



<p>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> : <b>H04R 3/00</b></p>	<p><b>A2</b></p>	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 00/57671</b></p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 28. September 2000 (28.09.00)</p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/00859</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 20. März 2000 (20.03.00)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 199 12 525.2 19. März 1999 (19.03.99) DE 199 34 724.7 23. Juli 1999 (23.07.99) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KLINKE, Stefano, Ambrosius [DE/DE]; Winterswijkstr. 34, D-46399 Bocholt (DE). LECKSCHAT, Dieter [DE/DE]; Hemdener Weg 27 B, D-46399 Bocholt (DE). AUBAUER, Roland [AT/DE]; Mussumer Kirchweg 174, D-46395 Bocholt (DE). KERN, Ralf [DE/DE]; Hildegardisstr. 1, D-46399 Bocholt (DE).</p> <p>(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: AU, BR, CA, CN, CZ, HU, ID, IL, IN, JP, KR, MX, NO, PL, RU, TR, UA, US, VN, ZA, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p><b>Veröffentlicht</b> <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i></p>	

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR RECEIVING AND TREATING AUDIOSIGNALS IN SURROUNDINGS AFFECTED BY NOISE

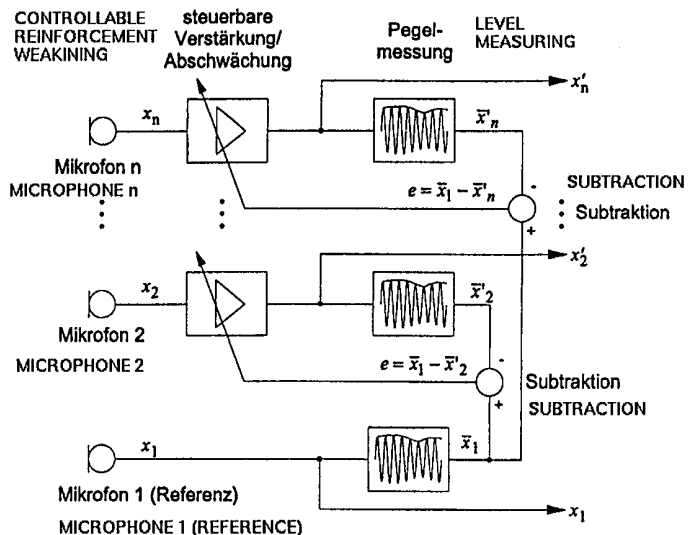
(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND EINRICHTUNG ZUM AUFNEHMEN UND BEARBEITEN VON AUDIOSIGNALEN IN EINER STÖRSCHALLERFÜLLTEN UMGEBUNG

(57) Abstract

The aim of the invention is to receive and treat audiosignals with a good user signal to fault signal ratio in noise conditions and with a good ratio between the direct and the reflected echo in surroundings which are especially not free from reverberation. Electrical signals are produced by converting recorded audiosignals. Said electrical signals are treated by a given microphone assembly in such a way that electrical signals having different strengths (different sensitivities of the microphones) and being produced by the microphones are compensated automatically, i.e. without manual and individual compensation procedures which have to be carried out separately, when the sound pressure levels of the microphones pertaining to the microphone assembly are equal. According to the invention, the properties of an array of microphones are combined to the properties of a method for compensating the sensitivity of microphones.

(57) Zusammenfassung

Um Audiosignale mit einem guten Nutzsignal-zu-Störsignal-Verhältnis unter Störschallbedingungen und mit einem guten Verhältnis zwischen dem direkten und dem reflektierten Schall in einer, insbesondere nicht nachhallfreien, Umgebung aufzunehmen und zu bearbeiten, werden von einer vorgegebenen Mikrofonanordnung aus aufgenommenen Audiosignalen durch Umwandlung erzeugte elektrische Signale derart bearbeitet, daß bei gleichen Schalldruckpegeln an den Mikrofonen der Mikrofonanordnung von diesen erzeugte, unterschiedlich starke elektrische Signale – unterschiedliche Empfindlichkeiten der Mikrofone – automatisch, d.h. ohne manuelle individuell und separat vorzunehmende Ausgleichsverfahren, ausgeglichen werden. Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, die Eigenschaften eines Arrays von Mikrofonen mit denen eines Verfahrens zum Ausgleichen der Empfindlichkeit von Mikrofonen zu kombinieren.



**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## Beschreibung

Verfahren und Einrichtung zum Aufnehmen und Bearbeiten von Audiosignalen in einer störschallerfüllten Umgebung

5

Bisherige Verfahren und Einrichtungen zum Aufnehmen und Bearbeiten von Audiosignalen (z.B. Sprach-, und/oder Tonsignalen) in einer störschallerfüllten Umgebung basieren entweder auf der Verwendung eines Richtmikrofons (Gradientenmikrofone) erster Ordnung oder auf ein Mikrofon-Array von zwei oder mehreren Einzelmikrofonen (z.B. Kugelmikrofonen). Im letztgenannten Fall werden zusätzliche digitale Filter verwendet, um die Frequenzgänge von den Mikrofonen auszugleichen.

10

15 Sowohl die Richtmikrofone als auch die Mikrofon-Arrays zählen zu den Freifeldmikrofonen, die durch ihre Richtwirkung eine Trennung von Nutz- und Störschall erlauben und deren Ausgangssignale über das „Delay-and-Sum-Prinzip“ addiert werden.

20 Mikrofonarrays sind Anordnungen aus mehreren räumlich getrennt positionierten Mikrofonen, deren Signale so verarbeitet werden, daß die Empfindlichkeit der Gesamtanordnung eine Richtungsabhängigkeit aufweist. Die Richtwirkung ergibt sich aus den Laufzeitdifferenzen (Phasenbeziehungen), mit denen ein Schallsignal an den verschiedenen Mikrofonen des Arrays eintrifft. Beispiele dafür sind sogenannte Gradientenmikrofone oder Mikrofonarrays, die nach dem Delay-and-Sum-Beamformerprinzip arbeiten. Bei der technischen Realisierung von Mikrofonarrays besteht das Problem der Serienstreuung der verwendeten Einzelmikrofone hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit und ihres Frequenzgangs. Die Empfindlichkeit bezeichnet dabei die Eigenschaft eines Mikrofons, aus einem vorgegebenen Schalldruckpegel ein elektrisches Signal zu erzeugen. Der Frequenzgang stellt die Empfindlichkeit des Mikrofons über der Frequenz dar. Der von den Mikrofonherstellern angegebene Toleranzbereich liegt typischerweise zwischen  $\pm 2$  und  $\pm 4$  dB. Sind diese Mikrofoncharakteristiken innerhalb eines Mikrofon-

30

35

arrays unterschiedlich, so werden der Frequenzgang und die Richtcharakteristik der Gesamtanordnung negativ beeinflusst. In der Regel weist der Frequenzgang eine erhöhte Welligkeit auf, während die Richtwirkung deutlich abnimmt. Tabelle 1 zeigt in diesem Zusammenhang die Abnahme des Bündelungsmaßes eines Gradientenmikrofons zweiter Ordnung (Mikrofonarray aus zwei einzelnen Nierenmikrofonen), wenn die beiden Einzelmikrofone unterschiedliche Empfindlichkeiten aufweisen. Das Bündelungsmaß bezeichnet hierbei die Unterdrückung von diffus einfallendem Schall gegenüber Nutzschaall aus der Mikrofonhauptachse.

Bislang mußten die Empfindlichkeit und der Frequenzgang der Einzelmikrofone eines Arrays durch eine akustische Messung bestimmt und durch geeignete elektrische Verstärker und Filter aneinander angeglichen werden. Die Messung beinhaltet die Anregung des zu messenden Mikrofons mit einem über einen Lautsprecher erzeugten Schallreferenzsignal und die Aufnahme der von den Mikrofonen erzeugten elektrischen Signale. Aus den Mikrofonsignalen werden dann die für den Ausgleich notwendigen Verstärkungsfaktoren und Filterparameter berechnet und entsprechend eingestellt.

Die akustische Messung der Mikrofonparameter bedeutet einen hohen technischen Aufwand und verursacht dementsprechende Kosten bei der Fertigung von Mikrofonarrays. Zudem erfolgt der Abgleich bei der Herstellung des Mikrofonarrays, so daß dieser nur für diesen einen Betriebszustand gültig ist. Andere Betriebszustände, z. B. unterschiedliche Versorgungsspannungen und Alterungseffekte der Mikrofone, bleiben unberücksichtigt.

Aus der US-5,463,694 ist ein Gradientenmikrofonsystem bekannt, bei dem von der Überlegung ausgegangen wird, daß Mikrofone im wesentlichen einen gleichen Frequenzgang und eine gleiche Empfindlichkeit haben. Mit dem Begriff „Empfindlichkeit“ bezeichnet man die Eigenschaft eines Mikrofons aus ei-

nem vorgegebenen Schalldruckpegel ein vorgegebenes elektrische Signal zu erzeugen.

