden.

[0024] Ferner wird eine Verarbeitungsvorrichtung zum Verarbeiten und/oder Wiedergeben der Daten vorgeschlagen, wobei die Daten einer der obigen Datenvarianten entsprechen und wobei die Verarbeitungsvorrichtung insbesondere ein Smartphone, Notebook, Laptop, Tablet-PC, Personal-Computer, Drahtlossender oder Server ist.

[0025] Ferner wird ein Schallwandler vorgeschlagen, wobei der Schallwandler zur Wiedergabe eines erzeugten Signals mittels einer der oben vorgeschlagenen Signalaufbereitungseinheiten und/oder von oben vorgeschlagenen Daten eingerichtet ist.

[0026] Ferner wird ein Softwareprodukt, welches auf einem Speichermedium gespeichert und von einer elektronischen Datenverarbeitungseinheit verarbeitet werden kann zum Realisieren einer der oben vorgestellten Signalaufbereitungseinheiten und/oder zur Erzeugung oder zur Wiedergabe von oben vorgestellten Daten angepasst ist. Ferner wird ein Verfahren zur akustischen Wiedergabe vorgeschlagen, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist: Erzeugen eines ersten Schallfeldes und Erzeugen eines zweiten Signals zur akustischen Wechselwirkung mit dem ersten Schallfeldes, um ein modifiziertes Schallfeld zu erzeugen, wobei vorgesehen ist, dass das modifizierte Schallfeld einen vorbestimmten akustischen Impedanzwert aufweist.

[0027] Somit ist vorgesehen, dass neben dem Schalldruck auch Informationen über die Schallfeldimpedanz am Ohreingang berücksichtigt werden, um auch bei korrelierten Signalen aus der Medianebene zuverlässig spektrale Informationen zur Schallquellen-Lokalisation zu erhalten. Solche Impedanzinformationen kann das Gehör jedoch nur aus der Position des Trommelfells am Ende des Gehörgangs durchführen.

[0028] Die Erfindung zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass ein Kopfhörer oder Ohrhörer als Teil eines erfindungsgemäßen Systems nicht nur das Schalldrucksignal, sondern auch die durch eine entfernte Schallquelle am Ohr erzeugte Schallfeldimpedanz am Ohr nachbildet, um negative Phänomene wie die IKL oder SLD zu verbessern oder ganz zu vermeiden. Im Unterschied zu der gegenwärtigen Binauraltechnik erhält der Kopfhörer idealerweise damit kein Schalldrucksignal,

das kopfbezogene Schalldruckfrequenzgänge enthält, da sich diese bei richtig eingestellter Schallfeldimpedanz im Kopfhörer von selbst einstellen. Die sogenannte Außenohrübertragungsfunktion (HRTF) beschreibt damit nur noch die Beziehung zwischen den beiden Ohren. Im Folgenden wird das Verfahren beschrieben, wie die für das Gehör als relevant angesehene Schallfeldimpedanz definiert ist und wie diese gemessen werden kann.

[0029] Ferner wird ein Verfahren zur Messung kopfbezogener Schallfeldimpedanzen von Kopfhörern vorgeschlagen.

[0030] Für die Entwicklung eines Kopfhörers ist ein Messverfahren notwendig, das anzeigt, ob ein Kopfhörer eine hinsichtlich der Vermeidung von IKL und SLD relevante Schallfeldimpedanz erzeugt. Das ist dann angezeigt, wenn das Messverfahren bei Kopfhörerbeschallung das gleiche Ergebnis liefert wie bei Beschallung mit Lautsprecher. Das vorgeschlagene Messverfahren erweitert das bekannte Verfahren zur Bestimmung der kopfbezogenen Schalldruck-Übertragungsfunktion (Außenohrübertragungsfunktion, HRTF) um eine zweite Übertragungsfunktion, die eine Information über die Schallfeldimpedanz enthält. Mit Hilfe eines geeigneten Kunstkopfes an dessen Gehörgangenden sich je ein sogenanntes Impedanz-Mikrofon befindet, das in der Lage ist, sowohl ein Druck-Signal als auch ein Schnellesignal einer Kraftquelle zu liefern (siehe unten), kann ein Messprüfstand aufgebaut werden, der sowohl für Lautsprecher als auch Kopfhörerbeschallung geeignet ist, um ein vom Schalldruck abhängiges Signal S_p und ein vom Schalldruck und der Schallfeldimpedanz abhängiges Signal S_z zu bestimmen (Figur 1).

[0031] Bei Lautsprecherbeschallung des Kunstkopfes durch das Signal S ergeben sich die Signale S_p und S_z an den Ausgängen der Mikrofone für das linke und rechte Ohr. Diese Signale sind abhängig von der Frequenz und vom Schalleinfallswinkel. Wird der Kunstkopf nun mit den gleichen Signalen über einen Kopfhörer (mit evtl. Signalaufbereitung) beschallt, werden die Signale S'_p und S'_z gemessen.

