



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
09.10.2002 Patentblatt 2002/41

(51) Int Cl.7: **H04R 1/32**

(21) Anmeldenummer: **02007546.1**

(22) Anmeldetag: **03.04.2002**

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

(71) Anmelder: **DaimlerChrysler AG
70567 Stuttgart (DE)**

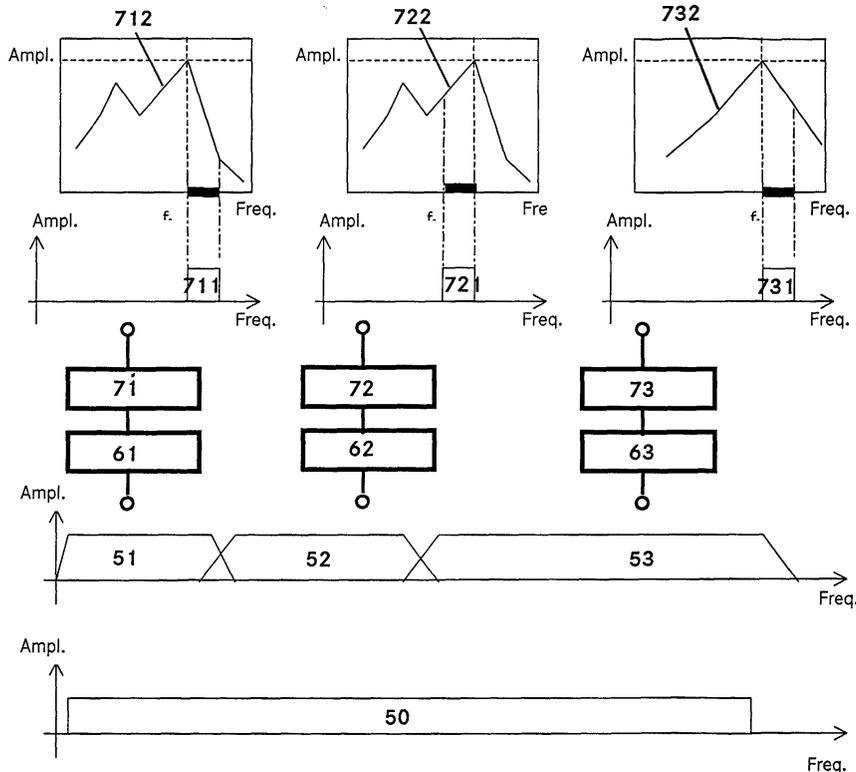
(72) Erfinder:
• **Kolano, Guido
73084 Salach (DE)**
• **Linhard, Klaus, Dr.
89601 Schelklingen (DE)**

(30) Priorität: **07.04.2001 DE 10117528**

(54) **Ultraschallbasiertes parametrisches Mehrwegelautsprechersystem**

(57) Es wird eine Anordnung von parametrischen Lautsprechern beschrieben, bei welcher die Gesamtheit der Wandler in Gruppen eingeteilt wird, wobei jede Gruppe von mindestens einem ihr zugeordneten Modu-

lator angesteuert wird, so dass sich ein parametrisches Mehrwege-Lautsprechersystems ergibt. Hierdurch wird es ermöglicht, dass jedem der Wege die Wandler im optimalen Resonanzbereich arbeiten.



Figur 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung nach den Oberbegriffen der Patentansprüche 1 und 7.

[0002] Eine Abstrahlung gebündelter Schallwellen erfordert einen Schallwandler mit einer geometrischen Abmessung im Bereich von mehreren Wellenlängen. Anstelle eines einzelnen Wandlers können auch mehrerer Wandler verwendet werden um eine große Geometrie zu erzeugen. Eine Anordnung aus mehreren Wandlern wird als Array bezeichnet. Die einzelnen Wandler können zusätzlich mit einer vorgeschalteten Signalverarbeitung versehen werden um die Richtwirkung des Arrays zu steigern.

[0003] Um eine starke Bündelung bei geringer Wandlerabmessungen zu erzeugen kann eine Modulationstechnik verwendet werden um das niederfrequente Nutzsignal (Audio-Signal) mit einem hochfrequenten Trägersignal zu verknüpfen. Für die Richtwirkung ist damit zunächst die Wellenlänge des höherfrequenten Trägersignals maßgebend. Es wird ein Parameter des Trägersignals von dem Nutzsignal gesteuert. Hieraus leitet sich die Bezeichnung parametrischer Wandler oder parametrisches Array ab.