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe besteht darin, Audiosignale mit einem guten Nutzsignal-zu-Störsignal-Verhältnis unter Störschallbedingungen und mit einem guten Verhältnis zwischen dem direkten und dem reflektierten Schall in einer, insbesondere nicht nachhallfreien, Umgebung aufzunehmen und zu bearbeiten.

10

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der Patentansprüche 1 und 19 gelöst.

15

Die der Erfindung zugrundeliegende Idee besteht darin, daß von einer vorgegebenen Mikrofonanordnung aus aufgenommenen Audiosignalen durch Umwandlung erzeugte elektrische Signale derart bearbeitet werden, daß bei gleichen Schalldruckpegeln an den Mikrofonen der Mikrofonanordnung von diesen erzeugte, unterschiedlich starke elektrische Signale - unterschiedliche Empfindlichkeiten der Mikrofone - automatisch, d.h. ohne manuelle individuell und separat vorzunehmende Ausgleichsprozesse, ausgeglichen werden.

20

Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, die Eigenschaften eines Array von Mikrofonen mit denen eines Verfahrens zum Ausgleichen der Empfindlichkeit von Mikrofonen zu kombinieren.

25

Die Vorteile dieser Vorgehensweise sind zum einen die einfache Realisierung in Verbindung mit dem dabei erreichten (optimalen) Ergebnis und zum anderen das gute Verhältnis zwischen der Komplexität der Mikrofonanordnung (Arrays) und dem Ergebnis.

30

Das mit der Erfindung erzielbare Ergebnis ist gegenüber dem Ergebnis, das mit dem US-Patent 5,463,694 erreichbar ist,

35

deutlich verbessert. Dies wird an der nachfolgenden Tabelle ersichtlich:

Die Tabelle zeigt den Zusammenhang zwischen „Unterschied der  
5 Empfindlichkeit der Mikrofone (Delta)“ und „Bündelungsmaß“

Delta (dB)	Bündelungsmaß (dB)
0	8,7
1	8,4
2	8,1
3	7,8
4	7,5
5	7,2
6	6,9

Fazit: Je größer der Unterschied der Empfindlichkeit der Mi-  
krofone, desto schlechter wird das Bündelungsmaß.

10

Mit dem Verfahren bzw. der Einrichtung kann für jede stör-  
schallerfüllte Umgebung ein optimales Bündelungsmaß der Mi-  
krofonanordnung erreicht werden, weil es die Empfindlichkeit  
der Mikrofone immer automatisch ausgleicht.

15

Ein Parameter, um ein Richtmikrofon zu beurteilen, ist das  
Bündelungsmaß. Dieses beschreibt, anschaulich ausgedrückt,  
inwieweit eine Unterdrückung von diffus (allseitig) einfal-  
lendem Schall gegenüber einem Nutzschaall aus der Hauptachse  
20 erreicht wird. Dabei ist das Bündelungsmaß eine logarithmi-  
sche Größe und wird demnach in Dezibel ausgedrückt.

25

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Un-  
teransprüchen angegeben.

Die vorgestellte Lösung besteht vorzugsweise aus einem Array  
von Mikrofonen und Filtern, um die Empfindlichkeit der Mikro-  
fone auszugleichen und den gewünschten Frequenzgang des  
Arrays zu erreichen.

Gegenüber den bekannten Mikrofon-Arrays, die komplizierte digitale Filter benötigen, um die Frequenzgänge der Mikrofone auszugleichen, braucht das vorgestellte Verfahren bzw. die vorgestellte Einrichtung nur die Ausglei-  
5 chung der Empfindlichkeit. Und das kann entweder mit einem einfachen digitalen Filter oder mit einer analogen Schaltung realisiert werden.

Mit dem vorgestellten Array, in dem im einfachsten Fall zwei  
10 einfache Richtmikrofone benutzt werden, werden Bündelungsmaße erreicht, die mit einem einfachen Richtmikrofon nicht erreichbar sind. Ein Array mit Kugelmikrofonen kann diese Ergebnisse erreichen, aber nur wenn das Array mit mehr als zwei Mikrofonen gebaut ist. Außerdem wird vorzugsweise für jedes  
15 Mikrofon ein Filter benötigt, um die Frequenzgänge von den verschiedenen Mikrofonen auszugleichen.

Um die Empfindlichkeit der Mikrofone auszugleichen, sollte man die Mikrofone mit einer Schallquelle, die orthogonal zu  
20 der Achse der Mikrofone angeordnet ist, anregen, um die Korrektur der Empfindlichkeit zu berechnen. Aber in der Praxis ist dies nicht immer möglich.

Alternativ ist es auch möglich, die Empfindlichkeit unabhän-  
25 gig von der Position der Schallquelle auszugleichen. Dies ist aber nur dann möglich, wenn die Schallquelle nur Tieffrequenzanteile hat und deren Wellenlänge viel größer ist als der Abstand zwischen den Mikrofonen. Bei einer Mikrofonanordnung mit zwei Mikrofonen sollte die Wellenlänge z.B. größer  
30 als der doppelte Mikrofonabstand sein, während die Wellenlänge bei der Mikrofonanordnung mit mehr als zwei Mikrofonen größer als die Summe der einzelnen Mikrofonabstände sein sollte.

35 Die Mikrofone sind darüber hinaus paarweise vorzugsweise so positioniert, daß ihre Hauptachsen auf einer gemeinsamen Achse liegen. Es sind aber auch Abweichungen hiervon bezüglich

eines Kipp- bzw. Verstellwinkels, der z.B. im Bereich zwischen  $0^\circ$  und  $40^\circ$  variieren kann, und bezüglich eines Versatzabstandes, der z.B. kleiner als der oder gleich dem Mikrofonabstand ist, möglich. In all diesen Abweichungsfällen gibt es vorzugsweise immer ein Bezugsmikrofon mit einer Bezugshauptachse, gegenüber dem bzw. der die jeweils anderen Mikrofone der Mikrofonanordnung um einen Verstellwinkel zur Hauptachse und einem Versatzabstand angeordnet sind.

10 Die Signale von den Mikrofonen werden z.B. von einem Block verarbeitet, um die Empfindlichkeit der Mikrofone auszugleichen. Danach wird die Differenz sowie die Summe von den zwei Signalen gebildet und daraus eine Linearkombination gebildet, um ein Signal mit einer Richtcharakteristik höherer Ordnung  
15 als die von den zwei Mikrofonen des Arrays zu erhalten.

Zuletzt wird das Signal mit einem Filter verarbeitet, um den gewünschten Frequenzgang und Empfindlichkeit des Arrays zu erreichen.

20 Darüber hinaus ist es vorteilhaft, wenn die Mikrofonanordnung ein grenzflächig (an einer „akustischen Grenzfläche“; eine „akustische Grenzfläche“ ist in der Akustik eine harte Fläche, z.B. ein Tisch in einem Raum, die Fensterscheibe oder das  
25 Dach in einem Auto etc.) aufgebautes Gradientenmikrofon zweiter Ordnung (Quadrupolmikrofon) ist, weil dadurch der Signal-/Eigengeräuschstörabstand verbessert wird. Dabei wird außerdem der Störabstand zwischen Nutzsignal und Umgebungsgeräusch bei einer Schallaufnahme in Situationen mit hohem Umgebungsgeräusch, wie z. B. in Fahrzeugen oder öffentlichen Räumen  
30 vergrößert. Die subjektive Verständlichkeit aufgenommener Sprache wird somit in halliger Umgebung, wie z. B. in Räumen mit stark reflektierenden Wänden (Auto, Telefonzelle, Kirche) erhöht.

35 Das Quadrupolmikrofon besteht aus der Kombination zweier Gradientenmikrofone erster Ordnung mit nierenförmiger Charakteristik.



ristik, deren Ausgangssignale voneinander subtrahiert werden. Durch diese Maßnahme wird das Bündelungsmaß von 4.8 auf 10 dB erhöht. Das Bündelungsmaß gibt hierbei den Gewinn an, mit dem das in der Mikrofonhauptachse einfallende Nutzsignal gegenüber dem diffus einfallenden Störsignal verstärkt wird. Durch die geeignete Anordnung der Einzelmikrofone des Quadrupolmikrofons an einer Grenzfläche wird die Nutzsignalempfindlichkeit des Mikrofons um weitere 6 dB gesteigert und der im unteren Frequenzbereich prinzipiell geringe Eigengeräuschabstand von Gradientenmikrofon höherer Ordnung signifikant verbessert.

Wesentlich an der vorgeschlagenen Lösung ist der im Vergleich zu bisherigen Lösungen geringe Aufwand, mit dem die Nutzsignalverbesserung erzielt wird. Gleichzeitig sind die äußeren Abmessungen des Grenzflächenquadrupolmikrofons bei einer vergleichbaren Richtwirkung geringer als bei bekannten Anordnungen. Bei der vorgeschlagenen Anordnung werden Interferenzen des eintreffenden Direktschalls mit dem von der Grenzfläche reflektierten Schall, die die Richtwirkung eines grenzflächennahen Mikrofons stören können, vermieden.

