

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 535 425 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
19.03.1997 Patentblatt 1997/12

(51) Int Cl.⁶: **H04R 25/00**

(21) Anmeldenummer: **92115626.1**

(22) Anmeldetag: **12.09.1992**

(54) **Verfahren zur Verstärkung von akustischen Signalen für Hörbehinderte, sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens**

Method for amplifying an acoustic signal for the hard of hearing and device for carrying out the method

Procédé d'amplification de signaux acoustiques pour les malentendants et dispositif pour la réalisation du procédé

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE DK FR GB IT LI SE

(30) Priorität: **03.10.1991 CH 2923/91**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.04.1993 Patentblatt 1993/14

(73) Patentinhaber: **ASCOM AUDIOSYS AG**
CH-3175 Flamatt (CH)

(72) Erfinder:
• **Fröhlich, Thomas**
CH-5400 Baden (CH)
• **Dillier, Norbert, Dr.**
CH-8006 Zürich (CH)

(74) Vertreter: **Troesch Scheidegger Werner AG**
Patentanwälte,
Siewerdtstrasse 95,
Postfach
8050 Zürich (CH)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 071 845 EP-A- 0 252 205
WO-A-90/09760 GB-A- 2 033 641
GB-A- 2 184 629

• **JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA**, Bd. 88, Nr. 2, August 1990, New York, US, SS 745-753; **J.B. ALLEN ET AL.:** 'Loudness growth in 1/2-octave bands (LGOB) - A procedure for the assessment of loudness'

EP 0 535 425 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verstärkung von akustischen Signalen für Hörbehinderte durch Transformation von für den Hörbehinderten nicht hörbaren Signalen in den hörbaren Bereich, wobei bei der hörbehinderten Person der Hörverlust bestimmt wird und dieser Hörverlust zur Bestimmung der notwendigen Verstärkung verwendet wird, wozu das akustische Signal digitalisiert und blockweise vom Zeitbereich in den Frequenzbereich transformiert wird und aus dem dadurch entstehenden Kurzzeitspektrum eine Schätzung der Lautheit erfolgt, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens, mit einer Verstärkerstufe zur Verstärkung der akustischen Signale und zur Bestimmung der Verstärkerfaktoren der Verstärkerstufe, in welcher eine Berechnung des Hörverlustes für verschiedene Frequenzen in Abhängigkeit des Schallpegels erfolgt, einer Eingangsstufe für das akustische Signal, in welcher eine Filterung und eine Digitalisierung der Signale erfolgt, welcher Eingangsstufe eine Blockbildungsstufe zur Multiplikation des digitalisierten Signals mit einer Fensterfunktion nachgeschaltet ist und der Blockbildungsstufe eine Transformationsstufe zur Transformation des Ausgangssignals der Blockbildungsstufe vom Zeit- in den Frequenzbereich nachgeschaltet ist, wobei die Ausgangssignale der Transformationsstufe der Analysestufe zugeführt sind.

Bei den meisten der heute gebräuchlichen Hörgeräte werden die für den Hörbehinderten nicht hörbaren Signale pauschal in den hörbaren Bereich transformiert, was zur Folge hat, dass auch die als störend empfundenen Hintergrund- und Nebengeräusche verstärkt werden, und zwar in einer Weise, die vom Hörbehinderten als äusserst störend und lästig empfunden wird. Es ist zwar bekannt, gewisse Frequenzen durch wahlweise einschaltbare Filter teilweise auszufiltern, trotzdem kann aber vielen hörbehinderten Personen mit den kommerziell erhältlichen Hörgeräten oft nur schlecht oder gar nicht geholfen werden.

Dies liegt neben den schon genannten Mängeln auch an den noch mangelhaften Erkenntnissen über die Funktionsweise des Gehörs, vor allem des geschädigten Gehörs, und am Mangel an technischen Möglichkeiten, ein dem Restgehör einer Person entsprechendes Hörgerät herzustellen.

Die Symptome eines teilweisen Hörverlusts sind vielfältig, es seien hier die folgenden genannt: Verminderte Intensitätsauflösung, verminderte Frequenzselektivität, verminderte Zeitauflösung, verminderte Störgeräuschtoleranz, und als schwerste Folge, die reduzierte Sprachdiskriminationsfähigkeit.

Aus GB-A-2 184 629 sind zwar ein weiterentwickeltes Verfahren und eine Vorrichtung mit den eingangs definierten Merkmalen bekannt. Ähnliche Techniken werden auch durch EP-A-252 205 und EP-A-71 845 offenbart.

Dieser bekannte Stand der Technik verspricht zwar, gegenüber den konventionellen Hörgeräten Fortschritte zu bringen, vermag jedoch den angestrebten Effekt nicht wesentlich zu verbessern, d.h. er stellt für hörbehinderte Personen keine wirklich entscheidende Hilfe in Richtung "normales" Hören dar.

Durch die Erfindung soll nun ein Verfahren angegeben werden, mit dessen Hilfe die Funktionsfähigkeit von Hörgeräten ganz entscheidend verbessert werden kann.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs definierten Art erfindungsgemäss durch die Merkmale gemäss dem kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 gelöst.

Die ebenfalls Gegenstand der Erfindung betreffende Vorrichtung zur Durchführung des genannten Verfahrens zeichnet sich durch die Merkmale gemäss kennzeichnendem Teil von Anspruch 2 aus.

Die besonders wichtige Analysestufe dient also dazu, eine Funktion zu bestimmen, die für jeden Schallpegel bei einer bestimmten Frequenz diejenige Verstärkung angibt, mit der ein Signal verstärkt werden muss, damit die hörbehinderte Person die gleiche Lautheit empfindet wie normalhörende Personen.

Im folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 ein Diagramm einer gemessenen Lautheitsfunktion bei einer normalhörenden und bei einer hörbehinderten Person,
- Fig. 2 ein Diagramm der für einen bestimmten Ton erforderlichen Verstärkung, damit dieser bei einer normalhörenden und bei einer hörbehinderten Person die gleiche Lautheit hervorruft,
- Fig. 3 ein Diagramm von Kurven gleicher Lautheit bei normalhörenden Personen,
- Fig. 4 ein Diagramm von Kurven gleicher Lautheit bei einer hörbehinderten Person,
- Fig. 5 ein Blockdiagramm der Signalverarbeitung,
- Fig. 6 ein Blockdiagramm des Analyseteils der Signalverarbeitung von Fig. 5; und
- Fig. 7-13 Diagramme zur Funktionserläuterung.

Wie schon erwähnt wurde, werden für den Hörbehinderten nicht hörbare Signale, insbesondere Sprachinformationen, in der Weise in den hörbaren Bereich transformiert, dass die empfundene Lautheit bei normalhörenden und bei hörbehinderten Personen die gleiche ist. Für einfache Signale, wie Sinustöne oder schmalbandiges oder weisses Rauschen ist die Bestimmung relativ einfach und entsprechende Methoden sind bekannt (E. Zwicker: "Psychoakustik", Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1982). Für komplexere Signale, wie Sprache, ist die Lautheitsbe-

stimmung schwieriger und vor allem mathematisch aufwendig.

Zur Lautheitsbestimmung wird zuerst eine sogenannte Hörfeldskalierung durchgeführt (J.B. Allen, J.L. Hall, P.S. Jeng: "Loudness growth in 1/2-octave bands (LGOB) - A procedure for the assessment of loudness", J. Acoustic Society Am., 88/2: 745-753, 1990; R.H. Margolis: "Magnitude estimation of loudness III: Performance of selected hearing aid users", J. Speech and Hearing Res. 28: 411-420, 1985). Dies erfolgt durch Versuche an einer normalhörenden und an der jeweiligen hörbehinderten Person.

Zuerst werden bei einer bestimmten Testfrequenz f_t die Hörschwelle und die Grenze der unbehaglichen Lautstärke gemessen und dann werden der Versuchsperson kurze Töne mit zufällig wechselndem Schallpegel (dB SPL) innerhalb der gemessenen Dynamik angeboten. Nach jedem Ton muss die Versuchsperson die Lautheit auf einer kontinuierlichen Skala von "sehr leise" über "leise", "mittel", "laut" bis "sehr laut" beurteilen. Diesen Attributen der Lautheitsempfindung werden gemäss Fig. 1 zur mathematischen Handhabung Werte zwischen 0 und 100 zugeordnet. Die Messungen werden bei verschiedenen Frequenzen von 250 bis 5000 Hz durchgeführt. Die Skalierungen weisen naturgemäss bei jeder Versuchsperson eine Streuung auf; in Fig. 1 sind jeweils die Meridianwerte von 4 Skalierungen angegeben. Zu diesen gemittelten Messwerten wird eine Regressfunktion bestimmt, welche eine gute Korrelation ergibt.

