



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
18.07.2018 Patentblatt 2018/29

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

(21) Anmeldenummer: **17204648.4**

(22) Anmeldetag: **30.11.2017**

(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:
MA MD

(72) Erfinder:
• **ROSENKRANZ, Tobias Daniel**
91054 Erlangen (DE)
• **WURZBACHER, Tobias**
90768 Fürth (DE)
• **OREINOS, Christos**
90478 Nürnberg (DE)

(30) Priorität: **11.01.2017 DE 102017200320**

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

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

(54) **VERFAHREN ZUR FREQUENZVERZERRUNG EINES AUDIOSIGNALS**

(57) Die Erfindung nennt ein Verfahren (1) zur Frequenzverzerrung (20) eines Audiosignals (18), wobei das Audiosignal (18) bei wenigstens einer Teilungsfrequenz (tf) in einen Niederfrequenz-Anteil (NF) und einen Hochfrequenz-Anteil (HF) aufgeteilt wird, wobei durch eine für den Hochfrequenz-Anteil (HF) und für den Nieder-

frequenz-Anteil (NF) jeweils unterschiedliche Verzerrung (S5) von Frequenzen ein frequenzverzerrtes Signal (21) erzeugt wird, und wobei die Teilungsfrequenz (tf) derart ausgewählt wird, dass sie zwischen zwei benachbarten Tönen (d³, dis³) eines vorgegebenen Tonsystems (T) liegt.

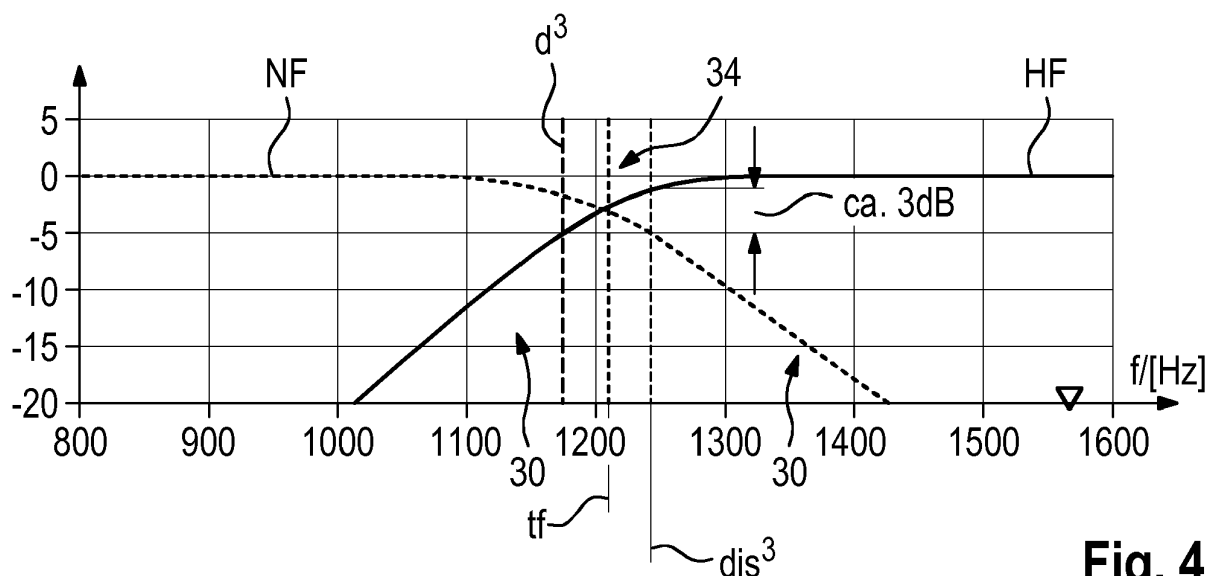


Fig. 4

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Frequenzverzerrung eines Audiosignals, wobei wenigstens eine Teilungsfrequenz ausgewählt wird, wobei das Audiosignal bei der wenigstens einen Teilungsfrequenz in einen Niederfrequenz-Anteil und einen Hochfrequenz-Anteil aufgeteilt wird, und wobei durch eine für den Hochfrequenz-Anteil und für den Niederfrequenz-Anteil jeweils unterschiedliche Verzerrung von Frequenzen ein Ausgangssignal erzeugt wird.

[0002] Für den Betrieb von akustischen Systemen, durch welche im weitesten Sinne Schallsignale der Umgebung elektrisch verstärkt widergegeben werden, also beispielsweise auch Hörgeräte, spielt die Kontrolle einer akustischen Rückkopplung oftmals eine zentrale Rolle. Die akustische Rückkopplung kann hierbei dann auftreten, wenn ein vom akustischen System erzeugtes Ausgangsschallsignal teilweise in einen Eingangswandler des akustischen Systems einkoppelt, welcher zur Aufnahme des Schallsignals der Umgebung und zur entsprechenden Erzeugung eines elektrischen Eingangssignals vorgesehen ist. Signalanteile des Ausgangsschallsignals können in diesem Fall erneut durch das akustische System elektrisch verstärkt werden, sodass hierdurch im Ausgangsschallsignal Störgeräusche gebildet werden, welche mögliche Nutzsignale im Schallsignal der Umgebung bis zu deren Unhörbarkeit völlig überlagern können. Im elektrischen Signalweg des akustischen Systems kann deswegen eine Unterdrückung oder Kompensation einer akustischen Rückkopplung vorgesehen sein. Eine derartige Kompensation geschieht dabei oftmals mittels eines adaptiven Filters, welchem das fertig verstärkte Ausgangssignal, aus dem das Ausgangsschallsignal erzeugt wird, als Eingangsgröße zugeführt wird, und daraus ein Kompensationssignal erzeugt wird, das dem noch unverstärkten Eingangssignal zur Kompensation der Rückkopplung zugeführt wird. Die Kontrolle des adaptiven Filters erfolgt hierbei meist über ein Fehlersignal, welches aus der Differenz von Eingangssignal und Kompensationssignal gebildet wird.

[0003] Besteht nun das Schallsignal der Umgebung, welches durch das akustische System elektrisch verstärkt werden soll, aus einem reinen Sinus-Ton mit einer festen Frequenz, so ist auch das anhand des verstärkten Ausgangssignals vom adaptierten Filter erzeugte Kompensationssignal ein Sinus-Signal der gleichen Frequenz wie das Schallsignal der Umgebung und somit gleich dem Eingangssignal. Bei einer phasenrichtigen Subtraktion löscht somit das eigentlich für eine Unterdrückung einer akustischen Rückkopplung vorgesehene Kompensationssignal das Eingangssignal völlig aus. Diese Überlegung zeigt, dass generell für Schallsignale mit einem hohen Anteil an tonalen Signalen durch das adaptive Filtersignal Auslöschungen oder Artefakte im Ausgangssignal erzeugt werden können, welche bevorzugt zu vermeiden sind.

