

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 248 491 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
31.05.2006 Patentblatt 2006/22

(51) Int Cl.:
H04R 1/32 (2006.01) **H04R 1/40** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **02007545.3**

(22) Anmeldetag: **03.04.2002**

(54) **Ultraschallbasiertes parametrisches Lautsprechersystem**

Ultrasonic parametric speaker system

Système de haut-parleur paramétrique d'ultrason

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**

(30) Priorität: **07.04.2001 DE 10117529**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.10.2002 Patentblatt 2002/41

(73) Patentinhaber: **DaimlerChrysler AG
70567 Stuttgart (DE)**

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

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-01/08449 US-A- 6 044 160

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 015, no. 018 (E-1023), 16. Januar 1991 (1991-01-16) -& JP 02 265400 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD), 30. Oktober 1990 (1990-10-30)
- **YONEYAMA M ET AL: "THE AUDIO SPOTLIGHT: AN APPLICATION OF NONLINEAR INTERACTION OF SOUND WAVES TO A NEW TYPE OF LOUDSPEAKER DESIGN" JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, Bd. 73, Nr. 5, Mai 1983 (1983-05), Seiten 1532-1536, XP000762272 ISSN: 0001-4966**

EP 1 248 491 B1

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung nach den Oberbegriffen der Patentansprüche 1, 2, 14 und 15.

[0002] Eine Abstrahlung gebündelter Schallwellen erfordert einen Schallwandler mit einer geometrischen Abmessung im Bereich von mehreren Wellenlängen. Anstelle eines einzelnen Wandler 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 Nonlinear Interaction of Sound Waves to a new Type of Loudspeaker Design; J. Acoust.Soc.Am., Vol.73, pp.1532-1536. In weiteren Veröffentlichungen von Berkday, 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] Aus WO 01/08449 A1 ist ein Verfahren zur Wiedergabe von Audioschall mit Ultraschall-Lautsprechern bekannt, wobei das wiederzugebende Audiosignal durch eine Seitenband-Amplitudenmodulation mit einem Trägersignal im Ultraschall-Frequenzbereich verknüpft wird. Die Modulation wird dabei entweder als gewöhnliche Zweiseitenband-AM realisiert oder als Einseitenband-AM, bei der der Träger zur weiteren Funktionsoptimierung um ca. 12dB unterdrückt wird. Insbesondere bei der Verwendung von Wandlern mit stark nicht-linearem Frequenzgang ist es hierbei erforderlich eine Linearisierung des Frequenzgangs zu verwirklichen, um frequenzabhängige Amplitudenfehler auszugleichen.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es ein neuartiges Verfahren und eine neuartige Vorrichtung mit den Merkmalen der Oberbegriffe der Patentansprüche 1 und 14 zu finden.

[0008] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren und eine Vorrichtung mit den Merkmalen der Patentansprüche 1, 2, 14 und 15 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0009] In besonders vorteilhafter Weise, werden bei dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Ansteuerung eines parametrischen Lautsprechersystems, bestehend aus einem oder mehreren Wandlerelementen für Ultraschall, die Wandlerelemente im Bereich ihrer resonativen Kennlinie mit einem FM modulierten Signal angesteuert. Die Wandlerelemente sind dabei in der Lage ein AM-Signal zu erzeugen, welches bei Ausbreitung in einem gasförmigen Medium durch Selbst-Demodulation ein hörbares Signal erzeugt. Durch die Ansteuerung des parametrischen Lautsprechersystems mittels eines FM modulierten Signals ergibt sich eine gute Möglichkeit das modulierte Signal an insbesondere resonative Wandler anzupassen, indem gewährleistet werden kann, dass diese in ihrem optimalen Resonanzbereich arbeiten.

[0010] Anhand von Ausführungsbeispielen und mit Hilfe von Figuren soll nachfolgend der Erfindungsgegenstand im Detail erläutert werden.

Figur 1 zeigt schematisch das aus dem Stand der Technik bekannte Verfahren der Amplitudenmodulation.

Figur 2 zeigt ein Blockschaltbild für einen parametrischen Lautsprecher.

Figur 3 zeigt ein System bei dem mehrere Leistungsverstärker verwendet werden.

Figur 4 zeigt schematisch den Aufbau eines parametrischen Lautsprechers mit FM-Modulation

Figur 5 zeigt mittels dreier Beispiele das Zusammenwirken der Kennlinie des Modulators und der Kennlinie des Wandlers.

Figur 6 zeigt einen FM-Modulator der aus zwei Teilsystemen besteht.

Figur 7 zeigt ein parametrisches Lautsprechersystem basierend auf FM-Modulation mit resonativen Wandlern.

Figur 8 zeigt ein Mehrwege-Lautsprechersystem auf der Basis parametrischer Lautsprecher.

5 **Figur 9** zeigt eine Vorteilhaftige Anordnung der Wandler innerhalb eines Mehrwege-Lautsprechersystems

Figur 10 zeigt ein RLC-Netzwerk an einem Wandler zur Erzeugung einer Resonanzstelle.

10 **Figur 11** zeigt die Kennlinie des in Figur 8 dargestellten Netzwerkes.

[0011] In den aus dem Stand der Technik bekannten Systemen zur Modulation eines Ultraschallsignals für parametrische Lautsprecher wird die Amplitudenmodulation vorgeschlagen (AM-Modulation). Dabei wird die gewöhnliche 2-Seitenband AM-Modulation verwendet (im Englischen double side band AM, DSB-AM). Hierbei ergibt sich mit dem Nutzsignal $a_N(t)$ und dem Trägersignal $A_T \cos(2\pi f_T t)$ das Sendesignal $s(t)$ für DSB-AM zu :

15

$$s(t) = A_T \cos(2\pi f_T t) (1 + m a_N(t)) \quad \text{Gl. 1}$$

20 dabei bezeichnet m den Modulationsgrad. Er liegt im Intervall $0 < m < 1$. Die Amplitude von $a_N(t)$ sei maximal 1. t bezeichnet die Zeit, f_T die Frequenz des Trägersignals.

[0012] Es sei $H(f)$ die Übertragungsfunktion eines Ultraschall-Wandlers, dann gilt im Frequenzbereich für das Ausgangssignal des Ultraschall-Wandlers $Y_{US}(f)$:

25

$$Y_{US}(f) = H(f) \cdot \left[\frac{m}{2} \cdot A_N(f_T - f) + \frac{A_T}{2} \delta(f - f_T) + \frac{m}{2} \cdot A_N(f_T + f) \right] \quad \text{Gl. 2}$$

30 **[0013]** Es ergeben sich die beiden Seitenbänder, $A_N(f_T - f)$ und $A_N(f_T + f)$, links und rechts neben dem Träger

$$\frac{A_T}{2} \delta(f - f_T).$$

35 **[0014]** **Figur 1** zeigt schematisch das ursprüngliche Audiosignal (10) im Frequenzbereich und den AM-Modulator (20) der das Audio-Signal im Frequenzbereich rechts (11) und links (12) neben die Trägerfrequenz platziert. Die beispielhafte Übertragungsfunktion (30) eines Ultraschall-Wandlers ist ebenfalls dargestellt. Der Ultraschall-Wandler habe die maximale Übertragung bei einer Frequenz f_0 . Die Trägerfrequenz ist auf f_0 abgestimmt. Die beiden Seitenbänder werden entsprechend der Übertragungsfunktion des Wandlers abgestrahlt.

40 **[0015]** **Figur 2** zeigt ein Blockschaltbild für den parametrischen Lautsprecher. Die Audio-Signal-Quelle (21) speist den AM-Modulator (20), der das Signal für einen Leistungsverstärker (22) bereitstellt. An dem Leistungsverstärker sind ein oder auch mehrere Wandler (23a-c) angeschlossen. Um die Leistungsabgabe des parametrischen Lautsprechers zu erhöhen oder um eine erhöhte Richtwirkung zu erzeugen können mehrere Wandler (23a-c) für ein Lautsprechersystem verwendet werden. Zur Erhöhung der Ausgangsleistung werden in der Regel mehrere Wandler (23a-c) parallel geschaltet werden. Eine solche Anordnung aus mehreren Wandlern wird auch als Array bezeichnet.

45 **[0016]** Eine allgemeinere Anordnung ergibt sich wenn mehrere Leistungsverstärker (22a-c) verwendet werden und an jeden Leistungsverstärker (22a-c) ein oder mehrere Wandler (23a-c) angeschlossen sind. **Figur 3** zeigt ein solches System, bei welchem mehrere Leistungsverstärker (22a-c) verwendet werden. Der gemeinsame Modulator (20) speist mehrere Leistungsverstärker (22a-c) an denen ein oder mehrere Wandler (22a-c) angeschlossen sind.