Für das Verfahren wurde eine Funktion der folgenden Form verwendet:

$$SL_N(L, f) = A_N(f) + B_N(f) \cdot L^2 \quad \text{Formel (1)}$$

In dieser Formel bezeichnet L den Schallpegel (dB SPL) als Variable; $SL_N(L, f)$ die skalierte Lautheit von normalhörenden Personen in Funktion von Schallpegel und Frequenz und $A_N(f)$, $B_N(f)$ die Parameter der Regressfunktion für normalhörende Personen, wobei A und B frequenzabhängig sind. Jede andere gut korrelierende Regressfunktion kann ebenfalls verwendet werden, wobei sich dann die nachfolgenden Funktionen entsprechend der gewählten Funktion ändern.

Die gleiche Messungen werden auch mit hörbehinderten Personen durchgeführt und man erhält die skalierte Lautheit $SL_P(L, f)$ für die hörbehinderte Person:

$$SL_P(L, f) = A_P(f) + B_P(f) \cdot L^2 \quad \text{Formel (2)}$$

Analog zu Formel (1) bezeichnen $A_P(f)$ und $B_P(f)$ die Parameter der Regressfunktion für hörbehinderte Personen. In Fig. 1 gibt die linke, gestrichelte Kurve die skalierte Lautheit SL_N für normalhörende Personen und die rechte, voll ausgezogene Kurve die skalierte Lautheit SL_P für eine hörbehinderte Person wieder, und zwar für eine Testfrequenz f_t von 3000 Hz. Die beiden Lautheitskurven weisen naturgemäss einen gegenseitigen Abstand auf, der den Hörverlust HV der hörbehinderten Person gegenüber einer normalhörenden angibt. Dieser Hörverlust ist von der Frequenz und vom Schallpegel abhängig; in Fig. 1 sind die Hörverlustwerte HV bei der Testfrequenz $f_t = 3000$ Hz für die beiden Schallpegelwerte 20dB und 60 dB eingetragen.

Der Hörverlust HV kann somit durch Vergleiche der Messungen von normalhörenden und hörbehinderten Personen für jede Messfrequenz in Abhängigkeit des Schallpegels berechnet werden.

Der Hörverlust HV ist im allgemeinen vom Schallpegel abhängig, so dass zur Kompensation des Hörverlusts eine schallpegelabhängige Verstärkung (Kompression) nötig ist.

Die Formel für die Berechnung des Hörverlusts HV

$$HV(L, f) = \sqrt{\frac{A_N(f) + B_N(f) \cdot L^2 - A_P(f)}{B_P(f)}} - L \quad \text{Formel (3)}$$

liefert eine Funktion, welche für jeden Schallpegel L bei der Frequenz f die erforderliche Verstärkung angibt, mit der ein sinusförmiges Signal verstärkt werden muss, damit die hörbehinderte Person die gleiche Lautheit empfindet wie normalhörende Personen (Fig. 2).

Die Fig. 3 und 4 zeigen die Ergebnisse der Lautheitsmessung von Fig. 1 in einer Frequenz- Schallpegel-Darstellung, Fig. 3 für normalhörende Personen und Fig. 4 für eine hörbehinderte Person. Die verschiedenen Kurven sind Kurven gleicher Lautheit ähnlich den sogenannten Isophonen, wobei die Beschriftung der Kurven jedoch nicht Phon ist sondern der skalierten Lautheit entspricht. Die Umrechnung von der skalierten Lautheit in Phon wurde und wird hier nicht durchgeführt. Entsprechend wird im weiteren der Ausdruck Isophone für Kurven gleicher skalierten Lautheit verwendet.

Die Funktion gemäss Formel (3) wird nun zur Bestimmung einer frequenz- und intensitätsabhängigen Verstärkung

verwendet, um sowohl für sinusförmige als auch für komplexere Signale bei normalhörenden und bei hörbehinderten Personen die gleiche Lautheitsempfindung zu erzielen. Die Signalverarbeitung ist in den Fig. 5 und 6 dargestellt.

Gemäss Fig. 5 wird das Eingangssignal in einer Eingangsstufe 1 tiefpassgefiltert und digitalisiert und anschliessend einer Blockbildungsstufe 2 zugeführt, in welcher der Signalverlauf zusätzlich mit einem Hanning-Window gewichtet wird. Diese Blockbildung ist erforderlich, um ein Spektrum zu erhalten, oder mit anderen Worten, um das Signal aus dem Zeitbereich in den Frequenzbereich transformieren zu können. In der Blockbildungsstufe 2 wird das Signal wie erwähnt mit einer Fensterfunktion multipliziert. Das Hanning-Window ist nun eine solche Fensterfunktion, und zwar eine kosinusförmige, die gegenüber einer rechteckigen Fensterfunktion den Vorteil besitzt, dass das Spektrum praktisch nicht verschmiert wird. In Fig. 7 ist ein Block der Länge T des Signals im Zeitbereich nach der Multiplikation mit dem Hanning-Window dargestellt.

Das in Fig. 7 dargestellte Zeitsignal wird nun in einer Transformationsstufe 3 vom Zeitbereich mit einer diskreten Fouriertransformation (DFT, FFT) in den Frequenzbereich transformiert und aus dem dabei entstehenden Kurzzeitspektrum wird in einem Analyseblock 4 eine Schätzung der Lautheit errechnet. Die Real- und Imaginärteile des durch die Fouriertransformation erhaltenen Spektrums sind mit $Re_{1...n}$ beziehungsweise $Im_{1...n}$ bezeichnet. Dabei gibt n die Anzahl der Frequenzlinien im Frequenzbereich an. Die Grösse von n ist durch die gewählte Fouriertransformation bestimmt; bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel wurde $n = 64$ gewählt.

Im Analyseblock 4, welcher in Fig. 6 im Detail dargestellt ist, wird das Amplitudenspektrum des Eingangssignals durch das Amplitudenspektrum eines reinen Sinustons ersetzt. Frequenz und Amplitude dieses Sinustons werden so berechnet, dass die Lautheit des Sinustons der Lautheit des Eingangssignals entspricht. Die Frequenz wird berechnet als "Schwerpunkt" des Energiespektrums. Der Lautheitsbildung des Gehörs wird Rechnung getragen durch Umwandlung der Frequenz f in die Tonheit z in Bark (E. Zwicker: "Psychoakustik", Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York; 1982) nach folgender Formel (f in Kilohertz):

$$z(f) = 13 \arctan(0,76 f) + 3,5 \arctan \frac{f}{7,5} \quad \text{Formel (4)}$$

Für die Tonheit z_s des spektralen "Schwerpunkts" gilt:

$$z_s = \frac{\sum_{i=1}^n (z(f_i) \cdot E_i)}{\sum_{i=1}^n E_i} \quad \text{Formel (5)}$$

und für die Energie E_i pro Tonheit

$$E_i = \sum_{k=\mu_i}^{m_o_i} (Re_k^2 + Im_k^2) \quad \text{Formel (6)}$$

wobei

$$m_o_i = \min \left\{ i + \frac{i}{10}, 1, n \right\} \quad \text{und} \quad \mu_i = \max \left\{ i - \frac{i}{10}, 1 \right\}$$

mit $i=1...n$. Die Indices m_o und μ sind Ober- und Untergrenzen von Spektralbändern oder Frequenzgruppen. Formel 6 berechnet also die in eine Frequenzgruppe gehörende Energie; Fig. 8 illustriert Formel (6). Als Näherung für die Berechnung nach Formel (6) gilt, dass die Frequenzgruppenbandbreite 20% der Mittenfrequenz (nach dem schon zitierten Buch von E. Zwicker) beträgt. Aus Formel (5) erhält man den "Schwerpunkt" in Bark und mit Formel (4) erfolgt die Umrechnung in die Frequenz f_s des spektralen "Schwerpunkts" in kHz (iterative Berechnung).

Die Energie E_s , die der Sinuston bei der Frequenz f_s haben muss (E_s = Energie des äquivalenten Sinustons bei der Frequenz des spektralen "Schwerpunkts"), ist eine Funktion der Gesamtenergie E_{tot} (E_{tot} = Gesamtenergie im Frequenzbereich) im Kurzzeitspektrum des Eingangssignals.

$$E_s = F(E_{\text{tot}}) \quad \text{Formel (7)}$$

$$E_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^n \text{Re}_i^2 + \text{Im}_i^2 \quad \text{Formel (8)}$$

Die Funktion F in Formel (7) ist abhängig von den spektralen Eigenschaften des Eingangssignals, wobei für sinusförmige Signale natürlich gilt:

$$E_s = E_{\text{tot}} \quad \text{Formel (9)}$$

Diese Formel ist auch für Sprachsignale brauchbar. Für gleichmässig anregendes Rauschen findet man eine Messung in dem schon zitierten Buch von E. Zwicker.