[0004] Hierfür wird das fertig verstärkte Ausgangssig-

nal im akustischen System oftmals einer Frequenzverzerrung unterzogen, wodurch das Ausgangssignal vom Eingangssignal dekorreliert wird, sodass ein Auftreten der beschriebenen Signalauslöschung weitgehend vermieden werden kann. Die Frequenzverzerrung wird hierbei je nach Art des Schallsignals der Umgebung meist nur auf einen bestimmten Frequenzbereich des verstärkten Signals angewandt, wofür letzteres bei einer gegebenen Teilungsfrequenz in einen zu verzerrenden Signalanteil und einen nicht zu verzerrenden Signalanteil gefiltert wird. Aufgrund der endlichen Flankensteilheit der hierfür verwendeten Filter kann es im Ausgangssignal im Bereich der Teilungsfrequenz zu Überlagerungen von frequenzverzerrten Signalanteilen mit nichtfrequenzverzerrten Signalanteilen kommen, welche im vom akustischen System erzeugten Ausgangsschallsignal als unerwünscht oder unangenehm empfunden werden können. Gerade für Schallsignale mit einem hohen tonalen Anteil, also genau in dem Fall, für welchen zur wirksamen Unterdrückung einer akustischen Rückkopplung ohne Artefakte eine Frequenzverzerrung bevorzugt einzusetzen ist, können derartige Überlagerungen besonders negative Auswirkungen auf das Hörempfinden des Ausgangsschallsignals haben, insbesondere wenn eine der tonalen Komponenten des Schallsignals mit der Teilungsfrequenz zusammenfällt.

[0005] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Frequenzverzerrung eines Audiosignals anzugeben, welches unangenehme Effekte durch Überlagerungen von frequenzverzerrten Signalanteilen mit nicht frequenzverzerrten Signalanteilen möglichst minimieren soll.

[0006] Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Frequenzverzerrung eines Audiosignals, wobei das Audiosignal bei wenigstens einer Teilungsfrequenz in einen Niederfrequenz-Anteil und einen Hochfrequenz-Anteil aufgeteilt wird, wobei durch eine für den Hochfrequenz-Anteil und für den Niederfrequenz-Anteil jeweils unterschiedliche Verzerrung von Frequenzen ein frequenzverzerrtes Signal erzeugt wird, und wobei die Teilungsfrequenz derart ausgewählt wird, dass sie zwischen zwei benachbarten Tönen eines vorgegebenen Tonsystems liegt. Vorteilhafte und teils für sich gesehen erfinderische Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche und der nachfolgenden Beschreibung.

[0007] Insbesondere wird dabei entweder nur der Hochfrequenz-Anteil frequenzverzerrt, ohne dabei Frequenzen des Niederfrequenz-Anteils zu verändern, oder nur der Niederfrequenz-Anteil frequenzverzerrt, ohne dabei Frequenzen des Hochfrequenz-Anteils zu verändern. In beiden Fällen umfasst dann das resultierende frequenzverzerrte Signal sowohl frequenzverzerrte Signalanteile als auch solche Signalanteile, deren Frequenzen nicht verzerrt worden sind. Bevorzugt wird die Teilungsfrequenz zudem derart ausgewählt, dass sie zu den Frequenzen der beiden benachbarten Töne des vorgegebenen Tonsystems jeweils einen vorgegebenen, in

absoluten Werten oder nach dem Frequenzverhältnis definierten Mindestabstand einhält. Als Frequenzverzerrung ist insbesondere eine Frequenzverschiebung umfasst, wobei der Wert der Verschiebung ggf. von der jeweiligen Frequenz des Audiosignals abhängen kann oder aber über die einzelnen Frequenzen hinweg, auf welche die Verschiebung angewandt wird, konstant bleibt.

[0008] Die Probleme, welche sich für eine Weiterverarbeitung frequenzverzerrter Audiosignale an einer Teilungsfrequenz zwischen Bereichen unterschiedlicher Frequenzverzerrung ergeben können, und hierbei insbesondere für ein Hörempfinden eines fertig verarbeiteten Ausgangssignals, sind in erheblichem Maße vom Anteil an tonalen Komponenten im Audiosignal abhängig, welches frequenzverzerrt werden soll. Infolge der endlichen Flankensteilheit der Filter, welche zur Aufteilung der Signalanteile bei der Teilungsfrequenz eingesetzt werden, und des daraus resultierenden endlichen Überlapps der Signalanteile, auf welche die jeweils unterschiedlichen Frequenzverzerrungen anzuwenden sind, kann die Frequenzverzerrung einer klar definierten tonalen Komponente, welche mit der Teilungsfrequenz zusammenfällt bzw. im beschriebenen Überlappungsbereich liegt, zu einer im Ausgangssignal hörbaren Überlagerung der unterschiedlich frequenzverzerrten Signalanteile führen, welche letztendlich von derselben tonalen Komponente stammen.

[0009] In üblichen Anwendungen von Frequenzverzerrungen werden die einzelnen Frequenzen des Audiosignals nur um einen bezogen auf die jeweilige Ausgangsfrequenz relativ geringen Betrag durch die Verzerrung verändert, damit ein aus dem frequenzverzerrten Audiosignal generiertes Ausgangssignal noch ein möglichst originalgetreues Hörempfinden der akustischen Information des ursprünglichen Audiosignals erlaubt. Dies führt nun im Fall der oben beschriebenen Überlagerungen der unterschiedlich frequenzverzerrten Signalanteile derselben tonalen Komponente zu Überlagerungen mit einem relativ geringen Frequenzabstand, was im Fall von reinen Frequenzverschiebungen zur Frequenzverzerrung als Schwebungen mit schwankenden Amplituden führt, und sich sonst bei nicht-trivial frequenzabhängigen Verzerrungen in klirrenden oder scheppernden Störgeräuschen äußern kann.

[0010] Durch die Erfindung wird nun in vorteilhafter Weise der Umstand ausgenutzt, dass die tonalen Komponenten, also lokale spektrale Maxima der Konzentration der Signalenergie, oftmals nicht zufällig auftreten. Während beispielsweise die tonalen Komponenten von gesprochener Sprache meist in sich von kürzerer Dauer sind, und zudem nicht notwendigerweise stabil wiederkehrende Frequenzmuster aufweisen, sind wiederkehrende tonale Komponenten mit an sich stabilen Frequenzen meist einem Klang von Musik zuzuordnen. Musik zeichnet sich hierbei üblicherweise dadurch aus, dass die meisten Schallereignisse durch tonale Schallsignale gegeben sind, welche im Vergleich zu anderen Schall-

quellen wie z. B. Sprache ein stationäres oder quasi-stationäres Verhalten aufweisen, wobei die Frequenzen der Töne aus einem klar definierten Frequenzmuster, dem der Musik zugrunde liegenden Tonsystem, entnehmbar sind. In Kenntnis der für Musik üblichen Tonsysteme kann nun, um die erwähnten Probleme bei den tonalen Schallsignalen von Musik zu vermeiden, eine Teilungsfrequenz derart gewählt werden, dass sie zwischen zwei Frequenzen von in einem vorgegebenen Tonsystem benachbarten liegt, und dabei bevorzugt von den betreffenden Frequenzen hinreichend beabstandet ist, so dass auf die anschließende Frequenzverzerrung der einzelnen tonalen Komponenten, welche Tönen im Tonsystem entsprechen, der Überlapp an der Teilungsfrequenz keinerlei Einfluss hat.

