



(11) **EP 2 109 330 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
26.05.2010 Patentblatt 2010/21

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

(21) Anmeldenummer: **09155816.3**

(22) Anmeldetag: **23.03.2009**

(54) **Verfahren zum Umschalten eines Hörgeräts zwischen zwei Betriebszuständen und Hörgerät**

Method for switching a hearing aid between two operational states and a hearing aid

Procédé de commutation d'une prothèse auditive entre deux états de fonctionnement et prothèse auditive

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**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 SE SI SK TR**

(30) Priorität: **07.04.2008 DE 102008017552**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
14.10.2009 Patentblatt 2009/42

(73) Patentinhaber: **Siemens Medical Instruments Pte.
Ltd.
Singapore 139959 (SG)**

(72) Erfinder:
• **Kornagel, Ulrich
91052 Erlangen (DE)**
• **Petrausch, Stefan
91052 Erlangen (DE)**

(74) Vertreter: **Maier, Daniel Oliver
Siemens Aktiengesellschaft
Postfach 22 16 34
80506 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A- 1 307 072 EP-A- 1 513 371
DE-A1- 10 327 890 US-A- 6 101 258**

EP 2 109 330 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 Erfindung betrifft ein Verfahren zum Umschalten eines Hörgeräts von einem ersten Betriebszustand in einen zweiten Betriebszustand. Darüber hinaus betrifft die vorliegende Erfindung ein entsprechendes Hörgerät, das zwischen diesen beiden Betriebszuständen umschaltbar ist.

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

[0003] Hörgeräte besitzen prinzipiell als wesentliche Komponenten einen Eingangswandler, einen Verstärker und einen Ausgangswandler. Der Eingangswandler ist in der Regel ein Schallempfänger, z. B. ein Mikrofon, und/oder ein elektromagnetischer Empfänger, z. B. eine Induktionsspule. Der Ausgangswandler ist meist als elektroakustischer Wandler, z. B. Miniaturlautsprecher, oder als elektromechanischer Wandler, z. B. Knochenleitungshörer, realisiert. Der Verstärker ist üblicherweise in eine Signalverarbeitungseinheit integriert. Dieser prinzipielle Aufbau ist in FIG 1 am Beispiel eines Hinterdem-Ohr-Hörgeräts dargestellt. In ein Hörgerätegehäuse 1 zum Tragen hinter dem Ohr sind ein oder mehrere Mikrofone 2 zur Aufnahme des Schalls aus der Umgebung eingebaut. Eine Signalverarbeitungseinheit 3, die ebenfalls in das Hörgerätegehäuse 1 integriert ist, verarbeitet die Mikrofonsignale und verstärkt sie. Das Ausgangssignal der Signalverarbeitungseinheit 3 wird an einen Lautsprecher bzw. Hörer 4 übertragen, der ein akustisches Signal ausgibt. Der Schall wird gegebenenfalls über einen Schallschlauch, der mit einer Otoplastik im Gehörgang fixiert ist, zum Trommelfell des Geräteträgers übertragen. Die Energieversorgung des Hörgeräts und insbesondere die der Signalverarbeitungseinheit 3 erfolgt durch eine ebenfalls ins Hörgerätegehäuse 1 integrierte Batterie 5.

[0004] In Hörgeräten sind häufig eine Vielzahl an Funktionen realisiert, die entweder jede für sich oder mehrere in Verbund alternative Audiodatenströme berechnen. Je nach Betriebszustand und Einstellung des Hörgeräts wird aus diesen Datenströmen der gewünschte ausgewählt und an den elektro-akustischen Wandler weitergeleitet.

[0005] Während des Betriebs besteht öfters der Bedarf, dass zwischen den Betriebszuständen umgeschaltet werden muss oder soll, was zur Folge hat, dass ein anderer Audiodatenstrom ausgewählt wird. Dieser Umschaltprozess soll dabei nicht hart durchgeführt werden, sondern muss als langsame Überblendung (englisch: fading) realisiert werden. Je nach Häufigkeit des Überblendens sollte dieser Prozess so unauffällig wie möglich sein und darf somit möglichst keine merklichen Lautheitsschwankungen bedingen.

[0006] Aus der Druckschrift DE 103 27 890 A1 ist eine Realisierung zum Überblenden bekannt. Sie basiert auf einer gewichteten Summe der beteiligten "Datenströme" oder auch "Signale" wie sie im Weiteren genannt werden sollen. Jedes der n Signale x_i mit $i \in \{1; 2; \dots; n\}$ wird mit einem Gewichtungsfaktor a_i multipliziert und danach werden alle n Signale aufaddiert. Im eingeschwungenen Fall ist also ein einziger Gewichtungsfaktor, z. B. a_1 , exakt 1 und alle anderen Null. Soll nun zu einem anderen Zustand, beispielsweise a_2 , umgeblendet werden, so wird a_1 üblicherweise gemäß einer fallenden Exponentialkurve (um einen konstanten Lautstärkeabfall zu realisieren) allmählich zu Null gesetzt, während sich a_2 im Gegenzug allmählich 1 nähert. Dabei gilt bisher der Zusammenhang, dass alle Gewichtungsfaktoren addiert 1 ergeben sollen. Die Summenbildung mit Gewichtung der einzelnen Signale x_i in einem Summensignal y ist in FIG 2 schematisch angedeutet. Zum Umschalten zwischen Betriebszuständen werden üblicherweise alle Signale mit Ausnahme eines einzigen (hier x_k) ausgeblendet, indem die Gewichtungsfaktoren a_i mit $i \neq k$ gegen Null gehen. Ein Triggersignal löst den Umschaltprozess aus. Dabei ist es auch problemlos möglich, von einem beliebigen Mischzustand zum Zustand k zu faden, indem alle a_i mit $i \neq k$ ausgeblendet werden (gegen Null laufen) und nur der k -te Gewichtungsfaktor nach Gleichung (1) berechnet wird.

$$a_k = 1 - \sum_{\forall i \neq k} a_i \quad (1)$$

[0007] Weiterhin beschreibt die Druckschrift EP 1 307 072 A2 ein Verfahren zum Betrieb eines Hörgeräts, wobei störende akustische Effekte bei Umschaltvorgängen vermieden werden sollen. Dabei werden ein Signal, das aus einem ersten Betriebszustand resultiert, und ein Signal, das aus einem zweiten Betriebszustand resultiert, in wechselnder Gewichtung addiert. Dies führt in Einzelfällen jedoch zu störenden Artefakten.

[0008] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht somit darin, das Umschalten zwischen Betriebszuständen eines Hörgeräts akustisch komfortabler zu gestalten.