[0032] Für einen Kopfhörer, der ebenfalls mit dem Signal S_p versorgt wird und der am Ohr einem Lautsprecher vergleichbare Schallfeldverhältnisse nachzubilden, gilt:

$$S'_p = k S_p \text{ und } S'_z = k S_z.$$

[0033] Hierbei ist anzumerken, dass der Prüfstand für den Kopfhörer kein Kunstkopf sein muss. Ein vergleichbares Messverfahren, das sich jedoch nur auf den Schalldruck beschränkt, wird in der Binauraltechnik schon länger angewendet, um auch in Kopfhörern räumlich wahrnehmbare Schallfelder zu erzeugen. Aus dem gemessenen Signal S_p kann eine Schalldruck-Übertragungsfunktion H_p bestimmt werden, die nicht mehr den Lautsprecherfrequenzgang enthält, indem man die kopfbezogenen Signale auf die Drucksignale einer Freifeldmessung ohne Kopf bezieht:

$$H_p = p_{\text{Ohr}} / p_{\text{Freifeld}}$$

[0034] H_p beschreibt die Schalldruckänderung durch Anwesenheit eines menschlichen Kopfes (Körper) und die Beziehung zwischen den Ohren. Diese in der gegenwärtigen Binauraltechnik auch als Außenohrübertragungsfunktion (oder HRTF) bezeichnete Funktion muss bei einem neuen Kopfhörer mit Nachbildung der Schallfeldimpedanz jedoch um den Schalldruck korrigiert werden, den diese Feldimpedanz selbst erzeugt. Im Idealfall enthält H_p dann nur noch interaurale Beziehungen.

[0035] Das Signal S_z ist neu und stellt gegenüber dem reinen Schalldrucksignal S_p erweiterte Informationen zum Schallfeld vor dem Ohr zur Verfügung. Es beschreibt den akustischen Widerstand am Ohreingang eines menschlichen Kopfes, den eine im Ohrkanal befindliche Kraftquelle Q spürt, wenn diese gegen ein äußeres Schallfeld eine Kraft F_Q ausübt. Die Kraft F_Q wird mittels einer geeigneten Mechanik (ein nicht näher beschriebenes Mikrofon) aus dem Druck im Ohrkanal abgeleitet und wirkt phasengenau mit dem Druck auf das Schallfeld zurück. Aus diesem Grund ist das Signal S_z auch vom Schalldruck abhängig. Die Kraftquelle Q ist dabei selbst der Kraft F_F des äußeren Schallfeldes ausgesetzt. Die Kraftquelle Q prägt somit eine Kraft $D_{FQ} = F_Q - F_F$ in das Schallfeld ein und reagiert mit der Schnelle v_Q auf die Schallfeldimpedanz Z_F . Somit ist v_Q ganz allgemein eine Funktion vom Schalldruck p und von der Schallfeldimpedanz Z_F :

$$v_Q = f(p, Z_F)$$

[0036] Ähnlich der kopfbezogenen Schalldruck-Übertragungsfunktion H_p kann aus dem Signal v_Q eine Impedanz-Übertragungsfunktion H_z ermittelt werden, indem man v_Q auf das Signal einer Freifeldmessung ohne Kopf bezieht:

$$H_z = v_{Q\text{-Ohr}} / v_{Q\text{-Freifeld}}$$

[0037] H_z stellt somit eine Erweiterung der bisherigen kopfbezogenen Eigenschaften dar und kann dazu benutzt werden die Eigenschaften von Kopfhörern bezüglich der akustischen Schallfeldimpedanz vor dem Ohr zu charakterisieren.

[0038] Die Anwendung des beschriebenen Verfahrens zur Messung des Signals S_z kombiniert mit einem Drucksensor wird hier als Impedanz-Mikrofon bezeichnet. Es ist in der Lage sowohl ein Schalldrucksignal als auch ein von der Schallfeldimpedanz abhängiges Signal zu liefern.

[0039] Mit Hilfe der 2-Mikrofon-Methode werden Schallfeldimpedanz-Messungen am Außenohr einer Versuchsperson durchgeführt, um die Unterschiede bei der Beschallung mit Kopfhörern und Lautsprechern zu

charakterisieren. Dabei werden außerdem Zusammenhänge zu den subjektiven Hörempfindungen IKL und SLD untersucht. Dabei hat sich herausgestellt, dass eine Messung der X-Komponente der Schallfeldimpedanz die Unterschiede recht gut abbildet und eine Vorstellung über die Größe und die Frequenz- und Winkelabhängigkeit der Schallfeldimpedanz vermittelt.

[0040] Diese Impedanzmessungen sind nicht identisch mit jenen, die aus dem Ohrkanal heraus mit Impedanz-Mikrofonen und der oben beschriebenen Methode durchgeführt werden. Sie gelten nur für eine Komponente des Schallfeldes vor dem Ohr.

[0041] Es werden weitere folgende Methoden zur Beeinflussung der Schallfeldimpedanz vor dem Ohr in einem Kopfhörer oder Ohrhörer vorgestellt.

[0042] Für einen Kopfhörer oder Ohrhörer, der sich durch Verbesserung der Lokalisation in der Medianebene auszeichnet, insbesondere betreffend die Vorneorung, sind die Schallfeldverhältnisse vor dem Ohr eines menschlichen Kopfes bei Beschallung durch eine entfernte Schallquelle modelliert werden. Im Idealfall werden an den Kopfhörer ein kopfbezogenes Impedanz-Signal und ein frequenzunabhängiges Schalldrucksignal übergeben. Ein Schwingungswandler prägt ein proportionales Schnellesignal in die Kopfhörerkammer ein und erzeugt an der vorgegebenen Schallfeldimpedanz den entsprechenden kopfbezogenen Schalldruck. Alternativ können auch vereinfachte Systeme sinnvoll sein, bei denen die wichtigsten Eigenschaften der realen Schallfeldimpedanz am Ohr auf einen Kopfhörer übertragen werden.