[0011] Für eine Bestimmung des Abstandes der Teilungsfrequenz zu den beiden benachbarten Frequenzen im Tonsystem sind bevorzugt die Flankensteilheit des für die Aufteilung des Audiosignals zu verwendenden Filters und/oder eine zu erwartende spektrale Breite der tonalen Komponenten des Tonsystems und/oder eine zu erwartende mögliche Abweichung der konkreten Implementierung des Tonsystems von den exakten Frequenzen, z.B. durch systematische Verschiebung des Tonsystems bei der Stimmung, heranzuziehen.

[0012] Günstigerweise ist das Tonsystem gegeben durch eine von einem vorgegebenen Referenzton ausgehende Aufteilung einer Oktave in zwölf Tonschritte mit jeweils gleichem Frequenzverhältnis $\sqrt[12]{2}$. Dies entspricht der gleichstufigen Stimmung der Oktave. Aufgrund der psychoakustischen Wahrnehmung einer Oktave - also zweier Töne im Frequenzverhältnis 2:1 - als "gleichtönig" oder zumindest "gleichartig" ist hierdurch ein Tonsystem für das gesamte hörbare Frequenzspektrum gegeben. Bevorzugt ist dabei als Referenzton der Kammerton a^1 bei 440 Hz zu wählen, jedoch ist auch eine gleichstufige Stimmung mit einem anderen Referenzton möglich, so z.B. eine Festlegung von $a^1 = 430.539$ Hz (was einer Wahl des c^1 zu 256 Hz entspricht). Insbesondere kann die Möglichkeit alternativer Referenztöne (beispielsweise $a^1 = 442$ Hz) beim von der Teilungsfrequenz gegenüber den Frequenzen der Töne des Tonsystems einzuhaltenen Mindestabstand - in absoluten Werten oder nach dem Frequenzverhältnis definiert - berücksichtigt werden. Zudem kann dieser einzuhalten- de Mindestabstand auch in Abhängigkeit von Abweichungen von den exakten Frequenzen des Tonsystems bestimmt werden, welche sich aus der Verwendung reiner oder quintenreiner (sog. "pythagoreischer") Intervalle ergeben. Einzelne Musikinstrumente, z.B. Blechblasinstrumente, welche insbesondere in der Orchestermusik und im Jazz Verwendung finden und daher für derartige Musik erheblich zur Prägung des Klangbildes beitragen, erzeugen über bestimmten Basistönen Tonreihen aus reinen Intervallen, welche beispielsweise reine Quarten oder auch reine Terzen umfassen. Andere Musikinstru-

mente, insbesondere Saiteninstrumente, wie die den Klang von Orchestermusik prägenden Streichinstrumente oder die den Klang von moderner Rockmusik prägenden Gitarren, werden nach Quintreihen gestimmt. Sowohl die Stimmung nach Quintreihen bzgl. eines Grundtons als auch die Verwendung reiner Intervalle über dem Grundton führt zu Abweichungen vom gleichstufigen Frequenzverhältnis.

[0013] Bevorzugt wird daher im Rahmen des gleichstufigen Tonsystems, welches die Oktave in zwölf gleiche Halbtonschritte im Frequenzverhältnis $12\sqrt[12]{2}$ aufteilt, zwischen den einzelnen Tönen jeweils ein Frequenzkorridor vorgegeben, aus welchem die Teilungsfrequenz auswählbar ist, wobei der Frequenzkorridor abweichende Stimmungen wie z.B. eine Wahl des Referenztons $a^1 = 442$ Hz sowie die Folgen einer reinen und quintreinen Intonation bestimmter Musikinstrumente berücksichtigt.

[0014] Günstigerweise werden die Frequenzen nur des Hochfrequenz-Anteils oder nur des Niederfrequenz-Anteils zur Verzerrung um einen konstanten Betrag verschoben. Eine derartige Frequenzverschiebung nur eines der beiden Frequenzanteile an der Teilungsfrequenz lässt sich einerseits besonders einfach implementieren, und hat andererseits zur Folge, dass nicht zuletzt infolge der unveränderten Wiedergabe eines der beiden Frequenzanteile das Hörempfinden eines vom frequenzverzerrten Signal abgeleiteten Ausgangssignals, mit Ausnahme der an der Teilungsfrequenz möglichen Probleme, einem nicht frequenzverzerrten Signal besonders nahekommt. Das vorgeschlagene Verfahren trägt nun dazu bei, diese Probleme zu beseitigen und das Hörempfinden auch in der unmittelbaren Umgebung der Teilungsfrequenz von hörbaren Auswirkungen der Frequenzverzerrung zu bereinigen.

[0015] Als weiter vorteilhaft erweist es sich, wenn die Teilungsfrequenz aus einem Frequenzintervall ausgewählt wird, welches derart zwischen den Frequenzen zweier benachbarter Töne des Tonsystems gelegen ist, dass die unterste Frequenz und die oberste Frequenz des Frequenzintervalls äquidistant oder logarithmisch äquidistant zwischen den Frequenzen der zwei benachbarten Töne liegen. Unter einer Äquidistanz der untersten Frequenz und der obersten Frequenz des Frequenzintervalls zwischen den Frequenzen der zwei benachbarten Töne ist hierbei zu verstehen, dass je zwei benachbarte der vier genannten Frequenzen - also der beiden benachbarten Töne des Tonsystems und der beiden Grenzen des Frequenzintervalls - den gleichen Abstand zueinander bilden. Unter einer logarithmischen Äquidistanz ist dementsprechend zu verstehen, dass die Logarithmen von je zwei benachbarten der vier genannten Frequenzen den gleichen Abstand zueinander bilden, und somit je zwei benachbarte Frequenzen dasselbe Frequenzverhältnis aufweisen. Eine derartige Auswahl der Teilungsfrequenz liefert einen Frequenzkorridor, welcher insbesondere vom theoretischen Ideal abweichende reale Implementierungen des Tonsystems ausrei-

chend mit berücksichtigt.

[0016] Günstigerweise wird hierbei die Teilungsfrequenz beim geometrischen Mittelwert der Frequenzen der zwei benachbarten Töne gewählt wird. Hierdurch ist das Frequenzverhältnis der Teilungsfrequenz mit den Frequenzen der beiden benachbarten Töne - in aufsteigender Richtung - gleich, und somit auch der Abstand im Tonsystem, was das Verhalten des frequenzverzerrten Signals bei der Teilungsfrequenz besonders robust gegen nicht ideale Implementierungen, beispielsweise Verstimmungen, des Tonsystems macht.