Aus der Energie E_s des äquivalenten Sinustons wird nun der Schallpegel L_s des äquivalenten Sinustons bestimmt:

$$L_s = 10 \log(E_s) \quad \text{Formel (10)}$$

Alle diese Berechnungen erfolgen in einer Lautheitsschätzungsstufe 5, an deren Ausgang die Frequenz f_s des spektralen "Schwerpunkts" und der Schallpegel L_s des äquivalenten Sinustons erhältlich sind. Mit den Angaben f_s und L_s ist es nun möglich, mit Hilfe der anhand von Fig. 1 beschriebenen Messungen mit normalhörenden Personen, in einer Stufe die zugehörigen Isophone $R_{1...n}$ (Kurven gleicher Lautheit) zu berechnen. Dazu wird L_s in Formel (1) eingesetzt, wodurch man die skalierte Lautheit $SL(L_s, f_s)$ erhält. Um $R_{1...n}$ zu erhalten, löst man Formel (1) nach L auf und setzt die berechnete skalierte Lautheit und die entsprechende Frequenz ein.

Für den Zusammenhang zwischen den effektiven Schallpegelwerten, die bei der Messung verwendet werden, und den Zahlenwerten im Frequenzbereich gilt folgende Ueberlegung: Ein sinusförmiges Signal am Eingang des Systems muss entsprechend der Funktion des Hörverlusts nach Formel (3) verstärkt werden. Im Frequenzbereich sind die Zahlen nun so normiert, dass der aus der Gesamtenergie E_{tot} berechnete Schallpegel L_s für ein sinusförmiges Signal gerade dem Schallpegel L_{tot} entspricht. Daher kann die Formel (10) auch auf folgende Weise angeschrieben werden:

$$L_{\text{tot}} = 10 \log(E_{\text{tot}}) \quad \text{Formel (11)}$$

Die Formel (11) stellt also den Zusammenhang zwischen den Messungen einerseits und den im Frequenzbereich benutzten Zahlenwerten andererseits her.

Wie Fig. 6 weiter zu entnehmen ist, wird parallel zur Bestimmung der Isophone die in der spektralen Energieverteilung steckende Information berechnet. Letzteres erfolgt durch eine starke Glättung des in einer Stufe 7 berechneten logarithmischen Amplitudenspektrums in einer Glättungsstufe 8. Dabei interessiert nur die grobe Verteilung der Energie, also die Frage, ob es sich um ein flaches, ansteigendes oder abfallendes Spektrum handelt. Bei dieser Glättung werden die Amplituden A_i des logarithmischen Amplitudenspektrums durch den Mittelwert der benachbarten Amplituden A_{i-m} bis A_{i+m} ersetzt.

Für das geglättete logarithmische Amplitudenspektrum A'_i gilt folgende Formel

$$A'_i = \frac{1}{m_1 + m_2 + 1} \cdot \sum_{k=i-m_1}^{i+m_2} A_k \quad \begin{matrix} m_2 = \min\{i+m, n\} \\ m_1 = \max\{i-m, 1\} \end{matrix} \quad i=1 \dots n \quad \text{Formel (12)}$$

mit

$$A_k = 10 \log(\operatorname{Re}_k^2 + \operatorname{Im}_k^2) \quad \text{Formel (13)}$$

Dabei wird m so gewählt, dass die Formantstruktur des Spektrums nicht mehr erkennbar ist (bei $n=64$ ist für m ein Wert zwischen 20 und 40 sinnvoll).

Das geglättete Spektrum A_i' wird nun in einer Korrekturstufe 9 um eine Konstante ΔK korrigiert, und zwar gemäss Fig. 9 derart, dass die Amplitude bei der Frequenz f_s des Schwerpunkts gerade die gleiche Energie hat wie die berechnete Energie E_s des Schwerpunkts. Für die Korrekturkonstante ΔK und für das korrigierte geglättete logische Amplitudenspektrum S_i gelten folgende Formeln:

$$\Delta K = L_s - A_s' \quad (L_s \text{ und } A_s' \text{ in dB}) \quad \text{Formel (14)}$$

$$S_i = A_i' + \Delta K \quad i=1 \dots n \quad \text{Formel (15)}$$

Gemäss Fig. 6 stehen für die weitere Bearbeitung zwei Funktionen zur Verfügung, und zwar einerseits die Isopone $R_{1 \dots n}$ und andererseits das um ΔK korrigierte stark geglättete Spektrum $S_{1 \dots n}$. Beide Funktionen, die gemäss Fig. 9 bei der Frequenz f_s des Schwerpunkts den gleichen Wert haben, werden einer Stufe 10 zugeführt, in welcher eine individuelle Anpassung an die hörbehinderte Person erfolgt. Durch Versuche mit der hörbehinderten Person wird eine Konstante ermittelt, mit welcher der Einfluss von $R_{1 \dots n}$ und $S_{1 \dots n}$ auf die nachfolgende Verstärkungsberechnung bestimmt werden kann.

Für die äquivalenten Schallpegel L_i zur Steuerung der Verstärkung gilt:

$$L_i = R_i + \alpha(S_i - R_i) \quad i=1 \dots n, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad \text{Formel (16)}$$

Die Bestimmung der Verstärkungsfaktoren in einer Stufe 11 erfolgt mit Hilfe der Funktion (3).

Zur Erhöhung des Schallpegels eines sinusförmigen Signals um 1dB muss E_{tot} im Frequenzbereich um 1dB erhöht werden. Dies erreicht man durch Multiplikation des Spektrums (Real- und Imaginärteile) mit

$$10^{\frac{1}{20}}$$

so dass sich die Verstärkungsfaktoren direkt aus der Formel (3) in dB ergeben (0dB = Verstärkung 1). Nach der Umrechnung in lineare Faktoren wird das Eingangsspektrum mit diesen Faktoren G multipliziert, was in einer Modifikationsstufe 12 (Fig. 5) erfolgt. Es werden Real- und Imaginärteil je mit dem gleichen Faktor multipliziert, so dass nur das Amplitudenspektrum verändert wird, das Phasenspektrum aber gleich bleibt.

Fig. 10 zeigt die Verstärkungsfaktoren für die beiden Grenzwerten $\alpha=0$ und $\alpha=1$. Wird $\alpha=0$ gewählt, dann wird $L_i=R_i$. Damit erreicht man, da R eine Isophone ist, dass die Verstärkungsfaktoren G_i so festgelegt werden, dass die in dB angegebenen Differenzen des geglätteten logarithmischen Eingangsamplitudenspektrums A_i' und der Isophone R_i gleich gross sind wie die Differenzen des modifizierten Eingangsspektrums und der entsprechenden Isophone der hörbehinderten Person. (Die Berechnung des modifizierten Amplitudenspektrums ist für die Verarbeitung nicht nötig und wird auch nicht durchgeführt; sie dient hier lediglich der Illustration). Mit dieser Wahl von α wird sichergestellt, dass diejenigen Anteile des Signals, welche am meisten zur Lautheitsbildung beitragen, richtig, oder mit anderen Worten, so verstärkt werden, dass die hörbehinderte Person den gleichen Lautheitseindruck hat wie eine normalhörende Person.

Wird $\alpha=1$ gewählt, dann wird $L_i=S_i$. Dadurch werden diejenigen Signalanteile verstärkt, welche zur Bildung der Lautheit nur wenig beitragen, und zwar soweit, dass sie für den Hörbehinderten hörbar werden, aber nicht zu einer wesentlichen Erhöhung der Lautheit führen. Letzteres lässt sich den Fig. 11 und 12 entnehmen, von denen Fig. 11 ein Originalspektrum mit Isophonen normalhörender Personen und Fig. 12 ein modifiziertes Sepktrum mit Isophonen einer hörbehinderten Person zeigt. Mit α kann eingestellt werden, wie stark diejenigen spektralen Anteile verstärkt werden sollen, die weit entfernt von der Schwerpunktfrequenz liegen.

