



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**06.10.2004 Patentblatt 2004/41**

(51) Int Cl.7: **H04R 25/00, H04R 1/40**

(21) Anmeldenummer: **04004215.2**

(22) Anmeldetag: **25.02.2004**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR  
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK**

(72) Erfinder: **Niederdränk, Torsten, Dr.  
91056 Erlangen (DE)**

(74) Vertreter: **Berg, Peter, Dipl.-Ing.  
European Patent Attorney,  
Postfach 22 16 34  
80506 München (DE)**

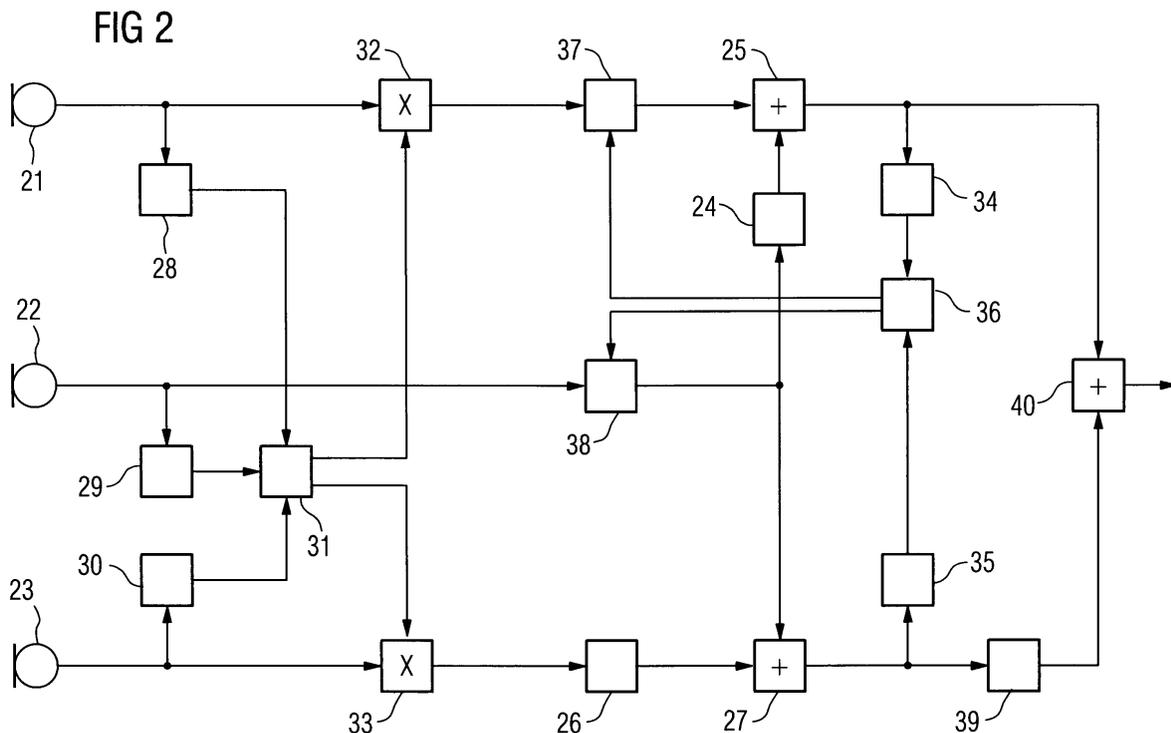
(30) Priorität: **11.03.2003 DE 10310579**

(71) Anmelder: **Siemens Audiologische Technik  
GmbH  
91058 Erlangen (DE)**

(54) **Automatischer Mikrofonabgleich bei einem Richtmikrophonsystem mit wenigstens drei Mikrofonen**

(57) Bei einem Richtmikrophonsystem zweiter oder höherer Ordnung mit wenigstens drei omnidirektionalen Mikrofonen (21, 22, 23; 55, 56, 57) soll ein Mikrofonabgleich durchgeführt werden. In einem ersten Verfahrensschritt werden die Signalpegel der von den drei om-

nidirektionalen Mikrofonen (21, 22, 23; 55, 56, 57) erzeugten Mikrofonsignale abgeglichen. Anschließend wird die Phase bei einem der drei Mikrofonsignale so lange variiert, bis auch die Signalpegel von Richtmikrofonen erster Ordnung, die aus den drei omnidirektionalen Mikrofonen gebildet werden, abgeglichen sind.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum automatischen Mikrofonabgleich bei einem Richtmikrofonsystem mit wenigstens drei omnidirektionalen Mikrofonen, wobei zum Erzeugen einer Richtcharakteristik jeweils zwei omnidirektionale Mikrofone zu einem ersten bzw. einem zweiten Richtmikrofon erster Ordnung verschaltet sind.

**[0002]** Ferner betrifft die Erfindung ein Richtmikrofonsystem mit wenigstens einem ersten, einem zweiten und einem dritten omnidirektionalen Mikrofon, wobei das erste und das zweite omnidirektionale Mikrofon zu einem ersten Richtmikrofon erster Ordnung und das zweite und das dritte omnidirektionale Mikrofon zu einem zweiten Richtmikrofon erster Ordnung miteinander verschaltet sind.

**[0003]** Hörgeschädigte leiden häufig unter einer verminderten Kommunikationsfähigkeit in Störlärm. Zur Verbesserung des Signal/Störgeräusch-Verhältnisses werden seit einiger Zeit Richtmikrofonanordnungen eingesetzt, deren Nutzen für den Hörgeschädigten unumstritten ist. Die Ausgrenzung von rückwärtig empfangenen Störsignalen sowie die Fokussierung auf frontal einfallende Schalle ermöglichen eine bessere Verständigung in Alltagssituationen.

**[0004]** Aus der WO 00/76268 A2 ist ein Hörgerät mit drei omnidirektionalen Mikrofonen bekannt. Aus jeweils zwei Mikrofonen wird durch Invertierung und Verzögerung des von einem Mikrofon erzeugten Mikrofonsignals und anschließende Addition beider Mikrofonsignale jeweils ein Richtmikrofon erster Ordnung gebildet. Ebenso kann durch Verzögerung und Invertierung des von einem Richtmikrofon erster Ordnung gebildeten Mikrofonsignals und anschließende Addition mit einem von einem weiteren Richtmikrofon erster Ordnung gebildeten Mikrofonsignal ein Richtmikrofon mit Richtcharakteristik zweiter Ordnung (Richtmikrofon zweiter Ordnung) gebildet werden.