[0017] In einer vorteilhaften Ausgestaltung wird ein Frequenzgang des Audiosignals ermittelt, wobei die Teilungsfrequenz derart gewählt wird, dass das Audiosignal bei der Teilungsfrequenz eine möglichst geringe Signalenergie aufweist. Ein mögliches Kriterium für die Signalenergie kann dann beispielsweise ein lokales Minimum der Signalenergie sein, oder als Abschwächung bzgl. des totalen Maximalwertes der Signalenergie definiert sein, so z.B. als Obergrenze von 10% des Maximalwertes der Signalenergie über das gesamte hörbare Spektrum. Hinsichtlich der Signalenergie kann beispielsweise ein Bereich bestimmt werden, aus welchem die Teilungsfrequenz vorteilhafterweise auszuwählen ist, wobei die Auswahl an die zusätzlichen Randbedingungen gebunden ist, welche in der vorbeschriebenen Art durch das Tonsystem vorgegeben werden.

[0018] Als weiter vorteilhaft erweist es sich, wenn ein Wert für eine Tonalität des Audiosignals ermittelt wird, und die Teilungsfrequenz nur dann so ausgewählt wird, dass sie zwischen zwei benachbarten Tönen des vorgegebenen Tonsystems liegt, wenn der Wert für die Tonalität einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet. Dieses Vorgehen ermöglicht es, für Audiosignale, welche keine nennenswerten tonalen Signalanteil aufweisen, die Teilungsfrequenz direkt und ohne weitere Restriktionen durch das Tonsystem derart vorzugeben, wie eine übergeordnete Vorgabe - z.B. eine optimale Unterdrückung einer Rückkopplung in einem akustischen System - es erfordert. Als Wert für eine Tonalität kann hierbei insbesondere auf die in der Psychoakustik übliche Definition zurückgegriffen werden und/oder eine Stationarität des Audiosignals - beispielsweise anhand eines zeitlichen Mittelwertes - mit berücksichtigt werden.

[0019] Die Erfindung nennt weiter ein Verfahren zur Unterdrückung einer akustischen Rückkopplung in einem akustischen System, wobei ein Eingangswandler des akustischen Systems aus einem Schallsignal der Umgebung ein Eingangssignal erzeugt, wobei anhand des Eingangssignals durch eine Signalverarbeitung ein Zwischensignal erzeugt wird, wobei aus einem frequenzverzerrten Signal ein Ausgangssignal erzeugt wird, welches durch einen Ausgangswandler des akustischen Systems in ein Ausgangsschallsignal umgewandelt wird, wobei anhand des frequenzverzerrten Signals eine durch ein Einkoppeln des Ausgangsschallsignals in den Eingangswandler auftretende akustische Rückkopplung im akustischen System unterdrückt wird, und wobei auf

das Zwischensignal das vorbeschriebene Verfahren zur Frequenzverzerrung nach einem der vorhergehenden Ansprüche angewandt wird, und hierdurch das frequenzverzerrte Signal erzeugt wird. Vorzugsweise erfolgt die Unterdrückung der akustischen Rückkopplung über eine signaltechnische Rückkopplungsschleife im akustischen System, welche als Eingangsgröße u.a. das frequenzverzerrte Signal empfängt und als Ausgangsgröße ein Kompensationssignal für das Eingangssignal ausgibt. Als akustisches System sind hierbei insbesondere ein Hörgerät sowie Systeme zur Aufnahme, Verstärkung und Wiedergabe von Schallsignalen aus der Studio- und/oder Bühnentechnik umfasst.

[0020] Unter einem Eingangswandler ist generell ein akusto-elektrischer Wandler umfasst, welcher dazu eingerichtet ist, dass Schallsignal der Umgebung in ein entsprechendes elektrisches bzw. elektro-magnetisches Signal umzuwandeln, also beispielsweise ein Mikrofon. Unter einem Ausgangswandler ist generell ein elektro-akustischer Wandler umfasst, welcher dazu eingerichtet ist, aus einem elektrischen und/oder elektro-magnetischen Signal ein Ausgangsschallsignal zu erzeugen, also beispielsweise ein Lautsprecher oder ein Schallerzeuger zur Knochenschalleitung. Unter einer Signalverarbeitung ist hierbei insbesondere eine Aufbereitung des Eingangssignals oder eines vom Eingangssignal abgeleiteten Signals zu verstehen, also insbesondere eine frequenzbandabhängige Verstärkung und/oder Rauschunterdrückung.

[0021] Unter einer Erzeugung des Zwischensignals anhand des Eingangssignals ist hierbei insbesondere zu verstehen, dass die Signalverarbeitung als Eingangsgröße direkt das Eingangssignal empfängt und hieraus das Zwischensignal erzeugt, oder dass die Signalverarbeitung ein vom Eingangssignal unmittelbar abhängendes Signal empfängt und hieraus das Zwischensignal erzeugt, also beispielsweise das Eingangssignal, welches zur Kompensation einer akustischen Rückkopplung um ein Kompensationssignal korrigiert wurde.

[0022] Die für das Verfahren zur Frequenzverzerrung eines Audiosignals und seine Weiterbildungen angegebenen Vorteile können dabei sinngemäß auf das Verfahren zur Unterdrückung einer akustischen Rückkopplung in einem akustischen System übertragen werden.

[0023] Als weiter vorteilhaft erweist es sich hierbei, wenn eine vorläufige Teilungsfrequenz ausgewählt wird, wobei eine Abschätzung einer Transferfunktion des akustischen Systems für den Hochfrequenz-Anteil im Bereich der vorläufigen Teilungsfrequenz erfolgt, wobei bei einem Überschreiten einer zulässigen Gesamtverstärkung durch die abgeschätzte Transferfunktion die wenigstens eine Teilungsfrequenz unterhalb der vorläufigen Teilungsfrequenz ausgewählt wird, wobei durch eine Verzerrung von Frequenzen nur des Hochfrequenz-Anteils das frequenzverzerrte Signal erzeugt wird, und wobei die vorläufige Teilungsfrequenz derart ausgewählt wird, dass sie zwischen zwei benachbarten Tönen des vorgegebenen Tonsystems liegt. Insbesondere wird

hierbei für ein Kompensationssignal, welches dem Eingangssignal zur Unterdrückung der akustischen Rückkopplung hinzugefügt wird, nur der Hochfrequenz-Anteil des frequenzverzerrten Signals verwendet, so dass die Unterdrückung der akustischen Rückkopplung nur im Bereich des Hochfrequenz-Anteils erfolgt. Somit wird nur ein eingeschränkter Frequenzbereich einer möglichen klanglichen Beeinträchtigung durch die Unterdrückung der Rückkopplung ausgesetzt, welcher gemäß den such aus dem Tonsystem ergebenden Bedingungen bestimmt wird, um bei Übergang zu diesem Bereich Beeinträchtigungen der Klangqualität möglichst zu vermeiden.

