



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**09.10.2002 Patentblatt 2002/41**

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

(21) Anmeldenummer: **02007545.3**

(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**

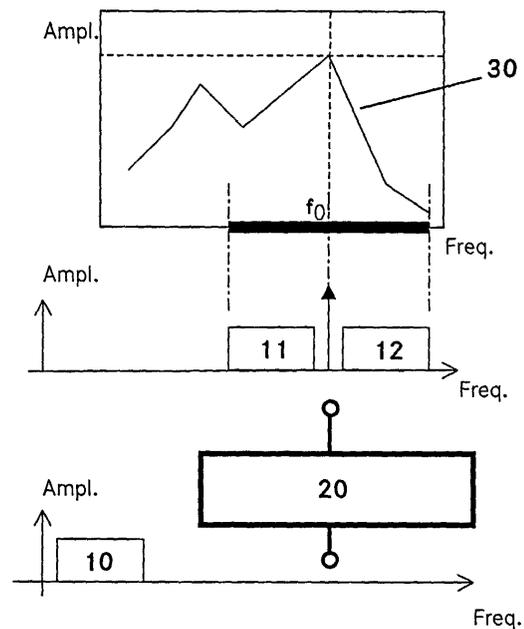
(71) Anmelder: **DaimlerChrysler AG  
70567 Stuttgart (DE)**

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

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

(54) **Ultraschallbasiertes parametrisches Lautsprechersystem**

(57) Es werden parametrische Lautsprechersysteme beschrieben, die auf FM-Modulation eines Ultraschallträgers basieren. Bekannte Systeme arbeiten mit AM-Modulation. Die FM-Modulation ergibt eine gute Anpassung an resonante Wandler wie die üblicherweise verwendeten Piezo-Keramik-Wandler. Die Resonanzflanke des Wandlers wird zur FM/AM-Umsetzung verwendet. Dieses FM-Resonanz-Prinzip lässt sich vorteilhafterweise in einem Mehrwege-Lautsprechersystem anwenden, bei dem in jedem der Wege die Wandler im optimalen Resonanzbereich arbeiten. Mit der üblichen AM-Modulation ist das nicht möglich. Das FM-Resonanz-Prinzip lässt sich auch auf resonanzfreie oder resonanzarme Wandler erweitern, wie z.B. Elektrostaten.



**Figur 1**

## Beschreibung

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

**[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 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 Berkay, 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 und 14 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 Lautsprechersystem, 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.

**[0011]** **Figur 1** zeigt schematisch das aus dem Stand der Technik bekannte Verfahren der Amplitudenmodulation.

**[0012]** **Figur 2** zeigt ein Blockschaltbild für einen parametrischen Lautsprecher.

**[0013]** **Figur 3** zeigt ein System bei dem mehrere Leistungsverstärker verwendet werden.

**[0014]** **Figur 4** zeigt schematisch den Aufbau eines parametrischen Lautsprechers mit FM-Modulation

**[0015]** **Figur 5** zeigt mittels dreier Beispiele das Zusammenwirken der Kennlinie des Modulators und der Kennlinie des Wandlers.

**[0016]** **Figur 6** zeigt einen FM-Modulator der aus zwei Teilsystemen besteht.

**[0017]** **Figur 7** zeigt ein parametrisches Lautsprechersystem basierend auf FM-Modulation mit resonativen Wandlern.

**[0018]** **Figur 8** zeigt ein Mehrwege-Lautsprechersystem auf der Basis parametrischer Lautsprecher.

**[0019]** **Figur 9** zeigt eine vorteilhafte Anordnung der Wandler innerhalb eines Mehrwege-Lautsprechersystems

**[0020]** **Figur 10** zeigt ein RLC-Netzwerk an einem Wandler zur Erzeugung einer Resonanzstelle.

**[0021]** **Figur 11** zeigt die Kennlinie des in Figur 8 dargestellten Netzwerkes.

**[0022]** In den aus dem Stand der Technik bekannten Systemen zur Modulation eines Ultraschallsignals für parame-

trische 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 :

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

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.

[0023] Es sei  $H(f)$  die Übertragungsfunktion eines Ultraschall-Wandlers, dann gilt im Frequenzbereich für das Ausgangssignal des Ultraschall-Wandlers  $Y_{US}(f)$ :

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

[0024] Es ergeben sich die beiden Seitenbänder,  $A_N(f_T - f)$  und  $A_N(f_T + f)$ , links und rechts neben dem Träger  $\frac{A_T}{2} \delta(f - f_T)$ .