[0004] Die vorliegende Erfindung befaßt sich mit einem parametrischen Lautsprecher der als Trägersignal Ultraschall verwendet. Die grundlegenden physikalischen Experimente gehen auf den deutschen Physiker Helmholtz im 19 Jahrhundert zurück. Ein anwendbares Lautsprechersystem wird von Yoneyama et al. 1983 beschrieben: " The Audio Spotlight: An Application of Non-linear Interaction of Sound Waves to a new Type of Loudspeaker Design; J. Acoust.Soc.Am., Vol.73, pp. 1532-1536. In weiteren Veröffentlichungen von Berkta, Blackstock, Pompei und anderen wurde in den nachfolgenden Jahren darüber berichtet.

[0005] Wird Ultraschall mit sehr hohem Pegel abgestrahlt wird die Luft ein nichtlineares Medium, das bei moduliertem Ultraschall auf Grund der Nichtlinearität zu einer Selbst-Demodulation führt. Damit wird das aufmodulierte Signal wieder hörbar. Der Ultraschall selbst bleibt unhörbar.

[0006] In einer nachveröffentlichten Patentanmeldung mit dem selben Anmeldetag wie die Vorliegende wird ein parametrisches Lautsprechersystem beschrieben, welches auf der FM-Modulation eines Ultraschallträgers basieren. Aus dem Stand der Technik bekannte Systeme arbeiten mit AM-Modulation. Die FM-Modulation ergibt jedoch eine gute Anpassung an resonante Wandler, wie die üblicherweise verwendeten Piezo-Keramik-Wandler. Die Resonanzflanke des Wandlers wird zur FM/AM-Umsetzung verwendet. Das FM-Resonanz-Prinzip läßt sich auch auf resonanzfreie oder resonanzarme Wandler erweitern, wie z.B. Elektrostaten.

[0007] Aus WO 01/08449 A1 ist ein Verfahren zur Wiedergabe von Audioschall mit Ultraschall-Lautsprechern bekannt, wobei das wiederzugebende Audiosig-

nal durch eine Seitenband-Amplitudenmodulation mit einem Trägersignal im Ultraschall-Frequenzbereich verknüpft wird. Zur Erhöhung des Schalldrucks wird dabei vorgeschlagen eine größere Anzahl von Wandlern zu verwenden. Um die Wiedergabe von tiefen Tönen zu verbessern, wird ohne nähere Angaben angeregt, an Stelle einer dichtest möglichen Anordnung der Wandler, diese ringförmig anzubringen.

[0008] Aufgabe der Erfindung ist es ein neuartiges Verfahren und eine neuartige Vorrichtung mit den Merkmalen der Oberbegriffe der Patentansprüche 1 und 7 zu finden.

[0009] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren und eine Vorrichtung mit den Merkmalen der Patentansprüche 1 und 7 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0010] In besonders vorteilhafter Weise, werden bei dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Ansteuerung eines parametrischen Lautsprechersystem, bestehend aus einem oder mehreren Wandlerelementen für Ultraschall, die Wandlerelemente in ihrer Gesamtheit in Gruppen eingeteilt, wobei jede Gruppe von mindestens einem ihr zugeordneten Modulator angesteuert wird. Auf diese gewinnbringende Weise entsteht so ein parametrisches Mehrwege-Lautsprechersystems.