50 **[0017]** Bei der Verwendung mehrerer Wandler entsprechend den Figuren 2 und 3 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.

55

[0018] 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.

[0019] Die vorliegende Erfindung verwendet in besonders gewinnbringender Weise als Modulationsverfahren die Frequenzmodulation (FM). Aus diesem Grunde muß die Hüllkurve des durch den Wandler abzustrahlenden Signals auf andere Art und Weise erzeugt werden, da das aus dem Stand der Technik bekannte physikalische Prinzip der Selbst-Demodulation ausgenutzt werden soll.

[0020] Bei der aus dem Stand der Technik bekanntenn 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 Übertragungs-Werten 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 Renonanzflanke ist beim FM-Prinzip geradezu notwendig (und kein Störfaktor).

[0021] Beispielhaft soll der Erfindungsgegenstand im folgenden im Zusammenspiel mit Ultraschallwandlern im Detail erläutert werden. Hierbei wird davon ausgegangen, dass es sich bei den verwandten Ultraschallwandlern um resonative Wandler handelt.

[0022] 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.

[0023] Beispielhaft für resonative Ultraschallwandler können Wandler betrachtet werden die aus Piezo-Keramik aufgebaut sind.

[0024] Sei $H(f)$ die Übertragungsfunktion eines Ultraschall-Wandlers und f_0 eine Resonanzstelle. Dann hat die Übertragungsfunktion bei f_0 ein (zumindest lokales) Maximum. Die Amplitude Y_{US} eines Ultraschallsignals der Frequenz f und der elektrischen Eingangsamplitude X_{US} ist dann durch

$$Y_{US}(f) = H(f) \cdot X_{US} \quad \text{Gl. 3}$$

gegeben. Mit $X_{US} = 1$ und dem Nutzsignalpegel a_N erhält man

$$Y_{US}(f_T, a_N) = H(f_T + \Delta f \cdot a_N) \quad \text{Gl. 4}$$

wobei Δf den Frequenzhub in Abhängigkeit vom Eingangspegel angibt und f_T die Frequenz des Ultraschall-Trägersignals ist. Wählt man f_T und Δf so dass stets gilt:

$$f_T + \Delta f \cdot a_N \geq f_0 \quad \text{Gl. 5}$$

oder

$$f_T + \Delta f \cdot a_N \leq f_0 \quad \text{Gl. 6}$$

und ist außerdem in dem dabei überstrichenen Intervall die Übertragungsfunktion $H(f)$ monoton, so kann man mit Frequenzmodulation eine Hüllkurve erzeugen, die der Hüllkurve mit Amplitudenmodulation entspricht.

[0025] In dem Gleichung 5 entsprechenden Fall gilt für eine Änderung der Nutzamplitude a_N :

$$a_{N1} > a_{N2} \Rightarrow Y_{US}(f_T + \Delta f \cdot a_{N1}) < Y_{US}(f_T + \Delta f \cdot a_{N2}) \quad \text{Gl. 7}$$

und im Fall der Gleichung 6:

$$a_{N1} > a_{N2} \Rightarrow Y_{US}(f_T + \Delta f \cdot a_{N1}) > Y_{US}(f_T + \Delta f \cdot a_{N2}) \quad \text{Gl. 8}$$

5

[0026] Durch die Aufteilung der Übertragungsfunktion des Ultraschallwandlers in 2 monotone Bereiche links und rechts einer Resonanzfrequenz kann wahlweise entsprechend der aufgezeigten Gleichungen eine Hüllkurve erzeugt werden die sich in Phase mit dem Nutzsignal ändert oder in Gegenphase. Beide Fälle können gleichwertig für die Erzeugung von amplitudenmodulierten Ultraschallwellen verwendet werden.

10

[0027] **Figur 4** zeigt schematisch den Aufbau eines parametrischen Lautsprechers mit FM-Modulation in Verbindung mit einem resonativen Wandler. Der FM-Modulator (40) wird von dem Audio-Signal (10) gespeist. Der FM-Modulator (40) setzt die Spannung des Audiosignals (10) in eine Frequenz (13) um. Die ursprüngliche Frequenzbreite des Audiosignals wird in eine andere Frequenzbreite übersetzt und in der Frequenzlage durch die Frequenz f_0 festgelegt.

15

[0028] Theoretisch ist der Bandbreitenbedarf eines FM-Signals unendlich. In der Praxis werden Näherungen getroffen um den Bandbreitenbedarf entsprechend einzugrenzen. Bei der sogenannten Breitband-FM wird im Verhältnis zur ursprünglichen Bandbreite des Audio-Signals vom FM-Signal viel Bandbreite verbraucht. Bei der sogenannten Schmalband-FM liegt der Bandbreitenbedarf des FM-Signals in der Größenordnung des Audio-Signals. Eine zu geringe FM-Bandbreite kann einen entsprechenden Klirrfaktor zur Folge haben. Eine experimentelle Vorgehensweise ist hier angebracht.

20

[0029] Zum besseren Verständnis der nachfolgenden Beispiele soll der FM-Modulator (40) als Modulator-Kennlinie aufgefaßt werden, welche eine Eingangsspannung in eine Frequenz übersetzt. Der Wandler (beispielsweise: Ultraschallwandler auf Basis einer Piezo-Keramik) kann entsprechend als Wandler-Kennlinie aufgefaßt werden, welche eine Frequenz in eine Spannung übersetzt. In diesem Sinne zeigt **Figur 5** in 3 Beispielen jeweils das Zusammenwirken der Modulator-Kennlinie und der Wandler-Kennlinie. Es gilt an dieser Stelle anzumerken, dass in der nachfolgenden Diskussion des besseren Verständnisses halber davon geredet wird, daß der Wandler eine ihm zugeführte Frequenz in eine Spannung umsetzt. Für den Fachmann ist jedoch klar, dass es sich hier um eine der Klarstellung dienenden Vereinfachung handelt und selbstverständlich eine Frequenz-Spannungsumsetzung am Wandler nicht stattfindet, sondern die Frequenz in einen Schalldruck umgesetzt wird. Der Schalldruck ist dann als Spannung an einem Meß-Mikrofon messbar.

25

[0030] Die nachfolgenden Beispiele zur FM-Modulation beschreiben auf Grund der einfacheren Darstellung den Fall, daß eine Gleichspannung als Eingangssignal verwendet wird, die innerhalb eines Intervalls vorgebar ist. Wird der untere und der obere Wert des Spannungsintervalls verwendet, so ergibt die FM-Modulation ein bestimmtes Frequenz-Intervall. Wird allerdings eine sich ändernde Spannung angelegt, wie z.B. ein Audio-Signal, so ergibt sich nach der FM-Modulation, wie schon erwähnt, theoretisch eine unendliche Bandbreite des FM-Signals.

30

[0031] In der Praxis kann als minimale Größe des Frequenz-Intervalls das Intervall gewählt werden, das sich durch die kleinste und die größte Amplitude des Eingangssignals ergibt. Das Frequenz-Intervall sollte zudem mindestens 2 mal der einfachen Bandbreite des Eingangssignals entsprechen. Wird das Frequenz-Intervall größer gewählt kann eine höhere Übertragungsqualität erreicht werden. Dabei ist zu beachten, daß die dem Frequenz-Intervall zugeordnete Resonanzflanke des Wandlers in ausreichender Größe vorhanden ist.

35

[0032] Um ein definiertes Frequenz-Intervall zu erhalten kann das FM-Signal mit einem Bandpaßfilter begrenzt werden bevor es in den Wandler eingespeist wird. Eine gewisse Bandpaßwirkung wird bereits durch den Wandler selbst ausgeübt. Wie in diesen Zusammenhang bereits erwähnt ist für die Wahl der Bandbreite ein experimentelles Vorgehen angebracht.

40

[0033] Der in **Figur 5 a)** aufgezeigte Fall geht von einem monotonen Wandler-Kennlinien-Teil links von der Resonanzfrequenz f_0 . Dazu ist im Idealfall ein Modulator erforderlich mit einer gespiegelten Wandler-Kennlinie. Die Spiegel-Achse ist die 45° Diagonale im Kennlinienfeld. Im Idealfall ergibt sich durch das Zusammenwirken der Wandler-Kennlinie mit der (gespiegelten) Modulator-Kennlinie eine 1:1 Übersetzung der Audio-Eingangsspannung in eine Hüllkurven-Ausgangsspannung am Wandler. Die Spannung u_0 wird wieder in die Spannung u_0 übersetzt und die Spannung u_1 wird wieder in die Spannung u_1 übersetzt.