Das in der Funktionsstufe 12 modifizierte Spektrum wird nun in einem Funktionsblock 13 mit einer inversen Fouriertransformation in den Zeitbereich zurücktransformiert. Fig. 13 zeigt das Zeitsignal nach der Verarbeitung. Die verarbeiteten Blöcke gemäss Fig. 13 werden in einer Rekonstruktionsstufe 14 überlappend addiert. Die Signalverarbeitung

erfolgt nach dem Overlap-Add-Algorithmus von Allen (J.B. Allen: "Short Term Spectral Analysis, Synthesis and Modification by Discrete Fourier Transform", IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. ASSP-25, 235-238, 1977), wodurch man wieder ein kontinuierliches Zeitsignal erhält. Letzteres wird in einer Ausgangsstufe 15 über einen D/A-Wandler und Tiefpassfilter in ein akustisches Signal umgewandelt, welches an das Trommelfell der hörbehinderten Person geführt ist und somit das Eingangssignal für deren Ohr bildet.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verstärkung von akustischen Signalen für Hörbehinderte durch Transformation von für den Hörbehinderten nicht hörbaren Signalen in den hörbaren Bereich, wobei bei der hörbehinderten Person der Hörverlust (HV) bestimmt wird und dieser Hörverlust zur Bestimmung der notwendigen Verstärkung verwendet wird, wozu das akustische Signal digitalisiert und blockweise vom Zeitbereich in den Frequenzbereich transformiert wird und aus dem dadurch entstehenden Kurzzeitspektrum eine Schätzung der Lautheit erfolgt, dadurch gekennzeichnet, dass zur Lautheitsschätzung ein äquivalentes Spektrum berechnet wird, welches aus einer Frequenzlinie einer bestimmten Frequenz (f_s) mit einer entsprechenden Energie (E_s) besteht, und aus dieser die Energie des äquivalenten Tons bei der genannten Frequenz darstellenden Amplitude der Schallpegel (L_s) berechnet wird, wobei letzterer dem Zehnfachen des Zehnerlogarithmus der genannten Energie entspricht, wobei die genannte Frequenz (f_s) als Schwerpunkt eines Energiespektrums berechnet wird, dessen Bandbreite einige Prozent, vorzugsweise 10 bis 25%, der Mittenfrequenz dieses Spektrums beträgt, dass aus der Frequenz (f_s) und aus dem entsprechenden Schallpegel (L_s) die dazugehörige Isophone (R_i) berechnet, und dass die in der spektralen Energieverteilung des Amplitudenspektrums des Kurzzeitspektrums enthaltene Information bestimmt wird, wobei letzteres durch eine Glättung des Amplitudenspektrums erfolgt, und dass das geglättete Spektrum um eine Konstante (ΔK) so korrigiert wird, dass die Amplitude bei der Frequenz (f_s) des Schwerpunkts die gleiche Energie hat wie dessen berechnete Energie (E_s), und dass das so korrigierte geglättete Spektrum (S_i) zusammen mit der Isophone (R_i) zur Steuerung der Verstärkungsfaktoren verwendet wird.
2. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, mit einer Verstärkungsstufe zur Verstärkung der akustischen Signale, mit einer Stufe (4) zur Analyse der genannten Signale und zur Bestimmung der Verstärkungsfaktoren (G_i) der Verstärkungsstufe, in welcher eine Berechnung des Hörverlust (HV) für verschiedene Frequenzen (f) in Abhängigkeit des Schallpegels (L) erfolgt, einer Eingangsstufe (1) für die akustischen Signale, in welcher eine Filterung und eine Digitalisierung der Signale erfolgt, welcher Eingangsstufe (1) eine Blockbildungsstufe (2) zur Multiplikation des digitalisierten Signals mit einer Fensterfunktion, vorzugsweise mit einem sogenannten Hanning-Window, nachgeschaltet ist und der Blockbildungsstufe (2) eine Transformationsstufe (3) zur Transformation des Ausgangssignals der Blockbildungsstufe vom Zeit- in den Frequenzbereich nachgeschaltet ist, wobei die Ausgangssignale der Transformationsstufe der Analysestufe (4) zugeführt sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Analysestufe (4) eine Funktionsstufe (5) zur Lautheitsschätzung aufweist, durch welche die Berechnung eines äquivalenten, aus einer Frequenzlinie einer bestimmten Frequenz (f_s) und einer bestimmten Energie (E_s) bestehenden Spektrums erfolgt, wobei die genannte Frequenz (f_s) als Schwerpunkt eines Energie-spektrums berechnet wird, dessen Bandbreite einige Prozent, vorzugsweise 10 bis 25%, der Mittenfrequenz dieses Spektrums beträgt, ferner durch eine Funktionsstufe (7, 8) zur Berechnung des Amplitudenspektrums (A_i) des Kurzzeitspektrums des Eingangssignals der Analysestufe (4) und zu dessen Glättung, und durch Mittel (9) zur Korrektur des geglätteten Amplitudenspektrums (A_i) mit einer Konstanten (ΔK), wobei diese Korrektur so erfolgt, dass die Amplitude bei der Frequenz (f_s) des Schwerpunkts die gleiche Energie aufweist wie dessen berechnete Energie (E_s), wobei in der Stufe (5) zur Lautheitsschätzung aus der die Energie (E_s) des äquivalenten Tons bei der genannten Frequenz (f_s) darstellenden Amplitude eine Berechnung des Schallpegels (L_s) erfolgt, und dass eine Funktionsstufe (6) zur Berechnung der Isophone (R_i) aus dem Schallpegel und der genannten Frequenz vorgesehen ist, welche Isophone (R_i) und das korrigierte, geglättete Amplitudenspektrum (S_i) einer gemeinsamen Stufe (11) zur Bestimmung der Verstärkungsfaktoren (G_i) zugeführt sind.

Claims

1. Method for the amplification of acoustic signals for the hard of hearing through conversion of signals not audible for the hard of hearing into the audible range, the loss of hearing (HV) for the partially deaf person being determined and this loss of hearing being used for the determining of the necessary amplification, the acoustic signal being digitalized and converted blockwise from the time range into the frequency range and a valuation of the loudness resulting from the short time-spectrum produced thereby, characterized in that for the loudness valuation, an equiv-

alent spectrum is calculated, which consists of a frequency line with a determined frequency (f_s) with a corresponding energy (E_s) and, from this amplitude representing the energy of the equivalent tone for the said frequency, the sound level (L_s) is calculated, the latter corresponding to the tenfold of the decimal logarithm of the said energy, the said frequency (f_s) being calculated as the center of gravity of an energy spectrum, the band width of which is equal to some percents, preferably 10 to 25 % of the central frequency of this spectrum, in that from the frequency (f_s) and from the corresponding sound level (L_s), the associated isophone (R_i) is calculated and in that the information, contained in the spectral energy distribution of the amplitude spectrum of the short time-spectrum is determined, the latter being effected by a smoothing of the amplitude spectrum, and in that the smoothed spectrum is corrected by a constant (ΔK) in such a manner that the amplitude for the frequency (f_s) of the center of gravity has the same energy as the calculated energy (E_s) thereof and in that the smoothed spectrum (S_i) thus corrected together with the isophone (R_i) is used for the control of the amplification factors.

2. Device for carrying out the method according to claim 1, with an amplification stage for the amplification of the acoustic signals, with a stage (4) for the analysis of the said signals and for the determining of the amplification factors (G_i) of the amplification stage, wherein a calculation of the loss of hearing (HV) for different frequencies (f) as a function of the sound level (L) is effected, with an input stage (1) for the acoustic signals, in which a filtering and a digitalizing of the signals is effected, after which input stage (1) is connected a block diagram formation stage (2) for the multiplication of the digitalized signals by a window function, preferably by a so-called Hanning-window and after the block diagram formation stage (2) is connected a conversion stage (3) for the conversion of the output signal of the block diagram formation stage from the time range into the frequency range, the output signals of the conversion stage being supplied to the analysis stage (4), characterized in that the analysis stage (4) comprises a function stage (5) for the loudness valuation by which is effected the calculation of an equivalent spectrum consisting of a frequency line with a determined frequency (f_s) and of a determined energy (E_s), the said frequency (f_s) being calculated as the center of gravity of an energy spectrum, the band width of which comprises some percents, preferably 10 to 25 % of the central frequency of this spectrum, moreover by a function stage (7, 8) for the calculation of the amplitude spectrum (A_i) of the short time-spectrum of the input signal of the analysis stage (4) and for the smoothing thereof, and by means (9) for the correction of the smoothed amplitude spectrum (A'_i) by a constant (ΔK), this correction being so effected that the amplitude for the frequency (f_s) of the centre of gravity exhibits the same energy as the calculated energy (E_s) thereof, and in the stage (5) for the loudness valuation, a calculation of the sound level (L_s) is effected from the amplitude representing the energy (E_s) of the equivalent tone for the said frequency (f_s), and in that a function stage (6) for the calculation of the isophone (R_i) from the sound level and from the said frequency is provided, which isophone (R_i) and the corrected smoothed amplitude spectrum (S_i) are fed to a common stage (11) for the determining of the amplification factors (G_i).