**[0005]** Insbesondere bei Richtmikrofonen höherer Ordnung tritt das Problem auf, dass die Systeme äußerst sensibel gegenüber Verstimmungen der Übertragungsfunktion der Mikrofone nach Betrag und Phase sind, die z.B. durch Alterungs- als auch durch Verschmutzungseffekte hervorgerufen werden. Während bei der Anwendung von Richtmikrofonen erster Ordnung in Hörgeräten oftmals eine Amplitudenabstimmung der Mikrofone ausreichend ist, muss bei Richtmikrofonen höherer Ordnung die Phasenlage der einzelnen Mikrofone ebenfalls sehr genau aufeinander abgestimmt sein.

**[0006]** Aus der DE 198 22 021 A1 ist ein Hörgerät mit automatischem Mikrofonabgleich sowie ein Verfahren zum Betrieb eines derartigen Hörgerätes bekannt. Bei dem bekannten Hörgerät ist ein Differenzelement zur Subtraktion von Mittelwerten der Ausgangssignale der Mikrofone und eine dem Differenzelement nachgeschaltete Analyse-/Regeleinheit zur Regelung der Ver-

stärkung des Ausgangssignals mindestens eines Mikrofonen vorgesehen. Die Regelung der Verstärkung erfolgt dabei derart, dass die Mittelwerte der Mikrofonsignale in Übereinstimmung gebracht werden. Bei dem Mikrofonabgleich werden lediglich die Amplituden der Mikrofone abgeglichen.

**[0007]** Aus der DE 199 18 883 C1 ist ein Hörhilfegerät mit Richtmikrofoncharakteristik bekannt. Bei dem Hörhilfegerät werden zum Amplituden- und/oder Phasenabgleich zweier omnidirektionaler Mikrofone den Mikrofonen nachgeschaltete Hochpässe in ihren unteren Grenzfrequenzen angepasst. Dabei wird jeweils die untere Grenzfrequenz des einen Mikrofonen durch einen dem Mikrofon nachgeschalteten Hochpass der Grenzfrequenz des anderen Mikrofonen angeglichen.

**[0008]** Aus der DE 198 49 739 A1 sind ein Hörgerät sowie ein adaptives Verfahren zum Abgleich der Mikrofone eines Richtmikrofonsystems in dem Hörgerät bekannt. Um eine unerwünschte Fälschung der Richtmikrofoncharakteristik bei einem Richtmikrofonsystem mit wenigstens zwei Mikrofonen durch nicht aufeinander abgestimmte Mikrofone zu vermeiden, werden Kennwerte der Signale beider Mikrofone über ein Vergleichselement, ein Regelement und ein Stellelement erfasst und bei einer festgestellten Abweichung aneinander angeglichen.

**[0009]** Nachteilig bei den bekannten Verfahren zum Mikrofonabgleich bei Richtmikrofonen ist deren unzureichende Wirkung bei Mikrofon-Fehlabstimmungen, die insbesondere durch Alterungs- und Verschmutzungseffekte hervorgerufen werden.

**[0010]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zum automatischen Mikrofonabgleich bei einem Richtmikrofonsystem sowie ein Richtmikrofonsystem anzugeben, die ohne äußeres Zutun auch während des normalen Betriebes des Richtmikrofonsystems eine Anpassung des Amplitudengangs als auch des Phasengangs der Mikrofone des Richtmikrofonsystems ermöglichen.

**[0011]** Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum automatischen Mikrofonabgleich bei einem Richtmikrofonsystem mit wenigstens drei omnidirektionalen Mikrofonen, wobei zum Erzeugen einer Richtcharakteristik jeweils zwei omnidirektionale Mikrofone zu einem ersten bzw. einem zweiten Richtmikrofon erster Ordnung verschaltet sind, mit folgenden Verfahrensschritten:

- Abgleichen der Amplituden der von den omnidirektionalen Mikrofonen erzeugten Mikrofonensignale,
- Abgleichen der Amplituden der von den Richtmikrofonen erster Ordnung erzeugten Mikrofonensignale durch Phasenverschiebung wenigstens eines von einem der drei omnidirektionalen Mikrofone erzeugten Mikrofonensignale.

**[0012]** Ferner wird die Aufgabe gelöst durch ein Richtmikrofonsystem mit wenigstens einem ersten, einem

zweiten und einem dritten omnidirektionalen Mikrofon, wobei jeweils zwei omnidirektionale Mikrofone zu einem ersten Richtmikrofon erster Ordnung und einem zweiten Richtmikrofon erster Ordnung miteinander verschaltet sind, wobei Pegelmesseinrichtungen zum Ermitteln der zeitlich gemittelten Signalpegel der von den omnidirektionalen Mikrofonen und der von den Richtmikrofonen erster Ordnung erzeugten Mikrofon-signale vorhanden sind, wobei eine Amplitudensteuereinrichtung zum Einstellen der Amplituden bei wenigstens zwei der drei von den omnidirektionalen Mikrofonen erzeugten Mikrofon-signale in Abhängigkeit der ermittelten Signalpegel vorhanden ist und wobei eine Phasensteuereinrichtung zum Einstellen der Phase des von wenigstens einem omnidirektionalen Mikrofon erzeugten Mikrofon-signals in Abhängigkeit der von den Pegelmesseinrichtungen bei den Richtmikrofonen erster Ordnung ermittelten Signalpegel vorhanden ist.

**[0013]** Durch elektrische Verschaltung wenigstens dreier omnidirektionaler Mikrofone können Richtmikrofone mit Richtcharakteristiken zweiter und höherer Ordnung (Richtmikrofone zweiter und höherer Ordnung) gebildet werden. Insbesondere lässt sich durch elektrische Verschaltung zweier omnidirektionaler Mikrofone ein Richtmikrofon erster Ordnung, durch elektrische Verschaltung zweier Richtmikrofone erster Ordnung ein Richtmikrofon zweiter Ordnung usw. aufbauen. Bei der elektrischen Verschaltung wird üblicherweise ein Mikrofon-signal invertiert und zeitlich verzögert und zu einem weiteren Mikrofon-signal gleicher Ordnung addiert.