[0011] Dem Fachmann auf dem Gebiet der Audiosignalverarbeitung sind selbstverständlich Mehrwege-Lautsprecher zur Audiowiedergabe bekannt. Diese Lautsprechersysteme sind ein gebräuchliches Mittel für die Ausstrahlung von breitbandigen Audiosignalen. Hierbei erfolgt die Ausstrahlung der Audiosignale jedoch direkt im jeweils gewünschten hörbaren Frequenzbereich. Keine der aus dem Stand der Technik bekannten Vorrichtung legt dem Fachmann jedoch nahe, ein dem entsprechendes parametrisches Lautsprechersystem aufzubauen. Dies vor allem wegen der speziellen Eigenart der parametrischen Lautsprecher, welche in deren Richtwirkung begründet liegt. Gerade diese Richtwirkung soll bei den aus dem Stand der Technik bekannten Systemen geradezu vermieden werden. Aus diesem Grunde werden für die weitwinklige Ausstrahlung der hochfrequenten Audiotöne spezielle weitwinklig strahlende Kalottenlautsprecher eingesetzt. Auch legen die aus dem Stand der Technik bekannten Lautsprechersysteme keine spezielle Anordnung der einzelnen Gruppen von Lautsprechern nahe; im Gegenteil werden unterschiedlichste Anordnungen von Hoch-, Mittel- und Baßlautsprechern aufgezeigt. Bei Mehrwegesystem auf Basis von parametrischen Lautsprechern sind jedoch, wie nachfolgend erläutert, je nach Frequenzbereich spezielle Anordnungen (dicht oder ausgedünnt) der Wandler zu beachten. Bei parametrischen Lautsprechersystemen hat also im Gegensatz zu dem aus dem Stand der Technik bekannten Vorrichtung eine frequenzbereichs-weise Optimierung der Wandleranordnung zu erfolgen. Bei den bekannten Autolautspre-

chern erfolgt im wesentlichen nur eine Optimierung in Bezug auf die Gesamtheit aller verwendeten Lautsprecher um einen besseren Raumklang zu erzeugen.

[0012] Anhand von Ausführungsbeispielen und mit Hilfe von Figuren soll nachfolgend der Erfindungsgegenstand im Detail erläutert werden.

[0013] **Figur 1** zeigt ein Mehrwege-Lautsprechersystem auf der Basis parametrischer Lautsprecher.

[0014] **Figur 2** zeigt eine vorteilhafte Anordnung der Wandler innerhalb eines Mehrwege-Lautsprechersystems

[0015] Bei der Verwendung mehrerer Wandler ergibt sich zusätzlich eine Array-Richtwirkung, d.h. die Richtwirkung des einzelnen Wandlers überlagert sich mit der Richtwirkung die sich durch das Array ergibt, sodaß sich insgesamt eine stärkere Richtwirkung ergibt. Die Betrachtung der Richtwirkung bezieht sich zunächst auf den Ultraschall der von den Wandlern abgestrahlt wird. Die sich ergebende Richtwirkung für den hörbaren Audio-Schall kann aus einer modellhaften Betrachtung abgeleitet werden. Danach wird der Prozess der Selbst-Demodulation durch sehr viele virtuelle Lautsprecher dargestellt, die sich in einer dreidimensionalen Luftsäule befinden die durch den Ultraschall angeregt wird. Die Überlagerung dieser virtuellen Quellen erzeugt die gewünschte Audio-Richtwirkung.

[0016] Die Erzeugung eines hörbaren Schallereignisses beruht auf der Selbst-Demodulation bei hohen Schalldrücken. Es muß eine Hüllkurve vorhanden sein, die dann bei der Ausbreitung im nichtlinearen Medium wieder hörbar gemacht wird. Es ist naheliegend die Hüllkurve mit der gewöhnlichen AM-Modulation zu erzeugen.

[0017] Die vorliegende Erfindung verwendet in besonders gewinnbringender Weise als Modulationsverfahren die Frequenzmodulation (FM). Aus diesem Grunde muß die Hüllkurve des durch den Wandler abstrahlenden Signals auf andere Art und Weise erzeugt werden, da das aus dem Stand der Technik bekannte physikalische Prinzip der Selbst-Demodulation ausgenutzt werden soll.

[0018] Bei der aus dem Stand der Technik bekannten AM-Modulation mit resonativen Wandlern wie z.B. übliche Piezo-Wandler wird der Träger (üblicherweise im Maximum der Wandler-Funktion) und die beiden Seitenbänder mit ganz unterschiedlichen Übertragungswerten der Wandler-Funktion umgesetzt. D.h. der Träger und die tiefen Audio-Frequenzen werden stärker übertragen als die hohen Audio-Frequenzen die ganz rechts oder ganz links in den beiden Seitenbändern liegen. Das führt dazu, daß sich der Modulationsgrad verändert, in der Weise, daß hohe Audio-Frequenzen weniger moduliert sind und daher weniger stark erzeugt werden. Je nach gewünschter Charakteristik sind hier entsprechende Korrekturen des Audio-Signals oder des modulierten Signals notwendig. Das FM-Prinzip hat den prinzipiellen Vorteil, daß diese Frequenzabhängigkeit durch die Resonanzflanke nicht auftritt. Die Resonanz-