Revendications

1. Procédé pour l'amplification de signaux acoustiques pour des malentendants par transformation de signaux inaudibles par les malentendants dans la plage audible où chez la personne malentendante, on détermine la perte d'audition (HV) et cette perte d'audition est utilisée pour la détermination de l'amplification nécessaire, le signal acoustique est mis sous forme numérique et est transformé par bloc, de la plage des temps à la plage des fréquences et il se produit, du spectre instantané qui en résulte une évaluation de l'intensité du son, caractérisé en ce que pour l'évaluation de l'intensité du son, on calcule un spectre équivalent qui se compose d'une ligne de fréquence à une fréquence déterminée (f_s) avec une énergie correspondante (E_s), et de là, on calcule l'énergie du ton équivalent à l'amplitude présentant ladite fréquence du niveau sonore (L_s), qui correspond au décuple du logarithme ordinaire de ladite énergie, ladite fréquence (f_s) étant calculée en tant que le barycentre d'un spectre d'énergie dont la largeur de bande représente quelques pour cent, avantageusement 10 à 25%, de la fréquence moyenne de ce spectre, en ce que de la fréquence (f_s) et du niveau sonore (L_s) correspondant, on calcule l'isophone correspondante (R_i), et en ce que l'information est déterminée qui est contenue dans la répartition spectrale d'énergie du spectre d'amplitude du spectre instantané, cela se produisant par un lissage du spectre d'amplitude et en ce que le spectre lissé est corrigé d'une constante (Δk) de manière que l'amplitude à la fréquence (f_s) du barycentre ait la même énergie que son énergie calculée (E_s) et en ce que le spectre lissé (S_i) ainsi corrigé est utilisé en même temps que l'isophone (R_i) pour le contrôle des facteurs d'amplification.
2. Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1 avec un étage amplificateur pour l'amplification des signaux acoustiques, avec un étage (4) pour l'analyse desdits signaux et pour la détermination des facteurs d'amplification (G_i) des étages d'amplification, où se produit un calcul de la perte auditive (HV) pour diverses fréquences (f) selon le niveau sonore (L), un étage d'entrée (1) pour les signaux acoustiques où se produit

une filtration et une mise sous forme numérique du signal, lequel étage d'entrée (1) est suivi d'un étage de formation de blocs (2) pour la multiplication du signal sous forme numérique avec une fonction de fenêtre, avantageusement avec une fenêtre appelée de Hanning, et l'étage de formation de blocs est suivi d'un étage de transformation (3) pour la transformation du signal à la sortie de l'étage de formation de blocs de la plage des temps à la plage des fréquences, et les signaux à la sortie de l'étage de transformation sont conduits à l'étage d'analyse (4) caractérisé en ce que l'étage d'analyse (4) présente un étage de fonction (5) pour l'évaluation de l'intensité du son, par lequel se produit le calcul d'un spectre équivalent à partir d'une ligne de fréquence à une fréquence prédéterminée (f_s) et d'une énergie déterminée (E_s), ladite fréquence (f_s) étant calculée en tant que le barycentre d'un spectre d'énergie, dont la largeur de bande représente quelques pour cents, avantageusement 10 à 25%, de la fréquence moyenne de ce spectre, de plus par un étage de fonction (7, 8) pour le calcul du spectre d'amplitude (A_i) du spectre instantané du signal d'entrée de l'étage d'analyse (4) et pour son lissage et par des moyens (9) pour la correction du spectre lissé d'amplitude (A_i) avec une constante (Δk), cette correction se produisant de manière que l'amplitude à la fréquence (f_s) du barycentre présente la même énergie que son énergie calculée (E_s), et à l'étage (5), pour l'évaluation de l'intensité du son, il se produit un calcul du niveau sonore (L_s) à partir de l'amplitude représentant l'énergie (E_s) du ton équivalent à ladite fréquence (f_s) et en ce qu'un étage de fonction (6) est prévu pour le calcul de l'isophone (R_i) à partir du niveau sonore et de ladite fréquence, laquelle isophone (R_i) et le spectre d'amplitude lissé corrigé (S_i) sont conduits à un étage commun (11) pour la détermination des facteurs d'amplification (G_i).

