



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 568 721 A1**

12

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: **92107794.7**

51 Int. Cl.<sup>5</sup>: **H04R 3/04**

22 Anmeldetag: **08.05.92**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**10.11.93 Patentblatt 93/45**

71 Anmelder: **Kroll, Clemens**  
**Paul-Keller Strasse 28**  
**D-82131 Stockdorf(DE)**

84 Benannte Vertragsstaaten:  
**AT CH DE DK FR GB IT LI**

72 Erfinder: **Kroll, Clemens**  
**Paul-Keller Strasse 28**  
**D-82131 Stockdorf(DE)**

54 **Filter für Lautsprecher.**

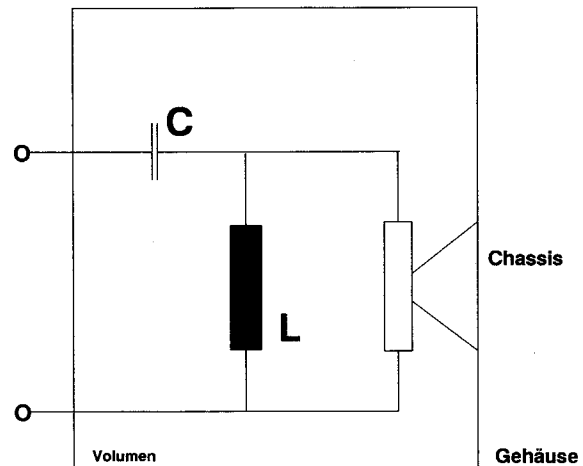
57 Lautsprecher in geschlossenem Gehäuse.

Herkömmliche passive Lautsprechersysteme weisen für eine tiefreichende und saubere Basswiedergabe sehr große Gehäuse auf. Elektronisch korrigierende Aktivsysteme sind aufwendig und nur in der korrekten Paarung von Lautsprecher und Elektronik verwendbar. Das neue passive Lautsprechersystem soll gleichzeitig vorgegebene Frequenzgangcharakteristik, kleine Gehäuse und tiefreichende saubere Basswiedergabe realisieren.

Der Tieftöner wird in Verbindung mit einem auf seine Parameter abgestimmten Gehäuse und einem abgestimmten passiven Hochpassfilter wenigstens 2. Grades betrieben. Diese Massnahmen bewirken für bestimmte akustisch günstige Frequenzgangcharakteristiken niedrige Grenzfrequenz und kleines Gehäuse.

Das neue Lautsprechersystem ist insbesondere im Bereich kleiner wohnzimmergerechter Boxen interessant.

**Bild III**  
Schaltbild und Skizze



EP 0 568 721 A1

Im Lautsprecherbau werden für elektrodynamische Lautsprecherchassis verschiedene Aufbauprinzipien verwendet: geschlossene Gehäuse, Bass-Reflex-boxen, Passivmembranen, Satelliten / Subwoofersysteme, Chassis mit 2 Spulen, Compoundsysteme, Transmissionlines, Hörner und davon abgeleitete Systeme. Des weiteren existieren aktive Systeme, bestehend aus Lautsprecher und dazugehöriger Elektronik, in denen auch Verbesserungen wie Frequenzgangkorrektur, Rückkoppelung oder komplexer Ausgangswiderstand des Verstärkers realisiert werden können. Neben dem elektrodynamischen Lautsprecher existieren noch Elektrostaten, Magnetostaten, Bändchen und Andere, die zur Wiedergabe tiefer Frequenzen weniger geeignet sind.

Allen Möglichkeiten gemeinsam ist das große Gehäuse, wenn gute Tiefbasswiedergabe erreicht werden soll. Compoundsysteme schneiden beim Gehäusevolumen etwas besser ab als andere, erfordern aber im Chassisbereich den doppelten Aufwand. Aktive Systeme stossen bei ihren Beeinflussungsmöglichkeiten des Bassbereiches schnell an die thermischen Grenzen der beteiligten Lautsprecherchassis. Auch ist der Aufwand aktiver Systeme sehr hoch.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, in einem passiven Lautsprechersystem unter Berücksichtigung der Rückwirkungen des Lautsprecherchassis bestimmte akkustisch günstige, oder für die Konstruktion von Mehrwegesystemen notwendige Frequenzgangtypen zu realisieren bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Zielgrößen kleines Gehäusevolumen und tiefreichende Wiedergabe.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 aufgeführten Merkmale - aufeinander abgestimmtes System von Chassisparameter, Gehäusevolumen und Hochpassfilter wenigstens 2. Grades - gelöst.