[0025] **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 plziert. 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.

[0026] **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 parametrisches 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. Eine allgemeinere Anordnung ergibt sich wenn mehrere Leistungsverstärker (22a-c) verwendet werden und an jeden Leistungsverstärker (22a-c) einen 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.

[0027] 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.

[0028] 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.

[0029] 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.

[0030] 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 Übertragung-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).

[0031] Beispielhaft soll der Erfindungsgegenstand im folgenden im Zusammenspiel mit Ultraschallwandlern im Detail

## EP 1 248 491 A2

erläutert werden. Hierbei wird davon ausgegangen, dass es sich bei den verwandten Ultraschallwandler um resonative Wandler handelt.

**[0032]** 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.

**[0033]** Beispielhaft für resonative Ultraschallwandler können Wandler betrachtet werden die aus Piezo-Keramik aufgebaut sind.

**[0034]** 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  $\Delta f$  den Frequenzhub in Abhängigkeit vom Eingangspegel angibt und  $f_T$  die Frequenz des Ultraschall-Trägersignals ist. Wählt man  $f_T$  und  $\Delta f$  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.

**[0035]** 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:

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

**[0036]** 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.

**[0037]** **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**) gespeißt. 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.

**[0038]** 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.

**[0039]** 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 ein 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.

**[0040]** 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 Frequenzintervall. 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.

**[0041]** 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.

**[0042]** 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.

**[0043]** 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  $45^\circ$  Diagonale im Kennlinienfeld. Im Idealfall ergibt sich durch das Zusammenwirken den Wandler-Kennlinie mit den (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.

**[0044]** 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.

**[0045]** **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).

**[0046]** **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  $45^\circ$ -Achse, entsprechend den Beispielen a) und b).

**[0047]** 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 entsprechende ideale Modulator-Kennlinien abgeleitet werden.

**[0048]** 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. 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:

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

**[0049]** 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.

**[0050]** 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.

**[0051]** 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.

**[0052]** 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.

**[0053]** 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.

**[0054]** 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.

**[0055]** 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.

**[0056]** 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.

**[0057]** 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.

**[0058]** **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.

**[0059]** 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.

**[0060]** Übliche Wandler aus Piezo-Keramik zeigen wie oben beschrieben eine resonative 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.

[0061] **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.

[0062] 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.

[0063] 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.

[0064] 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 RIC-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.

[0065] Abhängig von der jeweiligen Anwendung im Rahmen derer erfindungsgemäß ein 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 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-Modulation 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 Wandler im Bereich der Flanke ihrer resonativen Kennlinie mit einem FM modulierten Signal (FM-Modulation) angesteuert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Fall, dass die Wandler keine signifikante resonative Kennlinie aufweisen, die resonative Kennlinie durch die Zusammenschaltung der Wandler mit einem resonativen Filternetzwerk erzeugt wird, in der Weise, dass das Filternetzwerk einschließlich des Wandlers eine Resonanzflanke erzeugt oder vorhandene Flanken der Kennlinie der Wandler so modifiziert, wie sie für eine befriedigende Umsetzung der FM-Modulation in eine AM-Modulation durch den Wandler benötigt werden.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flanke der resonativen Kennlinie durch eine dem Modulator vorgeschaltete Einheit zur Modifikation der Kennlinie verändert wird, dahingehend dass sich durch die aus der Veränderung resultierende Gesamt-Kennlinie die Übersetzung des FM modulierten Signals in das vom Wandler ausgesandte AM-Signal beeinflusst wird, indem die Einheit zur Modifikation der Kennlinie eine Spannungs/Spannungs-Übersetzung bewerkstelligt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einheit zur Modifikation der Kennlinie Unregelmäßigkeiten 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 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einheit zur Modifikation der