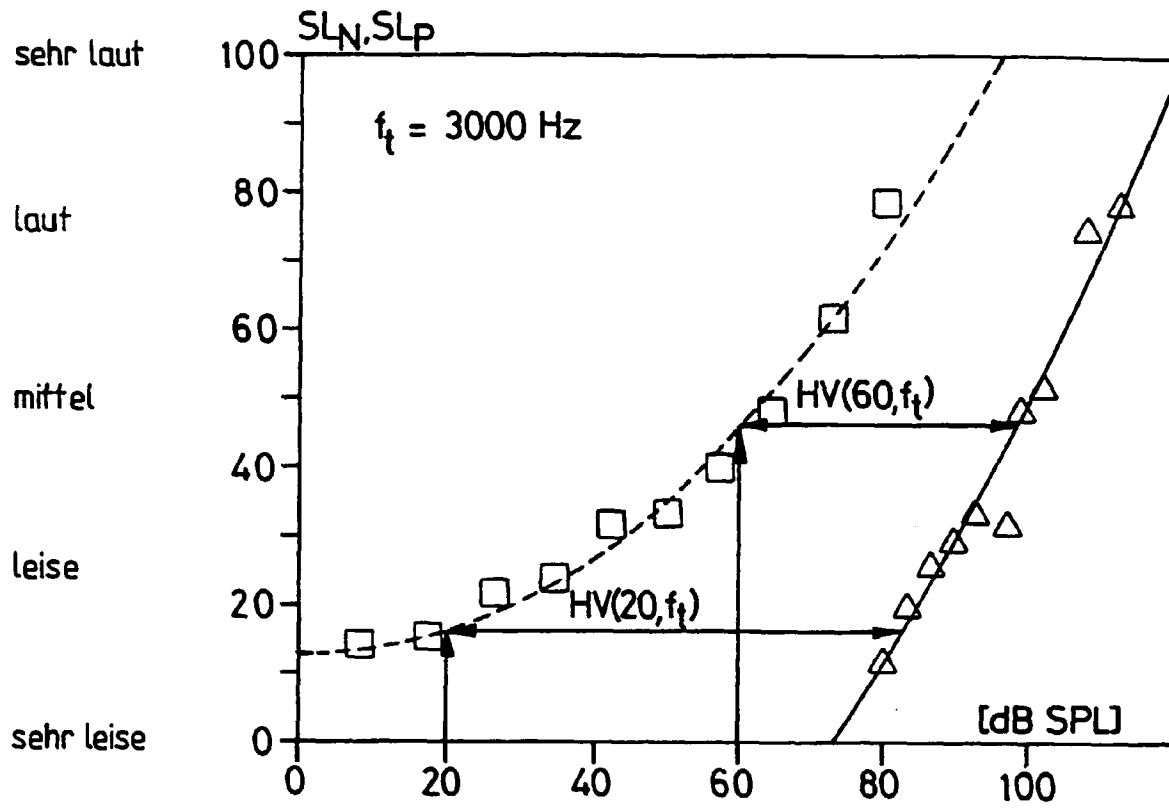


FIG. 1

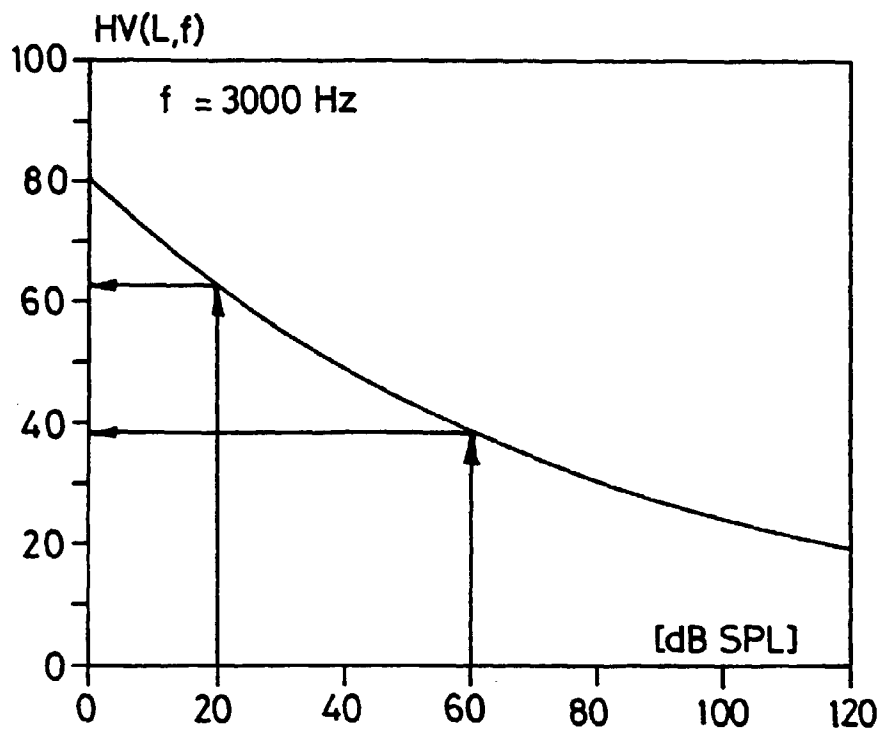


FIG. 2

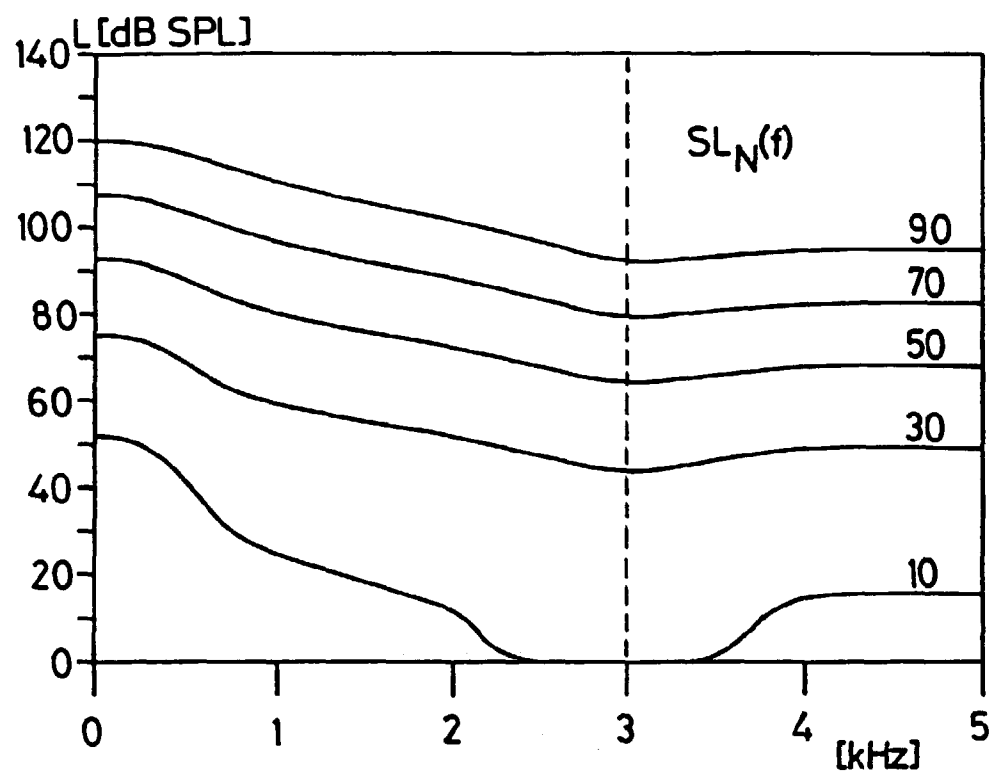