[0043] Eine erfindungsgemäße Ausführungsform mit an die Realität angenäherte Modellierung zeichnet sich durch eine oder mehrere der folgenden Eigenschaften aus:

- a) die Schallfeldimpedanz vor dem Ohr soll einen überwiegend positiven Blindwiderstand im Frequenzbereich von ca. 100 Hz bis 2.5 kHz erhalten und/oder
- b) bei Beschallung durch eine entfernte Schallquelle aus der Vorne-Richtung entstehen am Ohr zwei typische Schalldruckminima. In der Regel befinden sie sich in schmalen Frequenzbereichen um ca. 1 kHz und ca. 2.5 kHz, je nach Kopf- und Körpergeometrie. Diese entstehen durch Minima in der Schallfeldimpedanz als Folge von Interferenzen. Diese Schalldruckminima werden erfindungsgemäß an den Kopfhörer nicht als Schalldrucksignal übergeben, vielmehr muss der Kopfhörer die entsprechende Schallfeldimpedanz annehmen, sodass als Folge davon diese Schalldruckminima entstehen und/oder
- c) zur Realisierung von Richtungshören in der gesamten Medianebene werden die Minima in der Schallfeldimpedanz mit zunehmendem Schalleinfallswinkel zu tiefen Frequenzen verschoben, und zwar entsprechend dem Vorbild wie dies am Kopf durch Beschallung mit einer entfernten Schallquelle

geschieht. Bei Schalleinfall von hinten sind die Minima in der Schallfeldimpedanz stark gedämpft oder verschwinden vollständig und/oder

d) erfindungsgemäß wird insbesondere eine Kalibriermöglichkeit am Kopfhörer realisiert, um individuelle Unterschiede von Hörern optimal ausgleichen zu können. Das kann sowohl die Größenordnung der Schallfeldimpedanz als auch die Lage der charakteristischen Minima beinhalten.

[0044] Im Folgenden werden Vorrichtungen, Methoden und Verfahren vorgestellt, die in der Lage sind, die Schallfeldimpedanz eines Kopfhörers zu beeinflussen.

[0045] Gemäß Figur 2 wird eine Modellierung der Schallfeldimpedanz mit Hilfe von Schallwandler-Paaren realisiert. Hierzu wird neben dem Schalldruck am Ohr eine bestimmte Schallfeldimpedanz erreicht, und zwar durch den Einsatz von zwei Schallwandlern in einer Kopfhörerkapsel. Mit einer geeigneten Signalverarbeitung kann die gewünschte Schallfeldimpedanz in der angeordneten Richtung beeinflusst werden. Dazu werden mit einer geeigneten Impedanz-Messmethode (2-Mikrofon-Methode) zunächst die Schalldrücke p_1 , p_2 und die Schallschnellen v_1 , v_2 der einzelnen Schallwandler bestimmt oder durch vorher bestimmte Schalldrücke und Schallschnellen basierend auf geometriebezogenen Werten. Daraus kann dann ein Faktor k_F berechnet werden, der den Signalunterschied beider Schallwandler beschreibt. Es können mehrere Richtungen beeinflusst werden, indem weitere Lautsprecherpaare in anderen Richtungen angeordnet werden. Figur 8 zeigt ein einfaches Prinzip mit einer Signalaufbereitung, die das Signal K_2 für den zweiten Lautsprecher in Abhängigkeit des am Eingang vorliegenden Wertes der Schallfeldimpedanz berechnet. Die Signalaufbereitung kann auch Teil einer Computersimulation sein, wenn sich Z_{Fx} zeitlich ändert, wie bei bewegten Schallquellen oder bei Anwendung von Head-Trackern. p_1 , p_2 und v_1 , v_2 werden aus Einzelmessungen der Schallwandler $Lsp_{1,2}$ mit Hilfe der 2-Mikrofon-Methode bestimmt. S_p ist das Schalldrucksignal und Z_{Fx} die Impedanz-Information.

[0046] Gemäß Figur 3 wird eine Modellierung der Schallfeldimpedanz mit passiven akustischen Resonatoren vorgeschlagen. Mit Hilfe von Helmholtzresonatoren kann die Schallfeldimpedanz in einem Kopfhörer zu positiven Reaktanzen verändert werden. Der Resonator besteht aus einem Rohr mit beliebig geformter Querschnittsfläche, dessen eine Öffnung in das Volumen zwischen Ohr und dem Schallwandler ragt. Hierbei können auch andere Resonatoren zum Einsatz kommen. Die beschleunigte Luft im Rohr stellt eine Masse dar, die zusammen mit der Steifigkeit des Luftvolumens ein Resonanz-System bildet. Der Masse-Charakter des Schallfeldes stellt sich oberhalb der Resonanzfrequenz ein. Mit einem Strömungswiderstand kann außerdem die Bandbreite und die Güte des Systems beeinflusst werden. Es sind auch mehrere Resonatoren in Kombination realisierbar.