[0009] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zum Umschalten eines Hörgeräts von einem ersten Betriebszustand in einen zweiten Betriebszustand durch Bestimmen einer ersten Ausgangssignalleistung eines ersten Audiodatenstroms für den ersten Betriebszustand, Bestimmen einer zweiten Ausgangssignalleistung eines zweiten Audiodatenstroms für den zweiten Betriebszustand, Festlegen einer Überblendfunktion, die die gesamte Ausgangsleistung während eines Überblendvorgangs darstellt, und deren Anfangswert der ersten Ausgangssignalleistung und deren Endwert der zweiten Ausgangssignalleistung entspricht, und Durchführen des Überblendvorgangs durch Mischen der beiden Audiodatenströme derart, dass die gesamte Soll-Ausgangsleistung zumindest passagenweise der Überblendfunktion und/oder einer korrespondierenden Näherungsfunktion entspricht.

[0010] Darüber hinaus wird erfindungsgemäß bereitgestellt ein Hörgerät, das von einem ersten Betriebszustand in einen zweiten Betriebszustand umschaltbar ist, umfassend eine Messeinrichtung zum Bestimmen einer ersten Ausgangssignalleistung eines ersten Audiodatenstroms für den ersten Betriebszustand und zum Bestimmen einer zweiten Ausgangssignalleistung eines zweiten Audiodatenstroms für den zweiten Betriebszustand sowie einer Steuereinrichtung zum Durchführen eines Überblendvorgangs durch Mischen der beiden Audiodatenströme derart, dass die gesamte Ausgangsleistung zumindest passagenweise während eines Überblendvorgangs einer vorgegebenen Überblendfunktion und/oder einer korrespondierenden Näherungsfunktion entspricht, deren Anfangswert gleich der ersten Ausgangssignalleistung und deren Endwert gleich der zweiten Ausgangssignalleistung ist.

[0011] In vorteilhafter Weise ist es so möglich, sowohl bei korrelierten als auch bei unkorrelierten Signalen ein Überblenden zu bewerkstelligen, das sich durch kaum merkliche Lautheitsschwankungen auszeichnet.

[0012] In einem Spezialfall können die beiden Ausgangssignalleistungen der Betriebszuständen, zwischen denen umgeschaltet werden soll, gleich hoch sein. In diesem Fall wird die Überblendfunktion konstant gewählt, so dass der Hörgeräträger keine Lautheitsschwankung zwischen beiden Betriebszuständen wahrnehmen kann.

[0013] Sind die beiden Ausgangssignalleistungen der beiden Betriebszustände unterschiedlich, so kann eine einfache Lautstärken-Überblendfunktion dadurch realisiert werden, dass ein linearer Übergang zwischen beiden Ausgangssignalleistungen verwendet wird. Auf diese Weise lassen sich Lautheitssprünge vermeiden.

[0014] Der während des Überblendvorgangs die gesamte Ausgangsleistung bestimmende Datenstrom kann als eine Linearkombination mindestens des ersten und des zweiten Audiodatenstroms angesehen werden, wobei jeder Audiodatenstrom mit einem Gewichtungsfaktor gewichtet wird. Dadurch ist es leicht möglich, mit Hilfe des Erwartungswerts die Ausgangsleistung aus den Gewichtungsfaktoren zu berechnen.

[0015] Die Gewichtungsfaktoren können ein exponentielles Ausblenden (Näherungsfunktion) des ersten Audiodatenstroms mit einer vorbestimmten Zeitkonstante und ein Einblenden des zweiten Audiodatenstroms gemäß der vorher definierten (Lautstärke)Überblendfunktion bewirken. Dabei kann die vorbestimmte Zeitkonstante der Näherungsfunktion für das Ausblenden unabhängig von einer Zeitkonstante der Überblendfunktion ($P(y)$) für das Einblenden sein. Durch das Nutzen einer Näherungsfunktion bei einem Teil des Überblendvorgangs kann bereits Rechenaufwand eingespart werden.

[0016] Besonders vorteilhaft ist ein aufwandsreduzierter Ansatz, gemäß dem die Gewichtungsfaktoren ausschließlich mit einer oder mehreren Additionen und/oder Multiplikationen iterativ berechnet werden. Multiplikationen können dabei oft auch durch bit-shifting Operationen und eventuelle weitere Additionen angenähert werden. Auf diese Weise lassen sich Exponentialfunktionen, die einen hohen Rechenaufwand bedeuten, vermeiden.

[0017] Eine weitere Aufwandsreduzierung lässt sich dadurch erreichen, dass der Gewichtungsfaktor zum Einblenden des zweiten Audiodatenstroms durch eine Differenz zwischen einem durch die Überblendfunktion bestimmten Zielgewichtungsfaktor und einer weiteren exponentiellen Ausblendfunktion mit einer zweiten Zeitkonstante angenähert wird. Insbesondere lässt sich dadurch mit sehr geringem Aufwand eine sehr geringe Lautheitsschwankung bei der Überblendung von einem Betriebszustand zu einem anderen erreichen.

[0018] Die vorliegende Erfindung wird anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert, in denen zeigen:

FIG 1 den prinzipiellen Aufbau eines Hörgeräts gemäß dem Stand der Technik;

FIG 2 ein Schaltbild zur gewichteten Summenbildung von Einzelsignalen;

FIG 3 den Verlauf der Ausgangsleistung bei zwei verschiedenen Überblendfunktionen;

FIG 4 den zeitlichen Verlauf von Gewichtungsfaktoren bei mehreren Überblendungen;

FIG 5 den zeitlichen Verlauf von Ausgangsleistungen bei unterschiedlichen Überblendstrategien und

FIG 6 ein Blockschaltdiagramm zum Umblenden zwischen in- stationären Signalen.

[0019] Die nachfolgend näher geschilderten Ausführungsbeispiele stellen bevorzugte Ausführungsformen der vorlie-

genden Erfindung dar.

[0020] Die erfindungsgemäße Lösung zielt darauf ab, dass die Lautheitsschwankungen des Summensignals y während des Umschaltprozesses minimiert werden. Die Lautheit sollte streng monoton, im Idealfall sogar mit konstanter Geschwindigkeit vom Ist-Wert zum Soll-Wert steigen bzw. fallen. Für gleichlaute Signal x_1 bis x_n bedeutet dies, dass

[0021] Die prinzipielle Idee, um oben gestecktes Ziel zu erreichen, ist es, alle Signale als Zufallsprozesse aufzufassen, und die Gewichtungskoeffizienten so einzustellen, dass die Leistung des Ausgangssignals $P(y)$ zumindest im stochastischen Mittel einem gewünschten beispielsweise möglichst glatten Verlauf folgt.