**[0014]** Die Erfindung sieht in einem ersten Verfahrensschritt eine Amplitudenanpassung der von den omnidirektionalen Mikrofonen des Mikrofon-systems erzeugten Mikrofon-signale vor. Zur Amplitudenanpassung wird bei den Mikrofon-signalen jeweils ein Maß der zeitlich gemittelten Schallfeldenergie aus den Mikrofon-signalen gewonnen. Die Mikrofon-signale werden dann derart abgeglichen, dass nach dem Abgleich die zeitlich gemittelte Schallfeldenergie bei allen Mikrofon-signalen zumindest näherungsweise übereinstimmt. Als Maß der zeitlich gemittelten Schallfeldenergie dient vorzugsweise der Signalpegel. Jedoch können auch andere Maße, z.B. der RMS-Wert, herangezogen werden. Zum Abgleich kann eine Steuerung oder Regelung des jeweils aus einem Mikrofon-signal gewonnenen Maßes der zeitlich gemittelten Schallfeldenergie erfolgen. Beispielsweise werden einzelne Mikrofon-signale mit einem Faktor multipliziert oder gefiltert. Weiterhin kann auch die Verstärkung bei den Mikrofonen nachgeschalteten Verstärkern verändert werden. Der erste Verfahrensschritt bzw. das gesamte Verfahren gemäß der Erfindung lässt sich schmalbandig in mehreren Kanälen oder auch breitbandig durchführen.

**[0015]** Der erste Verfahrensschritt bewirkt, dass ab einer bestimmten Stelle in den Signalpfaden der Mikrofone die Amplituden der Mikrofon-signale abgeglichen sind.

**[0016]** Während bei der Anwendung von Richtmikro-

fonen erster Ordnung oftmals eine Amplitudenabstimmung der Mikrofone ausreichend ist, muss bei Richtmikrofonen höherer Ordnung die Phasenlage der einzelnen Mikrofone ebenfalls berücksichtigt werden. Dabei ist weniger die absolute Phasenlage der Mikrofon-signale, sondern vielmehr deren relative Phasenverschiebung zueinander von Interesse.

**[0017]** Zur Ausbildung eines Richtmikrofon-systems zweiter Ordnung sind wenigstens zwei Richtmikrofone erster Ordnung erforderlich. Diese wiederum können durch paarweise Verschaltung wenigstens dreier omnidirektionaler Mikrofone aufgebaut sein. Die Amplituden der drei omnidirektionalen Mikrofone werden, wie oben beschrieben, in einem ersten Verfahrensschritt abgeglichen. In einem zweiten Verfahrensschritt werden die Amplituden der Richtmikrofone erster Ordnung abgeglichen. Auch hierzu wird aus den Mikrofon-signalen der Richtmikrofone erster Ordnung ein Maß der zeitlich gemittelten Schallfeldenergie, z.B. der Signalpegel, gewonnen und abgeglichen. Im Unterschied zu den omnidirektionalen Mikrofon-signalen erfolgt hierbei der Abgleich allerdings nicht durch eine Amplitudenoder Verstärkungseinstellung der Mikrofon-signale der Richtmikrofone erster Ordnung, sondern durch Phasenverschiebung wenigstens eines von einem omnidirektionalen Mikrofon erzeugten Mikrofon-signals. Die Phase dieses Mikrofon-signals wird so lange variiert, bis die Richtmikrofone erster Ordnung in ihrem Amplitudengang möglichst exakt übereinstimmen. Da die omnidirektionalen Mikrofone in ihren Amplituden bereits aufeinander abgestimmt sind, stimmen die Amplituden der Richtmikrofone erster Ordnung nur dann exakt überein, wenn die Phasenverschiebung zwischen jeweils zwei omnidirektionalen Mikrofonen, die zu einem Richtmikrofon-system erster Ordnung verschaltet sind, übereinstimmen. Dadurch entstehen in ihrem Signalübertragungsverhalten weitgehend symmetrische Richtmikrofone erster Ordnung.

**[0018]** Die Erfindung bietet den Vorteil, dass der bei einem Richtmikrofon-system höherer Ordnung erforderliche Phasenabgleich einzelner Mikrofone auf einen verhältnismäßig einfach zu realisierenden Amplitudenabgleich zurückgeführt wird. Weiterhin kann der Mikrofonabgleich während des normalen Betriebs des Richtmikrofon-systems erfolgen. Darüber hinaus dürfen auch mehrere Signalquellen während des Mikrofonabgleichs vorhanden und beliebig im Raum angeordnet sein.

**[0019]** Das für ein Richtmikrofon-system zweiter Ordnung beschriebene Verfahren kann analog auch auf Richtmikrofon-systeme höherer Ordnung erweitert werden. Das Verfahren ist ferner nicht auf drei omnidirektionale Mikrofone als Signaleingänge beschränkt. So können auch bei mehr als drei omnidirektionalen Mikrofonen Richtmikrofone erster (und höherer) Ordnung gebildet und abgeglichen werden. Durch die Erfindung erfolgt in der Regel kein absoluter Phasenabgleich, sondern ein relativer Phasenabgleich bei Mikrofon-paaren, die zur Bildung eines Mikrofon-s der nächsthöheren Ord-

nung miteinander verschaltet werden. Das Verfahren kann breitbandig oder auch schmalbandig in nur einem Frequenzbereich oder mehreren parallelen Frequenzkanälen ausgeführt werden.

**[0020]** Ein in Bezug auf die äußere Geometrie symmetrisch aufgebautes Richtmikrofonsystem erleichtert die Durchführung eines Verfahrens gemäß der Erfindung. So befinden sich die Schalleintrittsöffnungen der omnidirektionalen Mikrofone vorteilhaft auf einer Geraden, wobei benachbarte Schalleintrittsöffnungen jeweils den gleichen Abstand zueinander aufweisen. Dann müssen z.B. durch die Geometrie bedingte Laufzeitunterschiede der einzelnen Mikrofonensignale zum Mikrofonabgleich nicht herausgerechnet werden. Da bei dem Verfahren gemäß der Erfindung die zeitlich gemittelte Schallfeldenergie aus den Mikrofonensignalen ermittelt und abgeglichen wird, spielen Laufzeitunterschiede keine Rolle, die beispielsweise dadurch entstehen, dass ein Mikrofon mit einer in Bezug auf eine Signalquelle weiter vorne liegenden Schalleintrittsöffnung ein Schallsignal früher empfängt als ein Mikrofon mit einer weiter hinten liegenden Schalleintrittsöffnung.