## EP 1 248 491 A2

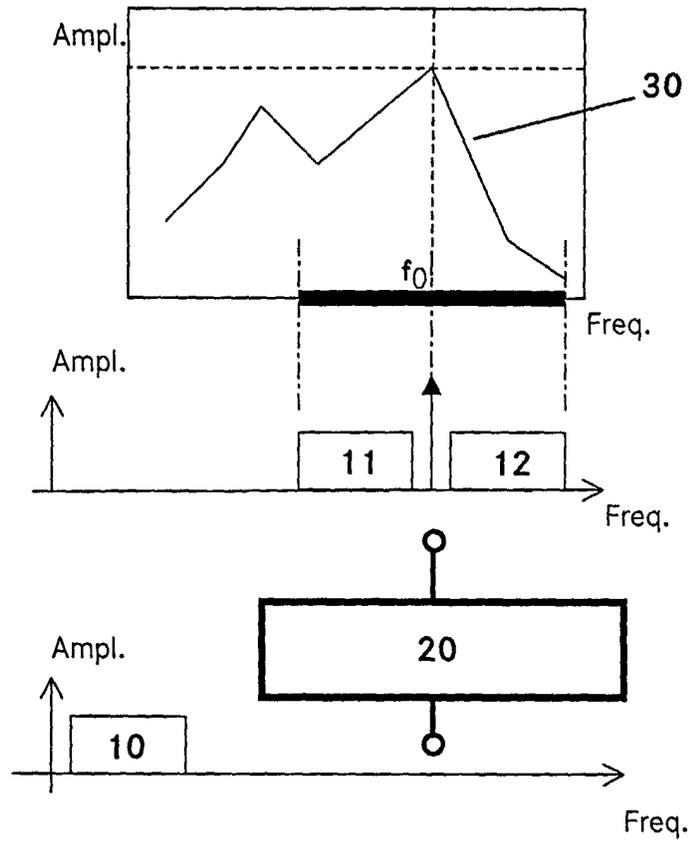
Kennlinie dazu verwendet wird, dass sie die im Wandler stattfindende FM/AM-Übersetzung linearisiert, wodurch sich durch die resultierende Gesamt-Kennlinie eine ideale AM-Modulation ergibt.

- 5
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.
- 10
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 Geräuschesignal und/oder ein Sprachsignal und/oder ein Musiksignal darstellt.
- 15
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.
- 20
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die einzelnen FM-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.
- 25
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.
- 30
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.
- 35
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.
- 40
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.
- 45
14. 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,
- 50
- dadurch gekennzeichnet, daß** ein Mittel vorhanden ist die Wandler im Bereich der Flanke ihrer resonativen Kennlinie mit einem FM modulierten Signal (FM-Modulation) anzusteuern.
- 55
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Fall, dass die Wandler keine signifikante resonative Kennlinie aufweisen, ein Filternetzwerk vorgesehen ist, welches den Wandler einschließt und so eine Resonanzflanke erzeugt, wie sie für eine befriedigende Umsetzung der FM-Modulation in eine AM-Modulation durch den Wandler benötigt werden.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Einheit zur Modifikation dem Modulator vorgeschaltetet wird, wodurch die Flanke der Kennlinie des Wandlers verändert wird,

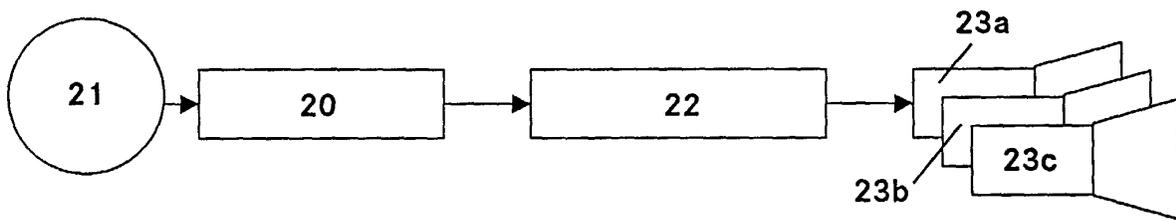
## EP 1 248 491 A2

dahingehend dass sich durch die aus der Veränderung resultierende Gesamt-Kennlinie die Übersetzung des FM modulierten Signals in das vom Wandler ausgesandte AM-Signal beeinflusst wird, indem die Einheit zur Modifikation der Kennlinie eine Spannungs/Spannungs-Übersetzung bewerkstelligt.