flanke ist beim FM-Prinzip geradezu notwendig (und kein Störfaktor). Die abgestrahlte Energie bei diesen Ultraschall-Wandlern hängt z.T. sehr stark von der verwendeten Frequenz ab. Es gibt dabei eine oder mehrere Frequenzen, für die die Abstrahlung relativ hohe Werte annimmt (Resonanzstellen). In der Nachbarschaft dieser Resonanzstellen nimmt die abgestrahlte Leistung mehr oder weniger stark ab. Dieses Verhalten kann man für die Erzeugung hörbaren Schalls ausnutzen. Hierbei läßt sich der Schalldruck einer Anordnung von Wandler-elementen zum einen durch Vergrößerung der Einzelelemente als auch durch die Erhöhung der Gesamtzahl der Wandler-elemente erreichen.

[0019] Anhand eines FM-modulierten Signals das einer Anordnung von Ultraschall-Wandlern zugeführt wird soll nachfolgend der Erfindungsgegenstand näher erläutert werden. Das Prinzip läßt sich selbstverständlich aber auch gewinnbringend auf AM-modulierte Eingangssignale anwenden, allerdings sind hier im Falle hoher Audiofrequenzen bei der Verwendung resonativer Wandler Nachteile gegenüber der Verwendung eines FM-modulierten Signals, mittels welchem die Wandler Frequenzunabhängig angesteuert werden können, zu erwarten.

[0020] In **Figur 1** ist ein Mehrwege-Lautsprechersystem dargestellt. Das Audio-Signal (**50**) wird durch eine Frequenzerlegung in mehrere Wege aufgeteilt. Beispielsweise können 3 Wege eingerichtet werden: für die tiefen Frequenzen (**51**), für die mittleren Frequenzen (**52**) und für die hohen Frequenzen (**53**). Die Signale von jedem dieser "Wege" werden einem entsprechenden FM-Modulator ((**61**), (**62**) oder (**63**)), einer Verstärkerstufe ((**71**), (**72**) oder (**73**)) und einem zugeordneten Wandler zugeführt. Für die einzelnen Wege können verschiedene Wandler mit unterschiedlichen Wandler-Kennlinien ((**712**), (**722**) oder (**732**)) eingesetzt werden, zum Beispiel werden für die tiefen Frequenzen in der Regel Wandler mit höherer Leistung verwendet.

[0021] Besonders vorteilhaft ist daß das Mehrwegesystem mit FM-Modulation in jedem der Wege auf die Resonanzfrequenz f_0 der jeweiligen Wandler abgestimmt werden kann, entsprechend ((**71**), (**72**) oder (**73**)), womit sich ein guter Wirkungsgrad einstellt. Die Wandler arbeiten somit unter den bestmöglichen Bedingungen. Zusätzlich ergibt sich mit der Wahl eines Wandlertyps für jeden Weg die Möglichkeit Bandbreite und Leistung des Wandlers an das Signal des jeweiligen Signalwegs optimal anzupassen.

[0022] In gewinnbringender Weise kann das erfindungsgemäße Mehrwegesystem so ausgestaltet werden, dass über den verwendeten Frequenzbereich eine Leistungsanpassung der Wandler erfolgt, in der Weise, dass die Auswahl der Wandler einer Gruppe von Wandlern auf die in diesem Frequenzband erforderliche Leistung abgestimmt wird. Es zudem auch vorteilhaft, für jede einzelne der Gruppen von Wandlern die jeweilige Richtwirkung des Lautsprechersystems zu optimieren, indem die Auswahl der Wandler einer Gruppe von Wand-

lern auf Grund der Richtwirkung des einzelnen Wandlers im jeweiligen Frequenzband erfolgt.