Mit dem grenzflächigen Aufbau des Gradientenmikrofons wird das in der Hauptachse einfallende Mikrofonnutzsignal gegenüber dem Mikrofoneigengeräusch um 6 dB angehoben.

Grenzflächig aufgebaute Gradientenmikrofone höherer Ordnung können überall dort sinnvoll eingesetzt werden, wo eine qualitativ hochwertige Aufnahme von akustischen Signalen in gestörter Umgebung benötigt wird. Neben einer hohen Störsignalunterdrückung bewirkt die hohe Richtwirkung des Mikrofons auch eine deutliche Unterdrückung des Nachhalls in Räumen, so daß auch in ruhigen Räumen eine deutliche höhere Sprachverständlichkeit erzielt wird. Beispiele für den Einsatz der vorgestellten Erfindung können Freisprecheinrichtungen von Telefonen und automatische Spracherkennungssysteme aber auch Konferenzmikrofone sein.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der FIGUREN 1 bis 8 erläutert.

5 Die Realisierung des Empfindlichkeitsabgleichs ist in den FIGUREN 1 und 2 dargestellt. Wenn die beiden Mikrofone einen annähernd gleichen Frequenzgang aufweisen, ist der Empfindlichkeitsabgleich in einem eingeschränkten Frequenzbereich hinreichend, um über den gesamten Übertragungsbereich das ge-  
10 wünschte Bündelungsverhalten zu erreichen. In praktischen Fällen ist die Bedingung "gleicher Frequenzgang" in guter Näherung erfüllt.

Vorteilhaft kann das in der FIGUR 2 dargestellte Filter als  
15 Tiefpaß mit einer Eckfrequenz von beispielsweise 100 Hz ausgeführt werden.

Die möglichen Anwendungen für ein Gradientenmikrofon der zweiten Ordnung sind in allen Fällen, wo man eine gute Über-  
20 tragung der Sprache in geräuschvollen Umgebungen braucht. Beispielsweise kann es ein Mikrofon für eine Freisprechanlage im Auto oder das Mikrofon für ein Spracherkennungssystem sein, das im Freisprechbetrieb funktioniert.

#### 25 Automatischer Abgleich der Mikrofonempfindlichkeit

Die vorgestellte Lösung des Problems des Mikrofonempfindlichkeitsabgleichs beruht auf einem automatischen Abgleich der Mikrofon-  
30 signalepegel während des Betriebs der Mikrofone in einem Array. Hierbei ist der vorhandene Umgebungsgeräusch- bzw. der Nutzsignalpegel ausreichend. Die von den Mikrofonen aufgenommenen Mikrofon-  
35 signalepegel bzw. die -amplituden werden unabhängig von ihrer Phasenlage gemessen und aneinander angeglichen. Dabei muß angenommen werden, daß die an den Mikrofonen eintreffenden Schalldruckpegel praktisch gleich bzw. die Abweichungen deutlich unter der Toleranz der Mikrofonempfindlichkeit liegen. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn der Ab-

stand zwischen der vom Schallpegel dominierenden Schallquelle und dem Mikrofonarray deutlich größer als der Abstand zwischen den abzugleichenden Mikrofonen ist und keine ausgeprägten Raummoden auftreten. Die Signalpegelmessung kann durch  
5 jede Art der Hüllkurvenmessung bzw. durch eine echte Effektivwertmessung erfolgen. Die Zeitkonstante dieser Messung muß dabei größer als die maximale Signallaufzeit zwischen den abzugleichenden Mikrofonen sein. Der Empfindlichkeitsabgleich kann durch eine der Signalpegelabweichung entgegenwirkende  
10 Verstärkung bzw. Abschwächung durchgeführt werden.

FIGUR 3 zeigt das Blockschaltbild des automatischen Mikrofonempfindlichkeitsabgleichs für  $n$  Mikrofone eines Arrays. Mikrofon 1 ist dabei das Referenzmikrofon, auf dessen Mikrofon-  
15 signalpegel die Pegel der anderen Mikrofone 2 bis  $n$  angeglichen werden. Das Schaltbild besteht aus Blöcken steuerbarer Verstärkung bzw. Abschwächung und Einheiten zur Signalpegelmessung. Aus den gemessenen Signalpegeln werden Differenz- bzw. Fehlersignale  $e_n$  erzeugt, die als Stellgröße der varia-  
20 blen Verstärker bzw. Abschwächer dienen. Insgesamt handelt es sich um  $n-1$  Regler, deren Führungsgröße der Signalpegel des Referenzmikrofons ist. Um die im vorigen Absatz genannte Abstandsbedingung einzuhalten, ist auch ein paarweiser Abgleich benachbarter Mikrofone vorstellbar (in FIGUR 3 nicht ge-  
25 zeigt).

FIGUR 4 zeigt das Blockschaltbild des automatischen Mikrofonempfindlichkeitsabgleichs für zwei Mikrofone, wobei die Signalpegel beider Mikrofone geregelt werden. Vorteil dieser  
30 Lösung gegenüber der Lösung mit einem ungeregelten Referenzmikrofon nach FIGUR 3 ist die geringere Varianz der Ausgangspegel, da auf die mittlere Empfindlichkeit der Mikrofone geregelt werden kann.

35 Der hier vorgestellte automatische Mikrofonabgleich läßt sich schaltungstechnisch einfach realisieren und erfordert keine weiteren Abgleichschritte, wie z. B. einen aufwendigen aku-

stischen Abgleich. Selbst für geringe Mikrofonarraystückzahlen sind eindeutige Kostenvorteile gegeben. Darüber hinaus ermöglicht das Verfahren einen kontinuierlichen Abgleich, so daß auch über die Zeit auftretende Empfindlichkeitsänderungen der Mikrofone berücksichtigt werden.

#### Automatischer Abgleich des Mikrofonfrequenzgangs

Bei dem automatischen Abgleich des Mikrofonfrequenzgangs handelt es sich um eine Verallgemeinerung des Mikrofonempfindlichkeitsabgleichs. Für den Frequenzabgleich muß angenommen werden, daß die spektrale Verteilung des an den Mikrofonen eintreffenden Schalls in den zu kompensierenden Frequenzbereichen ähnlich ist bzw. daß Abweichungen deutlich unterhalb der Toleranzbereiche des Mikrofonfrequenzgangs liegen. Diese Bedingung ist wieder bei einer gegenüber dem Mikrofonabstand weit entfernt liegenden Schallquelle erfüllt (siehe Abstandsbedingung weiter oben).

Der Abgleich erfolgt in Teilbändern des Mikrofonübertragungsfrequenzbereichs und kann entweder durch eine Entzerrung mit entsprechenden analogen oder digitalen Filtern erfolgen. Im anschaulichsten Fall handelt es sich um eine Filterstruktur parallel (wie in FIGUR 5 gezeigt) oder seriell geschalteter Bandpässe, deren Verstärkung unabhängig voneinander gesteuert werden kann. Der Summenfrequenzgang der Filter des unregulierten Referenzmikrofons (FIGUR 5  $fil_{x1}, fil_{x2} \dots fil_{xn}$ ) ist im gewünschten Übertragungsfrequenzbereich eben. Der Frequenzgang des Vergleichsmikrofons wird durch Anheben bzw. Absenken (Verstärken bzw. Dämpfen) der Filterteilständer ( $fil_{y1}, fil_{y2} \dots fil_{yn}$ ) dem des Referenzmikrofons angeglichen. Die dafür erforderlichen Steuersignale  $g_1, g_2, g_n$  werden direkt aus den für die einzelnen Frequenzbereiche gewonnenen Fehlersignalen abgeleitet ( $g_1 \sim e_1, g_2 \sim e_2 \dots g_n \sim e_n$ ). Für einen präzisen Abgleich ist gewöhnlich eine hohe Anzahl von Bandpaßfiltern erforderlich.

Eine deutliche Aufwandsreduzierung der Filterstruktur kann vorgenommen werden, wenn die in bestimmten Frequenzbereichen dominierenden Mikrofonparameter, wie z. B. die Ausführung der Schalleintrittsöffnung, das Front-/Rückvolumen, die Membrannachgiebigkeit und deren elektrische Ersatzschaltbilder bekannt sind und Abweichungen zwischen Mikrofonen auf Änderungen einzelner Parameter zurückgeführt werden können. Durch entsprechende EntzerrungsfILTER, die diese Abweichungen gezielt rückgängig machen, ist ein Abgleich bei einem vergleichsweise geringen Aufwand möglich.

FIGUR 6 zeigt das Blockschaltbild einer Abgleichvorrichtung, die aus einem steuerbaren EntzerrungsfILTER, BewertungsfILTERn und Pegelmeßeinheiten besteht. Das EntzerrungsfILTER wird wieder über das Differenzsignal  $e$  der Pegelmeßeinheiten angesteuert, wobei im allgemeinen sowohl der Amplituden- als auch der Phasenfrequenzgang verändert wird.