45

[0034] Die Spannungsübersetzung im Verhältnis 1:1 wurde hier zu vereinfachend angenommen. In praktischen Anwendungen werden Spannungswerte wie z.B.: $u_1, u_2, u_3, u_4, \dots$ in die Werte $v \cdot u_1, v \cdot u_2, v \cdot u_3, v \cdot u_4, \dots$ eindeutig übersetzt. Dabei bezeichnet v einen Verstärkungsfaktor.

50

[0035] **Figure 5 b)** zeigt die Wandler-Kennlinie und die dazu ideale Modulator-Kennlinie für einen Wandler mit einem monotonen Kennlinien-Teil rechts der Resonanzfrequenz. Es ergeben sich die gleichen Betrachtungen wie im Fall a).

[0036] **Figur 5 c)** zeigt beispielhaft einen ideal angepassten Modulator für den Fall daß die Wandler-Kennlinie aus 2 geraden Stücken besteht. Es ergibt sich dann die entsprechende ideale Modulator-Kennlinie durch Spiegelung an der 45°-Achse, entsprechend den Beispielen a) und b).

55

[0037] Entsprechend den Beispielen a) bis c) können auch für Wandler mit Kennlinien bestehend aus vielen Geradenstücken oder im allgemeineren Fall bestehend aus mehreren monotonen Kurvenstücken durch Spiegelung entspre-

chende ideale Modulator-Kennlinien abgeleitet werden.

[0038] In **Figur 5** ist die kleinste vorkommende Spannung an der Wandler-Kennlinie mit u_1 in den Fällen a) und b) und mit u_2 im Fall c) bezeichnet. Für diese Spannung gilt, daß sie betragsmäßig größer Null gewählt werden muss. Für den Fall, daß diese Spannungen zu Null gewählt werden ergibt sich ein Modulationsgrad von 100%, d.h. die erzeugte Hüllkurve bewegt sich im Spannungsbereich von 0 bis zum maximalen Wert u_0 . Für die Beispiele in **Figur 5** mit einem betragsmäßigen Minimalwert größer Null ist der Modulationsgrad $< 100\%$. Der Modulationsgrad ergibt sich zu:

$$m = 1 - \frac{\text{kleinster Amplitudenwert}}{\text{größter Amplitudenwert}} \quad \text{Gl. 9}$$

[0039] Der Modulationsgrad ist durch die Wahl des Spannungsbereichs am Wandler einstellbar. Im allgemeinen besteht der allgemein verwendete FM-Modulator aus einem Kennlinienfeld aus monotonen Kurvenstücken die einem Eingangssignal eindeutig eine Ausgangsspannung zuordnen.

[0040] In der Praxis kann dieser FM-Modulator vorzugsweise aus 2 Teilsystemen aufgebaut sein. Einem System mit einer Korrektur-Kennlinie die die Kennlinie des Wandlers "ausgleicht" und einem System mit dem eigentlichen FM-Modulator. **Figur 6** zeigt einen FM-Modulator der aus 2 Teilsystemen besteht. Ein erstes Kennlinien-System das eine Spannung am Eingang in eine Spannung am Ausgang übersetzt und als zweites System einen üblichen FM-Modulator. Wird als Beispiel Fall c) aus **Figur 5** verwendet so ist die Korrektur der Wandler-Kennlinie die Spannungs-Korrektur-Linie des ersten Systems. Es ergeben sich als Zwischenwerte die Spannungen u_{10} , u_{11} , u_{12} , usw. Der nachfolgende übliche FM-Modulator nimmt dann nur noch die "lineare" Spannungs/Frequenz-Übersetzung vor.

[0041] Entgegen dem aus dem Stand der Technik aus WO 01/08449 bekannten Verfahren der Frequenzganglinearisierung bei AM-modulierter Ansteuerung der Ultraschall-Wandler, erfolgt bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kein Ausgleich der frequenzabhängigen Wandlerkennlinie. Im Gegenteil, basiert das erfindungsgemäße Verfahren in vorteilhafter Weise auf der Ausnutzung der steigenden bzw. fallenden Flanke der Resonanzkennlinie des Wandlers. Im Rahmen der Erfindung erfolgt einzig eine Linearisierung, eventuell aufgeteilt auf einzelne Teilstücke der Wandler-Kennlinie, im Rahmen einer Begradigung unter Beibehaltung des Anstiegs bzw. des Abfalls der jeweiligen genutzten Flanke. Gerade durch die Ausnutzung des ansteigenden bzw. abfallenden Verlaufs der Kennlinienflanke des Wandlers, kann durch diesen ein im Ausbreitungsmedium hörbar demodulierbares Signal erzeugt werden.

[0042] Ein parametrisches Lautsprechersystem basierend auf FM-Modulation mit resonativen Wandlern ist in **Figur 7** dargestellt. Ein durch eine Signalquelle (21) gespeister FM-Modulator (20) speist einen oder mehrere Leistungsverstärker (22a, ..., 22c) von denen jeder einzelne einen oder mehrere Wandler (23a1, ..., 23c2) betreibt.

[0043] In **Figur 8** ist ein Mehrwege-Lautsprechersystem dargestellt. Das Audio-Signal (50) wird durch eine Frequenzzerlegung 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.

[0044] 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.

[0045] 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 Wandlern auf Grund der Richtwirkung des einzelnen Wandlers im jeweiligen Frequenzband erfolgt.

[0046] 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.

[0047] 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.

[0048] **Figur 9** zeigt ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel bei dem 8 Wandler in einem äußeren Quadrat (**80**) angeordnet sind. Die Anordnung der Wandler in Form eines Quadrats soll hier nur als Beispiel dienen. Ein weiteres Quadrat (**81**) mit vier Wandlern folgt weiter innen und schließlich folgt ein quergestelltes Quadrat (**82**) 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.

[0049] Generell kann, unabhängig von der vorteilhaften in **Figur 9** dargestellten Ausgestaltung, eine gewinnbringende Anordnung von Wandlerelementen dahingehend realisiert werden, dass die Wandler so angeordnet werden, 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. Insbesondere ist es hierbei denkbar, 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.

[0050] Übliche Wandler aus Piezo-Keramik zeigen wie oben beschrieben eine resonante Kennlinie. Hierfür ist die FM-Modulation in der beschriebenen Weise ideal geeignet. Elektrostatische Wandler werden in der Regel breitbandiger sein, d.h. sie werden nur schwach ausgeprägte oder keine Resonanzstellen aufweisen. Dennoch kann die beschriebene FM-Modulation angewendet werden, wenn Wandler dieser Art in einem Resonanzkreis betrieben werden. Die Resonanzstelle kann z.B. in einem RLC-Netzwerk erzeugt werden. Der Wandler selbst stellt in der Regel eine Kapazität dar. Eine Induktivität und ein entsprechender Widerstand sind zu wählen.

[0051] **Figur 10** zeigt ein RLC-Netzwerk, wobei die Kapazität vom Wandler erzeugt wird. Modifikationen des gezeigten Netzwerks sind möglich, werden jedoch hier im Einzelnen nicht erläutert.

[0052] Für das Netzwerk in **Figur 10** zeigt **Figur 11** die sich am Wandler-Eingang ergebende Amplitude Spannung U_C (bezogen auf die Gesamt-Ausgangsspannung U_{RLC}). Mit den gewählten Werten: $C=1\text{nF}$; $L=10\text{mH}$; $R=1\text{k}\Omega$ ergibt sich eine Resonanzstelle bei ca. 50kHz. Das beschriebene RCL-Netzwerk zeigt gewissermaßen ein Ersatzschaltbild eines resonativen Wandlers. Wenn der Wandler z.B. nur kapazitiv ist kann durch die entsprechende Ergänzung mit R und L eine gewünschte Resonanz-Kennlinie (**90**) erzeugt werden. Neben dem beispielhaft gezeigten RLC-Netzwerk können auch andere Netzwerke verwendet werden die hier allgemein als resonative Filternetzwerke bezeichnet werden sollen.

[0053] Besonders vorteilhaft ist, daß auch mit breitbandigen Wandlern in Verbindung mit einem RLC-Netzwerk Mehrwegesysteme aufgebaut werden können mit von FM-Signalen angesteuert werden. Es ergeben sich damit die gleichen Anpassungsvorteile wie mit den resonativen Wandlern.

[0054] Eine Einbettung des Wandles in ein resonatives Filternetzwerk hat den weiteren Vorteil, daß am Wandler selbst eine höhere Spannung entstehen kann als der Leistungsverstärker abgibt. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit Wandler die eine hohe Eingangsspannung benötigen mit geringem Schaltungs-Aufwand im Leistungsverstärker zu betreiben. In dem Beispiel in **Figur 11** wird durch das RLC-Netzwerk eine Spannungsverstärkung von ca. 3 erreicht. Das würde bedeuten, wenn der Wandler für eine Spannung von z.B. 1000Volt ausgelegt ist, daß der Verstärker nur für 330Volt ausgelegt werden muß. Es wird dadurch ein deutlich einfacherer Schaltungsaufbau möglich.