[0023] Besonders vorteilhaft für das erfindungsgemäße Mehrwegesystem ist es, wenn für jede einzelne der Gruppen von Wandlern die jeweilige Richtwirkung des Lautsprechersystems optimiert wird, indem die einzelnen Gruppen von Wandlern, insbesondere in Abhängigkeit des ihnen zugeordneten Frequenzbandes des Eingangssignals der Modulatoren, unterschiedlich geometrisch angeordnet werden.

[0024] Es ist durch Experimente bekannt, daß für die Erzeugung tiefer Audio-Frequenzen eine größere Luftsäule angeregt werden muß (Wandler außen im Array) als für hohe Audio-Frequenzen (Wandler innen im Array). Durch die geometrische Anordnung und Verteilung der Wandler in einem Mehrwege-System kann somit eine Optimierung in dieser Hinsicht erreicht werden.

[0025] **Figur 2** zeigt ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel bei dem 8 Wandler in einem äußeren Quadrat (**10**) angeordnet sind. Die Anordnung der Wandler in Form eines Quadrats soll hier nur als Beispiel dienen. Ein weiteres Quadrat (**20**) mit vier Wandlern folgt weiter innen und schließlich folgt ein quergestelltes Quadrat (**30**) aus vier Wandlern in Inneren des Arrays. Die gesamte Anordnung stellt ein 3-Wege-System dar. Vorzugsweise werden für den Baß im äußeren Quadrat leistungsstarke Wandler angeordnet, dann folgen weiter innen die Wandler für die Mitten und schließlich im Zentrum die Wandler für die Höhen.

[0026] Selbstverständlich beschränkt sich die erfindungsgemäße Anordnung der Wandler nicht auf das in **Figur 2** aufgezeigte Beispiel. Der Fachmann ist in Kenntnis des Erfindungsgegenstandes natürlich in der Lage, abhängig von der Anwendung und den geometrischen Gegebenheiten von Einbauort und Umfeld unter Rückgriff auf die hier aufgezeigten Prinzipien und Grundlagen einen Mehrwege-Lautsprecher vorteilhaft zu gestalten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ansteuerung eines parametrischen Lautsprechersystem, bestehend aus
 - einem oder mehreren Wandlerelementen für Ultraschall, welche in der Lage sind durch geeignete Ansteuerung ein AM-Signal zu erzeugen, welches bei Ausbreitung in einem gasförmigen Medium durch Selbst-Demodulation ein hörbares Signal erzeugen,
 - einem oder mehreren diesen Wandlerelemente zugehörigen Leistungsverstärker
 - und einem oder mehreren mit diesen verbundene Modulatoren, die als Eingangssignal das Signal einer Quelle erhalten,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Gesamtheit der Wandler in Gruppen eingeteilt wird, wobei jede Gruppe von mindestens einem ihr zugeordneten Modulator angesteuert wird, so dass sich ein parametrisches Mehrwege-Lautsprechersystems ergibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die einzelnen Modulatoren jeweils von einem Signal aus einer Mehrwege-Zerlegung des Eingangssignals gespeist werden, wobei im Rahmen der Mehrwege-Zerlegung eine frequenzmäßige Bandaufteilung des Eingangssignals der Modulatoren vorgenommen wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Fall, dass die Wandler welche in mehrere Gruppen eingeteilt werden gruppenabhängig jeweils verschiedene Kennlinien aufweisen, jeweils gruppenabhängig unterschiedliche Modulatoren angewandt werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** über den verwendeten Frequenzbereich eine Leistungsanpassung der Wandler erfolgt, in der Weise, dass die Auswahl der Wandler einer Gruppe von Wandlern auf die in diesem Frequenzband erforderliche Leistung abgestimmt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jede einzelne der Gruppen von Wandlern die jeweilige Richtwirkung des Lautsprechersystems optimiert wird, indem die Auswahl der Wandler einer Gruppe von Wandlern auf Grund der Richtwirkung des einzelnen Wandlers im jeweiligen Frequenzband erfolgt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jede einzelne der Gruppen von Wandlern die jeweilige Richtwirkung des Lautsprechersystems optimiert wird, indem die einzelnen Gruppen von Wandlern, insbesondere in Abhängigkeit des ihnen zugeordneten Frequenzbandes des Eingangssignals der Modulatoren, unterschiedlich geometrisch angeordnet werden.
7. Vorrichtung zur Ansteuerung eines parametrischen Lautsprechersystem, bestehend aus
 - einem oder mehreren Wandlerelementen für Ultraschall, welche in der Lage sind durch geeignete Ansteuerung ein AM-Signal zu erzeugen, welches bei Ausbreitung in einem gasförmigen Medium durch Selbst-Demodulation ein hörbares Signal erzeugen,
 - einem oder mehreren diesen Wandlerelemente

zugehörigen Leistungsverstärker

- und einem oder mehreren mit diesen verbundene Modulatoren, die als Eingangssignal das Signal einer Quelle erhalten,