FIG. 3

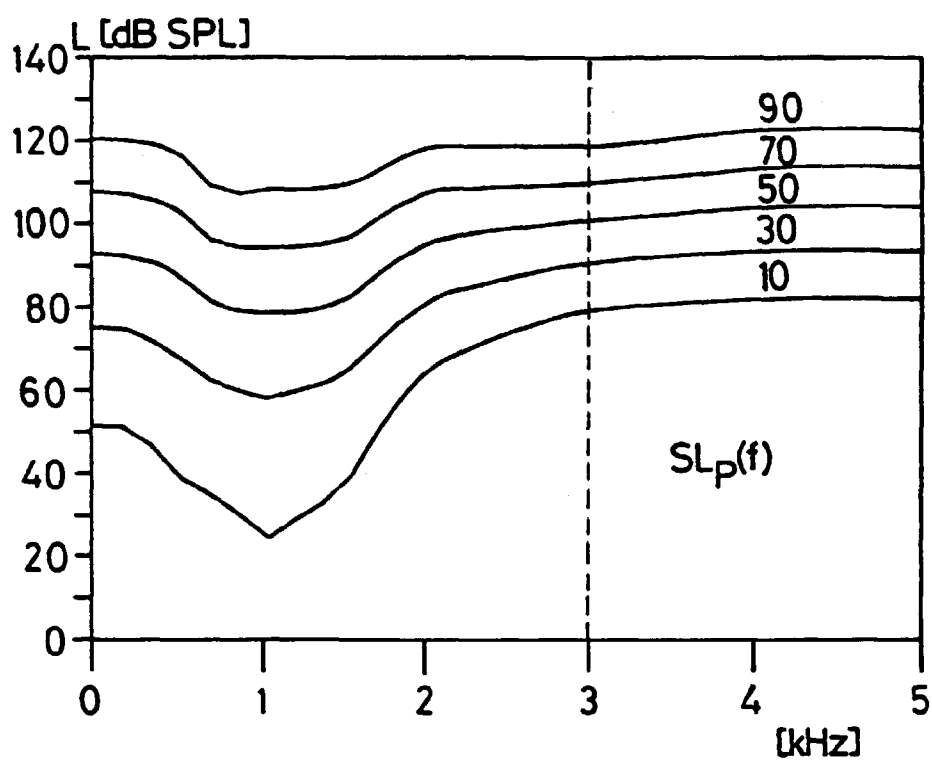


FIG. 4

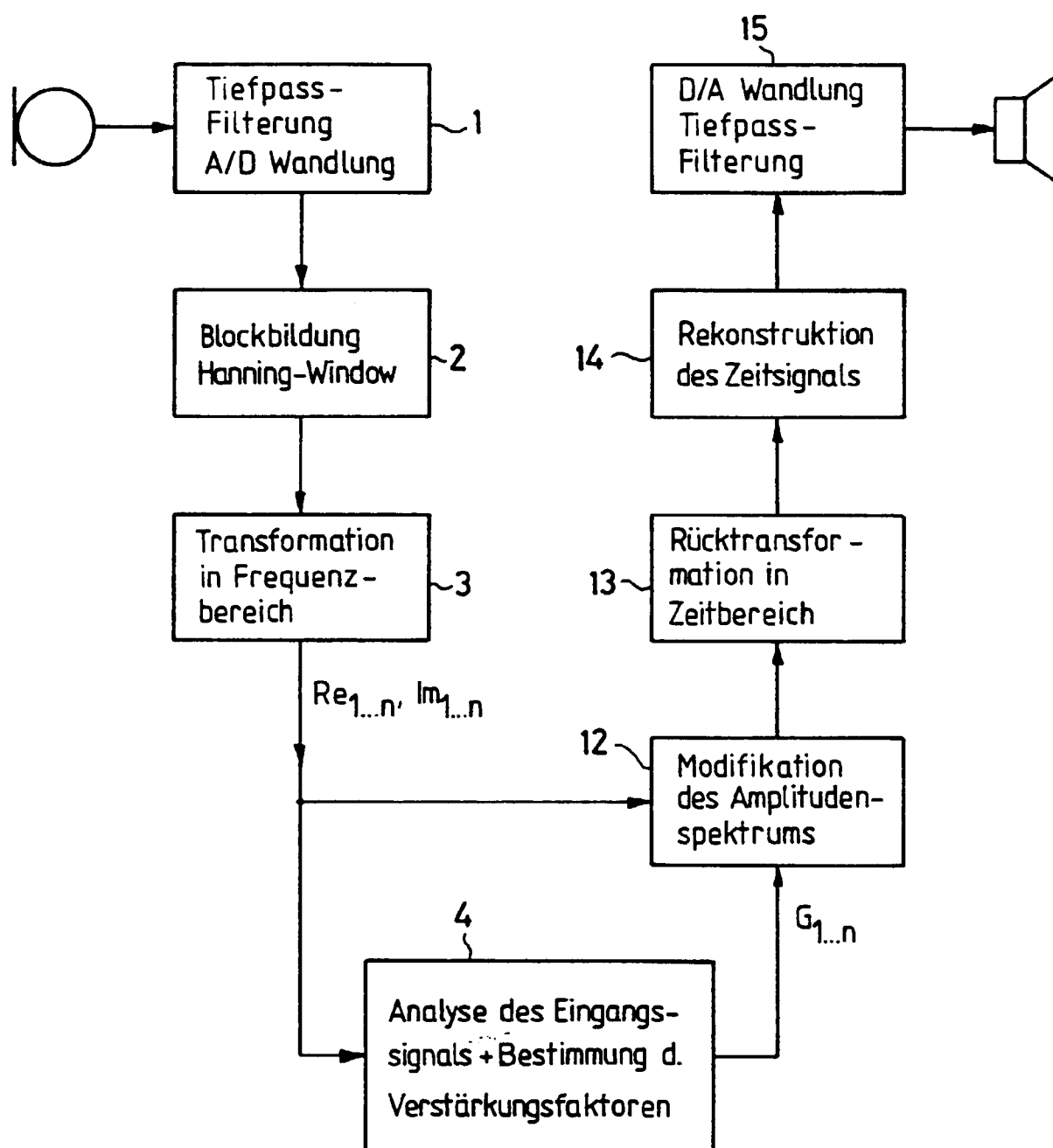
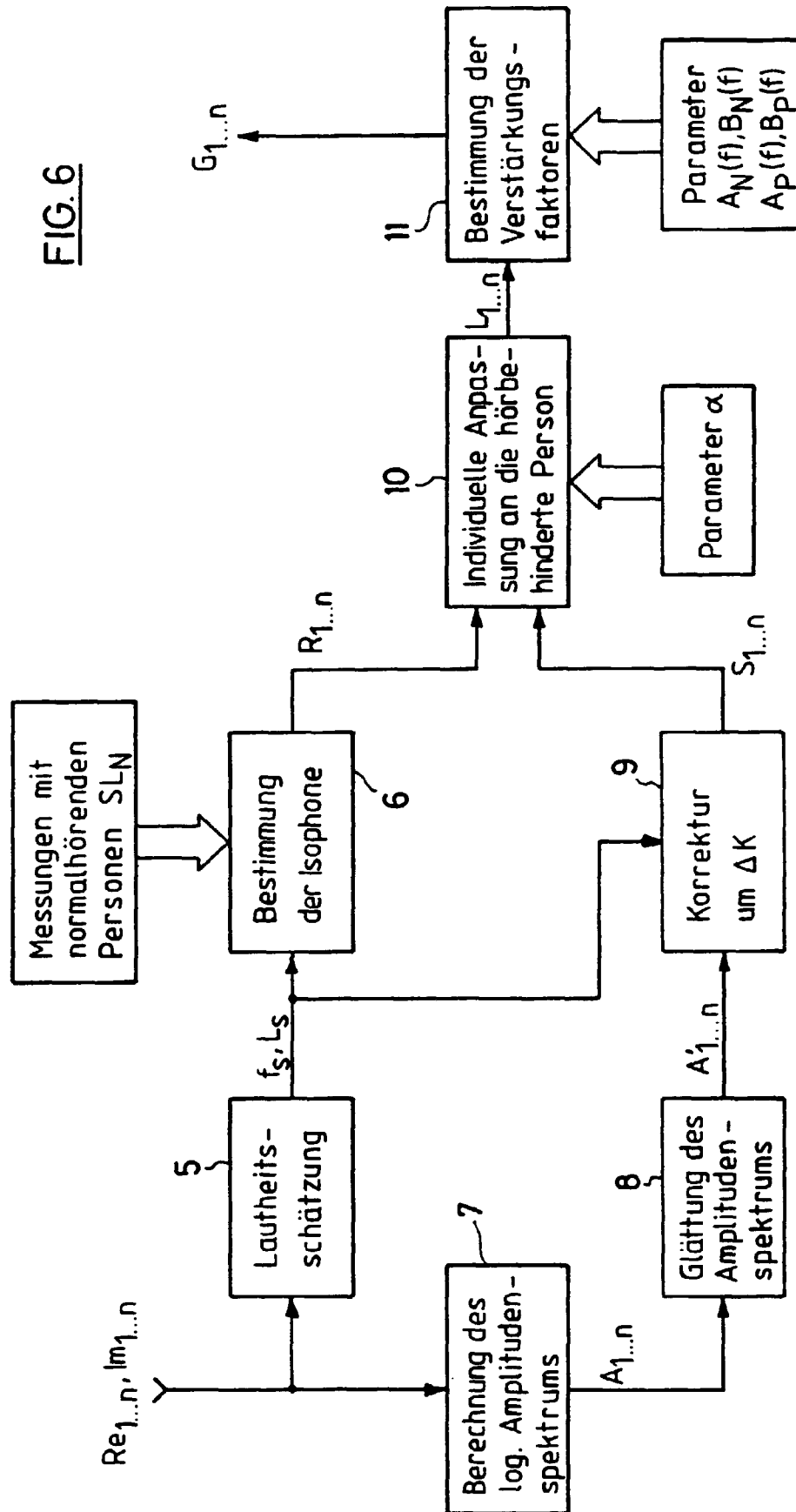