[0024] Die Erfindung nennt zudem ein Hörgerät, umfassend einen Eingangswandler zur Erzeugung eines Eingangssignals aus einem Schallsignal der Umgebung, eine Signalverarbeitungseinheit zur Erzeugung eines Audiosignals anhand des Eingangssignals und einen Frequenzverzerrer, welcher dazu eingerichtet ist, das vorbeschriebene Verfahren zur Frequenzverzerrung eines Audiosignals durchzuführen. Die für das Verfahren und für seine Weiterbildung angegebenen Vorteile können hierbei sinngemäß auf das Hörgerät übertragen werden. Insbesondere sind die Signalverarbeitungseinheit und der Frequenzverzerrer jeweils Teile einer gemeinsamen Steuereinheit; in diesem Fall ist das Audiosignal ein Zwischensignal in der Steuereinheit.

[0025] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Hierbei zeigen jeweils schematisch:

FIG. 1 in einem Blockdiagramm ein Verfahren zur Unterdrückung einer akustischen Rückkopplung in einem Hörgerät,

FIG. 2 in einem Blockdiagramm ein Verfahren zur Frequenzverzerrung eines Audiosignals, und

FIG. 3 in einem Diagramm den Frequenzgang Filters, welches dazu eingerichtet ist, ein Audiosignal bei einer Teilungsfrequenz in einen Niederfrequenz-Anteil und einen Hochfrequenz-Anteil aufzuteilen, und

FIG. 4 in einem Diagramm den Frequenzgang des Filters nach FIG. 3 mit einer zwischen zwei tonalen Signalkomponenten gewählten Teilungsfrequenz.

[0026] Einander entsprechende Teile und Größen sind in allen Figuren jeweils mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0027] In Figur 1 ist schematisch in einem Blockdiagramm ein Verfahren 1 zur Unterdrückung einer akustischen Rückkopplung g in einem akustischen System dargestellt. Das akustische System ist vorliegend gegeben durch ein Hörgerät 2. Das Hörgerät 2 umfasst einen Eingangswandler 4, welcher aus einem Schallsignal 6 der Umgebung ein Eingangssignal 8 erzeugt, und im vorlie-

genden Fall gegeben ist durch ein Mikrofon. Vom Eingangssignal 8 wird ein Kompensationssignal 10 subtrahiert, welches in noch zu beschreibender Weise in einer elektrischen Rückkopplungsschleife 12 erzeugt wird. Das aus dem Eingangssignal 8 und dem Kompensationssignal 10 resultierende Fehlersignal 14 wird einer Signalverarbeitung 16 zugeführt, in welcher die für das Hörgerät 2 Benutzer-spezifischen Signalverarbeitungsprozesse erfolgen, also insbesondere eine Frequenzbandabhängige Verstärkung des Fehlersignals 14. Die Signalverarbeitung 16 gibt nun ein verstärktes Audiosignal 18 aus, auf welches eine Frequenzverzerrung 20 angewandt wird. Das aus der Frequenzverzerrung 20 resultierende Ausgangssignal 22 wird einerseits durch einen Ausgangswandler 24 in ein Ausgangssteuersignal 26 umgewandelt. Der Ausgangswandler 24 ist im vorliegenden Fall gegeben durch einen Lautsprecher.

[0028] Andererseits wird das Ausgangssignal 22 in die elektrische Rückkopplungsschleife 12 abgezweigt, und dort einem adaptiven Filter 28 zugeführt, welches als weitere Eingangsgröße auch das Fehlersignal 14 empfängt, und hieraus das Kompensationssignal 10 zur Unterdrückung der akustischen Rückkopplung g erzeugt. Durch die Frequenzverzerrung 20 wird dabei das Ausgangssignal 22 vom Eingangssignal 8 und somit auch vom Fehlersignal 14 dekorreliert, sodass durch die erneute Eingabe des Fehlersignals 14 in das adaptive Feld 28 letzteres nicht vollständig auf die tonalen Signalanteile des Ausgangssignals 22 adaptiert. Hierdurch kann eine Bildung von Artefakten im Ausgangssignal 22 und somit im Ausgangsschallsignal 26 vermieden werden. Die Unterdrückung der akustischen Rückkopplung g durch das Kompensationssignal 10 kann dabei insbesondere auf bestimmte Frequenzbereiche beschränkt bleiben, d.h., das Kompensationssignal 10 weist in diesem Fall nur für besagte Frequenzbänder nennenswerte Signalanteile auf.

[0029] In Figur 2 ist in einem Blockdiagramm schematisch ein Verfahren zur Frequenzverzerrung 20 eines Audiosignals dargestellt. Das Audiosignal ist hierbei gegeben durch das verstärkte Audiosignal 18 im Hörgerät 2 nach Figur 1. In einem ersten Schritt S1 wird zunächst anhand der Anforderungen im Hörgerät 2, welche beispielsweise gegeben sein können, um die akustische Rückkopplung g wirksam und artefaktfrei unterdrücken zu können, eine Frequenz f_0 als mögliche Teilungsfrequenz vorgegeben. In einem Schritt S2 wird nun die mögliche Teilungsfrequenz f_0 in ein Tonsystem T derart eingebettet, dass eine vorläufige Teilungsfrequenz tf_0 erzeugt wird. Die vorläufige Teilungsfrequenz tf_0 kann hierbei beispielsweise erzeugt werden als der geometrische Mittelwert derjenigen zwei Frequenzen benachbarter Töne des Tonsystems T, zwischen denen die mögliche Teilungsfrequenz f_0 liegt. In einem nächsten Schritt S3 wird nun die Eignung der vorläufigen Teilungsfrequenz tf_0 für die Frequenzverzerrung 20 untersucht. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass im Bereich der vorläufigen Teilungsfrequenz tf_0 eine Übertragungsfunktion

des Hörgerätes 2 und/oder eine Gesamtverstärkung der geschlossenen Schleife bestehend aus dem Hörgerät 2 und der akustischen Rückkopplung g abgeschätzt wird. Gegebenenfalls kann dann die vorläufige Teilungsfrequenz tf_0 bei Fehlen der Eignung zwischen zwei andere benachbarte Töne des Tonsystems T gelegt werden, sodass die Überprüfung im Schritt S3 erneut erfolgt.

[0030] Ergibt die Überprüfung S3, gegebenenfalls nach Iteration, eine Eignung der vorläufigen Teilungsfrequenz tf_0 für die Unterdrückung der akustischen Rückkopplung G , so wird die vorläufige Teilungsfrequenz tf_0 als Teilungsfrequenz tf ausgegeben, und das Audiosignal 18 in einem Schritt S4 bei der Teilungsfrequenz tf in einen Hochfrequenz-Anteil HF und einen Niederfrequenz-Anteil NF zerlegt. In einem Schritt S5 wird nun der Hochfrequenz-Anteil HF um einen konstanten Betrag frequenzverschoben, während der Niederfrequenz-Anteil NF erhalten bleibt. Hieraus resultiert nun das frequenzverzerrte Signal 21, welches im Hörgerät das Ausgangssignal 22 bildet. Optional kann in einem Schritt ST eine Tonalität im Audiosignal 18 bestimmt werden, und die Durchführung der Schritte S2 und S3, also die Anpassung der Teilungsfrequenz tf zwischen zwei benachbarte Töne des Tonsystems T in Abhängigkeit der in Schritt ST festgestellten Tonalität des Audiosignals 18 erfolgen.