[0022] Beispiel 1: Zwischen zwei Signalen ($n=2$) x_1 und x_2 soll umgeschaltet werden. Das zugehörige Umfaden soll zum Zeitpunkt t_1 starten und zum Zeitpunkt t_2 beendet sein. Dieser Überblendvorgang ist in FIG 3 dargestellt. Da beide Signale unterschiedlich laut sind, lässt sich eine Änderung der Lautstärke nicht vermeiden. Es soll daher ein möglichst unmerklicher Übergang zwischen beiden Zuständen stattfinden

$$P(x_1) \rightarrow P(x_2).$$

[0023] FIG 3 stellt beispielhaft zwei Möglichkeiten für den Übergang von $P(x_1)$ zu $P(x_2)$ dar. Jeder von beiden hat spezifische Vorteile, die es im Einzelfall zu nutzen gilt. Im Folgenden bleibt also der tatsächliche Verlauf der Ausgangsleistung, d.h. der Leistung des Mischsignals, variabel und wird mit $P(y)$ bezeichnet.

[0024] Die Leistung des Ausgangssignals kann mit Hilfe des Erwartungswerts berechnet werden. Prinzipiell ist die Leistung eines Zufallsprozesses der Erwartungswert des Quadrats

$$P(y) = \varepsilon\{YY\} = \varepsilon\{Y^2\}. \quad (2)$$

[0025] Gemäß FIG 2 ist der Zufallsprozess Y eine Linearkombination der Eingangsprozesse $X_i, i \in \{1; 2; \dots; n\}$,

$$Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n. \quad (3)$$

[0026] Im folgenden nehmen wir ohne Einschränkung der Allgemeinheit an, dass zum ersten Betriebszustand gefadet werden soll, dass also $y(t) \rightarrow x_1(t)$. Gleichung (3) kann mit Hilfe eines Skalarprodukts vereinfacht werden zu

$$Y = a_1 X_1 + (a_2 \dots a_n) \begin{pmatrix} X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix} = a_1 X_1 + \mathbf{a}^T \mathbf{X}. \quad (4)$$

[0027] Nach Eberhard Hänsler, "Statistische Signale", volume 2, Springer-Verlag, 1997 und Herbert Schlitt, "Systemtheorie für stochastische Prozesse", Springer Verlag, 1992 kann man den Erwartungswert des Quadrats folgendermaßen berechnen.

$$\varepsilon\{Y^2\} = a_1^2 \varepsilon\{X_1^2\} + 2a_1 \sum_{i=2}^n a_i \varepsilon\{X_1 X_i\} + \mathbf{a}^T \varepsilon\{\mathbf{X} \mathbf{X}^T\} \mathbf{a}. \quad (5)$$

[0028] Dabei werden sowohl die Autokorrelierten (also die Leistungen) der Signale, als auch die Kreuzkorrelierten zwischen den Signalen benötigt. Diese stochastischen Kenngrößen können entweder durch beobachten der Signale geschätzt/gemessen werden, oder sie ergeben sich zwangsläufig aufgrund der Erzeugung der Eingangssignale x_1 bis x_n .

[0029] Gemäß Gleichung (2) soll der Erwartungswert des Quadrats einer vorgegebenen Funktion $P(y)$ folgen. Betrachtet man alle Gewichtungsfaktoren $a_i = a_i(t)$, $i \in \{2, 3, \dots, n\}$ als gegeben (die Signale x_2 bis x_n sollen "ausgefadet" werden, die dazu gehörigen Gewichtungsfaktoren müssen also gemäß einer gegebenen Funktion gegen Null streben), dann berechnet sich der Gewichtungsfaktor $a_1 = a_1(t)$ zu

$$a_1(t) = - \frac{\sum_{i=2}^n a_i \varepsilon\{X_1 X_i\}}{\varepsilon\{X_1^2\}} +$$

$$\pm \frac{\sqrt{\left(\sum_{i=2}^n a_i \varepsilon\{X_1 X_i\}\right)^2 - \varepsilon\{X_1^2\} \left(\mathbf{a}^T \varepsilon\{\mathbf{X}\mathbf{X}^T\} \mathbf{a} - P(y)\right)}}{\varepsilon\{X_1^2\}} \quad (6)$$

wobei üblicherweise rein positive Gewichtungsfaktoren bevorzugt werden, man nimmt also meist die Summe der beiden Terme und nicht deren Differenz.

[0030] Beispiel 2: Es seien x_1, x_2 und x_3 drei gleichlaute, mittelwertfreie und untereinander unkorrelierte Signale mit der Leistung $P(x_i) = 1, i \in \{1, 2, 3\}$. Die benötigten stochastischen Kenngrößen sind somit

$$\varepsilon\{X_1^2\} = 1, \quad \varepsilon\{X_1 X_2\} = \varepsilon\{X_1 X_3\} = 0 \quad \text{und} \quad \varepsilon\{\mathbf{X}\mathbf{X}^T\} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

[0031] Da alle Eingangssignale gleiche Leistung haben und vorzugsweise stationär sind, soll das Ausgangssignal keinerlei Schwankungen aufweisen. Es gilt $P(y) = 1$. Gleichung (6) vereinfacht sich somit zu

$$a_1(t) = \sqrt{1 - \mathbf{a}^T \mathbf{a}}. \quad (7)$$

[0032] Die empfundene Lautheit der nicht ausgewählten Signale soll mit konstanter Geschwindigkeit sinken. $a_2(t)$ und $a_3(t)$ haben somit einen exponentiellen Verlauf. Es gilt:

$$a_2(t) = a_2(t_1) \cdot e^{-\frac{t-t_1}{\tau}}, \quad a_3(t) = a_3(t_1) \cdot e^{-\frac{t-t_1}{\tau}}, \quad (8)$$

wobei t_1 der Startzeitpunkt des Fading-Prozesses ist und τ die Zeitkonstante des Ausfadens. Gleichung (7) vereinfacht sich weiter zu

$$a_1(t) = \sqrt{1 - e^{-\frac{2(t-t_1)}{\tau}} \mathbf{a}^T(t_1) \mathbf{a}(t_1)}. \quad (9)$$

[0033] FIG 4 zeigt die resultierenden Gewichtungsfaktoren a_1 bis a_3 . Zum Startzeitpunkt befindet sich das System im Betriebszustand 3, d.h. der Gewichtungsfaktor $a_3 = 1$ und $a_1 = a_2 = 0$. Der Betriebszustand wird zum Zeitpunkt $t = 1$ vom Betriebszustand 3 zum Betriebszustand 1 gewechselt, d.h. a_3 wird zu 0 ausgeblendet, a_1 wird eingeblendet und a_2 bleibt 0. Zum Zeitpunkt t_2 erfolgt ein Wechsel in den Betriebszustand 2 und zum Zeitpunkt t_3 wieder ein Wechsel in den Betriebszustand 3. Die einzelnen Gewichtungsfaktoren folgen den Verläufen der Gleichungen (8) und (9).