FIG. 5

FIG. 6



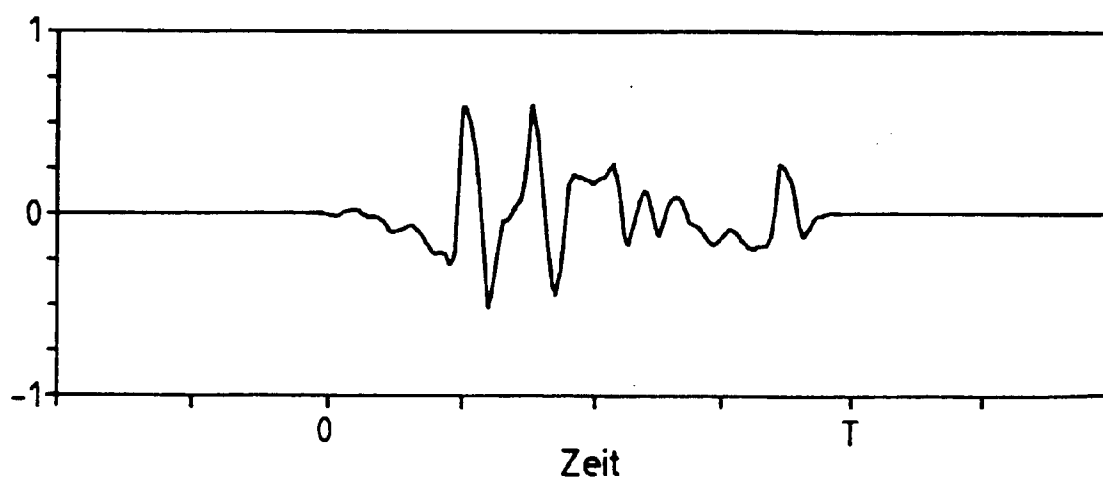
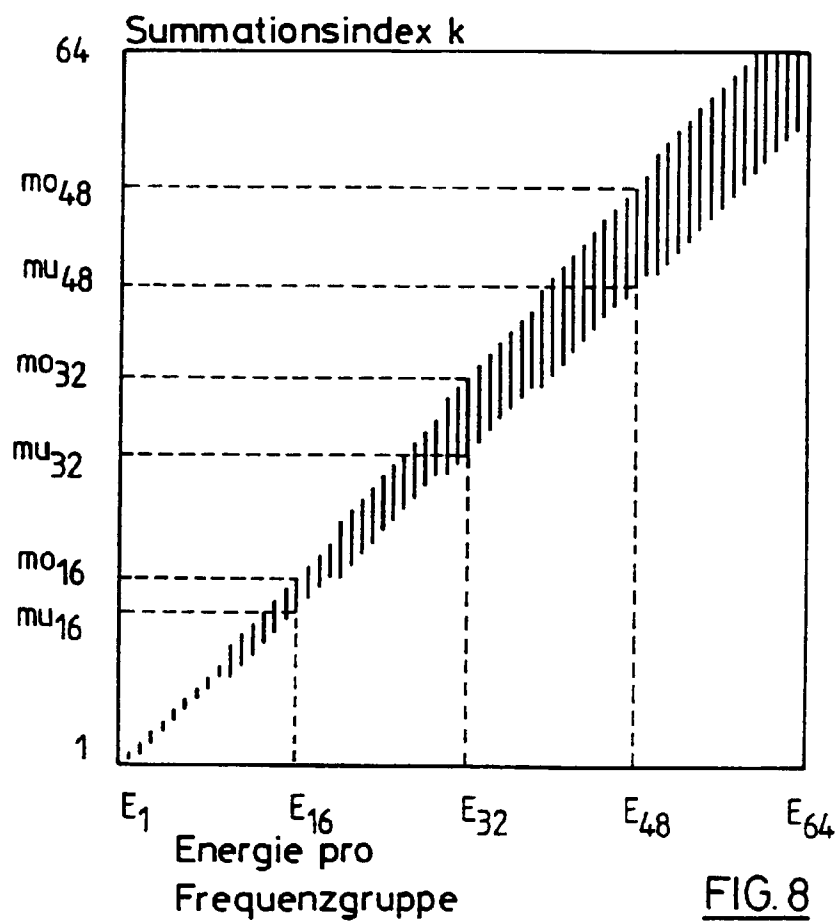
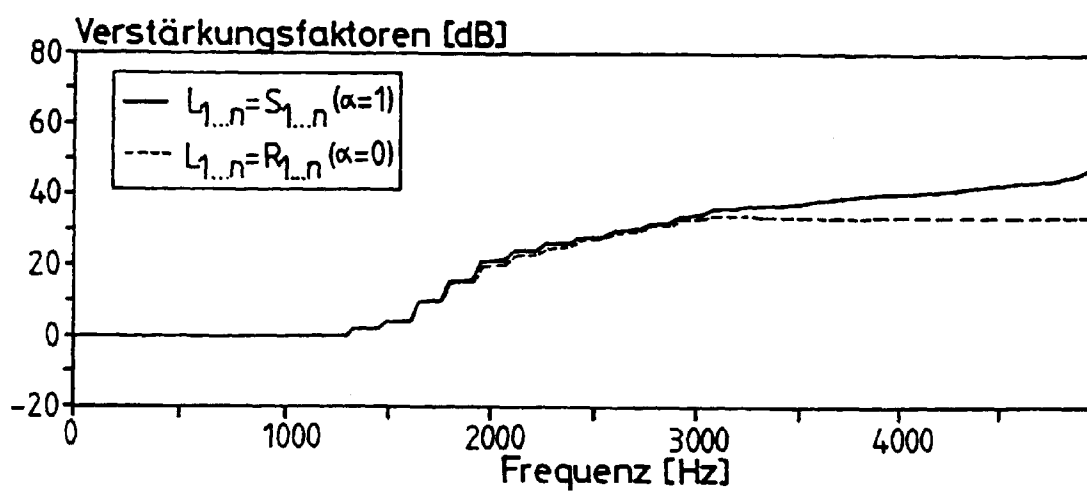
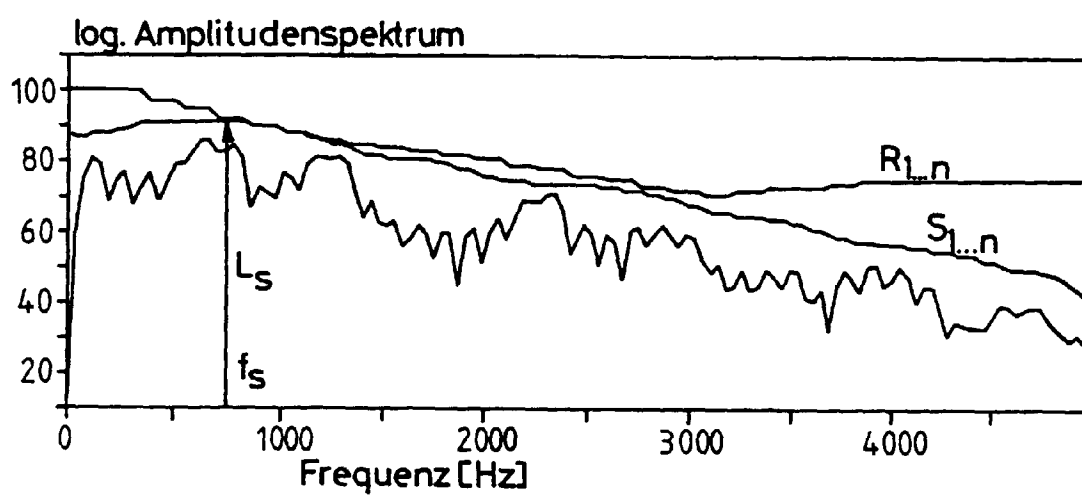
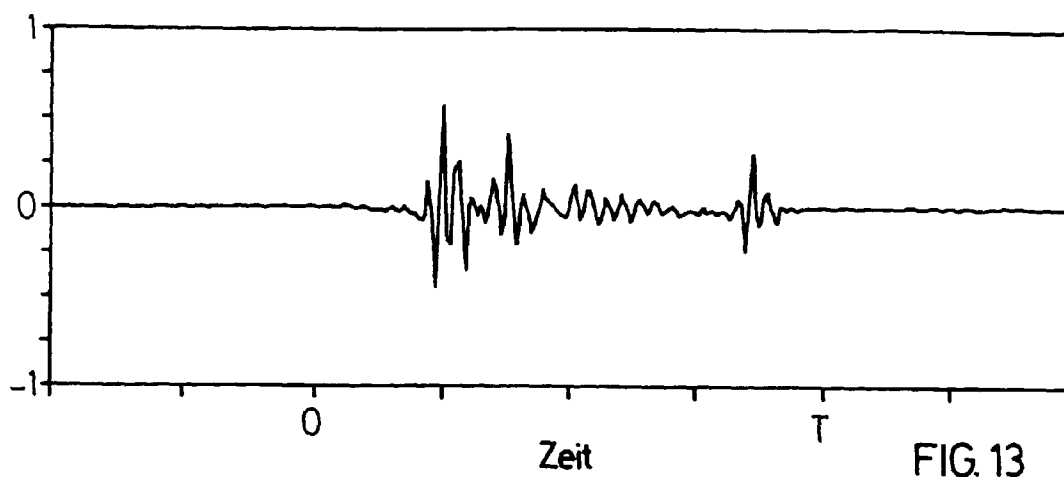


FIG. 7



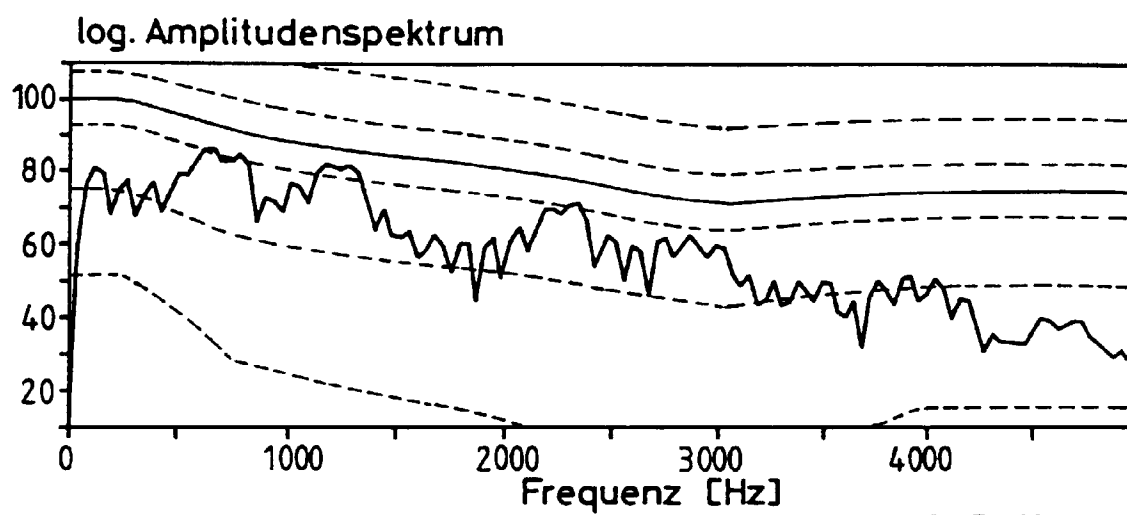


FIG. 11

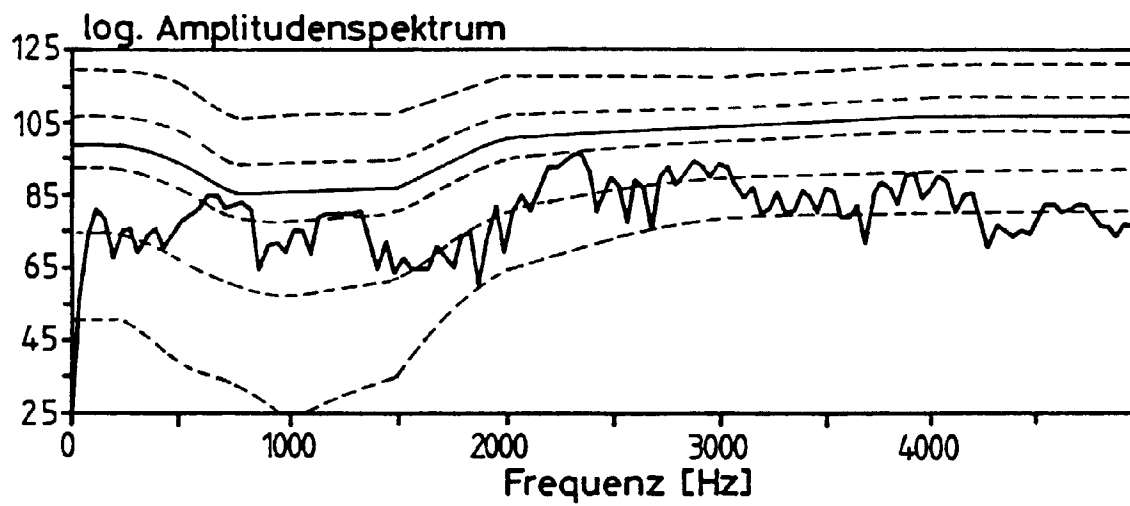


FIG. 12