**[0021]** Das Verfahren zum Abgleich des relativen Phasenfehlers zwischen einzelnen Mikrofon-Pärchen lässt sich dahingehend erweitern, dass auch die absolute Phasenlage einzelner Mikrofone bzw. Richtmikrofone mit jeweils gleicher Ordnung angeglichen wird. Dies soll ohne Beschränkung der Allgemeinheit bei nach dem eingangs beschriebenen Verfahren abgeglichenen Richtmikrofonen erster Ordnung im Folgenden beschrieben werden.

**[0022]** Ein erstes sowie ein zweites Richtmikrofon erster Ordnung seien nach dem eingangs beschriebenen Verfahren abgeglichen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass im rückwärtigen Bereich eines Hörgeräträgers, also im Bereich zwischen  $90^\circ$  und  $270^\circ$  bezogen auf die Geradeaus-Blickrichtung ( $0^\circ$  - Richtung) wenigstens eine Störquelle vorhanden ist, wovon in realen Umgebungssituationen fast immer ausgegangen werden kann. Dann wird die Phase in dem Mikrofonensignal eines omnidirektionalen Mikrofonensignals des ersten Richtmikrofonensignals in einem eingeschränkten Wertebereich so verändert, dass sich die Amplitude des Mikrofonensignals des ersten Richtmikrofonensignals erster Ordnung gegenüber der Amplitude des Mikrofonensignals des zweiten Richtmikrofonensignals erster Ordnung verringert. Der eingeschränkte Wertebereich der Phasenverschiebung ist dabei so festgelegt, dass der Einschnitt der Empfindlichkeit des Richtmikrofonensignals (Notch) durch die Phasenverschiebung in dem rückwärtigen Bereich zwischen  $90^\circ$  und  $270^\circ$  verbleibt. Vorzugsweise wird die Phase so eingestellt, dass die Amplitude des Mikrofonensignals des ersten Richtmikrofonensignals erster Ordnung ein Minimum im Vergleich zu der Amplitude des Mikrofonensignals des zweiten Richtmikrofonensignals erster Ordnung aufweist. Physikalisch bedeutet dies, dass dann der Notch bei dem ersten Richtmikrofonensystem so eingestellt ist, dass ein Störsignal (bzw. Störsignale) aus dem rückwärtigen Bereich

bestmöglich unterdrückt wird. Nachfolgend werden die beiden Richtmikrofone erster Ordnung wieder abgeglichen, indem auch bei dem zweiten Richtmikrofon erster Ordnung eine Phasenverschiebung in dem Mikrofonensignal eines omnidirektionalen Mikrofonensignals des zweiten Richtmikrofonensignals erster Ordnung derart eingestellt wird, dass die beiden Richtmikrofone erster Ordnung wieder abgeglichen sind.

**[0023]** Die oben beschriebene Vorgehensweise kann auch dahingehend abgewandelt werden, dass die Phase in dem Mikrofonensignal eines omnidirektionalen Mikrofonensignals des ersten Richtmikrofonensignals lediglich einen kleinen Schritt in der Richtung verändert wird, dass sich die Amplitude des ersten Richtmikrofonensignals erster Ordnung gegenüber der Amplitude des zweiten Richtmikrofonensignals erster Ordnung verringert. Die Schrittweite kann zum Beispiel so eingestellt werden, dass mit jedem Schritt eine Verschiebung des Notches um  $2^\circ$  erfolgt. Anschließend werden die beiden Richtmikrofone erster Ordnung wieder wie oben beschrieben abgeglichen. Dieses Vorgehen wird so lange wiederholt, bis sich die Amplitude in dem Mikrofonensignal des ersten Richtmikrofonensignals erster Ordnung gegenüber der Amplitude des Mikrofonensignals des zweiten Richtmikrofonensignals erster Ordnung nur noch unwesentlich verringern lässt. Beide Richtmikrofone sind dann optimal auf das Störsignal bzw. die Störsignale ausgerichtet.

**[0024]** Diese Vorgehensweise führt zu einem Abgleich der absoluten Phasenlage der omnidirektionalen Mikrofone. Auch dieser Phasenabgleich ist vorteilhaft auf einen verhältnismäßig einfach zu realisierenden Amplitudenabgleich zurückgeführt.

**[0025]** Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels. Dabei zeigen:

Figur 1 ein Richtmikrofonsystem zweiter Ordnung nach dem Stand der Technik,

Figur 2 ein Richtmikrofonsystem gemäß der Erfindung und

Figur 3 ein hinter dem Ohr tragbares Hörhilfegerät mit einem Richtmikrofonsystem gemäß der Erfindung.

**[0026]** Figur 1 zeigt ein aus drei omnidirektionalen Mikrofonen 1, 2 und 3 aufgebautes Richtmikrofonsystem mit Richtcharakteristik zweiter Ordnung (Richtmikrofonsystem zweiter Ordnung). Die beiden omnidirektionalen Mikrofone 1 und 2 bilden ein erstes Richtmikrofon erster Ordnung. Hierbei wird das aus dem omnidirektionalen Mikrofon 2 hervorgehende Mikrofonensignal in einem Verzögerungselement 4 verzögert und in einem Inverter 5 invertiert, bevor es durch den Summierer 8 zu dem Mikrofonensignal des omnidirektionalen Mikrofonensignals des omnidirektionalen Mikrofonensignals 3 in einem Verzögerungselement

6 verzögert, in einem Inverter 7 invertiert und in einem Summierer 9 zu dem Mikrofonsignal des omnidirektionalen Mikrofons 2 addiert. Wie bei den omnidirektionalen Mikrofonen 2 und 3 wird anschließend auch das Mikrofonsignal des aus den beiden omnidirektionalen Mikrofonen 2 und 3 gebildeten zweiten Richtmikrofons erster Ordnung in einem Verzögerungselement 10 verzögert, in einem Inverter 11 invertiert und schließlich in einem Summierer 12 zu dem Mikrofonsignal des aus dem ersten und dem zweiten omnidirektionalen Mikrophon gebildeten ersten Richtmikrophon erster Ordnung addiert. Bei dem so gebildeten Richtmikrophonsystem zweiter Ordnung lässt sich die genaue Ausprägung der Richtcharakteristik, die in einem Richtdiagramm veranschaulicht werden kann, durch unterschiedliche Einstellungen der Signalverzögerungen in den Verzögerungselementen 4, 6 und 10 variieren.