[0047] Gemäß einer erfindungsgemäßen Ausführungsform und unter Verweis auf Figur 4 wird eine Modellierung der Schallfeldimpedanz mit aktiven elektroakustischen Systemen vorgeschlagen. Mit einem aus Mikrofon, Schallwandler, Verstärker und einer Nachbildungsfunktion bestehenden System lassen sich gezielt akustische Impedanzen modellieren. Einfache analog realisierbare Beispiele sind Massen, Federn, Strömungswiderstände oder Resonatoren. Digitale Netzwerke sind erheblich vielseitiger, setzen jedoch sehr geringe Latenzzeiten voraus. Das Prinzip basiert auf der Modellierung des Verhältnisses von Druck und Schnelle in der KH-Druckkammer. Wichtig für die korrekte Funktion sind die Druck-Signal-Proportionalität des Mikrofons M und die Signal-Membranschnelle-Proportionalität des Wandlers W_Z . Eine Nachbildungsfunktion beschreibt den Kehrwert der gewünschten akustischen Impedanz Z_F in Form einer Übertragungsfunktion $U_a/U_e = v/p = 1/Z_F$. Die Nachbildungsfunktion reagiert auf das Drucksignal am Eingang mit einem Geschwindigkeitssignal am Ausgang. Dieses Signal steuert den Wandler W_Z , dessen Membran eine proportionale Geschwindigkeit ausführt. Ist die bewegte Luftmenge groß genug, bestimmt er das Schallfeld im Kopfhörer. Die Nachbildung kann auch einen weiteren Eingang besitzen, mit dem die Form dieser Übertragungsfunktion gesteuert werden kann. Im Folgenden und unter Verweis auf Figur 5 wird eine Funktion zur analogen Nachbildung von Schallfeldimpedanzen im Kopfhörer aufgezeigt. Das Schallfeld am Ohr des menschlichen Kopfes im freien Schallfeld und bei tiefen Frequenzen kann man in einer ersten Näherung als ebene Welle und eine Streuwelle beschreiben, die von einer als "atmend" angesehenen Kugel reflektiert wird.

[0048] An der Strahlungsimpedanz der "atmenden" Kugel entsteht ein Schalldruck, der sich mit der ebenen Welle überlagert. Die resultierende Schallfeldimpedanz Z_F ist gleich:

$$Z_F = \frac{p}{v} = Z_0 \frac{2 + \frac{1}{fk_0 a}}{1 + \frac{1}{fk_0 a}}$$

[0049] In folgendem Beispiel sieht man wie eine analoge Nachbildung von $1/Z_F$ aussehen kann. Das Beispiel zeigt eine zusätzliche Nachbildung 2 einer Interferenz, die zu einem Minimum im Schalldruck führt.

[0050] Weiter gemäß Figur 6 wird ein Ohrhörer vorgeschlagen.

[0051] Für Ohrhörer sind insbesondere die aktiven elektroakustischen Systeme zur Beeinflussung der Schallfeldimpedanz interessant. Wichtig ist hierbei die Formgebung der Ohrhörer, da zwei Schallwandler und ein Mikrofon so platzsparend unterzubringen sind, dass sie vom Hörer noch bequem getragen werden können. Weiter in Figur 6 sind verschiedene Anordnungen der Schallwandler in einem Ohrhörer angegeben.

Patentansprüche

1. System zur akustischen Wiedergabe, umfassend:

einen Kopf- oder Ohrhörer mit einem Mikrofon (M) zum Messen eines Schallfeldparameters, einem ersten elektroakustischen Schallwandler zum Erzeugen eines Schallfeldes und einem zweiten elektroakustischen Schallwandler, der eingerichtet ist, eine akustische Wechselwirkung mit dem erzeugten Schallfeld des ersten elektroakustischen Schallwandlers einzugehen, um ein modifiziertes Schallfeld zu erzeugen; und

eine Signalaufbereitungseinheit, wobei die Signalaufbereitungseinheit eingerichtet ist, den ersten elektroakustischen Schallwandler und den zweiten elektroakustischen Schallwandler mittels elektrischer Signale zu steuern;

dadurch gekennzeichnet, dass

die Signalaufbereitungseinheit ferner eingerichtet ist, aus dem gemessenen Schallfeldparameter einen gegebenen Impedanzwert im Schallfeld zu bestimmen und daraus ein elektrisches Anpassungssignal abzuleiten und den zweiten elektroakustischen Schallwandler auf Basis des elektrischen Anpassungssignals zu steuern, um im modifizierten Schallfeld akustische Impedanzwerte gemäß einem Impedanzsignal (S_z) einzustellen.

2. System zur akustischen Wiedergabe nach Anspruch 1, wobei die Position und/oder die Ausrichtung des ersten elektroakustischen Schallwandlers und/oder des zweiten elektroakustischen Schallwandlers mittels eines geeigneten elektrischen Signals verändert und bedarfsweise eingestellt werden kann.