[0055] Abhängig von der jeweiligen Anwendung, im Rahmen derer ein erfindungsgemäßer parametrischer Lautsprecher verwandt wird, ist es denkbar dass das Eingangssignal, das den Modulatoren zugeführt wird, ein Warnsignal und/oder ein Informationssignal und/oder ein Geräuschsignal (beispielsweise zur aktiven Geräuschunterdrückung) und/oder ein Sprachsignal (beispielsweise ein interaktiver Sprachdialog) und/oder ein Musiksignal darstellt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ansteuerung eines parametrischen Lautsprechersystems, bestehend aus

- einem oder mehreren Wandlerelementen für Ultraschall, welche in der Lage sind, durch geeignete Ansteuerung ein amplitudenmoduliertes Schalldruck-Signal zu erzeugen, welches bei Ausbreitung in einem gasförmigen Medium durch Selbst-Demodulation ein hörbares Signal erzeugt,
- einem oder mehreren diesem bzw. diesen Wandlerelementen zugehörigen Leistungsverstärker(n)
- und einem oder mehreren mit diesen verbundenen Modulator(en), der/die als Eingangssignal das Signal einer Quelle erhalten,

dadurch gekennzeichnet

dass der/die Wandler im Bereich der Flanke ihrer resonativen Kennlinie mit einem FM-modulierten Signal angesteuert werden.

2. Verfahren zur Ansteuerung eines parametrischen Lautsprechersystems, bestehend aus

- einem oder mehreren Wandlerelementen für Ultraschall, welche in der Lage sind durch geeignete Ansteuerung ein amplitudenmoduliertes Schalldruck-Signal zu erzeugen, welches bei Ausbreitung in einem gasförmigen Medium durch Selbst-Demodulation ein hörbares Signal erzeugt,
- einem oder mehreren diesem bzw. diesen Wandlerelementen zugehörigen Leistungsverstärker(n)
- und einem oder mehreren mit diesen verbundenen Modulator(en), der/die als Eingangssignal das Signal einer Quelle erhalten,

dadurch gekennzeichnet,

dass der/die Wandler mit einem resonativen Filternetzwerk zusammengeschaltet werden, so dass das Filternetzwerk einschließlich des Wandlers eine Resonanzflanke erzeugt oder vorhandene Flanken der Kennlinie der Wandler modifiziert werden,

und **dass** die Zusammenschaltung von Wandler und Filternetzwerk im Bereich der Flanke ihrer resonativen Kennlinie mit einem FM-modulierten Signal angesteuert wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem Modulator eine Einheit vorgeschaltet wird, die eine dem gespiegelten Verlauf der Flanke der resonativen Kennlinie entsprechende Modulationsfunktion aufweist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einheit zur Modifikation der Kennlinie Unstetigkeiten in der Kennlinie des Wandlers ausgleicht, wodurch sich eine resultierende Gesamt-Kennlinie aus einem oder mehreren geglätteten Kurvenabschnitten ergibt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einheit zur Modifikation der Kennlinie dazu verwendet wird, dass sie die im Wandler stattfindende FM/AM-Übersetzung linearisiert.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Modulationstiefe der Ansteuerung einstellbar ist, indem die kleinste am Wandler anliegende Ausgangsspannung vorgebar ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Eingangssignal das den Modulatoren zugeführt wird, ein Warnsignal und/oder ein Informationssignal und/oder ein Geräuschsignal und/oder ein Sprachsignal und/oder ein Musiksignal darstellt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ansteuerung eines parametrischen Mehrwege-Lautsprechersystems die Gesamtheit der Wandler in Gruppen eingeteilt wird, wobei jede Gruppe von mindestens einem ihr zugeordneten FM-Modulator angesteuert wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mindestens eine FM-Modulator 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.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Fall, dass die Wandler, welche in mehrere Gruppen eingeteilt werden, gruppenabhängig jeweils verschiedene Kennlinien aufweisen, jeweils gruppenabhängig unterschiedliche FM-Modulatoren angewandt werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **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.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **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.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **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.

14. Vorrichtung zur Ansteuerung eines parametrischen Lautsprechersystems, bestehend aus

- einem oder mehreren Wandlerelementen für Ultraschall, welche in der Lage sind, durch geeignete Ansteuerung ein amplitudenmoduliertes Schalldruck-Signal zu erzeugen, welches bei Ausbreitung in einem gasförmigen Medium durch Selbst-Demodulation ein hörbares Signal erzeugt,
- einem oder mehreren diesem bzw. diesen Wandlerelementen zugehörigen Leistungsverstärker(n)
- und einem oder mehreren mit diesen verbundene(n) Modulator(en), der/die als Eingangssignal das Signal einer Quelle erhalten,

dadurch gekennzeichnet,

dass ein Mittel vorhanden ist, den/die Wandler im Bereich der Flanke ihrer resonativen Kennlinie mit einem FM-modulierten Signal anzusteuern.

15. Vorrichtung zur Ansteuerung eines parametrischen Lautsprechersystems, bestehend aus

- einem oder mehreren Wandlerelementen für Ultraschall, welche in der Lage sind, durch geeignete Ansteuerung ein amplitudenmoduliertes Schalldruck-Signal zu erzeugen, welches bei Ausbreitung in einem gasförmigen Medium durch Selbst-Demodulation ein hörbares Signal erzeugt,
- einem oder mehreren diesem bzw. diesen Wandlerelementen zugehörigen Leistungsverstärker(n)
- und einem oder mehreren mit diesen verbundenen Modulator(en), der/die als Eingangssignal das Signal einer Quelle erhalten,

dadurch gekennzeichnet,

dass ein Filternetzwerk vorgesehen ist, welches den/die Wandler einschließt und eine Resonanzflanke erzeugt, und **dass** ein Mittel vorhanden ist, das Filternetzwerk im Bereich der Flanke seiner resonativen Kennlinie mit einem FM-modulierten Signal anzusteuern.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Einheit zur Modifikation dem Modulator vorgeschaltet wird, die eine dem gespiegelten Verlauf der Flanke der resonativen Kennlinie entsprechende Modulationsfunktion aufweist

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einheit zur Modifikation der Kennlinie so ausgebildet ist, dass sie Unstetigkeiten in der Kennlinie des Wandlers ausgleicht, wodurch sich eine resultierende Gesamt-Kennlinie aus einem oder mehreren geglätteten Kurvenabschnitten ergibt.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einheit zur Modifikation der Kennlinie so ausgebildet ist, dass sie die im Wandler stattfindende FM/AM-Übersetzung linearisiert.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Mittel vorhanden ist, um die Modulationstiefe der Ansteuerung einzustellen, indem die kleinste am Wandler anliegende Ausgangsspannung vorgebar ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ansteuerung eines parametrischen Mehrwege-Lautsprechersystems die Gesamtheit der Wandler in Gruppen eingeteilt ist, wobei jede Gruppe von mindestens einem ihr zugeordneten FM-Modulator angesteuert wird.

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Mittel zur Mehrwege-Zerlegung des Eingangssignals vorhanden ist, wobei im Rahmen der Mehrwege-Zerlegung eine frequenzmäßige Bandaufteilung des Eingangssignals des mindestens einen Modulators vorgenommen wird.

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Fall, dass die Wandler welche in mehrere Gruppen eingeteilt werden gruppenabhängig jeweils verschiedene Kennlinien aufweisen, jeweils gruppenabhängig unterschiedliche FM-Modulatoren vorgesehen sind.

23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jede einzelne der Gruppen von Wandlern die jeweilige Richtwirkung des Lautsprechersystems optimiert ist, indem die einzelnen Gruppen von Wandlern, insbesondere in Abhängigkeit des ihnen zugeordneten Frequenzbandes des Eingangssignals der Modulatoren, unterschiedlich geometrisch angeordnet wird.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23, **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.

25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 23 oder 24, **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 angeordnet sind.

Claims

1. Method for driving a parametric loudspeaker system, comprising

- one or more transducer element(s) for ultrasound which are able to use suitable driving to produce an amplitude-modulated sound pressure signal which, upon propagating in a gaseous medium, produces an audible signal through self-demodulation,
- one or more power amplifier(s) associated with this or these transducer element(s),
- and one or more modulator(s) which is/are connected to these power amplifiers and which receive(s) the signal from a source as input signal,

characterized

in that the transducer(s) are driven by means of an FM-modulated signal in the region of the edge of their resonative characteristic curve.