[0034] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel beschrieben, das einen aufwandsreduzierten Ansatz repräsentiert. Ausgangspunkt ist, dass bei Hörgeräten komplizierte mathematische Funktionen wie Exponentialfunktionen und Wurzelfunktionen vermieden werden müssen, da diese zuviel Chipfläche und zuviel Strom verbrauchen würden. Weiterhin gilt es, echte Multiplikationen zu vermeiden. Aus eben diesen Gründen werden die abklingenden Exponentialfunktionen, die für das Ausfaden benötigt werden, durch eine Serie von Multiplikationen mit sehr einfachen Koeffizienten beschränkt. Die Gewichtungsfaktoren für das Ausfaden werden folgendermaßen berechnet (hier exemplarisch für a_2)

$$a_2(t+T) = \left(1 - 2^{-\nu}\right) a_2(t) = a_2(t) - 2^{-\nu} a_2(t), \quad (10)$$

bzw. in zeit-diskreter Schreibweise

$$a_2[k+1] = \left(1 - 2^{-\nu}\right) a_2[k] = a_2[k] - 2^{-\nu} a_2[k]. \quad (11)$$

[0035] Die Variable $\nu \in \mathbb{N}_0$ ist dabei eine natürliche Zahl, wodurch nur noch bestimmte Zeitkonstanten

$\tau_\nu = -\frac{T}{\ln(1 - 2^{-\nu})}$ realisiert werden können, was aber üblicherweise nicht stört. Zur Implementierung gemäß

der Offenlegungsschrift DE 103 27 890 A1 (mit einfacher Subtraktion nach Gleichung (1)) werden demnach gerade einmal zwei Additionen und ein Bit-Shifting zur Bildung von $n=2$ Gewichtungsfaktoren benötigt.

[0036] Der Nachteil von Gleichung (6) besteht in der aufwändigen Wurzelberechnung. Im Vergleich zur einfachen Variante nach Offenlegungsschrift DE 103 27 890 A1 ist der Mehraufwand für Hörgeräte meist nicht zu rechtfertigen. Deshalb wird hier ein deutlich recheneffizienterer Ansatz vorgestellt, der sich dennoch an Gleichung (6) anlehnt.

[0037] Sei τ_a die Zeitkonstante zum Ausblenden, die gemäß Gleichung (11) realisiert werden kann (korrespondierend zur natürlichen Zahl ν_a). Dann sollen alle Ausblend-Gewichtungsfaktoren folgendermaßen gebildet werden (diskreter Startzeitpunkt sei $k=0$)

$$\begin{aligned} a_i[k] &= e^{-\frac{kT}{\tau_a}} \cdot a_i[0] \\ &= \left(1 - 2^{-\nu_a}\right)^k \cdot a_i[0], \quad i \in \{2; 3; \dots; n\}. \quad (12) \end{aligned}$$

[0038] Es erfolgt also ein exponentielles Ausklingen der Signalanteile, wodurch die Lautstärke konstant abnimmt. Der Einblend-Gewichtungsfaktor soll nun derartig gebildet werden, dass

$$a_1[k] = 1 - e^{-\frac{kT}{\tau_e}} (1 - a_1[0]). \quad (13)$$

[0039] Dabei ist 1 quasi der Zielwert für den Gewichtungsfaktor a_1 und die Differenz zwischen Zielwert und aktuellem Wert wird mit einer exponentiellen Funktion ausgeblendet. Die Zeitkonstante τ_e dieser exponentiellen Ausblendfunktion ist jedoch eine andere als die Zeitkonstante τ_a und muss gemäß Gleichung (6) optimiert werden. Sie passt nicht unbedingt in das Implementierungsschema nach Gleichung (11). Üblicherweise ist folgende Approximation aber vollkommen ausreichend

$$e^{-\frac{T}{\tau_e}} \approx \left(1 - 2^{-\nu} e_1 \pm 2^{-\nu} e_2\right). \quad (14)$$

[0040] Der Aufwand für diese Implementierung wäre somit vier Additionen und zwei Bit-Shifting-Operationen für $n = 2$ Gewichtungsfaktoren, was bezüglich des zu erwartenden Vorteils (kaum Lautstärkeschwankungen beim Fading) vollkommen vertretbar ist. Die Einblend-Zeitkonstante τ_e wird derart optimiert, dass Gleichung (11) möglichst gut approximiert wird, wobei aber das Optimierungskriterium diversen Randbedingungen unterworfen sein kann. Beispielsweise kann man fordern, dass es während des Umblendens auf keinen Fall lauter werden darf.

[0041] Beispiel 3: Es soll zwischen zwei gleichlauten unkorrelierten Signalen x_1 und x_2 umgeblendet werden. Die Leistung der beiden Signale sei 1. Es werden drei Umblend-Varianten getestet:

1. die aus dem Stand der Technik bekannte Variante gemäß DE 103 27 890 A1 mit $a_1 = 1 - a_2$,

2. eine stark rechenreduzierte Variante gemäß Gleichung (13) mit $e^{-\frac{T}{\tau_e}} = \left(1 - 2^{-\nu} e\right)$, bei der die Differenz zum Zielwert mit einer anderen Zeitkonstante ausgeblendet wird als die anderen Signale,

3. und die weitere rechenreduzierte Version gemäß Gleichung (14) mit $e^{-\frac{T}{\tau_e}} \approx \left(1 - 2^{-\nu} e_1 \pm 2^{-\nu} e_2\right)$.

[0042] Die Ausblend-Zeitkonstante sei $\nu_a = 5$. FIG 5 zeigt das Verhalten der Ausgangsleistung $P(y)$ über der Zeit für alle drei Varianten. Bei der ersten Methode nach dem Stand der Technik ergibt sich ein Lautstärkeabfall von 3dB. Mit der dritten Lösung schwankt die Lautstärke bzw. die Ausgangsleistung nur noch um 0,8dB. Die beiden Varianten 2 und 3 stellen also praktikable Lösungen bei der Realisierung einer idealen konstant bleibenden Überblendfunktion dar. Die Näherungsfunktionen von FIG 5 führen kaum zu einem Komfortverlust, aber zu einer deutlichen Recheneinsparung gegenüber dem idealen, geraden Verlauf.

[0043] Die Kerngedanken der erfindungsgemäßen Lösung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Zunächst wurde erkannt, dass beim Umblenden von einem Betriebszustand zu einem anderen in der Regel Lautstärkeschwankungen auftreten. Um diese Lautstärkeschwankungen zu quantifizieren wurden stochastische Hilfsmittel (beispielsweise Kreuzkorrelation und Autokorrelation) eingesetzt. Die stochastischen Kenngrößen können entweder aus den Signalen geschätzt, gemessen oder aus den Systemeigenschaften abgeleitet werden. Zur Aufwandsreduktion genügt es, nicht die tatsächlichen stochastischen Größen (beispielsweise die Korrelation) zu nehmen, sondern je nach Problemstellung ähnliche oder abgewandelte Größen. In jedem Fall ist es dadurch möglich, für den Überblendvorgang einen gewünschten Verlauf der Lautstärke zu erzielen. Ebenfalls ist es möglich, von

einem beliebigen Mischverhältnis zu einem anderen beliebigen Mischverhältnis (beispielsweise von $\frac{1}{4}x_1 + \frac{3}{4}x_2$

zu $\frac{1}{2}x_1 + \frac{1}{2}x_2$) mit diesen Methoden zu faden.