[0031] In Figur 3 ist in einem Diagramm in Abhängigkeit von einer Frequenz f der Frequenzgang eines Filters dargestellt, welches das Audiosignal 18 nach Figur 2 an der Teilungsfrequenz tf in einen Hochfrequenz-Anteil HF und einen Niederfrequenz-Anteil NF aufteilt. Die Teilungsfrequenz tf ist im vorliegenden Fall gewählt beim Ton $dis^3 = \text{ca. } 1245 \text{ Hz}$. Durch die endliche Steilheit der Flanken 30 kommt es zu einem endlichen Überlapp des Niederfrequenz-Anteils NF mit dem Hochfrequenz-Anteil HF, wobei die Abschwächung des Hochfrequenz-Anteils HF im Bereich 32 unmittelbar unterhalb der Teilungsfrequenz tf sowie die Abschwächung des Niederfrequenz-Anteils NF im Bereich 34 unmittelbar oberhalb der Teilungsfrequenz tf ca. 3 dB beträgt, wobei bei der Teilungsfrequenz der Niederfrequenz-Anteil NF und der Hochfrequenz-Anteil HF durch das Filter gleich stark ausgegeben werden. Eine stärkere Abschwächung durch das Filter ist oftmals aufgrund der daraus resultierenden höheren Latenzzeiten nicht erwünscht oder nicht durchführbar. Dies bedeutet somit, dass der nahezu exakt auf der Teilungsfrequenz liegende Ton dis^3 im Audiosignal bei einer anschließenden Frequenzverschiebung des Hochfrequenz-Anteils HF, beispielsweise um 11 Hz, im Ausgangssignal einerseits mit seiner korrekten Tonhöhe Eingang findet, andererseits durch die nahezu identische Abschwächung von nur 3 dB des Hochfrequenz-Anteils auch als um 11 Hz verschobener Ton bei 1256 Hz. Hierdurch kommt es im Ausgangssignal zu einer Schwebung, welche u.a. auch eine starke Oszillation der Amplituden-einhüllenden zur Folge hat. Die Wahrnehmung der Lautstärke des resultierenden Tones unterliegt ebenfalls dieser Oszillation, der Ton beginnt zu "scheppern".

[0032] In Figur 4 ist in einem Diagramm der Frequenz-

gang des Filters nach Figur 3 dargestellt, wobei nun jedoch die Teilungsfrequenz f_t genau beim geometrischen Mittelwert zwischen den Frequenzen der Töne d^3 (ca. 1175 Hz) und dis^3 (ca. 1245 Hz), also bei $f_t = 1209$ Hz gewählt wurde. Diese Wahl für die Teilungsfrequenz entspricht genau einem Viertelton Abstand zu d^3 und dis^3 . Wird nun der Hochfrequenz-Anteil anschließend frequenzverschoben, z.B. erneut um 11 Hz, so wird in diesem Fall bei einem Ton dis^3 im Audiosignal 18 der Niederfrequenz-Anteil NF im Bereich 34 bei der Teilungsfrequenz f_t nicht mehr gleich stark ausgegeben wie der Hochfrequenz-Anteil HF, sondern ist gegenüber diesem um ca. 3 dB abgeschwächt. Dies hat zur Folge, dass eine Signalkomponente des Tons dis^3 im Audiosignal 18 nun im Hochfrequenz-Anteil HF um 3 dB stärker Eingang findet als im Niederfrequenz-Anteil NF, und somit vorrangig als um 11 Hz verschobener Ton im Ausgangssignal wahrgenommen wird, während der Niederfrequenz-Anteil NF des Tons dis^3 deutlich geringer wahrnehmbar ist. Die beim Filter nach Figur 3 auftretenden Schwebungen können hierdurch erheblich verringert werden. Die beschriebene Auswahl der Teilungsfrequenz ist nicht auf die hier genannten Töne d^3 und dis^3 beschränkt, sondern kann in analoger Weise für einen beliebigen Halbtonschritt, also zwei im Zwölftonsystem benachbarte Töne, durchgeführt werden.

[0033] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, ist die Erfindung nicht durch dieses Ausführungsbeispiel eingeschränkt. Andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

[0034]

- | | |
|----|--|
| 1 | Verfahren |
| 2 | Hörgerät |
| 4 | Eingangswandler |
| 6 | Schallsignal |
| 8 | Eingangssignal |
| 10 | Kompensationssignal |
| 12 | elektrische Rückkopplungsschleife |
| 14 | Fehlersignal |
| 16 | Signalverarbeitung |
| 18 | verstärktes Audiosignal |
| 20 | Frequenzverzerrung |
| 21 | frequenzverzerrtes Signal |
| 22 | Ausgangssignal |
| 24 | Ausgangswandler |
| 26 | Ausgangsschallsignal |
| 28 | adaptives Filter |
| 30 | Flanke |
| 32 | Bereich unterhalb der Teilungsfrequenz |
| 34 | Bereich oberhalb der Teilungsfrequenz |

d^3 Ton

- | | |
|-----------|---|
| dis^3 | Ton |
| f | Frequenz |
| f_0 | mögliche Teilungsfrequenz |
| g | akustische Rückkopplung |
| 5 HF | Hochfrequenz-Anteil |
| NF | Niederfrequenz-Anteil |
| S1 | Verfahrensschritt |
| S2 | Verfahrensschritt |
| S3 | Verfahrensschritt |
| 10 S4 | Verfahrensschritt |
| S5 | Verfahrensschritt |
| ST | Verfahrensschritt /Bestimmung der Tonalität |
| T | Tonsystem |
| 15 tf_0 | vorläufige Teilungsfrequenz |
| tf | Teilungsfrequenz |

Patentansprüche

1. Verfahren (1) zur Frequenzverzerrung (20) eines Audiosignals (18),
wobei das Audiosignal (18) bei wenigstens einer Teilungsfrequenz (tf) in einen Niederfrequenz-Anteil (NF) und einen Hochfrequenz-Anteil (HF) aufgeteilt wird, wobei durch eine für den Hochfrequenz-Anteil (HF) und für den Niederfrequenz-Anteil (NF) jeweils unterschiedliche Verzerrung (S5) von Frequenzen ein frequenzverzerrtes Signal (21) erzeugt wird, und wobei die Teilungsfrequenz (tf) derart ausgewählt wird, dass sie zwischen zwei benachbarten Tönen (d^3 , dis^3) eines vorgegebenen Tonsystems (T) liegt.
2. Verfahren (1) nach Anspruch 1,
wobei das Tonsystem (T) gegeben ist durch eine von einem vorgegebenen Referenzton ausgehende Aufteilung einer Oktave in zwölf Tonschritte mit jeweils gleichem Frequenzverhältnis $\sqrt[12]{2}$.
3. Verfahren (1) nach Anspruch 1 oder Anspruch 2,
wobei die Frequenzen nur des Hochfrequenz-Anteils (HF) oder nur des Niederfrequenz-Anteils (NF) zur Verzerrung (S5) um einen konstanten Betrag verschoben werden.
4. Verfahren (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die Teilungsfrequenz (tf) aus einem Frequenzintervall ausgewählt wird, welches derart zwischen den Frequenzen zweier benachbarter Töne (d^3 , dis^3) des Tonsystems (T) gelegen ist, dass die unterste Frequenz und die oberste Frequenz des Frequenzintervalls äquidistant oder logarithmisch äquidistant zwischen den Frequenzen der zwei benachbarten Töne (d^3 , dis^3) liegen.
5. Verfahren (1) nach Anspruch 4,

wobei die Teilungsfrequenz (tf) beim geometrischen Mittelwert der Frequenzen der zwei benachbarten Töne (d^3 , dis^3) gewählt wird.