2. Method for driving a parametric loudspeaker system, comprising

- one or more transducer element(s) for ultrasound which are able to use suitable driving to produce an amplitude-modulated sound pressure signal which, upon propagating in a gaseous medium, produces an audible signal through self-demodulation,
- one or more power amplifier(s) associated with this or these transducer element(s),
- and one or more modulator(s) which is/are connected to these power amplifiers and which receive(s) the signal from a source as input signal,

characterized

in that the transducer(s) are connected up to a resonative filter network, so that the filter network, including the transducer, produces a resonant edge or existing edges of the characteristic curve for the transducers are modified, and **in that** the interconnection of transducer and filter network is driven by means of an FM-modulated signal in the region of the edge of its resonative characteristic curve.

3. Method according to either of Claims 1 and 2, **characterized in that** the modulator has a unit connected upstream of it which has a modulation function corresponding to the mirrored profile of the edge of the resonative characteristic curve.

4. Method according to Claim 3, **characterized in that** the unit for modifying the characteristic curve compensates for discontinuities in the characteristic curve for the transducer, which produces a resultant overall characteristic curve comprising one or more smoothed curved sections.

5. Method according to either of Claims 3 and 4, **characterized in that** the unit for modifying the characteristic curve is used to linearize the FM/AM translation taking place in the transducer.

6. Method according to one of Claims 1 to 5, **characterized in that** the modulation depth of the driving can be adjusted by virtue of the smallest output voltage which is applied to the transducer being prescribable.

7. Method according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the input signal which is supplied to the modulators is a warning signal and/or an information signal and/or a noise signal and/or a voice signal and/or a music signal.

8. Method according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** a parametric multiway loudspeaker system is driven by classifying all of the transducers into groups, with each group being driven by at least one FM modulator associated with it.

9. Method according to Claim 8, **characterized in that** the at least one FM modulator is fed by a respective signal from a multiway split for the input signal, the multiway split involving the input signal for the modulators being split into frequency bands.

10. Method according to either of Claims 8 and 9, **characterized in that** if the transducers which are being classified into a plurality of groups each have different characteristic curves on a group-dependent basis then different FM modulators are used in each case on a group-dependent basis.

11. Method according to one of Claims 8 to 10, **characterized in that** the power of the transducers is matched over the frequency range used such that the selection of the transducers in a group of transducers is geared to the power required in this frequency band.

12. Method according to one of Claims 8 to 11, **characterized in that** for each individual one of the groups of transducers the respective directivity of the loudspeaker system is optimized by selecting the transducers in a group of transducers on the basis of the directivity of the individual transducer in the respective frequency band.

13. Method according to one of Claims 8 to 12, **characterized in that** for each individual one of the groups of transducers the respective directivity of the loudspeaker system is optimized by putting the individual groups of transducers in a different geometrical arrangement, particularly on the basis of their associated frequency band for the input signal for the modulators.

14. Apparatus for driving a parametric loudspeaker system, comprising

- one or more transducer element(s) for ultrasound which are able to use suitable driving to produce an amplitude-modulated sound pressure signal which, upon propagating in a gaseous medium, produces an audible signal through self-demodulation,
- one or more power amplifier(s) associated with this or these transducer element(s),
- and one or more modulator(s) which is/are connected to these power amplifiers and which receive(s) the signal from a source as input signal,

characterized

in that a means is provided for driving the transducer(s) by means of an FM-modulated signal in the region of the edge of their resonative characteristic curve.

15. Apparatus for driving a parametric loudspeaker system, comprising

- one or more transducer element(s) for ultrasound which are able to use suitable driving to produce an amplitude-modulated sound pressure signal which, upon propagating in a gaseous medium, produces an audible signal through self-demodulation,
- one or more power amplifier(s) associated with this or these transducer element(s),
- and one or more modulator(s) which is/are connected to these power amplifiers and which receive(s) the signal from a source as input signal,

characterized

in that a filter network is provided which encompasses the transducer(s) and produces a resonant edge, and **in that** a means is provided for driving the filter network by means of an FM-modulated signal in a region of the edge of its resonative characteristic curve.

16. Apparatus according to either of Claims 14 and 15, **characterized in that** a unit for modification is connected upstream of the modulator and has a modulation function corresponding to the mirrored profile of the edge of the resonative characteristic curve.

17. Apparatus according to Claim 16, **characterized in that** the unit for modifying the characteristic curve is in a form such that it compensates for discontinuities in the characteristic curve for the transducer, which produces a resultant

overall characteristic curve comprising one or more smoothed curved sections.

18. Apparatus according to either of Claims 16 and 17, **characterized in that** the unit for modifying the characteristic curve is in a form such that it linearizes the FM/AM translation taking place in the transducer.

19. Apparatus according to one of Claims 14 to 18, **characterized in that** a means is provided for adjusting the modulation depth of the driving by virtue of the smallest output voltage which is applied to the transducer being prescribable.

20. Apparatus according to one of Claims 14 to 19, **characterized in that** a parametric multiway loudspeaker system is driven by virtue of all of the transducers being classified into groups, with each group being driven by at least one FM modulator associated with it.

21. Apparatus according to Claim 20, **characterized in that** a means for multiway splitting of the input signal is provided, the multiway split involving the input signal for the at least one modulator being split into frequency bands.

22. Apparatus according to either of Claims 20 and 21, **characterized in that** if the transducers which are being classified into a plurality of groups each have different characteristic curves on a group-dependent basis then different FM modulators are provided in each case on a group-dependent basis.

23. Apparatus according to one of Claims 20 to 22, **characterized in that** for each individual one of the groups of transducers the respective directivity of the loudspeaker system has been optimized by putting the individual groups of transducers in a different geometrical arrangement, particularly on the basis of their associated frequency band for the input signal for the modulators.

24. Apparatus according to Claim 23, **characterized in that** the transducers are arranged such that the transducers which are associated with the low frequencies of the input signal are in the outer region of the arrangement and that the transducers which are associated with the high frequencies of the input signal are in the inner region of the arrangement.

25. Apparatus according to either of Claims 23 and 24, **characterized in that** the transducers which are associated with the high frequencies of the input signal are arranged close to one another, and **in that** the transducers which are associated with the low frequencies of the input signal are arranged less closely.

Revendications

1. Procédé de commande d'un système de haut-parleurs paramétrique comprenant :

- un ou plusieurs éléments transducteurs d'ultrasons, capables de produire par une commande appropriée un signal de pression acoustique modulé en amplitude qui produit un signal audible par auto-démodulation en cas de propagation dans un milieu gazeux,
- un ou plusieurs amplificateurs de puissance associé(s) à cet élément transducteur ou à ces éléments transducteurs,
- et un ou plusieurs modulateurs reliés à ceux-ci qui reçoivent le signal d'une source en tant que signal d'entrée,

caractérisé en ce que le ou les transducteurs sont commandés au niveau du flanc de leur courbe caractéristique de résonance par un signal modulé FM.

2. Procédé de commande d'un système de haut-parleurs paramétrique, comprenant :

- un ou plusieurs éléments transducteurs d'ultrasons, capables de produire par une commande appropriée un signal de pression acoustique modulé en amplitude qui produit par auto-démodulation un signal audible en cas de propagation dans un milieu gazeux,
- un ou plusieurs amplificateurs de puissance associé(s) à cet élément transducteur ou à ces éléments transducteurs,
- et un ou plusieurs modulateurs reliés à ceux-ci qui reçoivent le signal d'une source en tant que signal d'entrée,

caractérisé en ce que le ou les transducteurs sont interconnectés avec un réseau de filtres de résonance de sorte