Claims

1. System for acoustic reproduction, comprising:

headphones or earphones having a microphone (M) for measuring a sound field parameter, a first electroacoustic sound converter for generating a sound field and a second electroacoustic sound converter which is configured to enter upon acoustic interaction with the generated sound field of the first electroacoustic sound converter in order to generate a modified sound field; and a signal processing unit, wherein the signal processing unit is configured to control the first electroacoustic sound converter and the second electroacoustic sound converter by means of electrical signals;

characterized in that

the signal processing unit is furthermore config-

ured to determine from the measured sound field parameter a given impedance value in the sound field and to derive therefrom an electrical adaptation signal and to control the second electroacoustic sound converter on the basis of the electrical adaptation signal in order set acoustic impedance values in the modified sound field according to an impedance signal (S_Z). 5

2. System for acoustic reproduction according to claim 1, wherein the position and/or the alignment of the first electroacoustic sound converter and/or of the second electroacoustic sound converter can be altered and, where required, set by means of a suitable electrical signal. 10 15

Revendications

1. Système de restitution acoustique comprenant : 20
- un casque ou écouteur avec un microphone (M) pour la mesure d'un paramètre de champ sonore, un premier transducteur électroacoustique pour la génération d'un champ sonore et un second transducteur électroacoustique qui est conçu pour avoir une interaction acoustique avec le champ sonore généré du premier transducteur électroacoustique afin de générer un champ sonore modifié ; et 25 30
- une unité de traitement de signal, dans lequel l'unité de traitement de signal est conçue pour commander le premier transducteur électroacoustique et le second transducteur électroacoustique au moyen de signaux électriques ; 35
- caractérisé en ce que**
- l'unité de traitement de signal est en outre conçue pour déterminer à partir du paramètre de champ sonore mesuré une valeur d'impédance donnée dans le champ sonore et de dériver de celle-ci un signal d'adaptation électrique et de commander le second transducteur électroacoustique sur la base du signal d'adaptation électrique afin de régler dans le champ sonore modifié des valeurs d'impédance acoustiques selon un signal d'impédance (S_Z). 40 45
2. Système de restitution acoustique selon la revendication 1, dans lequel la position et/ou l'orientation du premier transducteur électroacoustique et/ou du second transducteur électroacoustique peut être modifiée au moyen d'un signal électrique approprié et réglée si besoin. 50 55