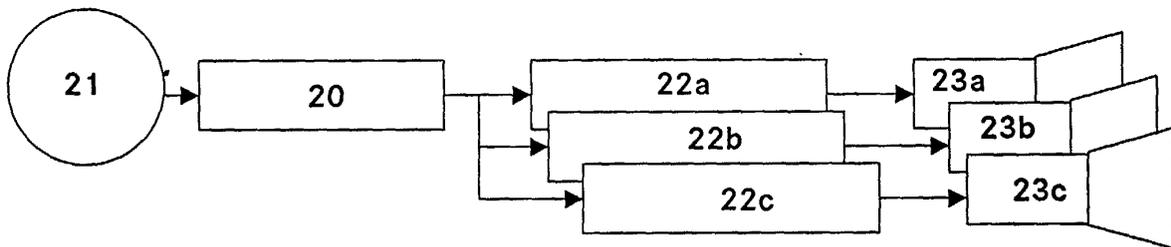
- 5 17. Vorrichtung nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einheit zur Modifikation der Kennlinie so ausgebildet ist, dass sie Unregelmäßigkeiten in der Kennlinie des Wandlers ausgleicht, wodurch sich eine resul-
- 10 18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einheit zur Modifikation der Kennlinie so ausgebildet ist, dass sie die im Wandler stattfindende FM/AM-Übersetzung linearisiert, wodurch sich durch die resultierende Gesamt-Kennlinie eine ideale AM-Modulation ergibt.
- 15 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 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.
- 25 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 der Modulatoren vorgenommen wird.
- 30 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.
- 35 23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 22, **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.
- 40 24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 23, **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.
- 45 25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 24, **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.
- 50 26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 25, **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.
- 55 27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 26, **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.