Die für den Empfindlichkeitsabgleich genannten Vorteile gelten auch für den automatischen Abgleich des Mikrofonfrequenzgangs.

Einfache Steuerung der Empfindlichkeit von Mikrofonen mit integriertem Verstärker, dessen Arbeitspunkt durch eine externe Beschaltung einstellbar ist, z.B. einen Feldeffekttransistor-Vorverstärker (FET-Vorverstärker)

Bei praktisch allen zur Zeit in Telekommunikations- und Konsumeranwendungen verwendeten Mikrofonkapseln handelt es sich um Elektretwandler mit integriertem Feldeffekttransistor-Vorverstärker. Dieser Vorverstärker dient zur Verringerung der sehr hohen Mikrofonquellimpedanz und zur Verstärkung des Mikrofonsignals. In der Regel handelt es sich hierbei um die Sourceschaltung eines Feldeffekttransistors. Durch Veränderung der Speiseimpedanz und der Versorgungsspannung läßt sich der Arbeitspunkt des Transistors und damit auch die Empfindlichkeit des Mikrofons ändern. Änderungen des Mikrofonfre-

quenzgangs sind möglich, wenn nicht nur reelle, sondern auch komplexe Speiseimpedanzen zugelassen werden.

FIGUREN 7 und 8 zeigen jeweils die Schaltung für eine einfache Empfindlichkeits- und Frequenzgangsteuerung von Elektret-  
5 Mikrofonen, die ohne externe, steuerbare Verstärker oder Abschwächer auskommt. Die einfachste Realisierung besteht in der Empfindlichkeits- und Frequenzgangsteuerung über die Mikrofonversorgungsspannung  $U_L$ , die im Fall des automatischen  
10 Empfindlichkeitsabgleichs bzw. -ausgleichs direkt aus dem Differenzsignal der gemessenen Schallpegel bzw. Signalpegel  $U_L = (v \cdot e_n) + U_0$  abgeleitet werden kann ( $v$  bezeichnet dabei einen Verstärkungsfaktor und  $U_0$  eine konstante Spannungsgröße, z.B. Ausgangsspannung vor Empfindlichkeits- und Frequenz-  
15 gangausgleich). Der Steuerungsbereich der Mikrofonempfindlichkeit über die Versorgungsspannung des Mikrofons liegt bei bis zu 25 dB, je nach Speiseimpedanz (siehe Tabelle 2).

Alternativ ist es auch möglich, die Empfindlichkeits- und  
20 Frequenzgangsteuerung derart zu realisieren, daß die Mikrofon-speiseimpedanz  $Z_L$  mit einer Steuerspannung  $U_{ST}$ , die im Fall des automatischen Empfindlichkeits- und Frequenzgangabgleichs bzw. -ausgleichs direkt aus dem Differenzsignal der gemessenen Schallpegel bzw. Signalpegel  $U_{ST} \approx ((v \cdot e_n) + U_0')$  ab-  
25 geleitet werden kann ( $v$  bezeichnet dabei einen Verstärkungsfaktor und  $U_0'$  eine konstante Spannungsgröße, z.B. Ausgangsspannung vor Empfindlichkeits- und Frequenzgangausgleich).

Eine elektronische Steuerung der Speiseimpedanz  $Z_L$  kann für  
30 reelle Werte durch einen gesteuerten Feldeffekttransistor und für komplexe Werte durch die Gyrationsschaltung erfolgen. Der Steuerungsbereich der Mikrofonempfindlichkeit über die Speiseimpedanz liegt bei bis zu 10 dB in Abhängigkeit der Mikrofonversorgungsspannung (siehe Tabelle 2).

35

Der Vorteil dieser Art der Empfindlichkeits- und Frequenzgangsteuerung liegt in der Minimierung des Schaltungsaufwands

und der damit verbundenen Kosten. Der Steuerungsbereich ist für die meisten Anwendungen ausreichend hoch.

Der erfinderische Schritt bei dem Empfindlichkeits- bzw. Frequenzgangabgleich ist die Trennung von Amplituden- und Phaseninformation des an den Mikrofonen eintreffenden Schalls, was einen automatischen Abgleich während des Betriebs von Mikrofonen in einem Array ermöglicht. Während die Phasenbeziehung für die Ausbildung der Richtcharakteristik eines Arrays herangezogen wird, steht die Amplitudenbeziehung für einen Abgleich der Mikrofonempfindlichkeiten und der Amplitudenfrequenzgänge zur Verfügung. Herstellungstoleranzen dieser Mikrofonparameter lassen sich damit kompensieren, so daß sich der gewünschte Frequenzgang und die Richtcharakteristik der Gesamtanordnung ausbildet.

Der erfinderische Schritt bei der Empfindlichkeitssteuerung von Mikrofonen mit integriertem FET-Vorverstärker ist die Nutzung der Versorgungsspannung bzw. des Speisewiderstands zur Veränderung des FET-Arbeitspunkts und damit der Verstärkung des FET-Vorverstärkers.

Das vorgestellte Mikrofonabgleichprinzip kann für alle Multimikrofonanordnungen verwendet werden, deren richtungsabhängige Empfindlichkeit durch Ausnützung der Phasenbeziehungen zwischen den Einzelmikrofonsignalen gewonnen wird. Diese Mikrofonanordnungen können überall dort sinnvoll eingesetzt werden, wo eine qualitativ hochwertige Aufnahme von akustischen Signalen in gestörter Umgebung benötigt wird. Die Richtcharakteristik dieser Anordnungen erlaubt dabei die Abschwächung von Störschall (Umgebungsgeräusche, Hall) außerhalb der Mikrofonhauptachse sowie die Trennung benachbarter Schallquellen (andere Sprecher). Der automatische Mikrofonabgleich ermöglicht durch die Umgehung eines aufwendigen akustischen Abgleichs erhebliche Kosteneinsparungen bei der Herstellung und ermöglicht so auch den Einsatz von Mikrofonarrays in Konsumeranwendungen wie z. B. in Freisprecheinrich-

tungen für Kommunikationsendgeräte oder zur Sprachsteuerung von Geräten. Weitere Anwendungen von Mikrofonarrays, bei denen die Erfindung sinnvoll eingesetzt werden kann, sind Konferenzmikrofone.

5

Das Abgleichprinzip wurde bereits in einer einfachen elektronischen Schaltung realisiert und auf seine Tauglichkeit mit einem Gradientenmikrofon zweiter Ordnung getestet. Das Gradientenmikrofon besteht aus der Zusammenschaltung zweier Nierenmikrofone, deren Empfindlichkeit durch die Schaltung automatisch abgeglichen wird. Die Empfindlichkeitssteuerung des abzugleichenden Mikrofons erfolgt nach dem in Abschnitt 3.3 vorgestellten Prinzip. Der Mikrofonabgleich funktioniert schon bei geringen Umgebungsgeräuschen (Zimmerlautstärke) und ist unabhängig von der Schalleinfallrichtung.

10  
15

Die Empfindlichkeitssteuerung von Mikrofonen mit eingebautem FET-Vorverstärker kann außerdem vorteilhaft zur automatischen Aussteuerung von Mikrofonsignalen eingesetzt werden. Diese Schaltungen werden im allgemeinen als "Automatic Gain Control" Schaltungen bezeichnet. Anwendungen dieser Schaltungen finden sich in praktisch allen Konsumergeräten, die einen Mikrofonaufnahmekanal besitzen (Kassettenrekorder, Diktiersysteme, (Freisprech-)Telefone).

20



## Patentansprüche

1. Verfahren zum Aufnehmen und Bearbeiten von Audiosignalen in einer störschallerfüllten Umgebung mit folgenden Merkmalen:
- 5     (a) mindestens zwei Mikrofone werden in bezug auf eine sich in der störschallerfüllten Umgebung befindenden Schallquelle eine Mikrofonanordnung bildend paarweise in einem vorgegebenen Mikrofonabstand angeordnet,
- 10    (b) die Mikrofone , ein erstes Mikrofon und mindestens ein zweites Mikrofon , werden in bezug auf eine Hauptachse, die durch das erste Mikrofon festgelegt wird, derart angeordnet, daß das zweite Mikrofon um einen vorgegebenen Kipp- bzw. Verstellwinkel zu der Hauptachse und/oder um einen vorgegebenen
- 15    Versatzabstand zu der Hauptachse bzw. dem ersten Mikrofon angeordnet ist,
- (c) von den Mikrofonen aus den aufgenommenen Audiosignalen durch Umwandlung erzeugte elektrische Signale werden derart bearbeitet, daß bei gleichen Schalldruckpegeln an den Mikro-
- 20    fonen von diesen erzeugte, unterschiedlich starke elektrische Signale - unterschiedliche Empfindlichkeiten und/oder unterschiedliche Frequenzgänge der Mikrofone - automatisch ausgeglichen werden.
- 25    2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß,
- wenn das erste Mikrofon ein erstes elektrisches Signal und jedes zweite Mikrofon jeweils ein zweites elektrisches Signal erzeugt, das erste elektrische Signal und das zweite elektrische
- 30    Signal bzw. die zweiten elektrischen Signale paarweise derart bearbeitet werden, daß die jeweils unterschiedlichen Empfindlichkeiten und/oder Frequenzgänge in den von den Mikrofonen erzeugten elektrischen Signalen automatisch ausgeglichen werden.
- 35
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß beim Ausgleich unterschiedlicher Empfindlichkeiten

(a) das erste elektrische Signal und das zweite elektrische Signal gefiltert werden,

(b) Signalpegeldifferenzen aus den gefilterten elektrischen Signalen gebildet werden,

5 (c) die ungefilterten elektrischen Signale zumindest teilweise in Abhängigkeit von den Signalpegeldifferenzen bezüglich der jeweiligen Signalpegel solange verändert werden, bis die Signalpegeldifferenzen jeweils im wesentlichen den Wert „0“ annehmen.