6. Verfahren (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Frequenzgang des Audiosignals (18) ermittelt wird, und wobei die Teilungsfrequenz (tf) derart gewählt wird, dass das Audiosignal (18) bei der Teilungsfrequenz (tf) eine möglichst geringe Signalenergie aufweist. 5
7. Verfahren (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Wert für eine Tonalität des Audiosignals (18) ermittelt wird, und wobei die Teilungsfrequenz (tf) nur dann so ausgewählt wird, dass sie zwischen zwei benachbarten Tönen (d^3 , dis^3) des vorgegebenen Tonsystems (T) liegt, wenn der Wert für die Tonalität einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet (ST). 10 15 20
8. Verfahren zur Unterdrückung einer akustischen Rückkopplung (g) in einem akustischen System (2), wobei ein Eingangswandler (4) des akustischen Systems (2) aus einem Schallsignal (6) der Umgebung ein Eingangssignal (8) erzeugt, wobei anhand des Eingangssignals (6) durch eine Signalverarbeitung (16) ein Zwischensignal (18) erzeugt wird, wobei aus einem frequenzverzerrten Signal (21) ein Ausgangssignal (22) erzeugt wird, welches durch einen Ausgangswandler (24) des akustischen Systems (2) in ein Ausgangsschallsignal (26) umgewandelt wird, wobei anhand des frequenzverzerrten Signals (21) eine durch ein Einkoppeln des Ausgangsschallsignals (26) in den Eingangswandler (4) auftretende akustische Rückkopplung (g) im akustischen System (2) unterdrückt wird, und wobei auf das Zwischensignal (18) das Verfahren (1) zur Frequenzverzerrung (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche angewandt wird, und hierdurch das frequenzverzerrte Signal (21) erzeugt wird. 25 30 35 40 45
9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei eine vorläufige Teilungsfrequenz (tf0) ausgewählt wird, wobei eine Abschätzung einer Transferfunktion des akustischen Systems (2) für den Hochfrequenz-Anteil (HF) im Bereich der vorläufigen Teilungsfrequenz erfolgt (TF), wobei bei einem Überschreiten einer zulässigen Gesamtverstärkung durch die abgeschätzte Transferfunktion die wenigstens eine Teilungsfrequenz (tf) unterhalb der vorläufigen Teilungsfrequenz (tf0) ausgewählt wird, 50 55

wobei durch eine Verzerrung (S5) von Frequenzen nur des Hochfrequenz-Anteils (HF) das frequenzverzerrte Signal (21) erzeugt wird, und wobei die vorläufige Teilungsfrequenz (tf0) derart ausgewählt wird, dass sie zwischen zwei benachbarten Tönen (d^3 , dis^3) des vorgegebenen Tonsystems (T) liegt.

10. Hörgerät (2), umfassend einen Eingangswandler (4) zur Erzeugung eines Eingangssignals (8) aus einem Schallsignal (6) der Umgebung, eine Signalverarbeitungseinheit (16) zur Erzeugung eines Audiosignals (18) anhand des Eingangssignals (8) und einen Frequenzverzerrer (20), welcher dazu eingerichtet ist, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 durchzuführen.