Der Erfindungsgedanke, die Lösungsmethode und ein gerechnetes Ausführungsbeispiel werden nachfolgend für den Fall des Hochpassfilters 2. Grades beschrieben.

Folgende Bezeichnungen und Abkürzungen werden verwendet:

$R_0$	Gleichstromwiderstand des verwendeten Lautsprechers
$f_0$	Resonanzfrequenz des Chassis im nicht eingebauten Zustand
$V_{as}$	Aquivalentvolumen des Chassis
$Q_{ms}$	mechanische Resonanzgüte des Chassis im nicht eingebauten Zustand
	$Q_{ts}$ gesamte Resonanzgüte des Chassis im nicht eingebauten Zustand, bestehend aus elektrischer und mechanischer Resonanzgüte unter Berücksichtigung von Zuleitungswiderständen oder Widerständen von Längsspulen

	weiterer Frequenzweichenbauteile
$Q_F = R_0 \sqrt{C/L}$	Güte des Filters 2. Grades; C, L siehe Bild III
$V_{ab}$	das akkustische Volumen der Box, das tatsächliche Volumen liegt dann ca. 15% darunter, je nach verwendeter Bedämpfung
$f_{gr}$	die erreichbare untere Grenzfrequenz des Systems normierte Grössen:

$$f_{norm} = f_{gr}/f_0$$

$$V_{norm} = V_{ab}/V_{as}$$

$$C = C_{norm}/R_0 f_0$$

$$L = L_{norm} R_0 / f_0$$

F, y, a sind Zwischengrössen zur Vereinfachung der Formeln.

A, B sind Konstanten, die den Typus des erzielten akkustischen Gesamthochpasses 4. Grades beschreiben, z.B.

$$A = 2.613, B = 3.414 \text{ für Butterworthcharakteristik}$$

$$A = 2.828, B = 4.0 \text{ für Linkwitzcharakteristik.}$$

Nun werden mathematisch formuliert:

- die Schwingungsdifferentialgleichung des Lautsprecherchassis (der akkustische Tiefpasscharakter des Chassis bleibt bei diesen Überlegungen schadlos unberücksichtigt, da das Filter am unteren Übertragungsbereich arbeitet.),
- Differentialgleichungen der Hochpasselemente,
- Zusammenhang Schalldruck - Auslenkung der Membran,
- Transformation mechanischer in elektrische Grössen am Chassis,
- Knoten- und Maschengleichungen.

Daraus läßt sich der akkustische Frequenzgang des gesamten Systems berechnen. Das Gleichungssystem und seine Auflösung wird am Beispiel des Filters 2. Grades gezeigt. Um auf einen bestimmten Typus von akkustischem Hochpass 4. Grades zu kommen, muß folgendes Gleichungssystem erfüllt sein:

$$a/Q_F + 1/aFQ_{ts} = A$$

$$a^2 + 1/a^2 + 1/Q_F Q_{ms} F = B$$

$$a/FQ_{ts} + 1/aQ_F = C \quad (C = A \text{ für symmetrische Polynome})$$

Dies führt zu folgenden Gleichungen:

$$1. \quad y = 0.5 (B-2 + \sqrt{(B+2)^2 - 4A^2 Q_{ts}/Q_{ms}})$$

$$2. \quad a = 0.5 (y_{\pm}, \sqrt{y^2 - 4})$$

3.  $F = (a + 1/a)/AQ_{ts}$

4.  $C_{norm} = Q_{ts}a^2/2\pi$  ( $\pi = 3.1415\dots$ )

5.  $L_{norm} = a^2/F^2Q_{ts}2\pi$

6.  $f_{norm} = F/a$

7.  $V_{norm} = 1/(F^2-1)$

Dabei ergeben die Lösungen, die in Gleichung 2. das Minuszeichen (Klammer) verwenden bei gleichem Gehäusevolumen höhere Grenzfrequenzen. Ebenso existieren für die Filter höherer Ordnung entsprechend mehrere Lösungen.