10

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß

(a) aus den ungefilterten elektrischen Signalen jeweils paarweise Summensignale und Differenzsignale gebildet werden,

15 (b) aus den jeweiligen Summensignalen und Differenzsignalen jeweils zur Erzielung einer Richtcharakteristik höherer Ordnung durch Bildung von Linearkombinationen und/oder Laufzeitverzögerungen nach dem „Delay-and-Sum-Prinzip“ ein gemeinsames Nutzsignal gebildet wird,

20 (c) das Nutzsignal zur Erzielung des gewünschten Frequenzgangs und der gewünschten Empfindlichkeit gefiltert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß

25 das erste elektrische Signal und das zweite elektrische Signal beliebig gefiltert, z.B. tief-, hoch- oder bandpaßgefiltert, werden, wenn die Schallquelle im wesentlichen orthogonal zu der Hauptachse angeordnet ist.

30 6. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß

das erste elektrische Signal und das zweite elektrische Signal tiefpaßgefiltert werden, wenn die Schallquelle nicht im wesentlichen orthogonal zu der Hauptachse angeordnet ist und  
35 die Wellenlänge der tiefpaßgefilterten Frequenzen bei der Mikrofonanordnung mit zwei Mikrofonen größer als der doppelte Mikrofonabstand und bei der Mikrofonanordnung mit mehr als

zwei Mikrofonen größer als die Summe der einzelnen Mikrofonabstände ist.

7. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß beim Ausgleich unterschiedlicher Empfindlichkeiten
- 5 (a) von dem ersten elektrischen Signal und dem zweiten elektrischen Signal jeweils Signalpegel gemessen werden,
  - (b) Signalpegeldifferenzen aus den gemessenen Signalpegel der elektrischen Signalen gebildet werden,
  - 10 (c) die elektrischen Signale zumindest teilweise in Abhängigkeit von den Signalpegeldifferenzen bezüglich der jeweiligen Signalpegel solange verändert werden, bis die Signalpegeldifferenzen jeweils im wesentlichen den Wert „0“ annehmen.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß
- 15 (a) aus den elektrischen Signalen jeweils paarweise Summensignale und Differenzsignale gebildet werden,
  - (b) aus den jeweiligen Summensignalen und Differenzsignalen
  - 20 jeweils zur Erzielung einer Richtcharakteristik höherer Ordnung durch Bildung von Linearkombinationen und/oder Laufzeitverzögerungen nach dem „Delay-and-Sum-Prinzip“ ein gemeinsames Nutzsinal gebildet wird,
  - (c) das Nutzsinal zur Erzielung des gewünschten Frequenzgangs und der gewünschten Empfindlichkeit gefiltert wird.
  - 25
9. Verfahren nach Anspruch 2, 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß beim Ausgleich unterschiedlicher Frequenzgänge
- 30 (a) das erste elektrische Signal und das zweite elektrische Signal n-fach mit  $nN$  gefiltert werden,
  - (b) von dem gefilterten ersten elektrischen Signal und dem gefilterten zweiten elektrischen Signal jeweils Signalpegel gemessen werden,
  - 35 (c) Signalpegeldifferenzen aus den gemessenen Signalpegel der gefilterten elektrischen Signalen gebildet werden,

(d) die Filterungen der elektrischen Signale zumindest teilweise in Abhängigkeit von den Signalpegeldifferenzen bezüglich der jeweiligen Signalpegel solange verändert werden, bis die Signalpegeldifferenzen jeweils im wesentlichen den Wert  
5 „0“ annehmen.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß  
das erste elektrische Signal und das zweite elektrische Signal n-fach mit  $n \in \mathbb{N}$  bandpaßgefiltert werden.  
10

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß  
(a) aus dem ersten elektrischen Signal oder aus einem ersten  
15 Gesamtsignal des n-fach gefilterten ersten elektrischen Signals und aus einem zweiten Gesamtsignal des n-fach gefilterten zweiten elektrischen Signals jeweils paarweise Summensignale und Differenzsignale gebildet werden,  
(b) aus den jeweiligen Summensignalen und Differenzsignalen  
20 jeweils zur Erzielung einer Richtcharakteristik höherer Ordnung durch Bildung von Linearkombinationen und/oder Laufzeitverzögerungen nach dem „Delay-and-Sum-Prinzip“ ein gemeinsames Nutzsinal gebildet wird,  
(c) das Nutzsinal zur Erzielung des gewünschten Frequenz-  
25 gangs und der gewünschten Empfindlichkeit gefiltert wird.

12. Verfahren nach Anspruch 2, 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß beim Ausgleich unterschiedlicher Frequenzgänge  
30 (a) das erste elektrische Signal und/oder das zweite elektrische Signal zur Entzerrung gefiltert werden,  
(b) das erste elektrische Signal und das zweite elektrische Signal zur Bewertung gefiltert werden,  
(c) von dem bewerteten ersten elektrischen Signal und dem bewerteten zweiten elektrischen Signal jeweils Signalpegel  
35 gemessen werden,

(d) Signalpegeldifferenzen aus den gemessenen Signalpegel der bewerteten elektrischen Signalen gebildet werden,

(e) die Entzerrungsfilterungen der elektrischen Signale zumindest teilweise in Abhängigkeit von den Signalpegeldifferenzen bezüglich der jeweiligen Signalpegel solange verändert  
5 werden, bis die Signalpegeldifferenzen jeweils im wesentlichen den Wert „0“ annehmen.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet,  
10 net, daß

(a) aus dem ersten elektrischen Signal oder aus dem entzerrten ersten elektrischen Signal und aus dem entzerrten zweiten elektrischen Signale jeweils paarweise Summensignale und Differenzsignale gebildet werden,

15 (b) aus den jeweiligen Summensignalen und Differenzsignalen jeweils zur Erzielung einer Richtcharakteristik höherer Ordnung durch Bildung von Linearkombinationen und/oder Laufzeitverzögerungen nach dem „Delay-and-Sum-Prinzip“ ein gemeinsames Nutzsinal gebildet wird,

20 (c) das Nutzsinal zur Erzielung des gewünschten Frequenzgangs und der gewünschten Empfindlichkeit gefiltert wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß  
25 die Mikrofonanordnung aus zwei Richt- bzw. Gradientenmikrofonen gebildet wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß  
30 die Mikrofonanordnung aus drei Kugelmikrofonen gebildet wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß  
der Kipp- bzw. Verstellwinkel derart vorgegeben wird, daß der  
35 Kipp- bzw. Verstellwinkel einen Winkel im Bereich zwischen  $0^\circ$  und  $40^\circ$  aufweist.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Versatzabstand derart vorgegeben wird, daß der Versatzabstand kleiner als der oder gleich dem Mikrofonabstand ist.

5

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrofonanordnung an einer „akustischen Grenzfläche“ angeordnet wird.

10

19. Einrichtung zum Aufnehmen und Bearbeiten von Audiosignalen in einer störschallerfüllten Umgebung mit folgenden Merkmalen:

15 (a) mindestens zwei Mikrofone sind in bezug auf eine sich in der störschallerfüllten Umgebung befindenden Schallquelle eine Mikrofonanordnung bildend paarweise in einem vorgegebenen Mikrofonabstand angeordnet,

20 (b) die Mikrofone, ein erstes Mikrofon und mindestens ein zweites Mikrofon, sind in bezug auf eine Hauptachse, die durch das erste Mikrofon festgelegt wird, derart angeordnet, daß das zweite Mikrofon um einen vorgegebenen Kipp- bzw. Verstellwinkel zu der Hauptachse und/oder um einen vorgegebenen Versatzabstand zu der Hauptachse bzw. dem ersten Mikrofon angeordnet ist,

25 (c) erste Filter filtern ein von dem ersten Mikrofon durch Umwandlung erzeugtes erstes elektrisches Signal und ein von jedem zweiten Mikrofon durch Umwandlung erzeugtes zweites elektrisches Signal, wobei die Signale unterschiedliche Empfindlichkeiten und/oder Frequenzgänge aufweisen,

30 (d) Mittel zum Bilden von Signalpegeldifferenzen erzeugen paarweise aus den gefilterten elektrischen Signalen Signalpegeldifferenzen,

35 (e) Steuermittel sind mit den Mitteln zum Bilden von Signalpegeldifferenzen derart verbunden und ausgebildet, daß die ungefilterten elektrischen Signale zumindest teilweise in Abhängigkeit von den Signalpegeldifferenzen bezüglich der jeweiligen Signalpegel solange verändert werden, bis die Si-

gnalpegeldifferenzen jeweils im wesentlichen den Wert „0“ annehmen.

20. Einrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß

- 5 (a) Summenbildungsmittel vorgesehen sind, die aus den ungefilterten elektrischen Signalen jeweils paarweise Summensignale und Differenzsignale bilden,
- (b) das Mittel zur Bildung von Linearkombinationen und/oder  
10 Laufzeitverzögerungen vorgesehen sind, die nach dem „Delay-and-Sum-Prinzip“ zur Erzielung einer Richtcharakteristik höherer Ordnung aus den jeweiligen Summensignalen und Differenzsignalen jeweils ein gemeinsames Nutzsinal bilden,
- (c) ein zweites Filter vorgesehen ist, das das Nutzsinal zur  
15 Erzielung des gewünschten Frequenzgangs und der gewünschten Empfindlichkeit filtert.

21. Einrichtung nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß

20 das erste Filter ein Tief-, Hoch- oder Bandpaßfilter ist, wenn die Schallquelle im wesentlichen orthogonal zu der Hauptachse angeordnet ist.

22. Einrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß

25 das erste Filter ein Tiefpaßfilter ist, wenn die Schallquelle nicht im wesentlichen orthogonal zu der Hauptachse angeordnet ist und die Wellenlänge der tiefpaßgefilterten Frequenzen bei der Mikrofonanordnung mit zwei Mikrofonen größer als der doppelte Mikrofonabstand und bei der Mikrofonanordnung mit mehr  
30 als zwei Mikrofonen größer als die Summe der einzelnen Mikrofonabstände ist.

23. Einrichtung zum Aufnehmen und Bearbeiten von Audiosignalen in einer störschallerfüllten Umgebung mit folgenden Merkmalen:

35

(a) mindestens zwei Mikrofone sind in bezug auf eine sich in der störschallerfüllten Umgebung befindenden Schallquelle eine Mikrofonanordnung bildend paarweise in einem vorgegebenen Mikrofonabstand angeordnet,

5 (b) die Mikrofone , ein erstes Mikrofon und mindestens ein zweites Mikrofon , sind in bezug auf eine Hauptachse, die durch das erste Mikrofon festgelegt wird, derart angeordnet, daß das zweite Mikrofon um einen vorgegebenen Kipp- bzw. Verstellwinkel zu der Hauptachse und/oder um einen vorgegebenen  
10 Versatzabstand zu der Hauptachse bzw. dem ersten Mikrofon angeordnet ist,

(c) Mittel zum Messen von Signalpegeln messen Signalpegel aus einem von dem ersten Mikrofon durch Umwandlung erzeugten ersten elektrischen Signal und aus einem von jedem zweiten Mikrofon durch Umwandlung erzeugten zweiten elektrischen Signal  
15 , wobei die Signale unterschiedliche Empfindlichkeiten aufweisen,

(d) Mittel zum Bilden von Signalpegeldifferenzen erzeugen paarweise aus den gemessenen elektrischen Signalen Signalpegeldifferenzen ,  
20

(e) Steuermittel sind mit den Mitteln zum Bilden von Signalpegeldifferenzen derart verbunden und ausgebildet, daß die elektrischen Signale zumindest teilweise in Abhängigkeit von den Signalpegeldifferenzen bezüglich der jeweiligen Signalpegel solange verändert werden, bis die Signalpegeldifferenzen jeweils im wesentlichen den Wert „0“ annehmen.  
25

24. Einrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß

30 (a) Summenbildungsmittel vorgesehen sind, die aus den elektrischen Signalen jeweils paarweise Summensignale und Differenzsignale bilden,

(b) das Mittel zur Bildung von Linearkombinationen und/oder Laufzeitverzögerungen vorgesehen sind, die nach dem „Delay-and-Sum-Prinzip“ zur Erzielung einer Richtcharakteristik höherer Ordnung aus den jeweiligen Summensignalen und Differenzsignalen jeweils ein gemeinsames Nutzsinal bilden,  
35



(c) ein Filter vorgesehen ist, das das Nutzsignal zur Erzielung des gewünschten Frequenzgangs und der gewünschten Empfindlichkeit filtert.

5 25. Einrichtung zum Aufnehmen und Bearbeiten von Audiosignalen in einer störschallerfüllten Umgebung mit folgenden Merkmalen:

(a) mindestens zwei Mikrofone sind in bezug auf eine sich in der störschallerfüllten Umgebung befindenden Schallquelle eine Mikrofonanordnung bildend paarweise in einem vorgegebenen  
10 Mikrofonabstand angeordnet,

(b) die Mikrofone , ein erstes Mikrofon und mindestens ein zweites Mikrofon , sind in bezug auf eine Hauptachse, die durch das erste Mikrofon festgelegt wird, derart angeordnet,  
15 daß das zweite Mikrofon um einen vorgegebenen Kipp- bzw. Verstellwinkel zu der Hauptachse und/oder um einen vorgegebenen Versatzabstand zu der Hauptachse bzw. dem ersten Mikrofon angeordnet ist,

(c) Filter filtern ein von dem ersten Mikrofon durch Umwandlung erzeugtes erstes elektrisches Signal und ein von jedem  
20 zweiten Mikrofon durch Umwandlung erzeugtes zweites elektrisches Signal , wobei die Signale unterschiedliche Frequenzgänge aufweisen,  $n$ -fach mit  $n \in \mathbb{N}$ ,

(d) Mittel zum Messen von Signalpegeln messen Signalpegel von dem gefilterten ersten elektrischen Signal und von dem gefilterten,  
25

(d) Mittel zum Bilden von Signalpegeldifferenzen erzeugen paarweise aus den gefilterten elektrischen Signalen Signalpegeldifferenzen ,

30 (f) Steuermittel sind mit den Mitteln zum Bilden von Signalpegeldifferenzen derart verbunden und ausgebildet, daß die Filterungen der elektrischen Signale zumindest teilweise in Abhängigkeit von den Signalpegeldifferenzen bezüglich der jeweiligen Signalpegel solange verändert werden, bis die Signalpegeldifferenzen jeweils im wesentlichen den Wert „0“ annehmen.  
35

26. Einrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß das Filter ein Bandpaßfilter ist.

- 5 27. Einrichtung nach Anspruch 25 oder 26, dadurch gekennzeichnet, daß
- (a) Summenbildungsmittel vorgesehen sind, die aus dem ersten elektrischen Signal oder aus einem ersten Gesamtsignal des n-fach gefilterten ersten elektrischen Signals und aus einem
  - 10 zweiten Gesamtsignal des n-fach gefilterten zweiten elektrischen Signals jeweils paarweise Summensignale und Differenzsignale bilden,
  - (b) das Mittel zur Bildung von Linearkombinationen und/oder Laufzeitverzögerungen vorgesehen sind, die nach dem „Delay-and-Sum-Prinzip“ zur Erzielung einer Richtcharakteristik höherer Ordnung aus den jeweiligen Summensignalen und Differenzsignalen jeweils ein gemeinsames Nutzsinal bilden,
  - (c) ein Filter vorgesehen ist, das das Nutzsinal zur Erzielung des gewünschten Frequenzgangs und der gewünschten Emp-
  - 20 findlichkeit filtert.

28. Einrichtung zum Aufnehmen und Bearbeiten von Audiosignalen in einer störschallerfüllten Umgebung mit folgenden Merkmalen:

- 25 (a) mindestens zwei Mikrofone sind in bezug auf eine sich in der störschallerfüllten Umgebung befindenden Schallquelle eine Mikrofonanordnung bildend paarweise in einem vorgegebenen Mikrofonabstand angeordnet,
- (b) die Mikrofone , ein erstes Mikrofon und mindestens ein
  - 30 zweites Mikrofon , sind in bezug auf eine Hauptachse, die durch das erste Mikrofon festgelegt wird, derart angeordnet, daß das zweite Mikrofon um einen vorgegebenen Kipp- bzw. Verstellwinkel zu der Hauptachse und/oder um einen vorgegebenen Versatzabstand zu der Hauptachse bzw. dem ersten Mikrofon an-
  - 35 geordnet ist,
  - (c) Entzerrungsfiler filtern ein von dem ersten Mikrofon durch Umwandlung erzeugtes erstes elektrisches Signal und ein

von jedem zweiten Mikrofon durch Umwandlung erzeugtes zweites elektrisches Signal , wobei die Signale unterschiedliche Frequenzgänge aufweisen,

(d) Bewertungsfilter filtern das erste elektrische Signal und  
5 das zweite elektrische Signal ,

(e) Mittel zum Messen von Signalpegeln messen Signalpegel von dem gefilterten ersten elektrischen Signal und von dem gefilterten zweiten elektrischen Signal ,

(f) Mittel zum Bilden von Signalpegeldifferenzen erzeugen  
10 paarweise aus den gefilterten elektrischen Signalen Signalpegeldifferenzen ,

(g) Steuermittel sind mit den Mitteln zum Bilden von Signalpegeldifferenzen derart verbunden und ausgebildet, daß die Entzerrungsfilterungen der elektrischen Signale zumindest  
15 teilweise in Abhängigkeit von den Signalpegeldifferenzen bezüglich der jeweiligen Signalpegel solange verändert werden, bis die Signalpegeldifferenzen jeweils im wesentlichen den Wert „0“ annehmen.