que le réseau de filtres, y compris le transducteur, produit un flanc de résonance ou que des flancs existants de la courbe caractéristique des transducteurs sont modifiés,
et **en ce que** l'interconnexion des transducteurs et du réseau de filtres au niveau du flanc de leur courbe caractéristique de résonance est commandée par un signal modulé FM.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'**en aval du modulateur est placée une unité qui présente une fonction de modulation correspondant au trajet réfléchi du flanc de la courbe caractéristique de résonance.
4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** l'unité de modification de la courbe caractéristique égalise des discontinuités dans la courbe caractéristique du transducteur, de manière à produire une courbe caractéristique globale résultante composée d'un ou de plusieurs segments de courbe lissés.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 ou 4, **caractérisé en ce que** l'unité de modification de la courbe caractéristique est utilisée pour linéariser la traduction FM/AM ayant lieu dans le transducteur.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** la profondeur de modulation de la commande est réglable **en ce que** la plus petite tension de sortie appliquée au transducteur peut être prédéterminée.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le signal d'entrée qui est amené aux modulateurs représente un signal d'alarme et/ou un signal d'information et/ou un signal de bruit et/ou un signal vocal et/ou un signal musical.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** pour la commande d'un système de haut-parleurs multivoie paramétrique, la totalité des transducteurs est divisée en groupes, chaque groupe étant commandé par au moins un modulateur FM qui lui est affecté.
9. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** ledit au moins un modulateur FM est alimenté respectivement par un signal provenant d'une décomposition multivoie du signal d'entrée, une répartition de bande par fréquence du signal d'entrée des modulateurs étant effectuée dans le cadre de la décomposition multivoie.
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 9, **caractérisé en ce qu'**au cas où les transducteurs, qui sont divisés en plusieurs groupes, présenteraient respectivement différentes courbes caractéristiques en fonction du groupe, des modulateurs FM différents en fonction du groupe sont appliqués respectivement.
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, **caractérisé en ce qu'**une adaptation de puissance des transducteurs a lieu dans la gamme de fréquences utilisée, de telle sorte que la sélection des transducteurs d'un groupe de transducteurs est adaptée à la puissance nécessaire dans cette bande de fréquences.
12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 11, **caractérisé en ce que** pour chaque groupe individuel des groupes de transducteurs, la directivité respective du système de haut-parleurs est optimisée **en ce que** la sélection des transducteurs d'un groupe de transducteurs est effectuée sur la base de la directivité du transducteur individuel dans la bande de fréquences respective.
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 12, **caractérisé en ce que** pour chaque groupe individuel des groupes de transducteurs, la directivité respective du système de haut-parleurs est optimisée **en ce que** les groupes individuels de transducteurs, en particulier en fonction de la bande de fréquences qui leur est affectée du signal d'entrée des modulateurs, sont disposés de façon géométriquement différente.
14. Dispositif de commande d'un système de haut-parleurs paramétrique comprenant :
 - un ou plusieurs éléments transducteurs d'ultrasons, capables de produire par une commande appropriée un signal de pression acoustique modulé en amplitude qui produit par auto-démodulation un signal audible en cas de propagation dans un milieu gazeux,
 - un ou plusieurs amplificateurs de puissance associé(s) à cet élément transducteur ou à ces éléments transducteurs,
 - et un ou plusieurs modulateurs reliés à ceux-ci qui reçoivent le signal d'une source en tant que signal d'entrée,

caractérisé en ce qu'il existe un moyen pour commander le ou les transducteurs au niveau du flanc de leur courbe caractéristique de résonance par un signal modulé FM.

15. Dispositif de commande d'un système de haut-parleurs paramétrique comprenant :

- un ou plusieurs éléments transducteurs d'ultrasons, capables de produire par une commande appropriée un signal de pression acoustique modulé en amplitude qui produit par auto-démodulation un signal audible en cas de propagation dans un milieu gazeux,
- un ou plusieurs amplificateurs de puissance associé(s) à cet élément transducteur ou à ces éléments transducteurs,
- et un ou plusieurs modulateurs reliés à ceux-ci qui reçoivent le signal d'une source en tant que signal d'entrée,

caractérisé en ce qu'un réseau de filtres est prévu qui comprend le ou les transducteurs et produit un flanc de résonance,

et **en ce qu'il** existe un moyen pour commander le réseau de filtres au niveau du flanc de sa courbe caractéristique de résonance par un signal modulé FM.

16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 14 à 15, **caractérisé en ce qu'en** aval du modulateur est placée une unité de modification qui présente une fonction de modulation correspondant au trajet réfléchi du flanc de la courbe caractéristique de résonance.

17. Dispositif selon la revendication 16, **caractérisé en ce que** l'unité de modification de la courbe caractéristique est réalisée de telle sorte qu'elle égalise des discontinuités dans la courbe caractéristique du transducteur, de manière à produire une courbe caractéristique globale résultante composée d'un ou de plusieurs segments de courbe lissés.

18. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 16 à 17, **caractérisé en ce que** l'unité de modification de la courbe caractéristique est réalisée de telle sorte qu'elle linéarise la traduction FM/AM ayant lieu dans le transducteur.

19. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 14 à 18, **caractérisé en ce qu'il** existe un moyen pour régler la profondeur de modulation de la commande **en ce que** la plus petite tension de sortie appliquée au transducteur peut être prédéterminée.

20. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 14 à 19, **caractérisé en ce que** pour commander un système de haut-parleurs multivoie paramétrique, la totalité des transducteurs est divisée en groupes, chaque groupe étant commandé par au moins un modulateur FM qui lui est affecté.

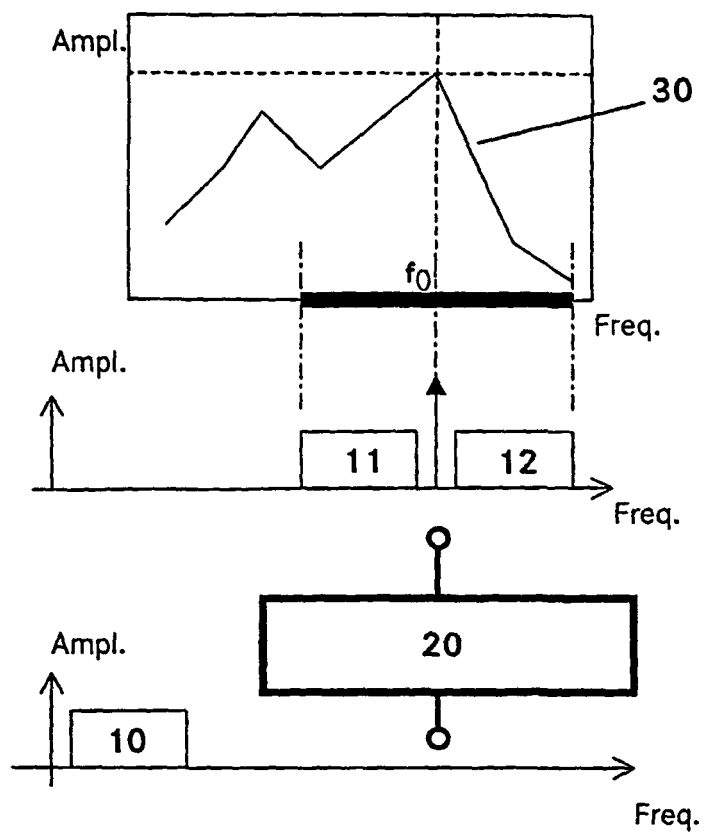
21. Dispositif selon la revendication 20, **caractérisé en ce qu'il** existe un moyen pour la décomposition multivoie du signal d'entrée, une répartition de bande par fréquence du signal d'entrée dudit au moins un modulateur étant effectuée dans le cadre de la décomposition multivoie.

22. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 20 à 21, **caractérisé en ce qu'au** cas où les transducteurs, qui sont divisés en plusieurs groupes, présenteraient respectivement différentes courbes caractéristiques en fonction du groupe, des modulateurs FM différents en fonction du groupe sont prévus respectivement.

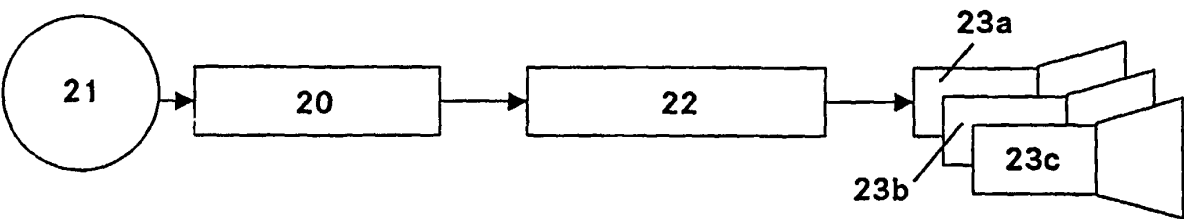
23. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 20 à 22, **caractérisé en ce que** pour chaque groupe individuel des groupes de transducteurs, la directivité respective du système de haut-parleurs est optimisée **en ce que** les groupes individuels de transducteurs, en particulier en fonction de la bande de fréquences qui leur est affectée du signal d'entrée des modulateurs, sont disposés de façon géométriquement différente.

24. Dispositif selon la revendication 23, **caractérisé en ce que** les transducteurs sont disposés de telle sorte que les transducteurs qui sont affectés aux basses fréquences du signal d'entrée se trouvent dans la zone extérieure de l'agencement et que les transducteurs qui sont affectés aux hautes fréquences du signal d'entrée se trouvent dans la zone intérieure de l'agencement.