In den Bildern I und II sind das normierte Volumen des Gehäuses und die auf die Resonanzfrequenz bezogene Grenzfrequenz des Gesamtsystems 4. Grades für Butterworth- und Linkwitzabstimmung (Bu4, Li4) dargestellt, der Parameter  $Q_{ms}$  wurde = 5 gesetzt. (Bei den Linkwitzabstimmungen bezieht sich die Grenzfrequenz auf den -6 dB Punkt.) Zum Vergleich mit herkömmlichen Lösungen sind in den Diagrammen auch die Abstimmungen im geschlossenen Gehäuse ohne Filter (Bu2, Li2) dargestellt. Diese sind nach den bekannten Formeln (Literaturhinweis) berechnet. Ebenfalls zum Vergleich findet man die Bassreflexabstimmung nach Thiele/Small. (Literaturhinweis;  $Q_L = 7$ ). Man sieht auch (Bu3), daß ein Filter ersten Grades (nur ein Kondensator) die Aufgabenstellung nicht löst: bei Anpassung zum Butterworthfrequenzgang 3. Grades ergeben sich zwar kleine Gehäuse (Bild I), aber die höchsten Grenzfrequenzen im Vergleich (Bild II).

Die Diagramme I und II zeigen darüber hinaus, daß die erfindungsgemäße Anpassung über einen sehr weiten Bereich von Chassisparametern möglich ist; insbesondere werden Chassis verwendbar, deren Parameter sonst für eine akkustisch günstige Gehäuseauslegung ungeeignet sind.

Betrachtet wird nun als Beispiel ein Basslautsprecherchassis mit folgenden Parametern: (z.B. Subwoofer)

$Q_{ms} = 5; f_0 = 30 \text{ Hz}$

$Q_{ts} = 0.5; V_{as} = 80 \text{ Liter}$

Bei Bu2 Abstimmung (Gehäuse ohne Filter) ergibt sich:

$V_{ab} = 80 \text{ Liter}, f_{grenz} = 42.4 \text{ Hz.}$

Bu4 Abstimmung gemäß Erfindung liefert:

$V_{ab} = 38 \text{ Liter}, f_{grenz} = 30.7 \text{ Hz.}$

Im Fall des betrachteten Chassis ergeben sich folgende Vorteile:

- das benötigte Gehäusevolumen ist halb so groß wie bei herkömmlichen Lösungen,
- der Frequenzbereich ist um den Faktor 1.4 (eine halbe Oktave) nach unten erweitert,

- es wird ein akkustisch günstiger Zielfrequenzgang realisiert,
- gleichzeitig schützt die erfindungsgemäße Filterauslegung das Chassis wie ein Subsonicfilter.

Eine bevorzugte Anwendung ergibt sich z.B. bei Systemen mit externem oder integriertem Subwoofer. Hier kann auch der an den Subwoofer anschließende Tief-/Tiefmitteltöner erfindungsgemäß angesteuert werden, vorzugsweise als Linkwitzsystem 4. Grades. Ebenso kann dann auch die in Gleichung 2. sich ergebende Möglichkeit einer höheren Grenzfrequenz vorteilhaft zur Anwendung kommen. Bei Passiver Abtrennung des betrachteten Chassis hin zu höheren Frequenzen empfiehlt sich die Impedanzkompensation des Chassis mittels parallel geschaltetem RC-Glied.

Die erfindungsgemäße Auslegung ermöglicht exakte Frequenzgangcharakteristiken, wie sie zur Konstruktion von Frequenzweichen notwendig sind (z.B. Li4). Daher ist die Erfindung auch vorteilhaft im Mittel- und Hochtonbereich einsetzbar.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird man die Längswiderstände von verwendeten Induktivitäten oder Zuleitungen in die Auslegungsrechnung mit einbeziehen. Ebenso ist es möglich zur Erreichung höherer Lautstärken mehrere Chassis - auch mit einem gemeinsamen Filter - zu verwenden.