**[0027]** Ebenso wie Figur 1 zeigt auch Figur 2 ein Richtmikrophonsystem zweiter Ordnung, das aus lediglich drei omnidirektionalen Mikrofonen 21, 22 und 23 aufgebaut ist und dadurch insbesondere den beengten Platzverhältnissen für die Anwendung in einem Hörhilfegerät Rechnung trägt. Aus dem Mikrophonpaar 21, 22 wird durch Verzögerung des von dem omnidirektionalen Mikrophon 22 erzeugten Mikrophonsignals und Invertierung in einer Verzögerungs- und Invertereinheit 24 und anschließende Summation zu dem von dem omnidirektionalen Mikrophon 21 erzeugten Mikrophonsignal in dem Summierer 25 ein erstes Richtmikrophon erster Ordnung gebildet. Ebenso bildet auch das Mikrophonpaar 22, 23 durch Verzögerung und Invertierung des von dem omnidirektionalen Mikrophon 23 erzeugten Mikrophonsignals in der Verzögerungs- und Invertereinheit 26 und anschließende Addition des von dem omnidirektionalen Mikrophon 22 erzeugten Mikrophonsignals in dem Summierer 27 ein zweites Richtmikrophon erster Ordnung. Zur Durchführung des Verfahrens gemäß der Erfindung sind die Signalverzögerungen in den Verzögerungs- und Invertereinheiten 24 und 26 zunächst gleich eingestellt. In einem ersten Verfahrensschritt des Verfahrens gemäß der Erfindung werden zunächst die Amplituden der von den drei omnidirektionalen Mikrofonen 21, 22 und 23 erzeugten Mikrophonsignale abgeglichen. Hierzu werden in den Pegelmesseinrichtungen 28, 29 und 30 zunächst die zeitlich gemittelten Signalpegel aus den Mikrophonsignalen gewonnen. Die gemessenen Signalpegel sind einer Amplitudensteuereinrichtung 31 zugeführt. Diese steuert in wenigstens zwei der drei Mikrophonsignalfade vorhandene Multiplikatoren 32 und 33, so dass Abweichungen der aus den Mikrophonsignalen ermittelten zeitlich gemittelten Signalpegel ausgeglichen werden. Dadurch ist der Amplitudengang der drei omnidirektionalen Mikrofone 21, 22 und 23 angeglichen. Nachfolgend werden auch die zeitlich gemittelten Signalpegel der von den beiden Richtmikrophonen erster Ordnung erzeugten Mikrophonsignale durch Pegelmesseinrichtungen 34 und 35 gewonnen. Diese Signalpegel sind einer Steuereinheit 36 zugeführt. Die Steuereinheit

36 steuert ein Phasenkompensationsfilter 38, durch das eine Phasenverschiebung in dem von dem omnidirektionalen Mikrophon 22 erzeugten Mikrophonsignal derart eingestellt wird, dass von den beiden Pegelmesseinrichtungen 34 und 35 die gleichen zeitlich gemittelten Signalpegel gemessen werden. Dies bedeutet, dass der in den beiden Mikrophonpaaren vorliegende Phasenfehler gleich groß wird (relativer Phasenabgleich). Durch das gleiche Signalübertragungsverhalten sind die beiden Mikrophonpaare daher bestens zur Bildung eines Richtmikrophons zweiter Ordnung geeignet. Hierzu kann das von dem zweiten Richtmikrophon erster Ordnung erzeugte Mikrophonsignal in der Verzögerungs- und Invertereinheit 39 verzögert und in dem Summierer 40 zu dem Mikrophonsignal des ersten Richtmikrophons erster Ordnung addiert werden.

**[0028]** Die Erfindung bietet den Vorteil, dass der Phasenabgleich der Mikrofone auf einen einfach zu realisierenden Amplitudenabgleich zurückgeführt wurde. Der Abgleich kann unter realen Umgebungsbedingungen erfolgen, wobei beliebig viele Schallquellen vorhanden sein dürfen.

**[0029]** Eine Weiterführung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass im Anschluss an den bislang durchgeführten Mikrophonabgleich die Phase des von dem omnidirektionalen Mikrophon 21 erzeugten Mikrophonsignals durch Steuerung der Phasenkompensationseinheit 37 durch die Steuereinheit 36 derart eingestellt wird, dass sich bei dem durch die Pegelmesseinrichtungen 34 und 35 gemessenen Signalpegel der Richtmikrophone erster Ordnung der Signalpegel des ersten Richtmikrophons gegenüber dem Signalpegel des zweiten Richtmikrophons verringert.

**[0030]** Physikalisch kommt diese Verringerung dadurch zustande, dass der Notch des ersten Richtmikrophons erster Ordnung, das heißt, der Einschnitt in der Richtcharakteristik, der die Richtung der geringsten Empfindlichkeit zeigt, besser auf den oder die in der jeweiligen Umgebungssituation vorhandenen Störer ausgerichtet ist. Die Phasenvariation ist dabei auf einen Wertebereich beschränkt, so dass auch der Notch nur in einem bestimmten Winkelbereich eingestellt werden kann, z.B. zwischen  $90^\circ$  und  $270^\circ$  bezogen auf die Geradeaus-Blickrichtung eines Hörgeräteträgers ( $0^\circ$ -Richtung). Anschließend wird die Phasenkompensationseinheit 38 so eingestellt, dass die Signalpegel der Mikrophonsignale der Richtmikrophone erster Ordnung wieder möglichst genau übereinstimmen, d.h., das zweite Richtmikrophon erster Ordnung wird wieder an das erste Richtmikrophon erster Ordnung angepasst.

**[0031]** Die zuletzt beschriebene Vorgehensweise kann zum Mikrophonabgleich einmal durchlaufen werden, wobei die Phasenverschiebung in dem vorgegebenen Wertebereich so eingestellt wird, dass der Signalpegel des ersten Richtmikrophons gegenüber dem Signalpegel des zweiten Richtmikrophons minimal wird. Das erste Richtmikrophon ist dann optimal an die Störsignale in der speziellen Umgebungssituation angepasst

und das zweite Mikrofon wird anschließend entsprechend nachgeführt. Nachteilig dabei ist allerdings der zusätzliche Aufwand, der betrieben werden muss, um das Minimum festzustellen. Daher sieht eine alternative Ausführungsform vor, dass der Notch des ersten Richtmikrofons erster Ordnung schrittweise in kleinen Schritten, z.B. 2°, in der Richtung gedreht wird, in der sich eine Verringerung des Signalpegels gegenüber dem Signalpegel des Mikrofonsignals des zweiten Richtmikrofons erster Ordnung ergibt. Anschließend werden die beiden Richtmikrofone erster Ordnung wieder wie eingangs beschrieben abgeglichen. Diese Vorgehensweise wird so lange wiederholt, bis allenfalls noch eine geringe Verringerung des Signalpegels des Mikrofonsignals des ersten Richtmikrofons erster Ordnung erreicht werden kann.