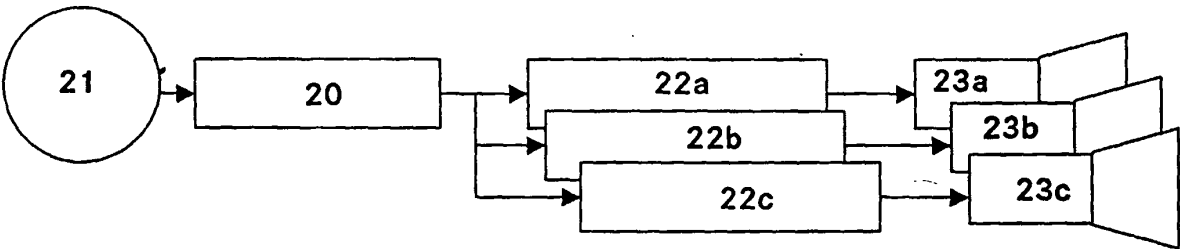
25. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 23 ou 24, **caractérisé en ce que** les transducteurs qui sont affectés aux hautes fréquences du signal d'entrée sont disposés étroitement les uns à côtés des autres, et que les transducteurs qui sont affectés aux basses fréquences du signal d'entrée sont disposés moins étroitement.



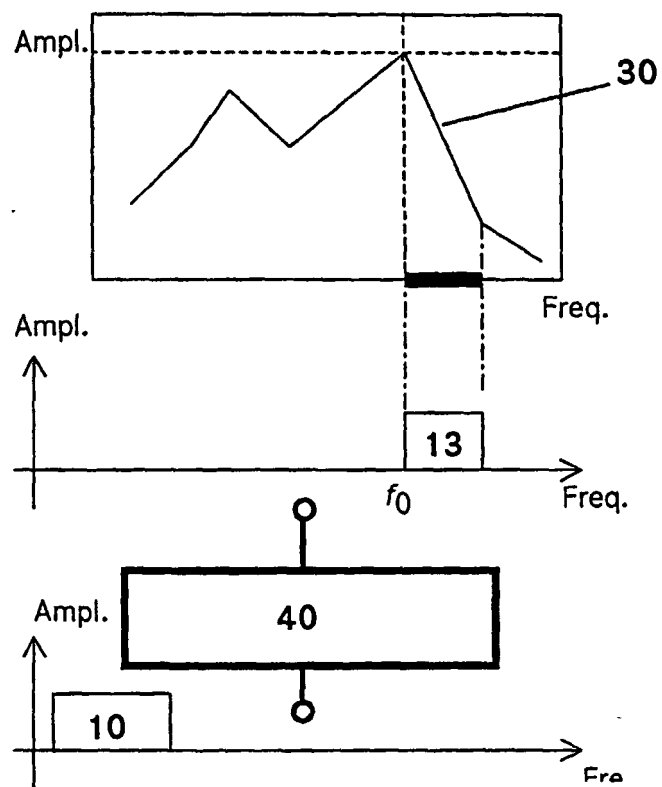