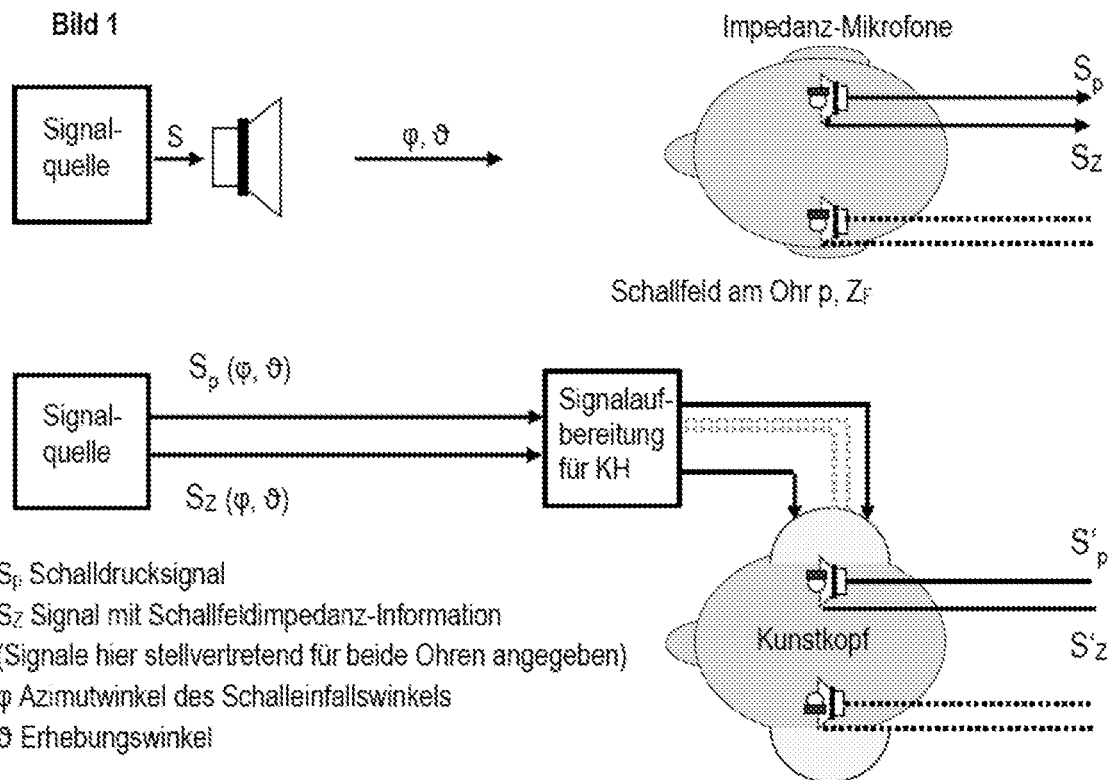


FIG. 1

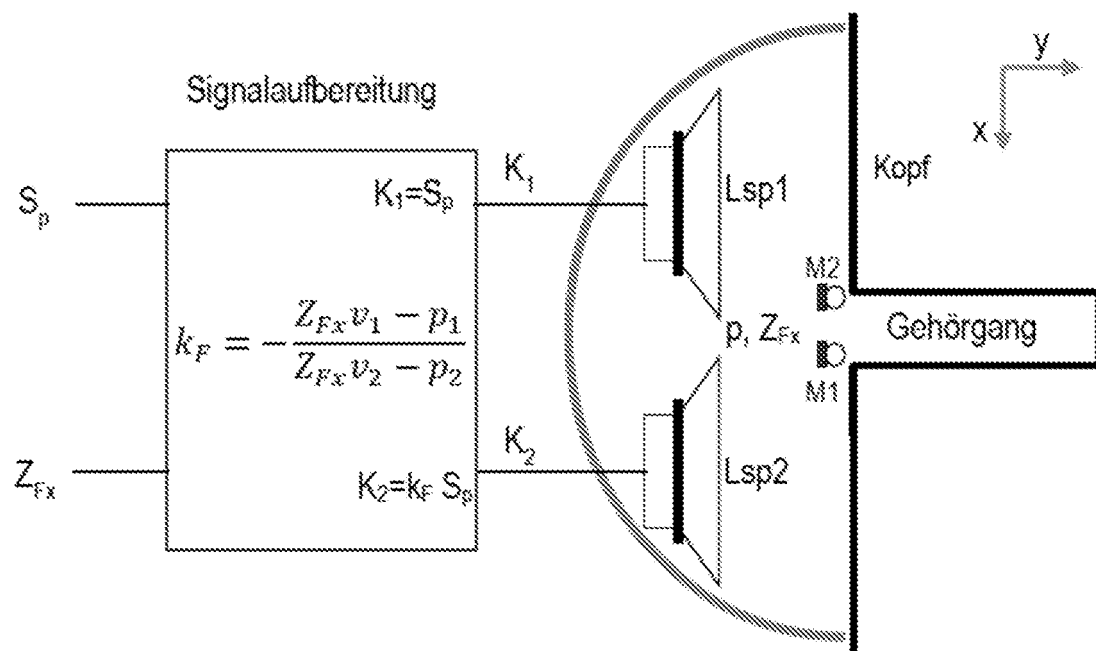


FIG. 2

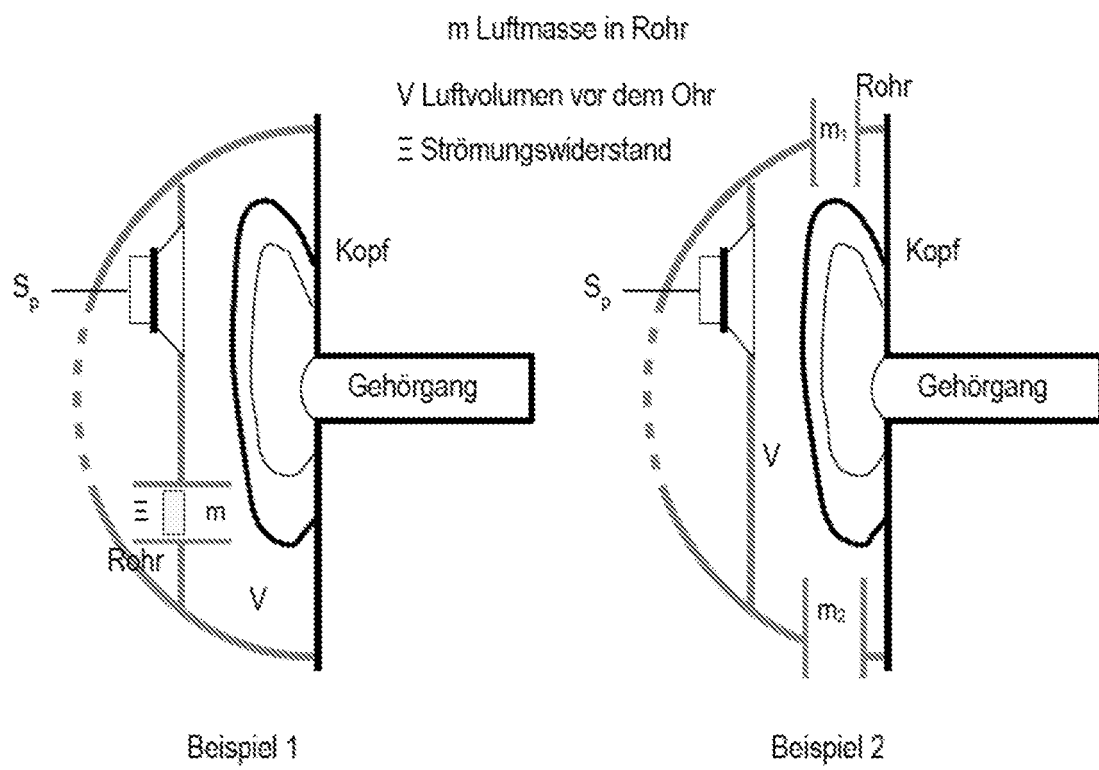