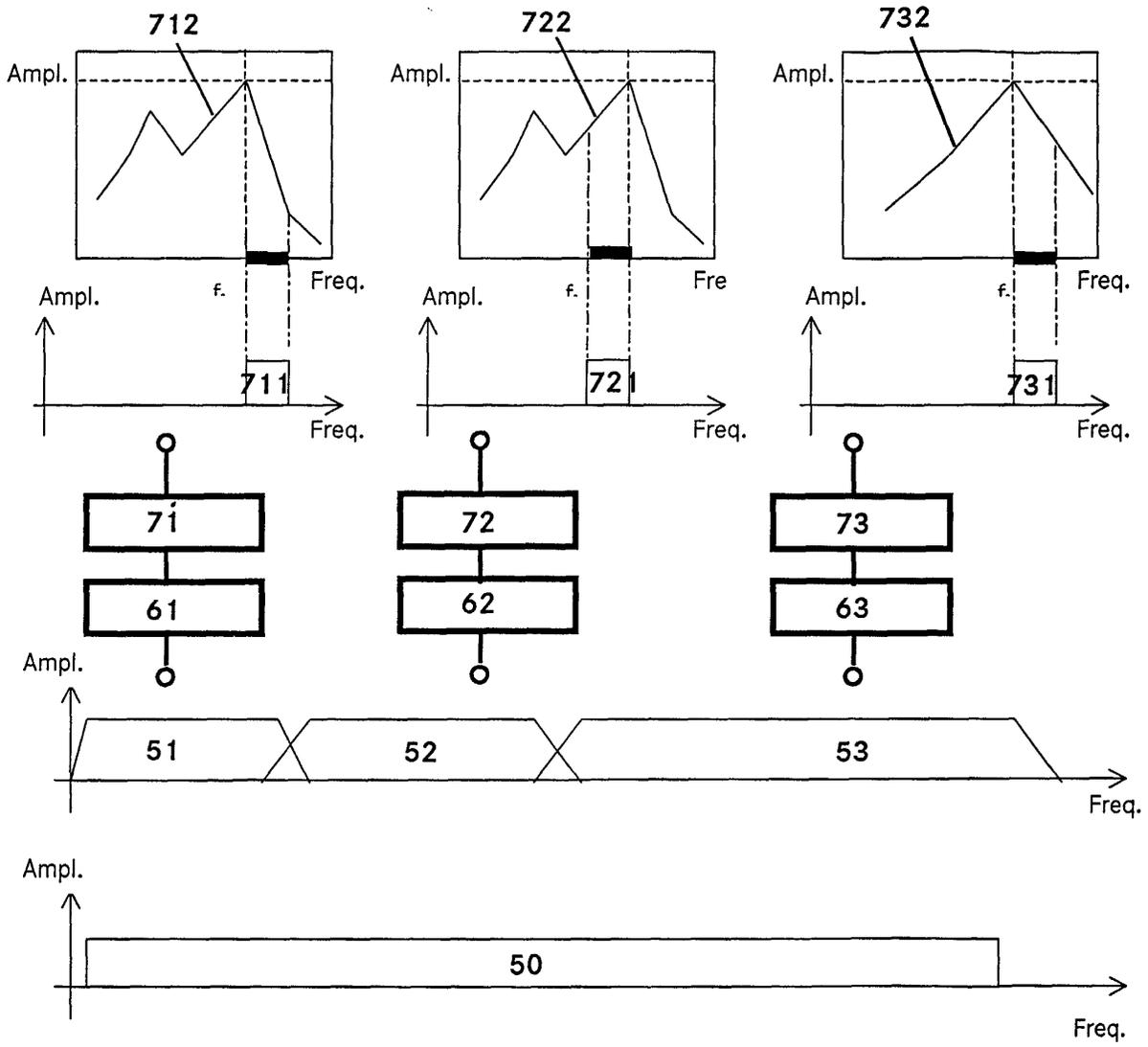
dadurch gekennzeichnet,

dass ein Mittel zur Einteilung der Gesamtheit der Wandler in Gruppen vorgesehen ist, wobei jede Gruppe von mindestens einem ihr zugeordneten Modulator angesteuert wird und sich so ein parametrisches Mehrwege-Lautsprechersystem ergibt.