[0044] Der obige allgemeine bzw. ideale Ansatz kann, wie in dem zweiten Ausführungsbeispiel ausführlich erläutert wurde, durch einen aufwandsreduzierten Ansatz angenähert werden. Dabei kann das Einblenden durch ein Ausblenden der Differenz zum Endwert (welcher beliebig sein kann) realisiert werden. Darüber hinaus können für das Ein- und Ausblenden unterschiedliche bzw. voneinander unabhängige Zeitkonstanten gewählt werden, denn das Herleiten und

Optimieren der Zeitkonstanten aus dem idealen Ansatz ist verhältnismäßig komplex.

[0045] Nachfolgend seien noch zwei Realisierungsbeispiele dargestellt:

Realisierungsbeispiel 1: Umblenden bei Richtmikrofonie

[0046] Aus den Mikrofonen eines Hörgeräts können verschiedene Richtcharakteristiken (vorne, hinten, omni, etc.) gebildet werden. Aufgrund von Änderungen der akustischen Bedingungen ist es oft gewünscht, zwischen diesen Zuständen umzuschalten. Um die üblicherweise dabei auftretenden "Knacks-Geräusche" zu vermeiden, muss ein Umblendprozess erfolgen, der möglichst keine Lautheitsschwankungen bedingen sollte.

[0047] Ein Umblendvorgang, bei dem die Lautheit des Hintergrundgeräusches konstant ist, muss gemäß Gleichung (6) realisiert werden. Vereinfachend kann man beispielsweise annehmen, dass die Kreuzkorrelation der Signale Null ist. Alle benötigten Variablen lassen sich somit im Vorfeld bestimmen. Ist der Implementierungsaufwand für Gleichung (6) zu hoch, kann man den Ansatz nach Gleichung (13) verfolgen. Die Zeitkonstante τ_e , die gemäß der gewünschten Kriterien optimiert wurde, kann dabei stark quantisiert werden.

Realisierungsbeispiel 2: Umblenden zwischen instationären Signalen

[0048] Soll unmerklich zwischen instationären Signalen umgeblendet werden, bei denen man die stochastischen Kenngrößen nicht im Vorfeld bestimmen kann, so empfiehlt sich ein Schaltungsaufbau nach FIG 6. Ein Gewichtungsblock 10 schätzt die aktuellen stochastischen Eigenschaften der Signale x_1 und x_2 und bildet daraus zwei entsprechende Gewichtungsfaktoren. Gegebenenfalls besitzt der Gewichtungsblock 10 einen weiteren Eingang, um die Überblend- bzw. Fadingfunktion zu steuern. Zwei Multiplizierer 11 und 12 multiplizieren die Signale x_1 und x_2 mit den korrespondierenden Gewichtungsfaktoren. Die gewichteten Signale werden in ein Addierer 13 zu dem Summensignal y summiert. Die notwendigen aktuellen stochastischen Größen werden also online berechnet und für die Gewichtungsfaktoren benutzt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Umschalten eines Hörgeräts von einem ersten Betriebszustand in einen zweiten Betriebszustand **gekennzeichnet durch**

- Bestimmen einer ersten Ausgangssignalleistung ($P(x_1)$) eines ersten Audiodatenstroms für den ersten Betriebszustand,
- Bestimmen einer zweiten Ausgangssignalleistung ($P(x_2)$) eines zweiten Audiodatenstroms für den zweiten Betriebszustand,
- Festlegen einer Überblendfunktion ($P(y)$), die die gesamte Soll-Ausgangsleistung während eines Überblendvorgangs darstellt, und deren Anfangswert der ersten Ausgangssignalleistung ($P(x_1)$) und deren Endwert der zweiten Ausgangssignalleistung ($P(x_2)$) entspricht, und
- Durchführen des Überblendvorgangs **durch** Mischen der beiden Audiodatenströme derart, dass die gesamte Ausgangsleistung zumindest passagenweise der Überblendfunktion und/oder einer korrespondierenden Näherungsfunktion entspricht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die beiden Ausgangssignalleistungen ($P(x_1)$, $P(x_2)$) gleich hoch sind und die Überblendfunktion ($P(y)$) konstant ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Überblendfunktion ($P(y)$) linear ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der während des Überblendvorgangs die gesamte Ausgangsleistung bestimmende Datenstrom eine Linearkombination mindestens des ersten und des zweiten Audiodatenstroms ist, und dabei jeder Audiodatenstrom mit einem jeweiligen Gewichtungsfaktor (a_1, a_2, a_3) gewichtet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Gewichtungsfaktoren (a_1, a_2, a_3) ein exponentielles Ausblenden des ersten Audiodatenstroms mit einer vorbestimmten Zeitkonstante gemäß der Näherungsfunktion und ein Einblenden des zweiten Audiodatenstroms gemäß der Überblendfunktion ($P(y)$) bewirken.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die vorbestimmte Zeitkonstante der Näherungsfunktion für das Ausblenden

unabhängig von einer Zeitkonstante der Überblendfunktion ($P(y)$) für das Einblenden ist.

7. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Näherungsfunktion für den Überblendvorgang genutzt wird und dabei die Gewichtungsfaktoren (a_1, a_2, a_3) ausschließlich mit einer oder mehreren Additionen und/oder Multiplikationen näherungsweise berechnet werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, wobei der Gewichtungsfaktor zum Einblenden des zweiten Audiodatenstroms durch eine Differenz zwischen einem durch die Überblendfunktion bestimmten Zielgewichtungsfaktor und einer weiteren exponentiellen Ausblendfunktion mit einer zweiten Zeitkonstante angenähert wird.
9. Hörgerät, das von einem ersten Betriebszustand in einen zweiten Betriebszustand umschaltbar ist,
gekennzeichnet durch
 - eine Messeinrichtung zum Bestimmen einer ersten Ausgangssignalleistung ($P(x_1)$) eines ersten Audiodatenstroms für den ersten Betriebszustand und zum Bestimmen einer zweiten Ausgangssignalleistung ($P(x_2)$) eines zweiten Audiodatenstroms für den zweiten Betriebszustand sowie
 - einer Steuereinrichtung zum Durchführen eines Überblendvorgangs **durch** Mischen der beiden Audiodatenströme derart, dass die gesamte Ausgangsleistung zumindest passagenweise während eines Überblendvorgangs einer vorgegebenen Überblendfunktion ($P(y)$) und/oder einer korrespondierenden Näherungsfunktion entspricht, deren Anfangswert gleich der ersten Ausgangssignalleistung und deren Endwert gleich der zweiten Ausgangssignalleistung ist.