FIG. 3

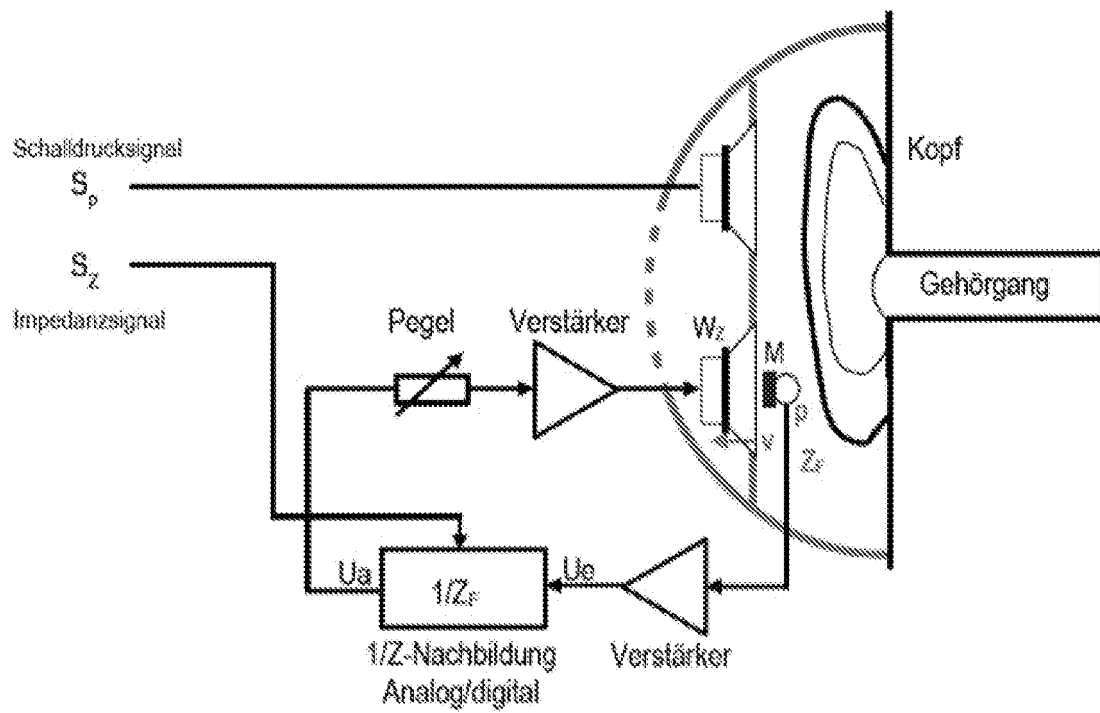


FIG. 4

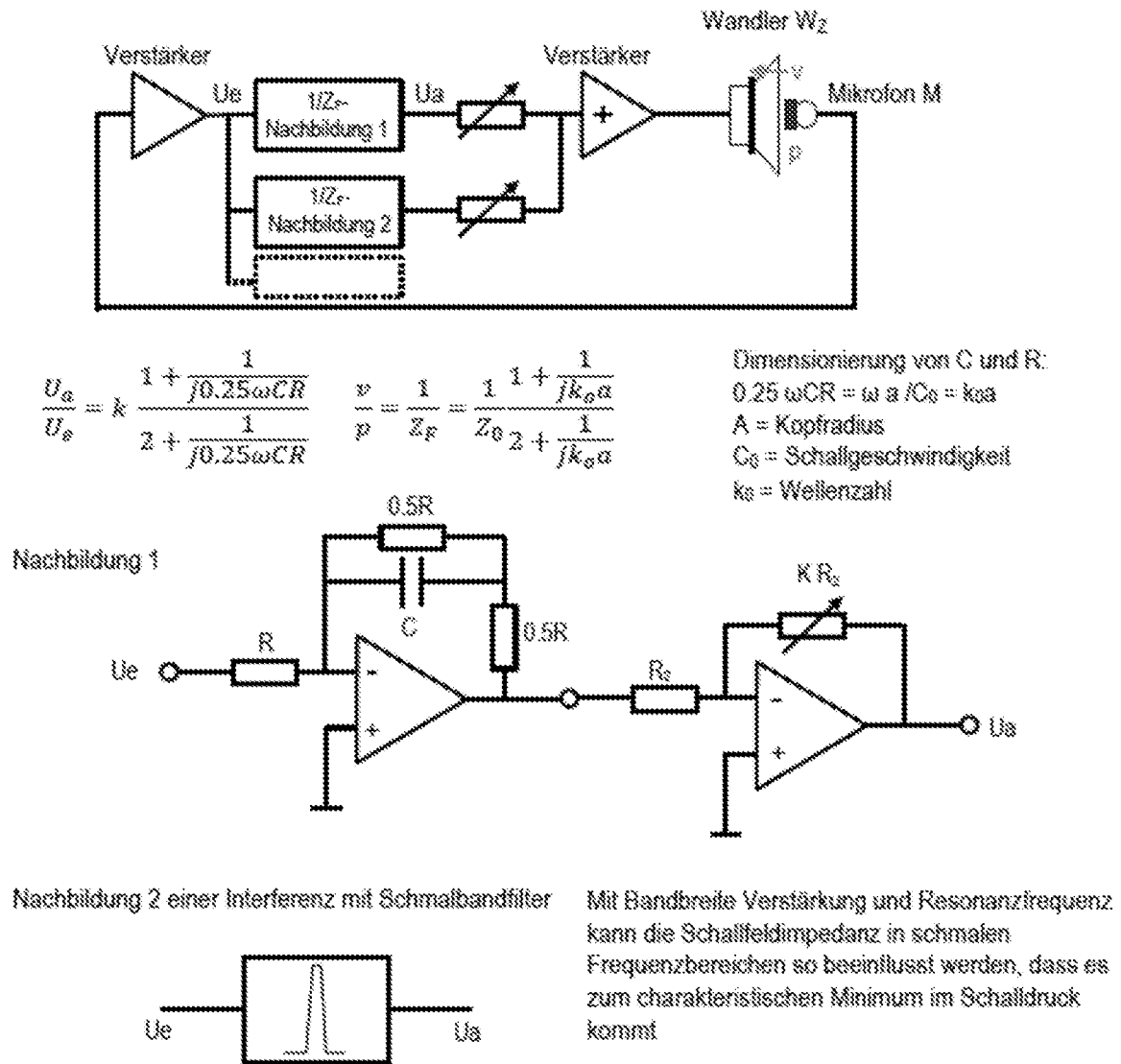


FIG. 5

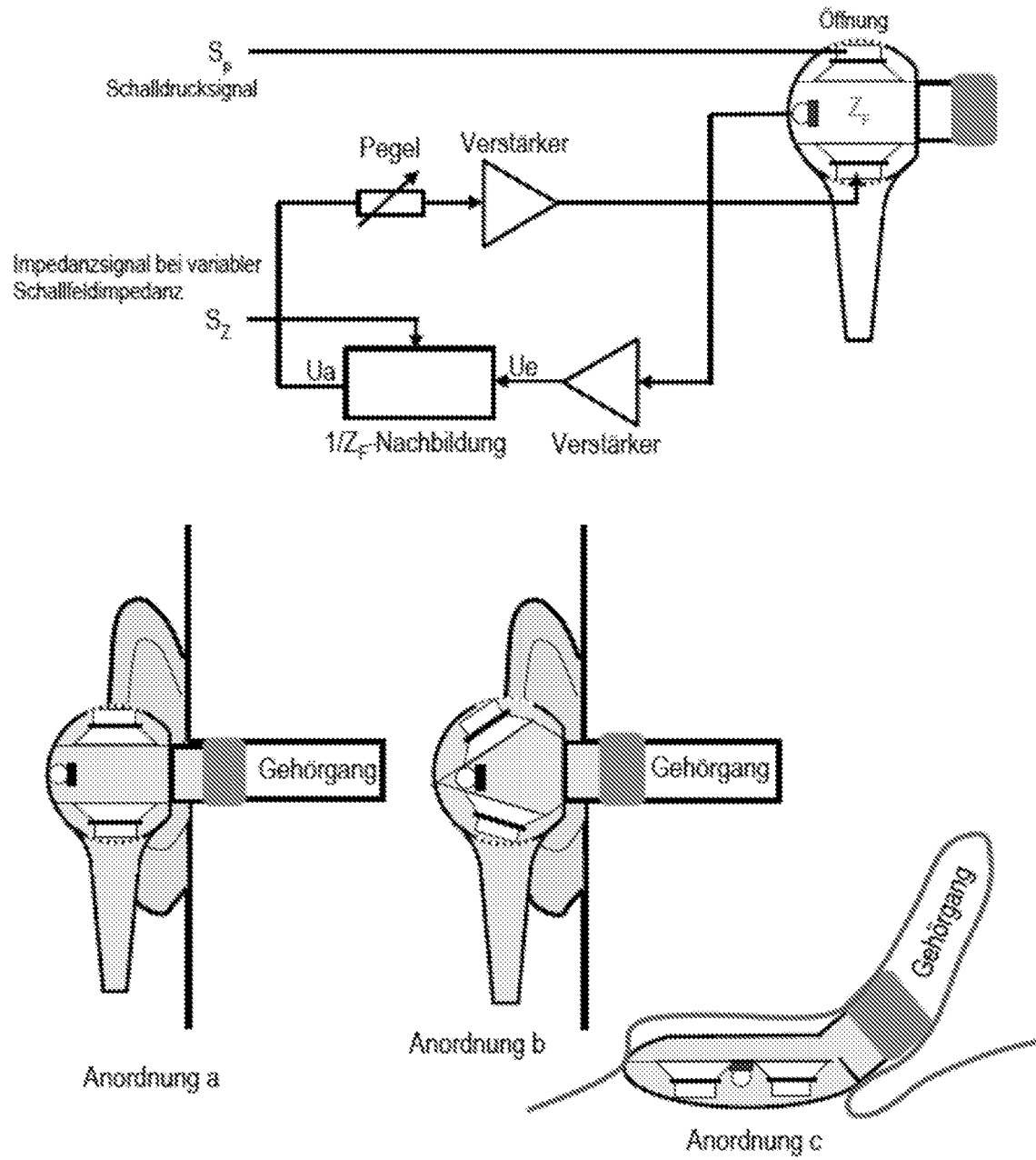


FIG. 6

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 2007154049 A1 [0002]
- WO 2014138735 A1 [0002]
- US 2008107287 A1 [0002]