**[0032]** Insgesamt stellt dieser kontinuierlich ablaufende zyklische Algorithmus einen dreistufigen Regelkreis dar, mit dessen Hilfe die drei omnidirektionalen Mikrofone nach Betrag und Phase abgeglichen werden können. Es kann eine gleichförmige kleine Schrittweite oder auch eine adaptive Schrittweite verwendet werden. Die Realisierung der Phasenkompensationseinheiten kann beispielsweise durch Laufzeitglieder oder digitale Filter erfolgen. Mittels digitaler Filter lässt sich eine breitbandige oder auch für verschiedene Frequenzbereiche unterschiedliche Phasenkompensation erreichen.

**[0033]** Vorzugsweise wird der zuletzt beschriebene absolute Phasenabgleich der Mikrofone nur dann durchgeführt, wenn die Signalpegel in der augenblicklichen Umgebungssituation einen bestimmten Schwellenwert überschreiten. Dann kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass auch Störsignale vorhanden sind. Dies stellt jedoch keinen Nachteil dar, da in Umgebungssituationen mit nur sehr geringen Signalpegeln eine Richtwirkung und dadurch erlangte Störgeräuschbefreiung ohnehin nur von untergeordneter Bedeutung sind.

**[0034]** Das für das Ausführungsbeispiel eines aus drei omnidirektionalen Mikrofonen gebildeten Richtmikrofonsystems zweiter Ordnung kann analog auch auf Richtmikrofonsysteme mit mehr als drei omnidirektionalen Mikrofonen und höherer als zweiter Ordnung übertragen werden.

**[0035]** Figur 3 zeigt ein hinter dem Ohr tragbares Hörhilfegerät 50 mit einem Richtmikrofonsystem gemäß der Erfindung. Das Hörhilfegerät 50 umfasst eine Batteriekammer 51 zur Anordnung einer Batterie 52 zur Spannungsversorgung des Hörhilfegerätes 50, eine Signalverarbeitungselektronik 53 und einen MTO-Schalter 54 zum Ausschalten des Hörhilfegerätes 50 (Schaltstellung 0) sowie zum Ein- und Umschalten des Empfangs zwischen dem Richtmikrofonsystem (Schaltstellung M) und einer Telefonspule (Schaltstellung T).

**[0036]** Das Richtmikrofonsystem des Hörhilfegerätes 50 umfasst drei omnidirektionale Mikrofone 55, 56 und 57, denen jeweils eine Schalleintrittsöffnung 58, 59 bzw. 60 zugeordnet ist. Die Schalleintrittsöffnungen 58-60

sind im Ausführungsbeispiel seitlich an dem Hörhilfegerät 50 angeordnet. Sie liegen zumindest näherungsweise auf einer Geraden 61 und weisen in etwa gleichen Abstand zueinander auf. Anders als in dem gezeigten Ausführungsbeispiel könnten die Schalleintrittsöffnungen 58-60 auch - wie bei hinter dem Ohr tragbaren Hörhilfegeräten üblich - an der Gehäuseoberseite angeordnet sein.

**[0037]** Gemäß der Erfindung kann bei dem hinter dem Ohr tragbaren Hörhilfegerät 50 der Mikrofonabgleich bei getragenen Hörhilfegerät in realen Umgebungsbedingungen erfolgen. Hierdurch werden insbesondere Verschmutzungs- sowie Alterungserscheinungen der Mikrofone 55-57 bei dem Hörhilfegerät 50 ausgeglichen.

**[0038]** Zum Tragen des Hörhilfegerätes 50 hinter dem Ohr ist das Hörhilfegerät 50 in bekannter Weise mit einem Tragehaken 62 versehen. Ein dem Hörhilfegerät 50 zugeführtes akustisches Eingangssignal wird in den Mikrofonen 55-57 in elektrische Eingangssignale umgewandelt, in der Signalverarbeitungselektronik 53 verarbeitet und schließlich in einem Hörer 63 in ein akustisches Signal zurückverwandelt und durch den Tragehaken 62 und einem damit verbundenen Schallschlauch (nicht dargestellt) dem Gehör des Hörgeräteträgers zugeführt.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum automatischen Mikrofonabgleich bei einem Richtmikrofonsystem mit wenigstens drei omnidirektionalen Mikrofonen (21, 22, 23; 55, 56, 57), wobei zum Erzeugen einer Richtcharakteristik jeweils zwei omnidirektionale Mikrofone (21, 22; 22, 23; 55, 56; 56, 57) zu einem ersten bzw. einem zweiten Richtmikrofon erster Ordnung verschaltet sind, mit folgenden Verfahrensschritten:
  - Abgleichen der Amplituden der von den omnidirektionalen Mikrofonen (21, 22, 23; 55, 56, 57) erzeugten Mikrofonensignale,
  - Abgleichen der Amplituden der von den Richtmikrofonen erster Ordnung erzeugten Mikrofonensignale durch Phasenverschiebung wenigstens eines von einem der drei omnidirektionalen Mikrofone (21, 22, 23; 55, 56, 57) erzeugten Mikrofonensignale.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die omnidirektionalen Mikrofone (55, 56, 57) jeweils wenigstens eine Schalleintrittsöffnung (58, 59, 60) aufweisen und diese zumindest näherungsweise entlang einer Geraden (61) und in gleichem Abstand zueinander angeordnet sind.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei zum Abgleich der Amplituden der von den omnidirektionalen Mikrofonen (21, 22, 23; 55, 56, 57) erzeugten