20 29. Einrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß

(a) Summenbildungsmittel vorgesehen sind, die aus dem ersten elektrischen Signal oder aus dem entzerrten ersten elektrischen Signal und aus dem entzerrten zweiten elektrischen Signal jeweils paarweise Summensignale und Differenzsignale  
25 bilden,

(b) das Mittel zur Bildung von Linearkombinationen und/oder Laufzeitverzögerungen vorgesehen sind, die nach dem „Delay-and-Sum-Prinzip“ zur Erzielung einer Richtcharakteristik höherer Ordnung aus den jeweiligen Summensignalen und Differenzsignalen jeweils ein gemeinsames Nutzsignal bilden,  
30

(c) ein Filter vorgesehen ist, das das Nutzsignal zur Erzielung des gewünschten Frequenzgangs und der gewünschten Empfindlichkeit filtert.

35

30. Einrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß, wenn das Mikrofon als ein

Mikrofon mit integrierter Verstärker, dessen Arbeitspunkt durch eine externe Beschaltung einstellbar ist, ausgebildet ist, die Steuermittel derart ausgebildet sind, daß

- 5 (a) über eine Mikrofonversorgungsspannung, die sich aus der Summe einer konstanten Spannung und des Produkts von Signalpegeldifferenzsignal und Verstärkungsfaktor ergibt, die Empfindlichkeit und/oder der Frequenzgang steuerbar ist oder
- 10 (b) über eine physikalische Steuergröße, die proportional zu dem Produkt aus Signalpegeldifferenzsignal und Verstärkungsfaktor ergänzt durch eine konstante Größe ist, eine Mikrofonspeseimpedanz derart einstellbar ist, daß die Empfindlichkeit und/oder der Frequenzgang steuerbar ist.

31. Einrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß

15 die Mikrofonanordnung zwei Richt- bzw. Gradientenmikrofone aufweist.

32. Einrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß

20 die Mikrofonanordnung drei Kugelmikrofone aufweist.

33. Einrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß

25 der Kipp- bzw. Verstellwinkel derart vorgegeben ist, daß der Kipp- bzw. Verstellwinkel einen Winkel im Bereich zwischen  $0^\circ$  und  $40^\circ$  aufweist.

34. Einrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß

30 der Versatzabstand derart vorgegeben ist, daß der Versatzabstand kleiner als der oder gleich dem Mikrofonabstand ist.

35. Einrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß

35 die Mikrofonanordnung an einer akustischen Grenzfläche angeordnet ist.