Claims

1. Method for switching a hearing device from a first operating state to a second operating state,
characterised by
 - determining a first output signal power ($P(x_1)$) of a first audio data stream for the first operating state,
 - determining a second output signal power ($P(x_2)$) of a second audio data stream for the second operating state,
 - defining a fading function ($P(y)$), which represents the overall target output power during a fading process and the initial value of which corresponds to the first output signal power ($P(x_1)$) and the end value of which corresponds to the second output signal power ($P(x_2)$) and
 - performing the fading process by mixing the two audio data streams such that the overall output power corresponds to the fading function and/or a corresponding approximation function at least in passages.
2. Method according to claim 1, with the two output signal powers ($P(x_1)$, $P(x_2)$) being equally high and the fading function ($P(y)$) being constant.
3. Method according to claim 1, with the fading function ($P(y)$) being linear.
4. Method according to one of the preceding claims, with the data stream determining the overall output power during the fading process being a linear combination of at least the first and the second audio data stream and each audio data stream being weighted here with a respective weighting factor (a_1, a_2, a_3).
5. Method according to claim 4, with the weighting factors (a_1, a_2, a_3) effecting an exponential fading-out of the first audio data stream with a predetermined time constant according to the approximation function and a fading-in of the second audio data stream in accordance with the fading function ($P(y)$).
6. Method according to claim 5, with the predetermined time constant of the approximation function for the fading-out being independent of a time constant of the fading function ($P(y)$).
7. Method according to claim 4, with the approximation function being used for the fading process and the weighting factors (a_1, a_2, a_3) being exclusively approximately calculated here with one or several additions and/or multiplications.
8. Method according to one of claims 4 to 7, with the weight factor for fading in the second audio data stream being approached by a difference between a target weighting factor determined by the fading function and a further exponential fading-out function with a second time constant.

9. Hearing device, which can be switched from a first operating state into a second operating state, **characterised by**

- a measuring device for determining a first output signal power ($P(x_1)$) of a first audio data stream for the first operating state and for determining a second output signal power ($P(x_2)$) of a second audio data stream for the second operating state as well as
 - a control device for implementing a fading process by mixing the two audio data streams such that the overall output power corresponds to a predetermined fading function ($P(y)$) and/or a corresponding approximation function at least in passages during a fading function, the initial value of which is identical to the first output signal power and the final value of which is identical to the second output signal power.

Revendications

1. Procédé de commutation d'une prothèse auditive d'un premier état de fonctionnement à un deuxième état de fonctionnement **caractérisé par**

- une détermination d'une première puissance ($P(x_1)$) de signal de sortie d'un premier flux de données audio pour le premier état de fonctionnement,
 - une détermination d'une deuxième puissance ($P(x_2)$) de signal de sortie d'un deuxième flux de données audio pour le deuxième état de fonctionnement,
 - une fixation d'une fonction ($P(y)$) de mélange qui correspond à toute la puissance de sortie de consigne pendant une opération de mélange et dont la valeur initiale correspond à la première puissance ($P(x_1)$) du signal de sortie et dont la valeur finale correspond à la deuxième puissance ($P(x_2)$) du signal de sortie, et
 - on effectue l'opération de mélange en mélangeant les deux flux de données audio de façon à ce que toute la puissance de sortie corresponde au moins par passage à la fonction de mélange et/ou à une fonction d'approximation correspondante.

2. Procédé suivant la revendication 1, dans lequel les deux puissances ($P(x_1)$), ($P(x_2)$) du signal de sortie sont de même amplitude et la fonction ($P(y)$) de mélange est constante.

3. Procédé suivant la revendication 1, dans lequel la fonction ($P(y)$) de mélange est linéaire.

4. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel le flux de données déterminant toute la puissance de sortie pendant l'opération de mélange est une combinaison linéaire d'au moins le premier et le deuxième flux de données audio et chaque flux de données audio est pondéré par un facteur (a_1 , a_2 , a_3) respectif de pondération.

5. Procédé suivant la revendication 4, dans lequel le facteur (a_1 , a_2 , a_3) de pondération provoque un mélange exponentiel du premier flux de données audio avec une constante de temps déterminée à l'avance suivant la fonction d'approximation et une injection du deuxième flux de données audio suivant la fonction ($P(y)$) de mélange.

6. Procédé suivant la revendication 5, dans lequel la constante de temps déterminée à l'avance de la fonction d'approximation pour le mélange est indépendante d'une constante de temps de la fonction ($P(y)$) de mélange pour l'injection.

7. Procédé suivant la revendication 4, dans lequel la fonction d'approximation pour l'opération de mélange est utilisée et les facteurs (a_1 , a_2 , a_3) de pondération sont calculés approximativement exclusivement par une ou plusieurs additions et/ou multiplications.

8. Procédé suivant l'une des revendications 4 à 7, dans lequel on fait pour l'injection du deuxième flux de données audio une approximation du facteur de pondération par une différence entre un facteur de pondération visé déterminé par la fonction de mélange et une autre fonction de mélange exponentiel ayant une deuxième constante de temps.

9. Prothèse auditive qui peut passer d'un premier état de fonctionnement à un état de deuxième état de fonctionnement, **caractérisée par**

- un dispositif de mesure pour déterminer une première puissance ($P(x_1)$) de signal de sortie d'un premier flux de données audio pour le premier état de fonctionnement et pour déterminer une deuxième puissance ($P(x_2)$) de signal de sortie d'un deuxième flux de données audio pour le deuxième état de fonctionnement.

EP 2 109 330 B1

(x2)) de signal de sortie d'un deuxième flux de données audio pour le deuxième état de fonctionnement, ainsi que par

- un dispositif de commande pour effectuer une opération de mélange en mélangeant les deux flux de données audio de manière à ce que toute la puissance de sortie corresponde au moins par passage pendant une opération de mélange à une fonction (P(y)) de mélange donnée à l'avance et/ou à une fonction d'approximation correspondante, dont la valeur initiale est égale à la première puissance du signal de sortie et dont la valeur finale est égale à la deuxième puissance au signal de sortie.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

(Stand der Technik)