- Mikrofonsignale jeweils ein Maß der zeitlich gemittelten Schallfeldenergie aus den Mikrofonsignalen gewonnen wird und die Signalübertragungsfunktionen der omnidirektionalen Mikrofone (21, 22, 23; 55, 56, 57) durch den Mikrofonen (21, 22, 23; 55, 56, 57) nachgeschaltete Einstellmittel dahingehend angepasst werden, dass das jeweils aus einem Mikrofonsignal ermittelte Maß der zeitlich gemittelten Schallfeldenergie für alle drei Mikrofonsignale zumindest näherungsweise übereinstimmt.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei als Maß der zeitlich gemittelten Schallfeldenergie der Signalpegel ermittelt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei die Signalübertragungsfunktionen der omnidirektionalen Mikrofone (21, 22, 23; 55, 56, 57) jeweils durch Multiplikation der Mikrofonsignale mit einem Faktor eingestellt werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei zum Abgleich der Amplituden der von den Richtmikrofonen erster Ordnung erzeugten Mikrofonsignale jeweils ein Maß der zeitlich gemittelten Schallfeldenergie aus den Mikrofonsignalen der Richtmikrofone erster Ordnung gewonnen und abgeglichen wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei als Maß der zeitlich gemittelten Schallfeldenergie der Signalpegel ermittelt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, mit einem ersten, einem zweiten und einem dritten omnidirektionalen Mikrofon (21, 22, 23; 55, 56, 57), wobei zum Erzeugen einer Richtcharakteristik das erste und das zweite omnidirektionale Mikrofon (21, 22; 55, 56) zu einem ersten Richtmikrofon erster Ordnung sowie das zweite und das dritte omnidirektionale Mikrofon (22, 23; 56, 57) zu einem zweiten Richtmikrofon erster Ordnung verschaltet sind, wobei eine Phasenverschiebung des von dem ersten oder dem zweiten omnidirektionalen Mikrofon (21, 22; 56, 57) erzeugten Mikrofonsignals derart erfolgt, dass sich die Amplitude des von dem ersten Richtmikrofon erster Ordnung erzeugten Mikrofonsignals gegenüber der Amplitude des von dem zweiten Richtmikrofon erster Ordnung erzeugten Mikrofonsignals verringert, und wobei nachfolgend die Amplituden der Richtmikrofone erster Ordnung durch Phasenverschiebung des von dem zweiten oder dem dritten omnidirektionalen Mikrofon (22, 23; 56, 57) erzeugten Mikrofonsignals erneut abgeglichen werden.
9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die Phasenverschiebung innerhalb eines vorgebbaren Wertebereiches derart erfolgt, dass die Amplitude des von dem ersten Richtmikrofon erster Ordnung erzeugten Mikrofonsignals gegenüber der Amplitude des von dem zweiten Richtmikrofon erster Ordnung erzeugten Mikrofonsignals minimiert ist.
10. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die Verfahrensschritte so lange wiederholt werden, bis ein Abbruchkriterium erreicht ist.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei eine Einteilung der von den omnidirektionalen Mikrofonen (21, 22, 23; 55, 56, 57) erzeugten Mikrofonsignale in Frequenzbänder erfolgt und der Mikrofonabgleich jeweils in einem Frequenzband durchgeführt wird.
12. Richtmikrofonsystem mit wenigstens einem ersten, einem zweiten und einem dritten omnidirektionalen Mikrofon (21, 22, 23; 55, 56, 57), wobei jeweils zwei omnidirektionale Mikrofone (21, 22; 22, 23; 55, 56; 56, 57) zu einem ersten Richtmikrofon erster Ordnung und einem zweiten Richtmikrofon erster Ordnung miteinander verschaltet sind, wobei Pegelmesseinrichtungen (28, 29, 30; 34, 35) zum Ermitteln der zeitlich gemittelten Signalpegel der von den omnidirektionalen Mikrofonen (21, 22, 23; 55, 56, 57) und der von den Richtmikrofonen erster Ordnung erzeugten Mikrofonsignale vorhanden sind, wobei eine Amplitudensteuereinrichtung (31) zum Einstellen der Amplituden bei wenigstens zwei der drei von den omnidirektionalen Mikrofonen (21, 22, 23; 55, 56, 57) erzeugten Mikrofonsignale in Abhängigkeit der ermittelten Signalpegel vorhanden ist und wobei eine Phasensteuereinrichtung zum Einstellen der Phase des von wenigstens einem omnidirektionalen Mikrofon (21, 22; 55, 56) erzeugten Mikrofonsignals in Abhängigkeit der von den Pegelmesseinrichtungen (34, 35) bei den Richtmikrofonen erster Ordnung ermittelten Signalpegel vorhanden ist.
13. Richtmikrofonsystem nach Anspruch 12, wobei eine Phasensteuereinrichtung (36) zum Einstellen der Phasen der von wenigstens zwei omnidirektionalen Mikrofonen (21, 22; 55, 56) erzeugten Mikrofonsignale in Abhängigkeit der von den Pegelmesseinrichtungen (34, 35) bei den Richtmikrofonen erster Ordnung ermittelten Signalpegel vorhanden ist.
14. Anordnung eines Richtmikrofonsystems nach Anspruch 12 oder 13 in einem Hörhilfegerät (50).