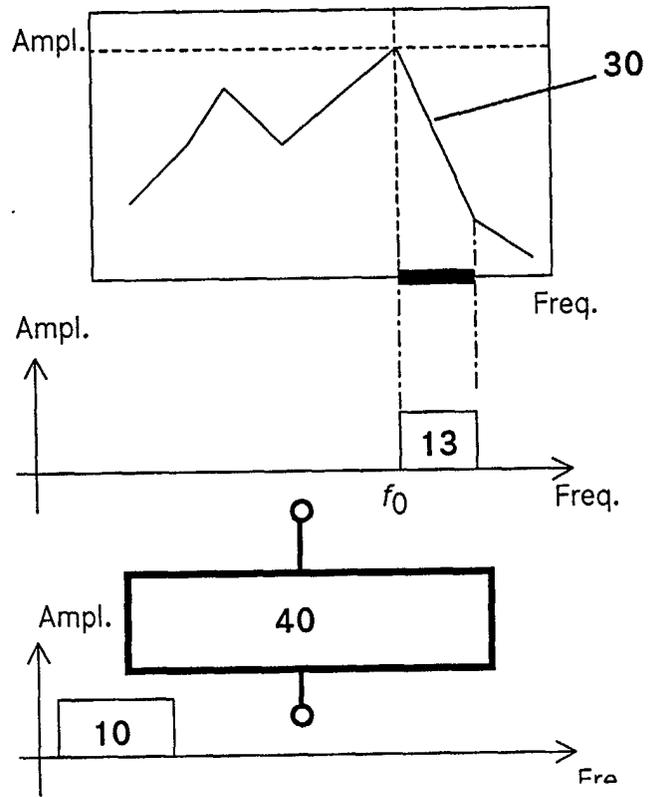
Figur 1



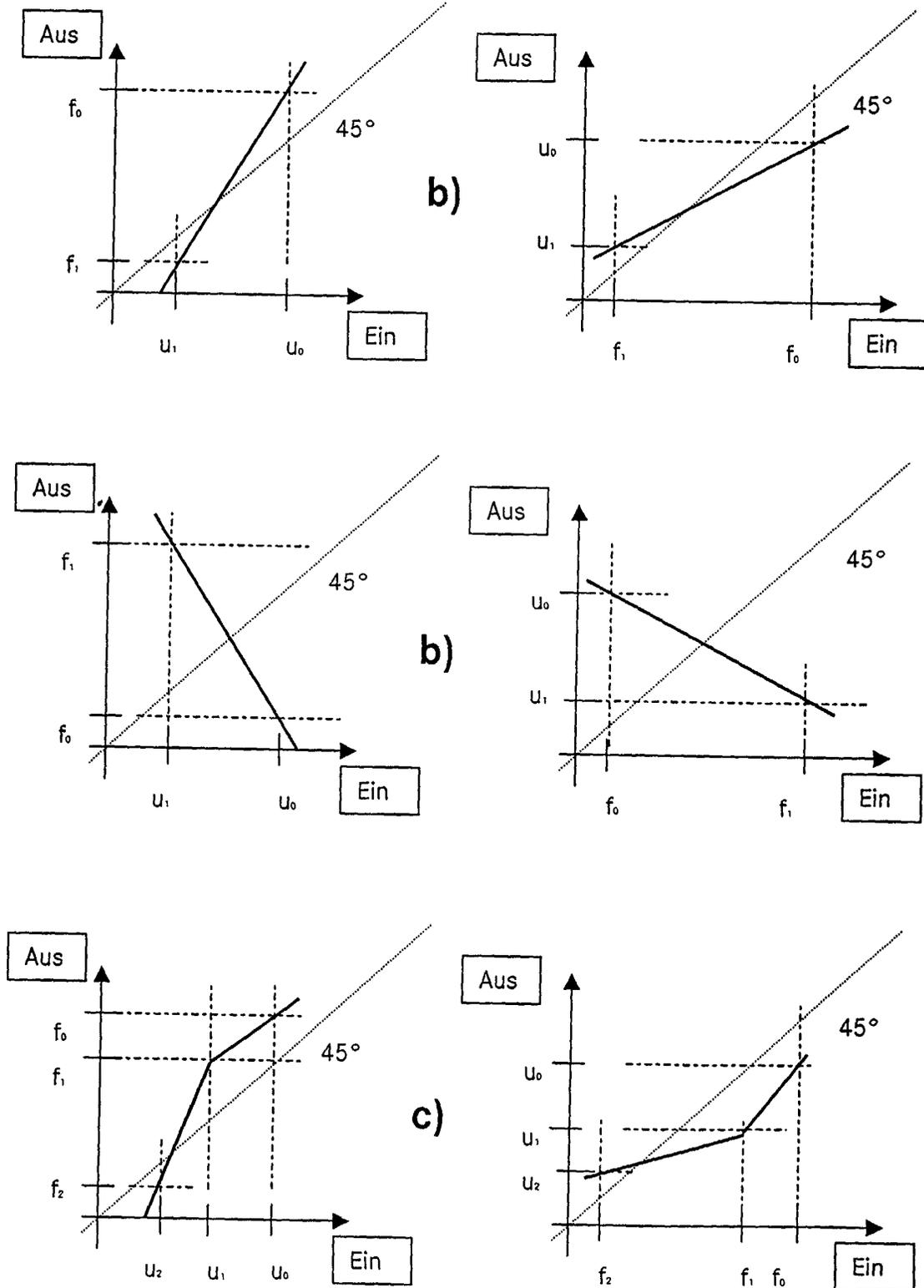
**Figur 2**



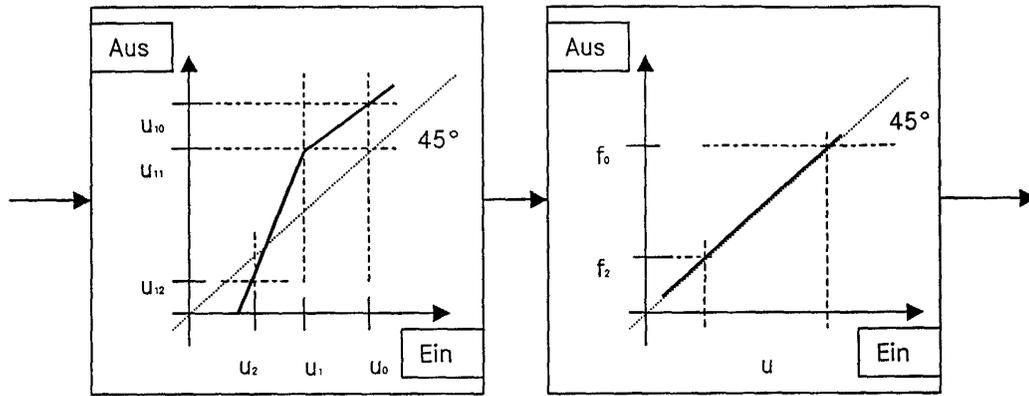