Figur 1



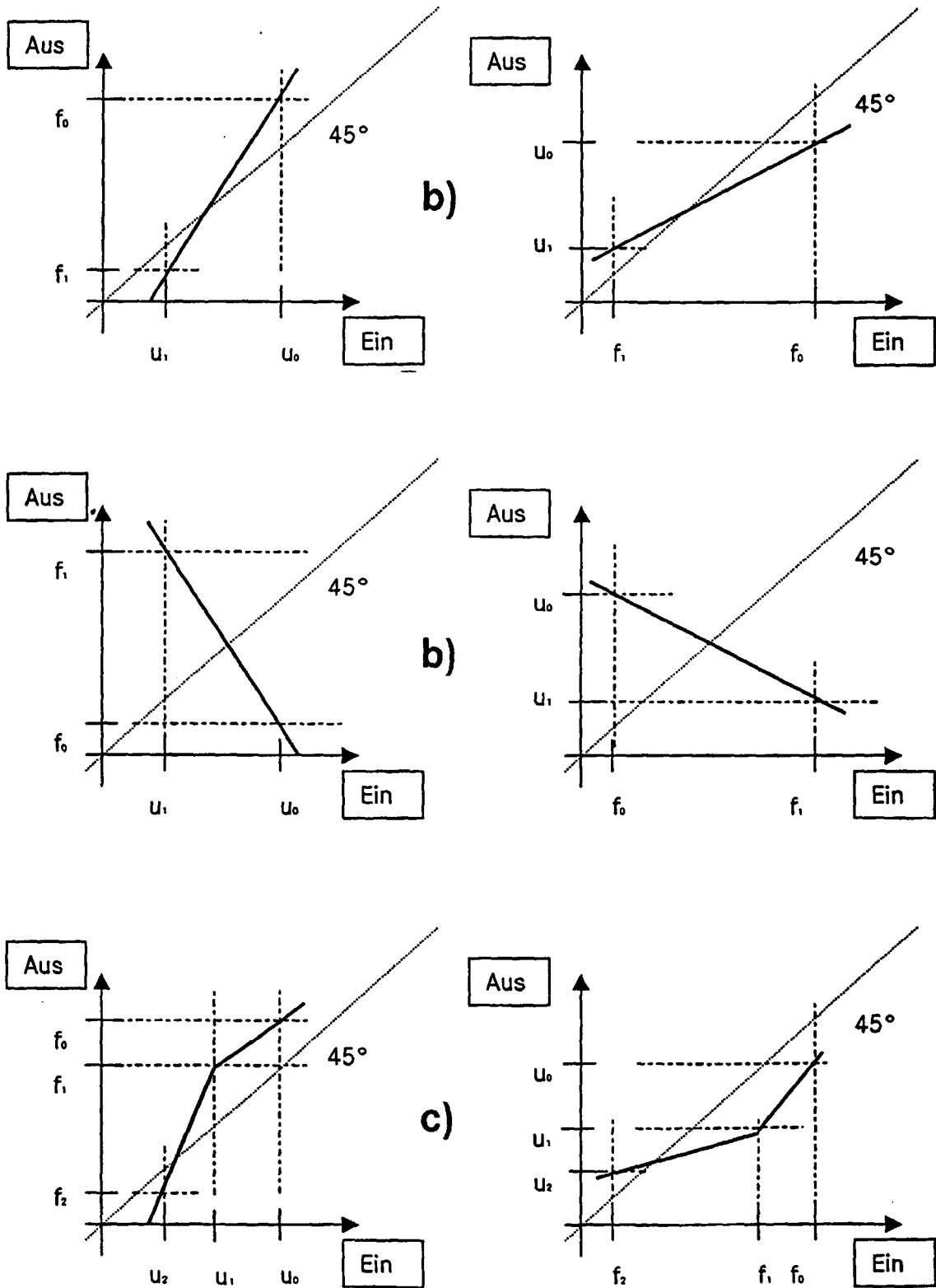
Figur 2



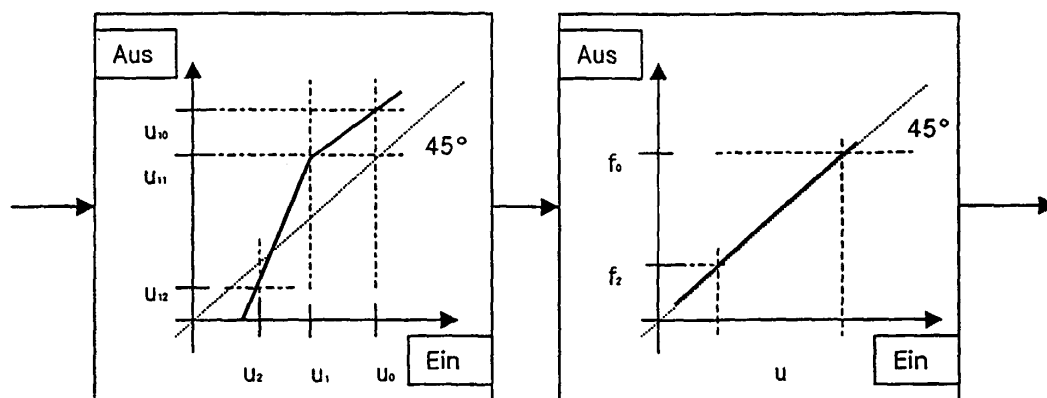
Figur 3



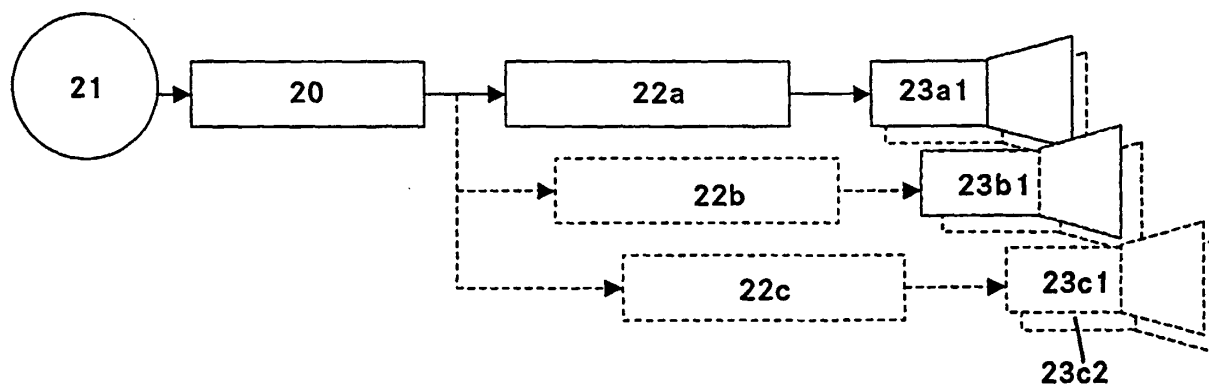
Figur 4



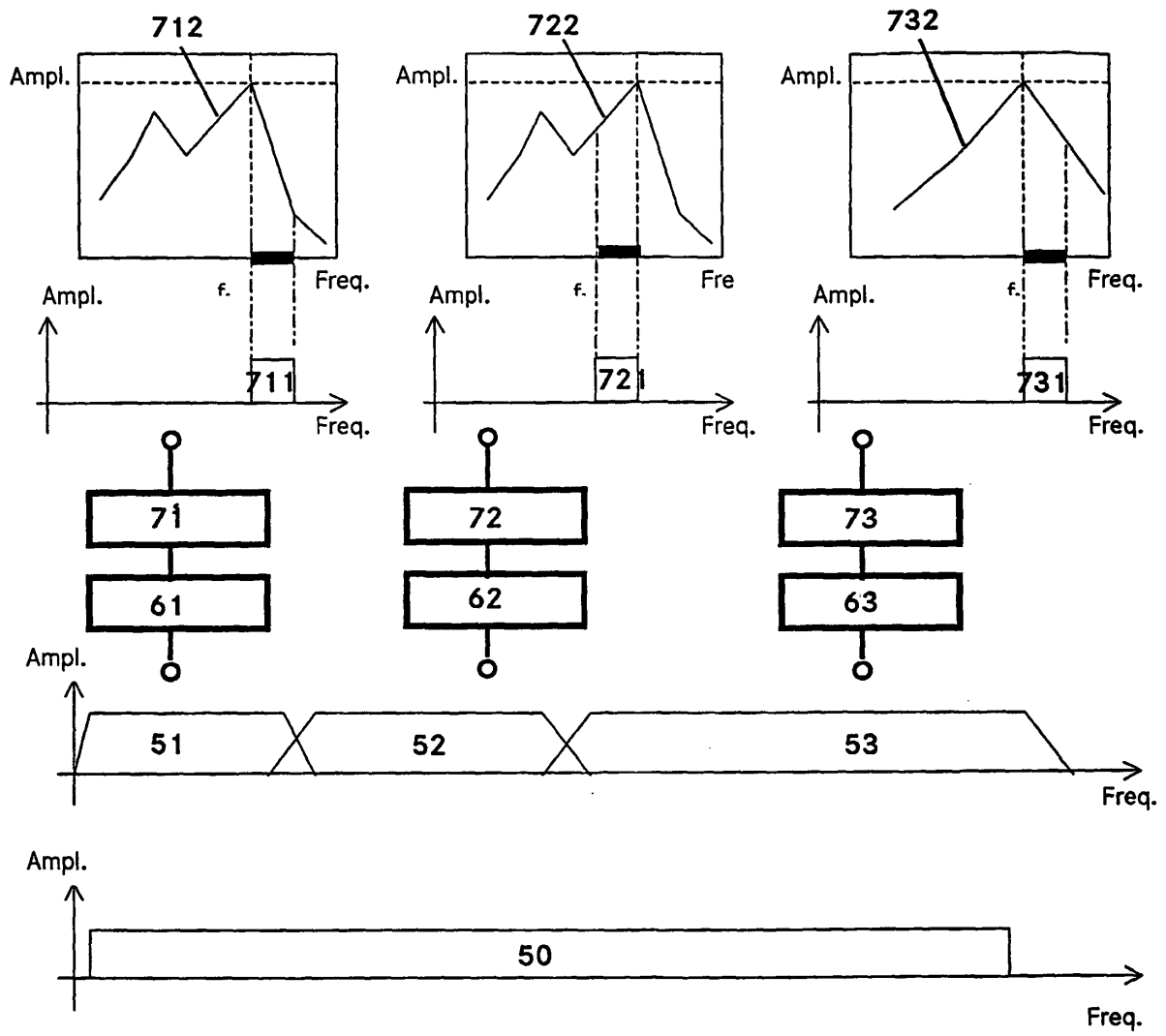
Figur 5



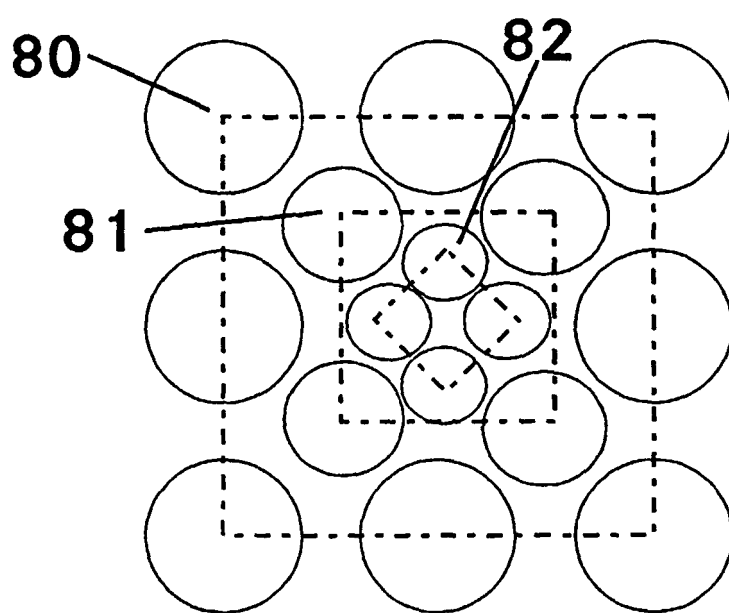
Figur 6



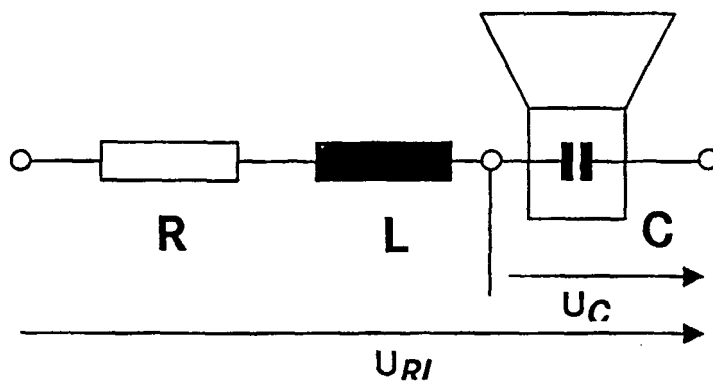
Figur 7



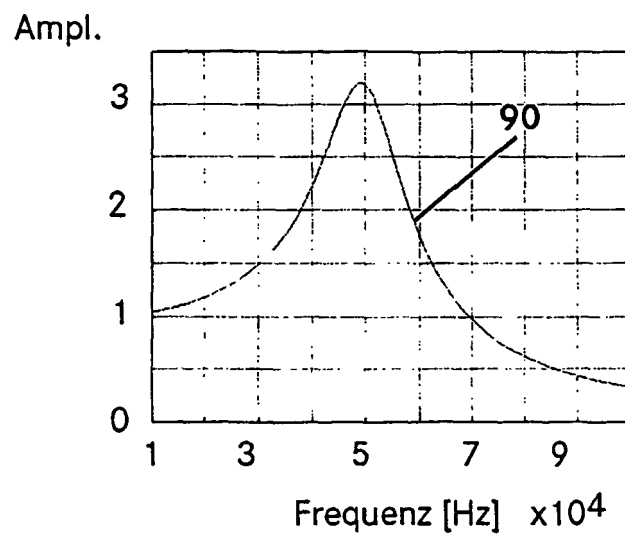
Figur 8



Figur 9



Figur 10



Figur 11