**FIG 1**  
(Stand der Technik)

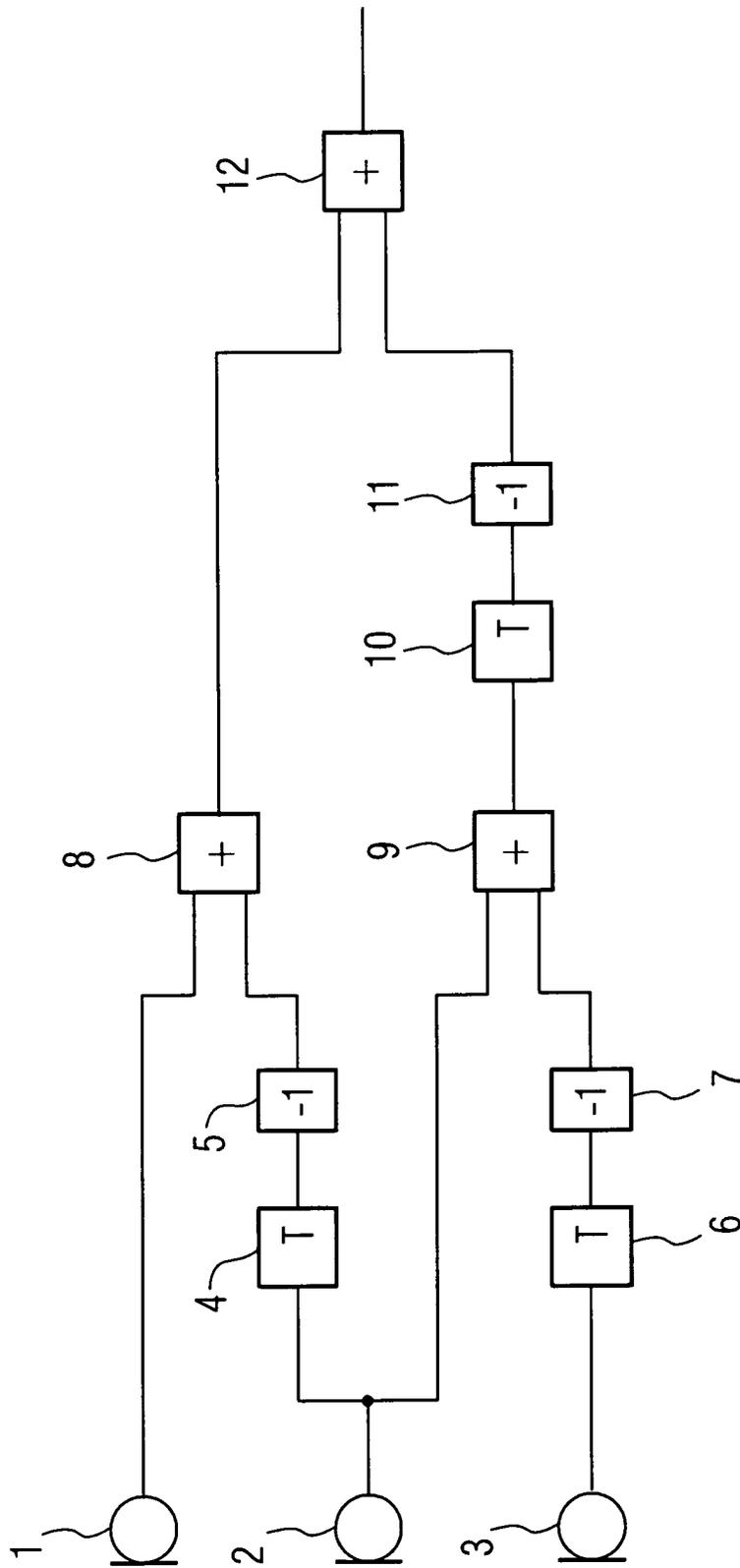


FIG 2

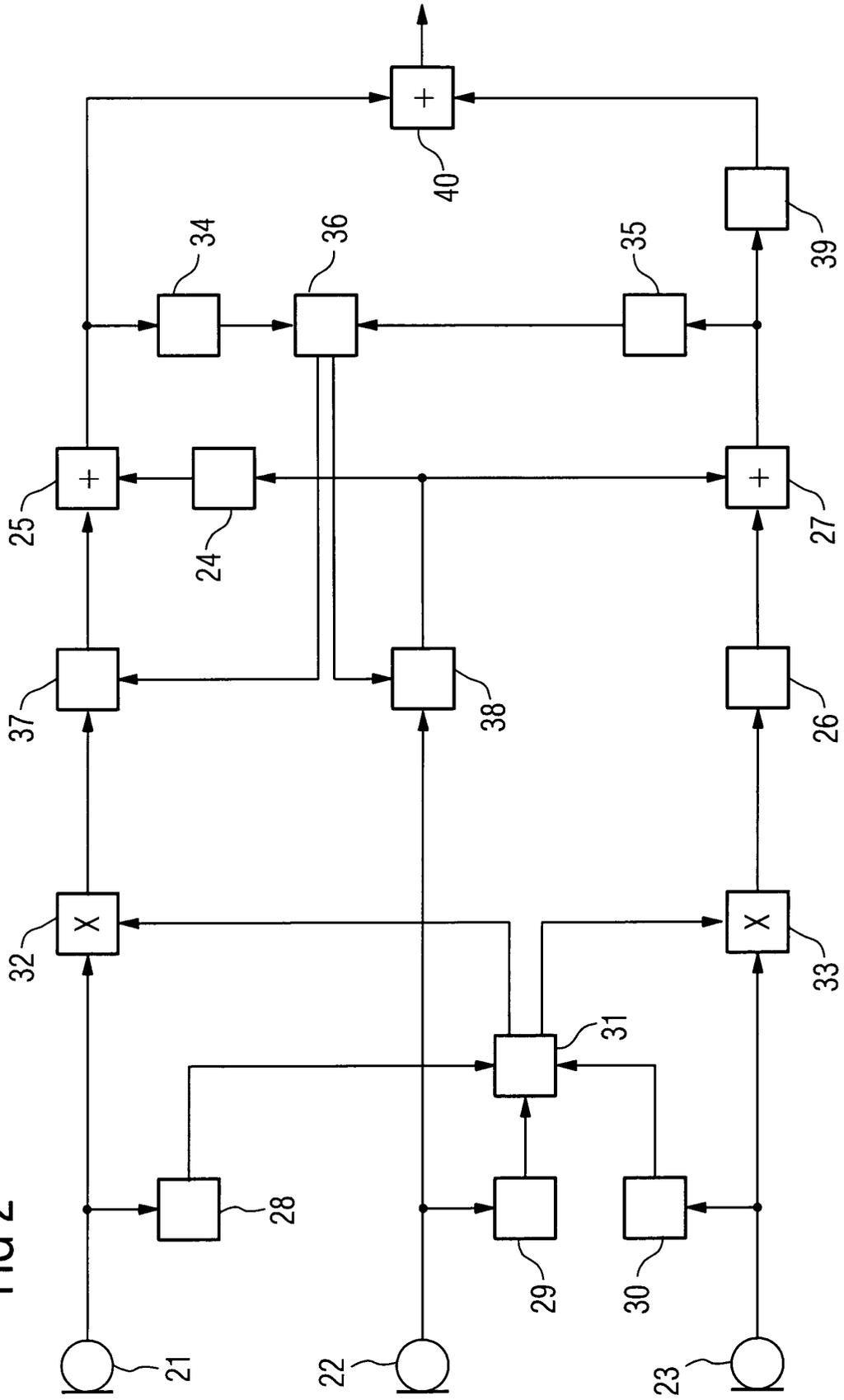


FIG 3