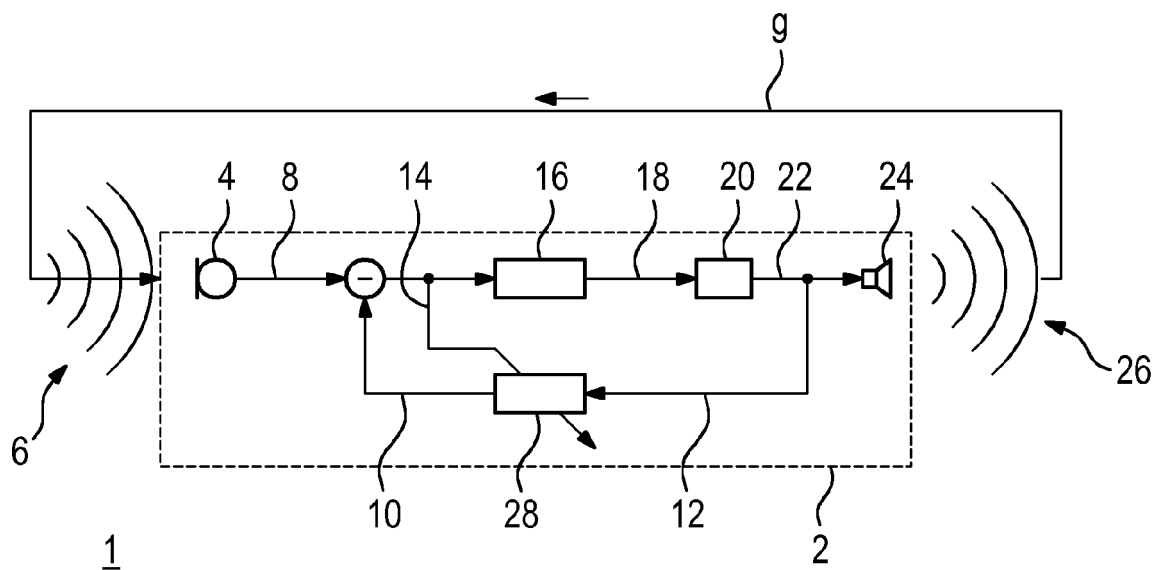


Fig. 1

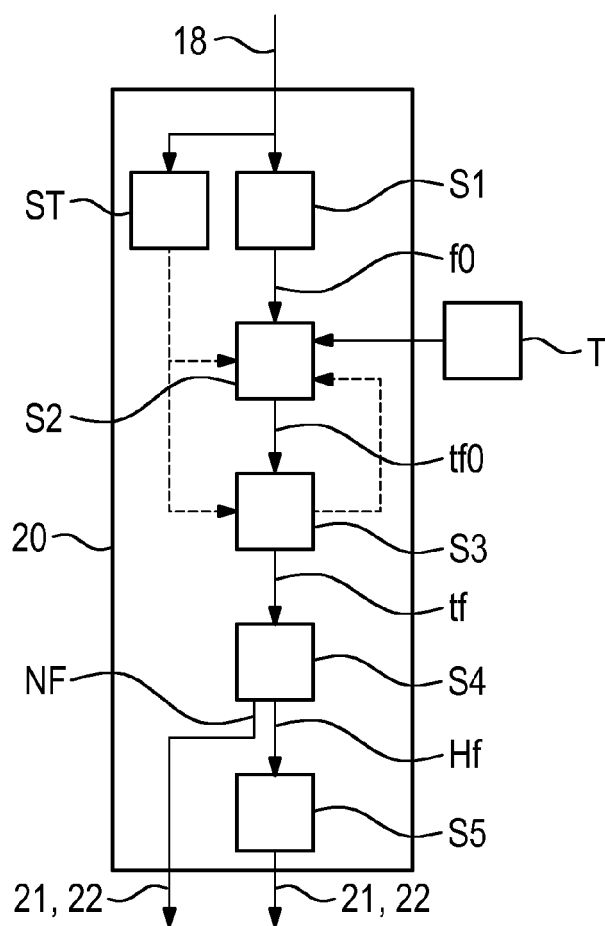


Fig. 2

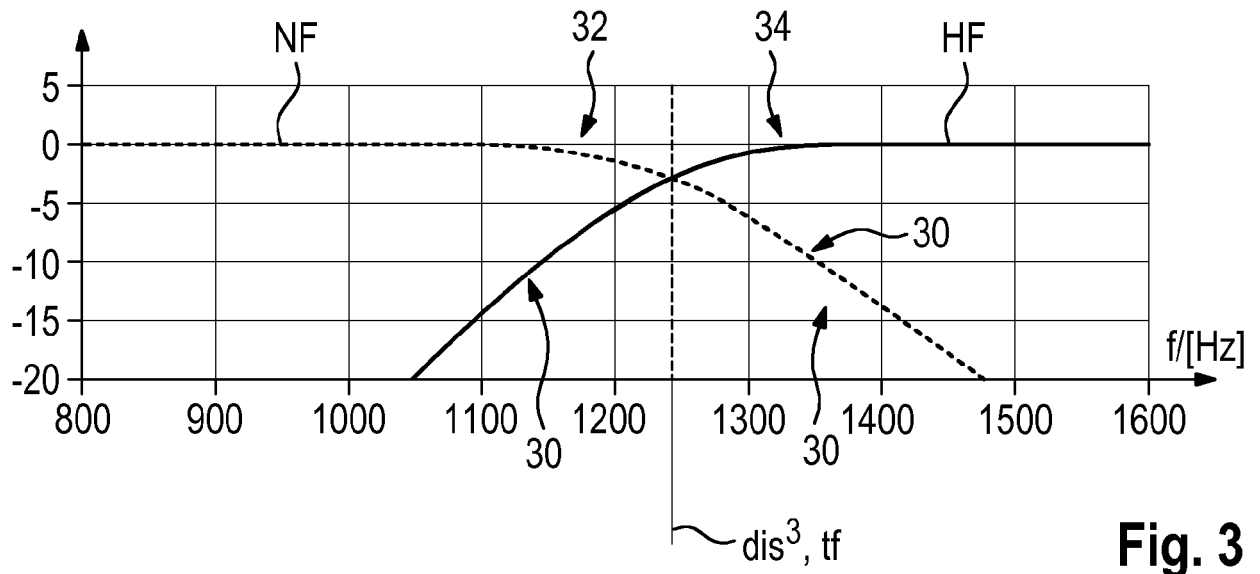


Fig. 3

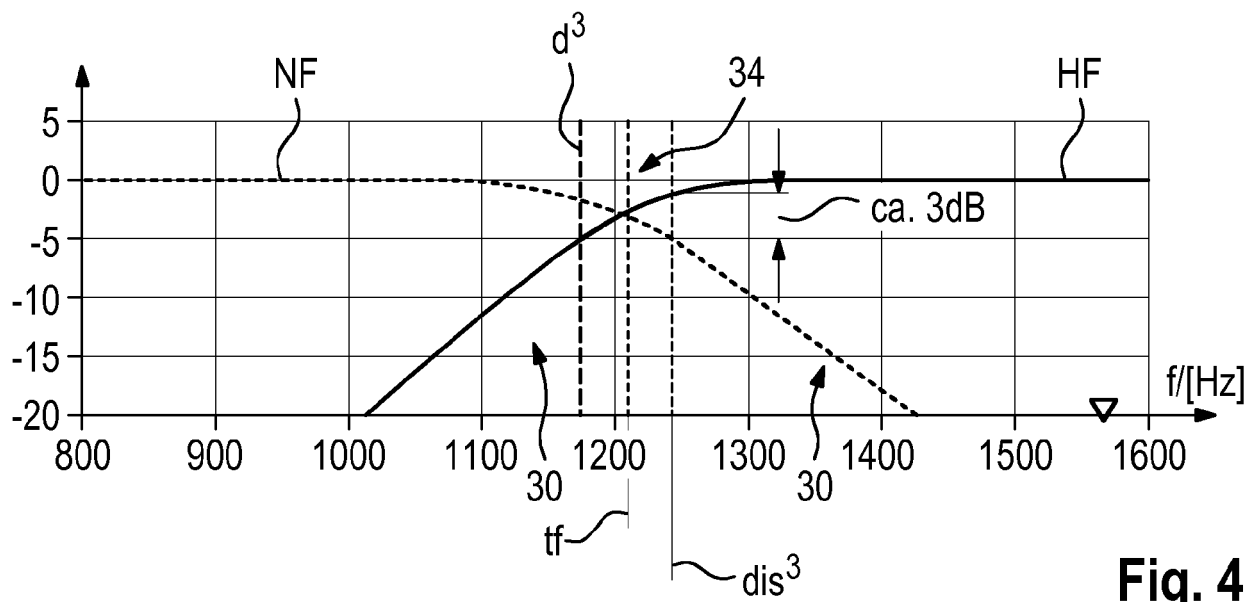


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 17 20 4648

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	DE 10 2009 018812 A1 (SIEMENS MEDICAL INSTR PTE LTD [SG]) 11. November 2010 (2010-11-11) * das ganze Dokument *	1-10	INV. H04R25/00 H04R3/02
X	DE 10 2010 006154 A1 (SIEMENS MEDICAL INSTR PTE LTD [SG]) 4. August 2011 (2011-08-04) * das ganze Dokument *	1-10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			H04R
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 18. Mai 2018	Prüfer Bücker, Martin
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 17 20 4648

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.

18-05-2018

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	DE 102009018812 A1	11-11-2010	AT 514291 T	15-07-2011
			DE 102009018812 A1	11-11-2010
			DK 2244491 T3	03-10-2011
			EP 2244491 A1	27-10-2010
			US 2010272289 A1	28-10-2010
20	DE 102010006154 A1	04-08-2011	DE 102010006154 A1	04-08-2011
			DK 2360945 T3	15-12-2014
			EP 2360945 A2	24-08-2011
			US 2011194714 A1	11-08-2011
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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