**Figur 3**



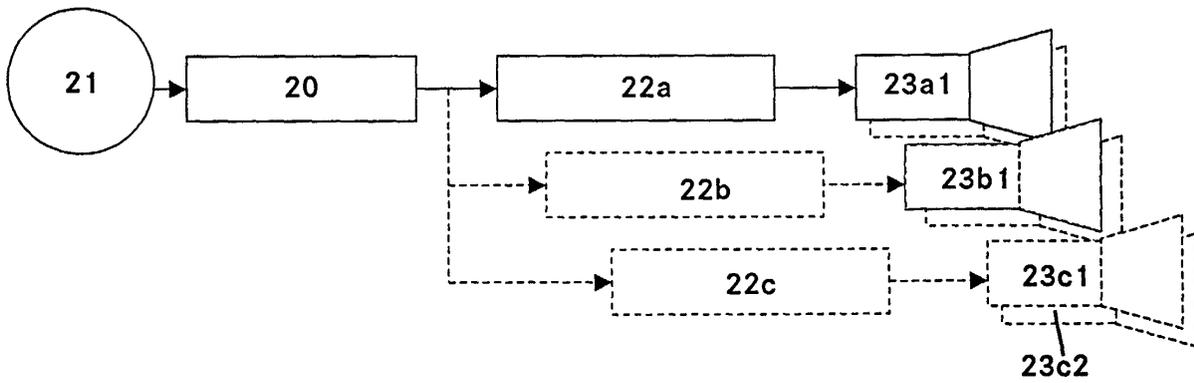
Figur 4



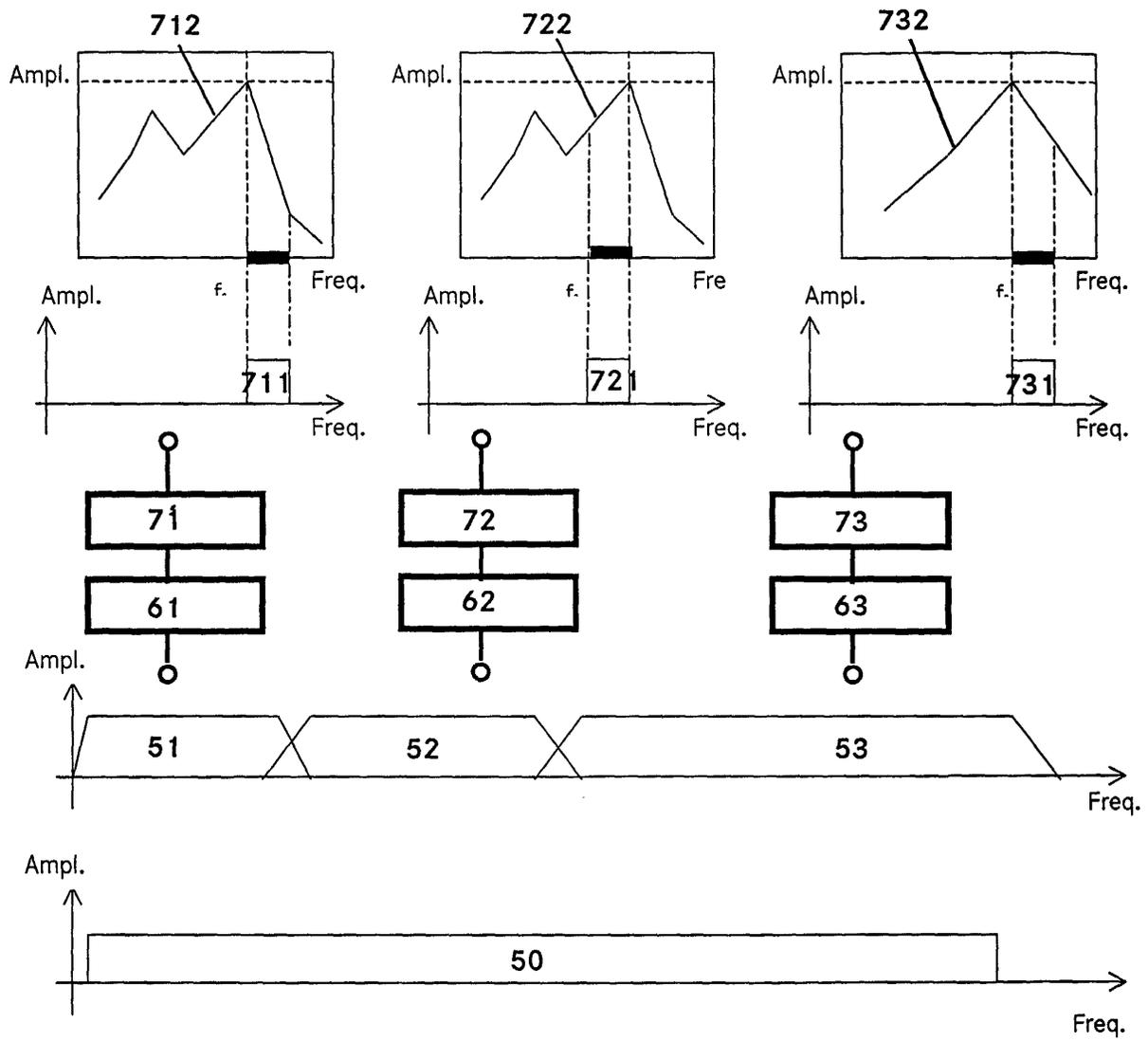
Figur 5



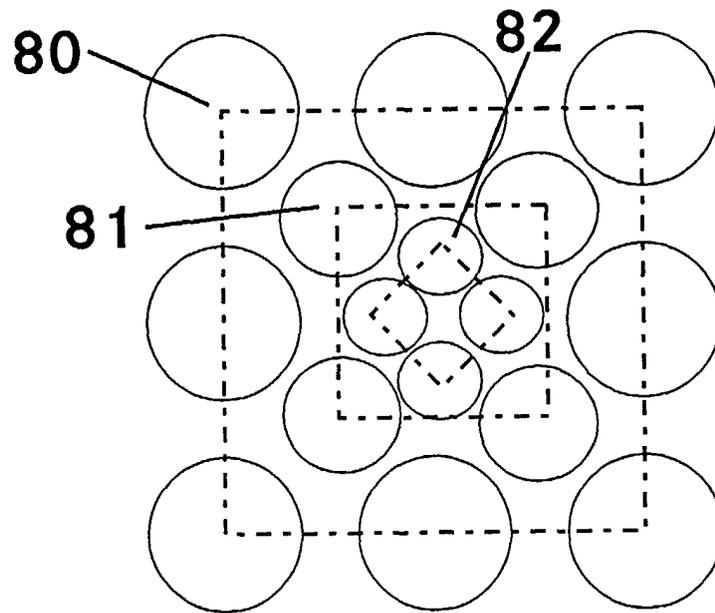