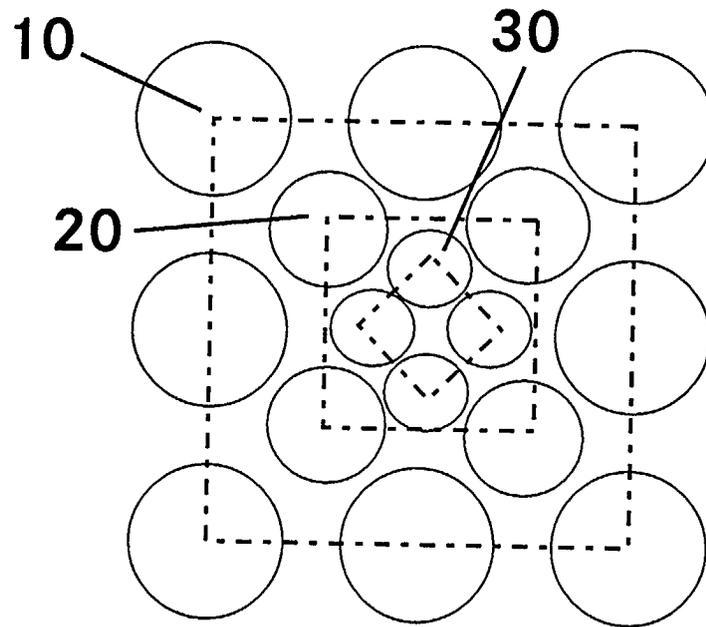
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Mittel zur Mehrwege-Zerlegung des Eingangssignals vorhanden ist, wobei im Rahmen der Mehrwege-Zerlegung eine frequenzmäßige Bandaufteilung des Eingangssignals der Modulatoren vorgenommen wird. 5 10
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Fall, dass die Wandler welche in mehrere Gruppen eingeteilt werden gruppenabhängig jeweils verschiedene Kennlinien aufweisen, jeweils gruppenabhängig unterschiedliche Modulatoren vorgesehen sind. 15 20 25
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** über den verwendeten Frequenzbereich eine Leistungsanpassung der Wandler erfolgt, in der Weise, dass die Auswahl der Wandler einer Gruppe von Wandlern auf die in diesem Frequenzband erforderliche Leistung abgestimmt wird. 30 35
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jede einzelne der Gruppen von Wandlern die jeweilige Richtwirkung des Lautsprechersystems optimiert wird, indem die Auswahl der Wandler einer Gruppe von Wandlern auf Grund der Richtwirkung des einzelnen Wandlers im jeweiligen Frequenzband erfolgt. 40
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jede einzelne der Gruppen von Wandlern die jeweilige Richtwirkung des Lautsprechersystems optimiert wird, indem die einzelnen Gruppen von Wandlern, insbesondere in Abhängigkeit des ihnen zugeordneten Frequenzbandes des Eingangssignals der Modulatoren, unterschiedlich geometrisch angeordnet werden. 45 50
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wandler so angeordnet sind, dass die Wandler, welche den niederen Frequenzen des Eingangssignals zugeordnet sind, sich im äußeren Bereich der Anordnung finden und dass die Wandler, welche den hohen

Frequenzen des Eingangssignals zugeordnet sind, sich im inneren Bereich der Anordnung finden.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wandler, welche den hohen Frequenzen des Eingangssignals zugeordnet sind, dicht beieinander angeordnet sind, und dass die Wandler, welche den tiefen Frequenzen des Eingangssignals zugeordnet sind, weniger dicht (ausgedünnt) angeordnet sind.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Modulatoren FM-Modulatoren sind.



Figur 1



Figur 2