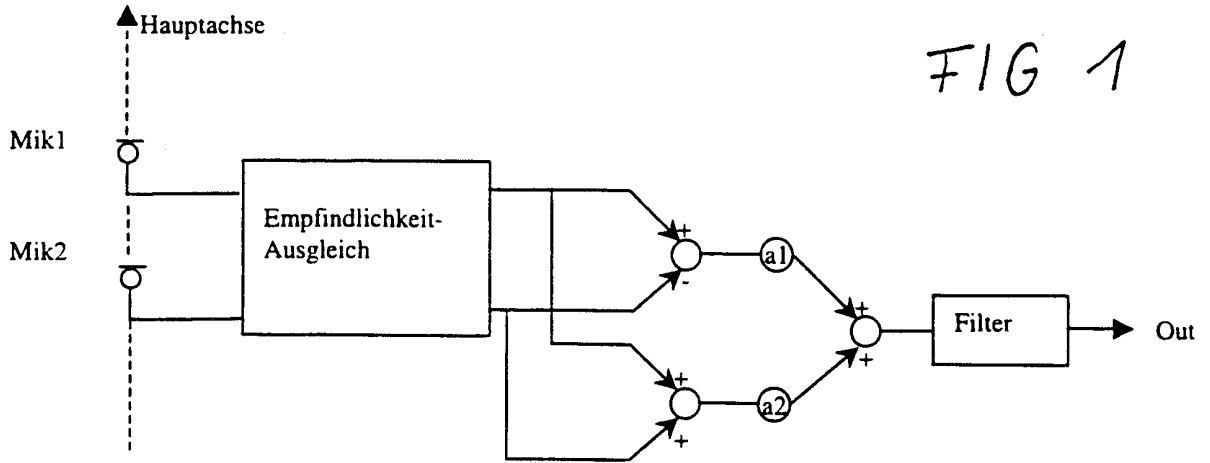


FIG 1

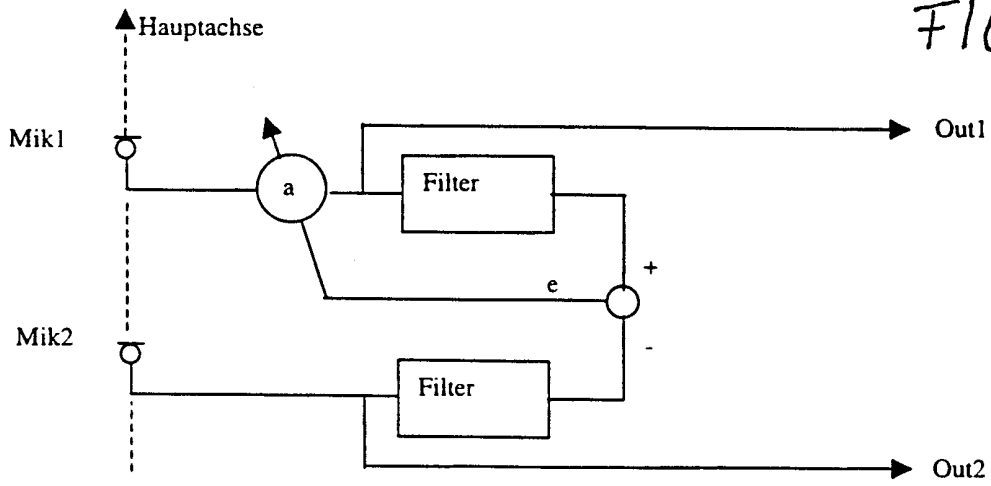


FIG 2

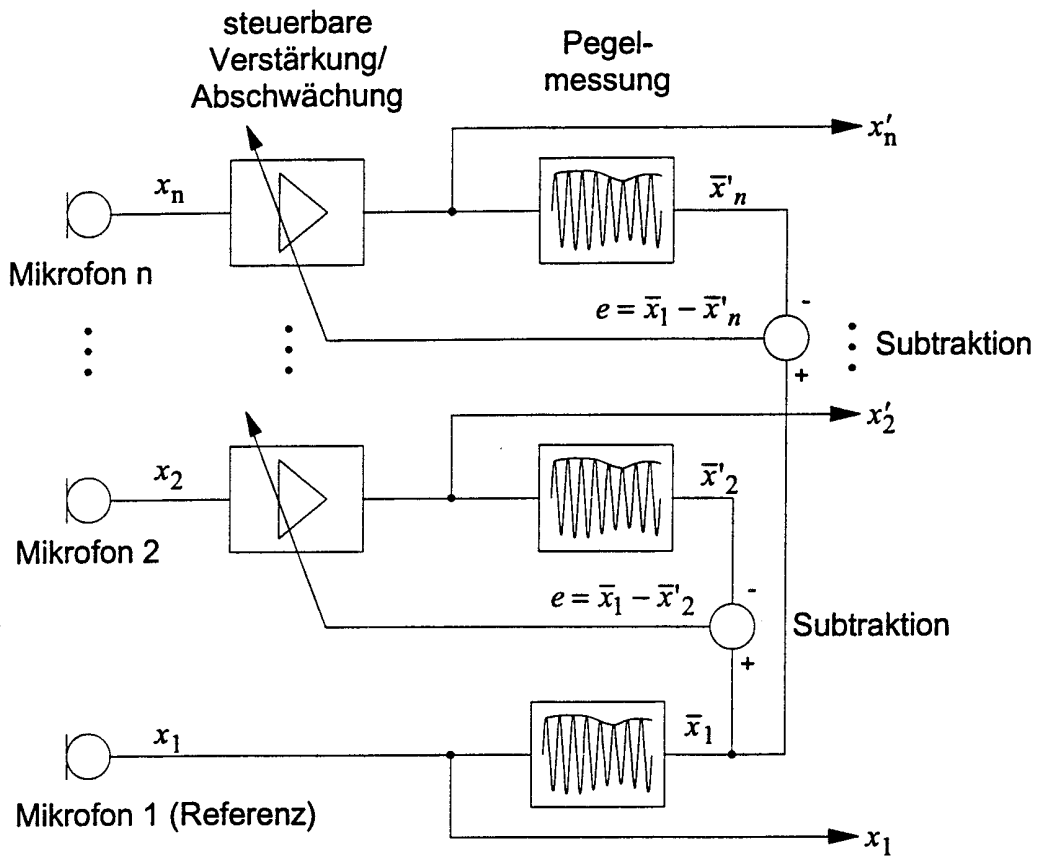


FIG 4

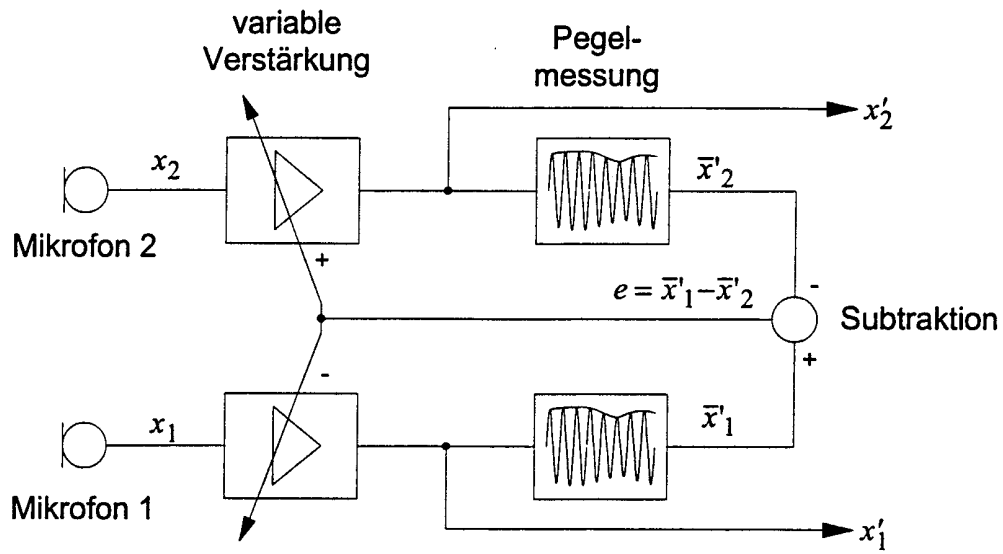


FIG 5

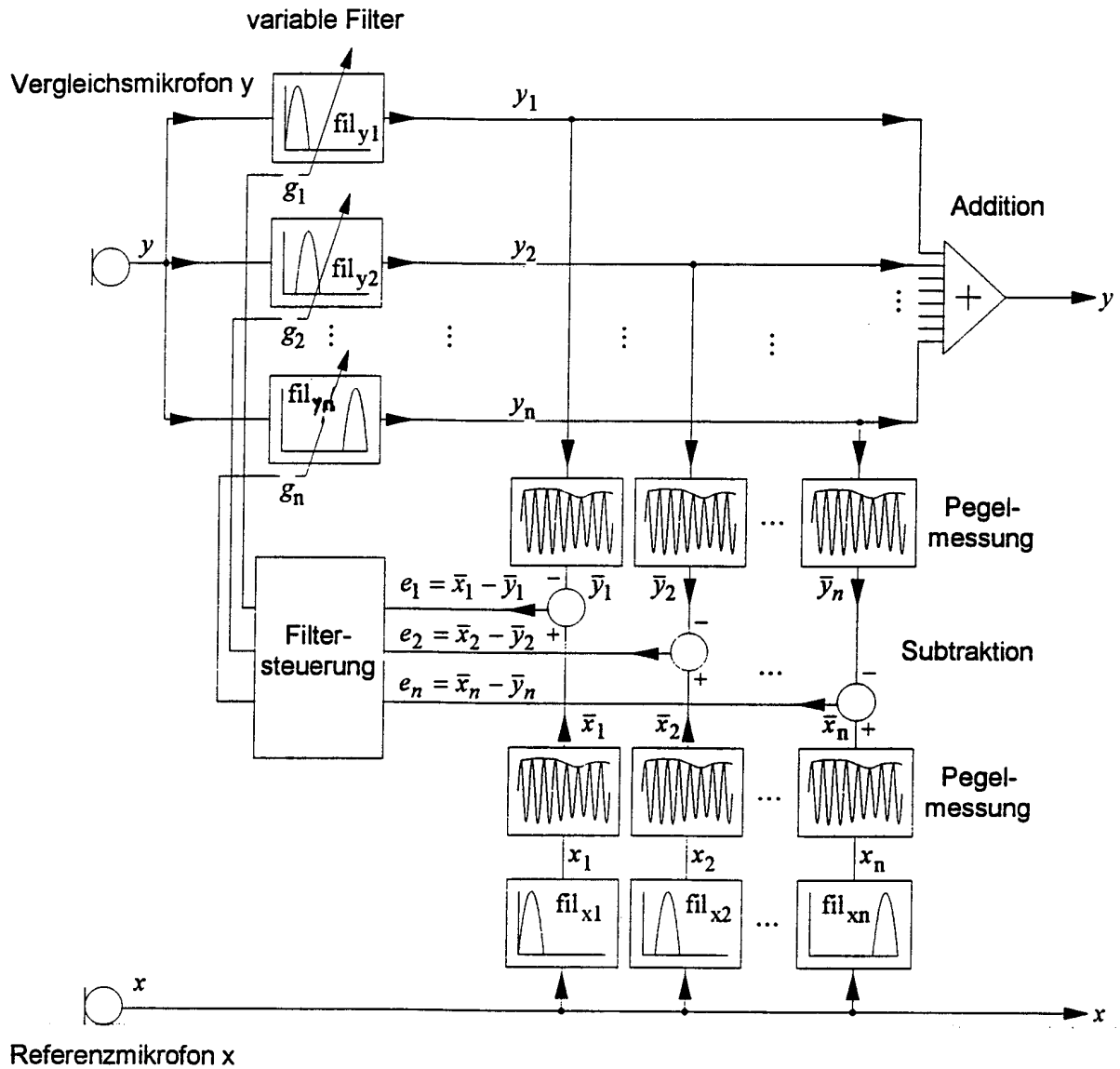
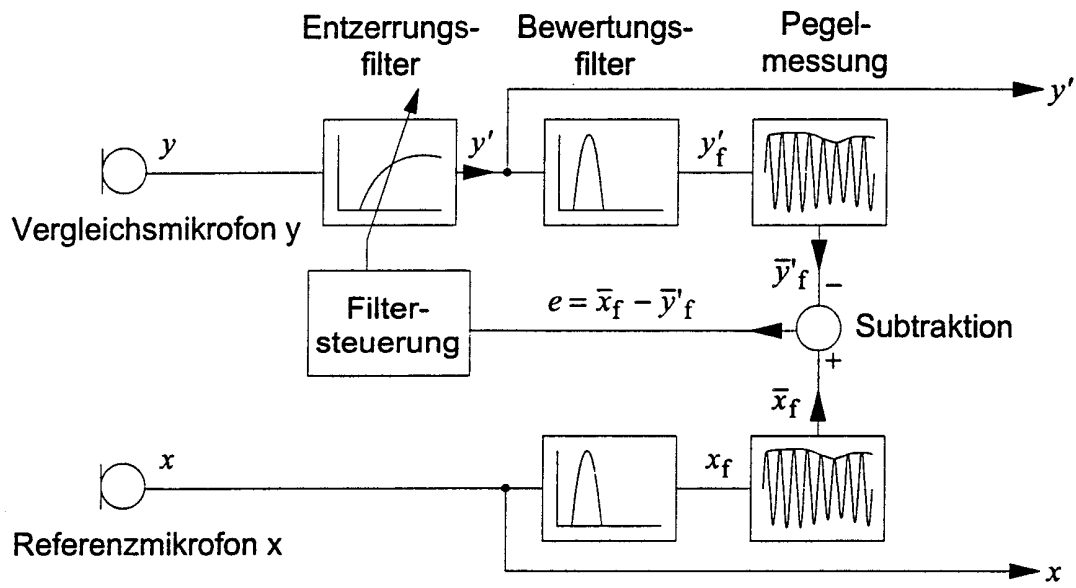




FIG 6



7/6 +

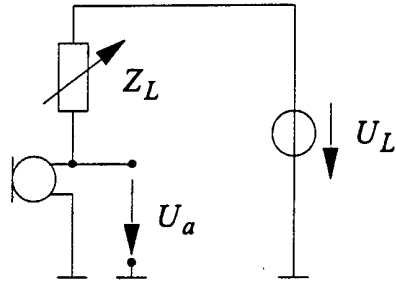


FIG 8