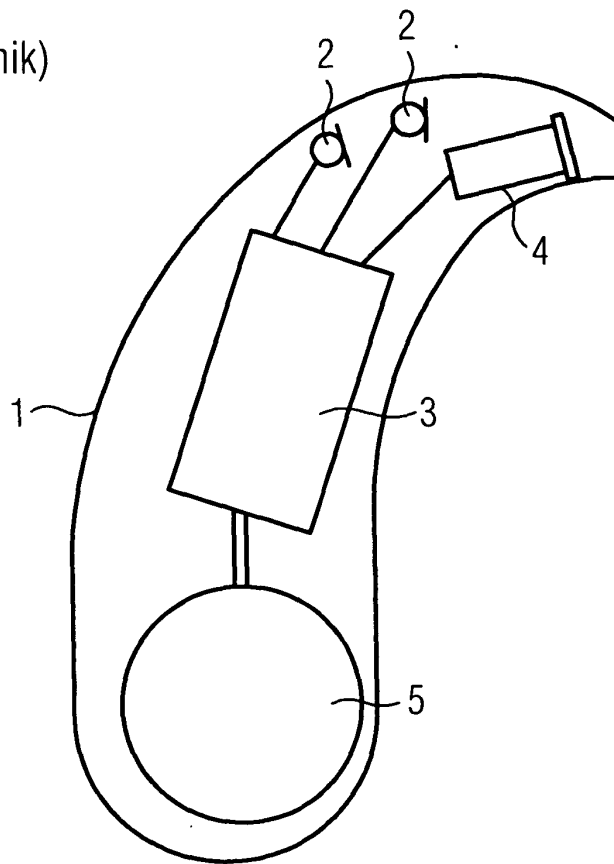


FIG 2

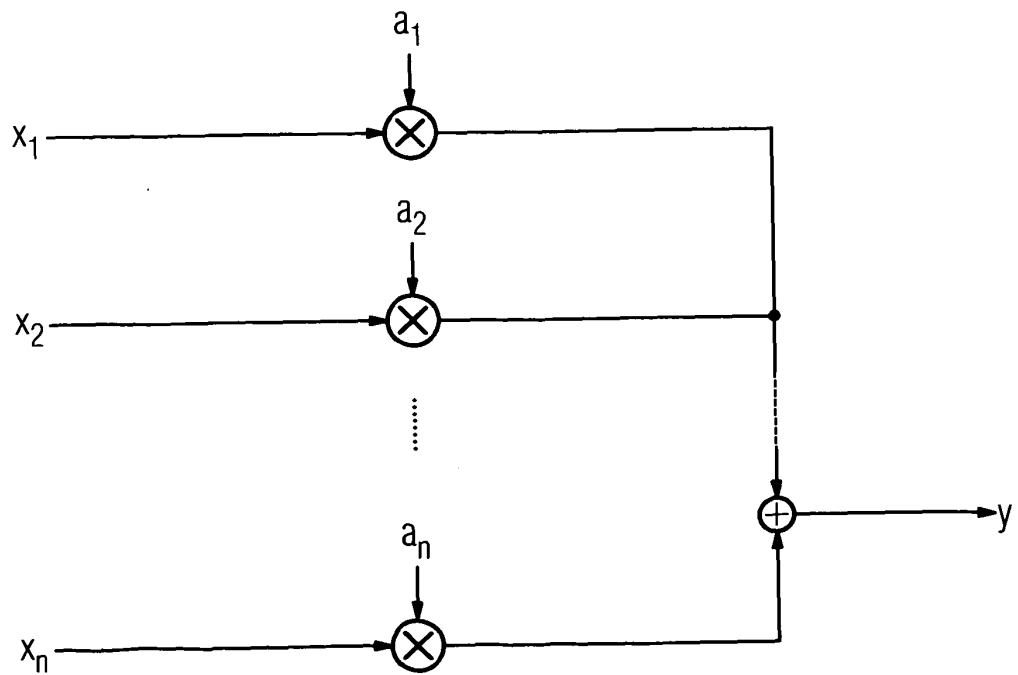


FIG 3

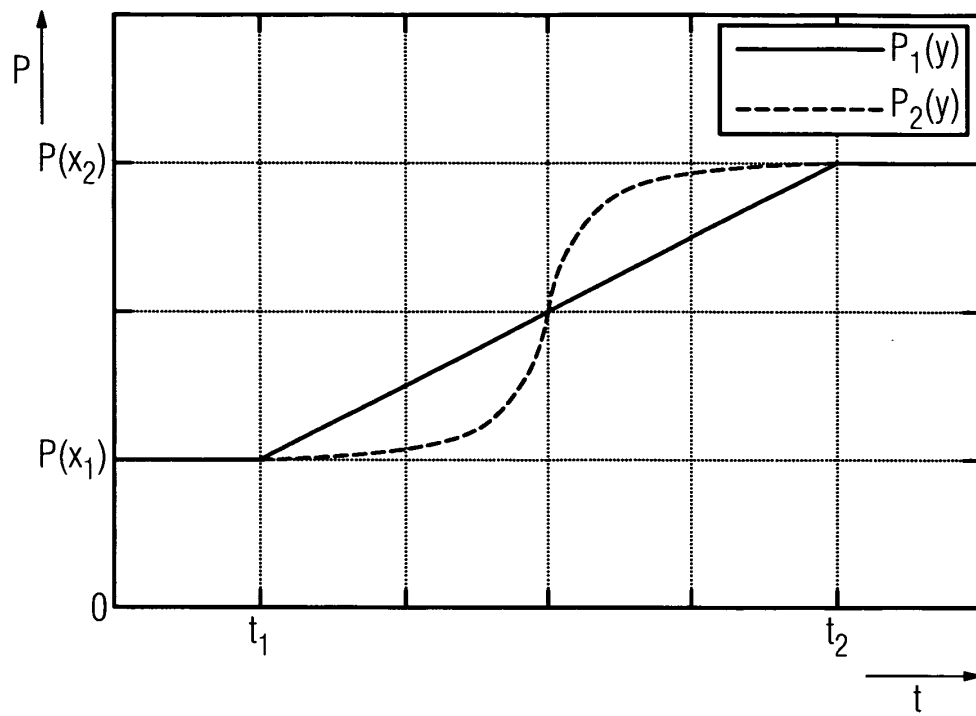


FIG 4

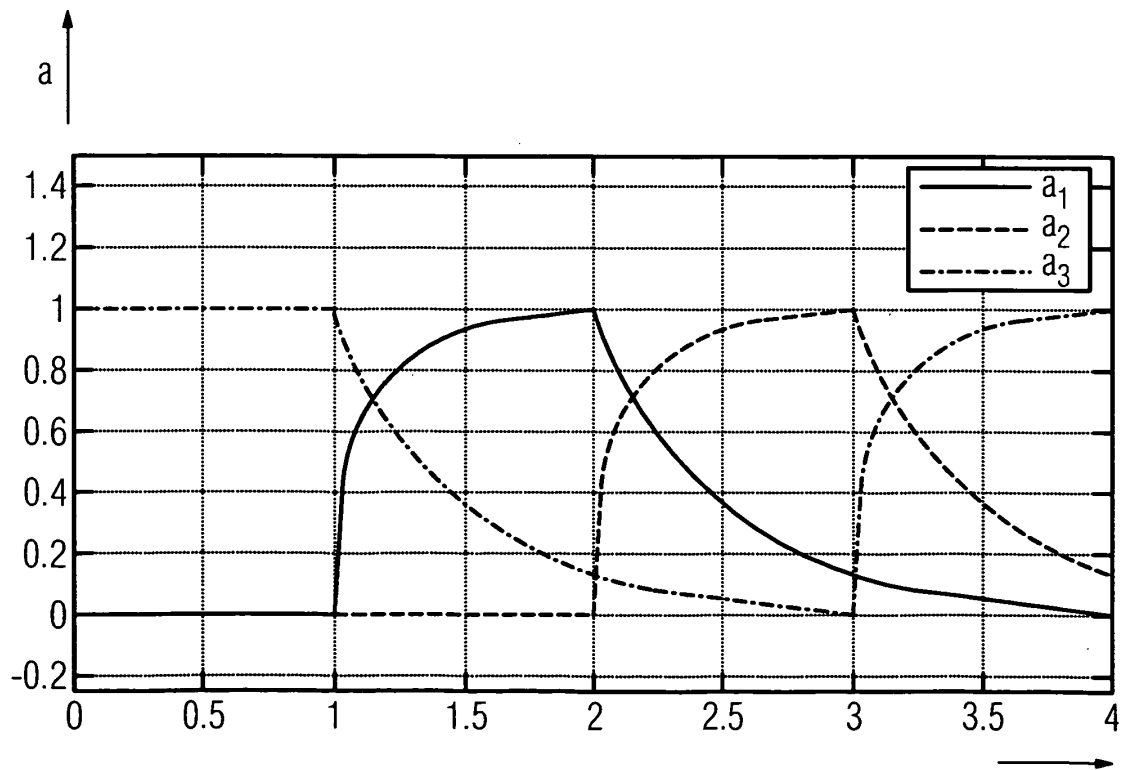


FIG 5

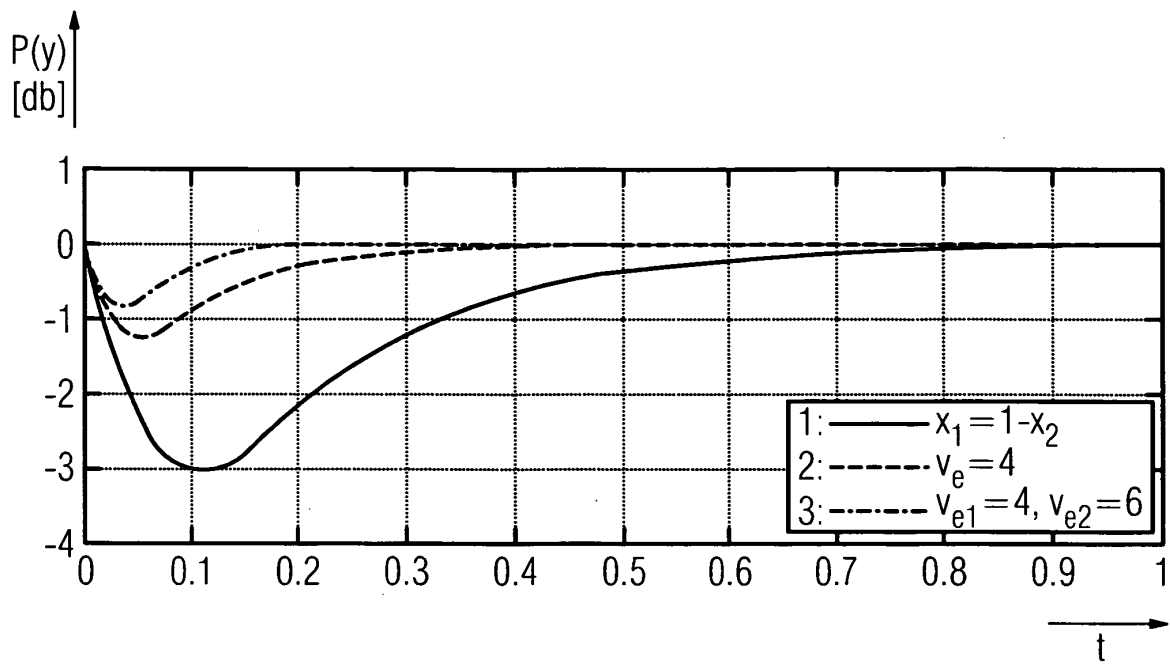
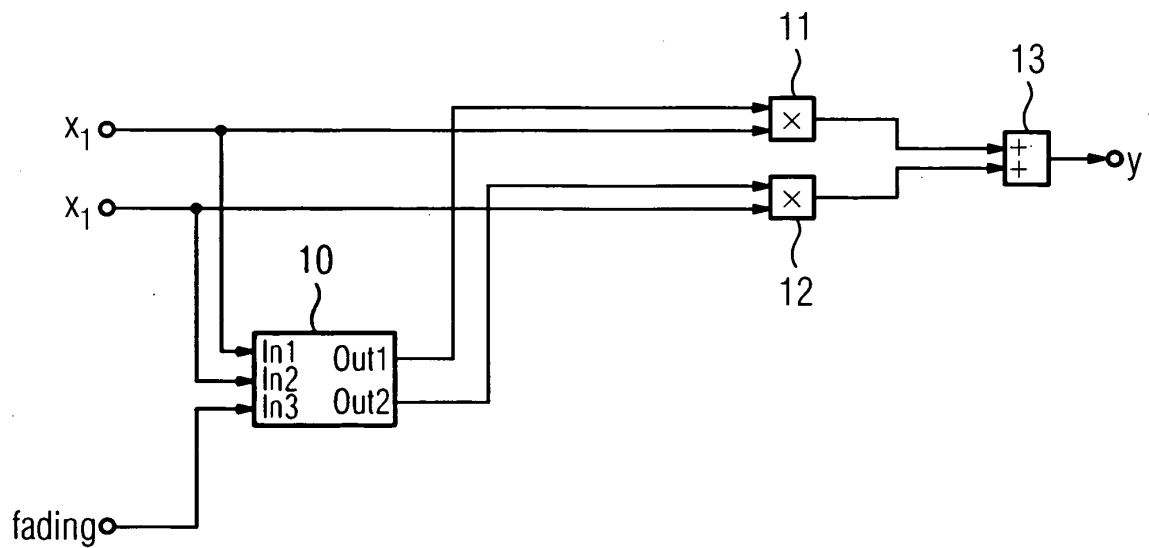


FIG 6



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

- DE 10327890 A1 [0006] [0035] [0036] [0041]
- EP 1307072 A2 [0007]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **Eberhard Hänsler.** Statistische Signale. Springer-Verlag, 1997, vol. 2 [0027]
- **Herbert Schlitt.** Systemtheorie für stochastische Prozesse. Springer Verlag, 1992 [0027]