Figur 6



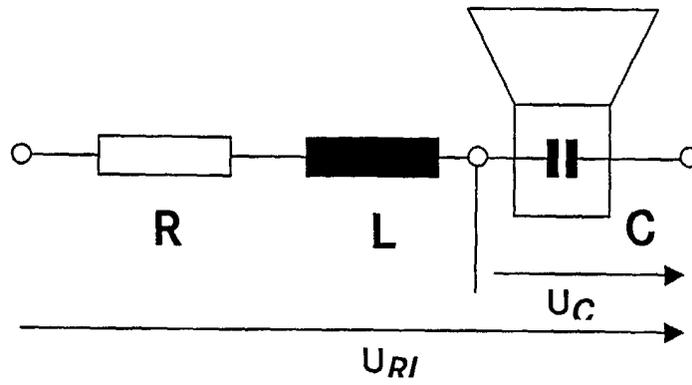
Figur 7



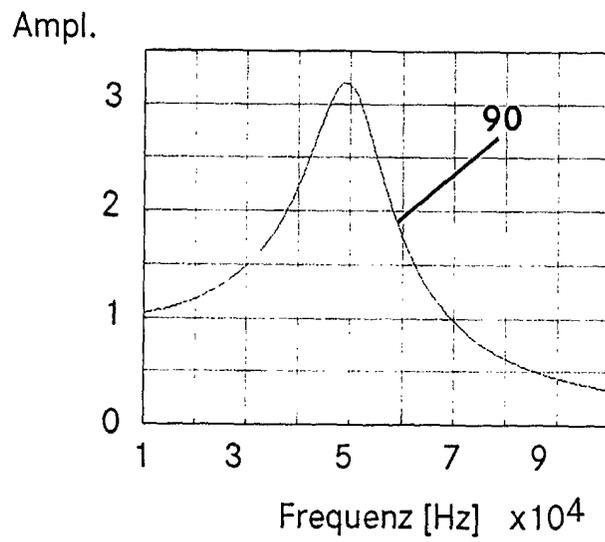
Figur 8



**Figur 9**



Figur 10



Figur 11