### Patentansprüche

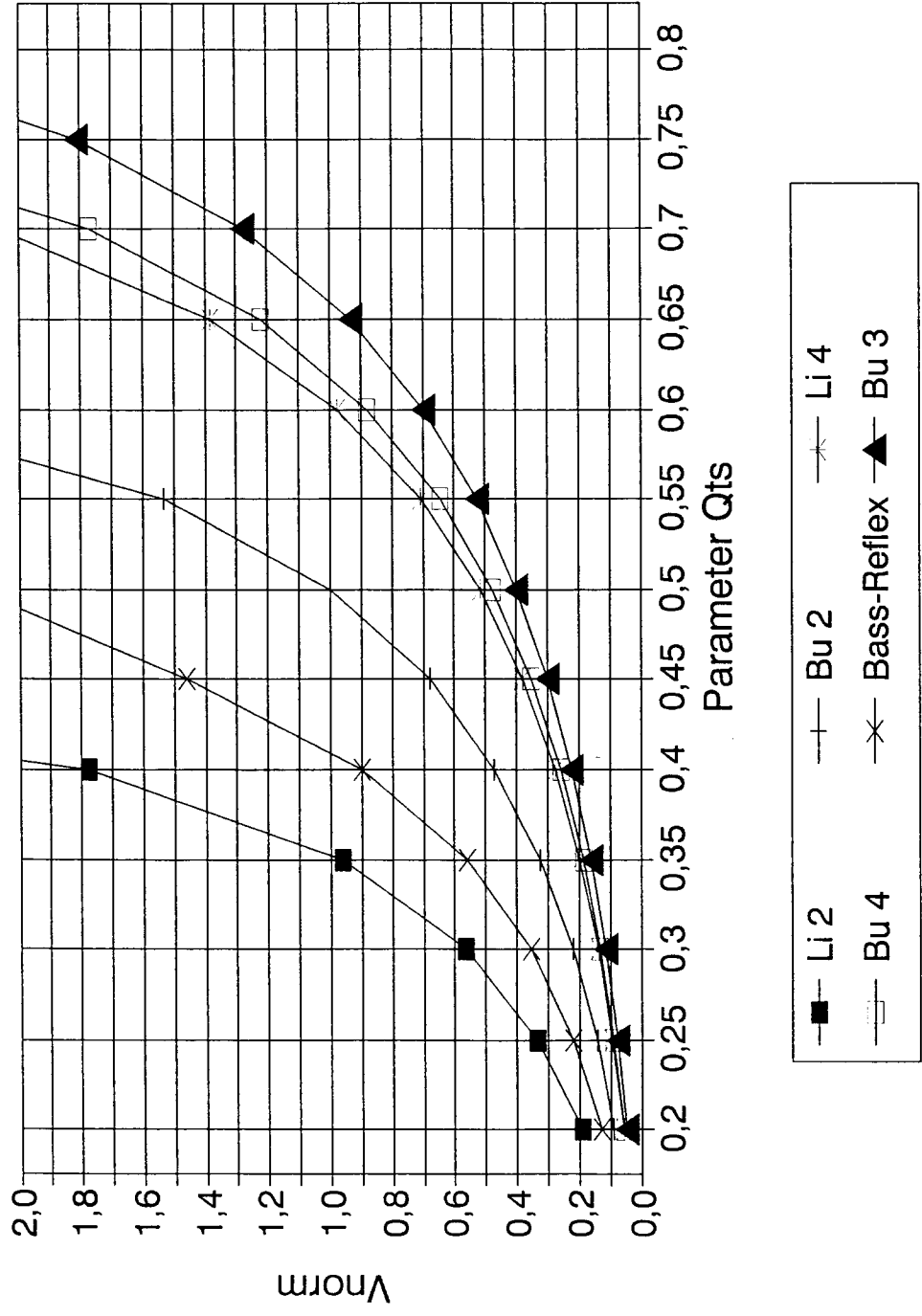
1. Elektrodynamischer Lautsprecher in einem geschlossenen Gehäuse, **dadurch gekennzeichnet, daß**
  - der Lautsprecher über ein passives Hochpassfilter 2. oder höherer Ordnung betrieben wird,
  - das Gehäusevolumen und der Hochpassfilter an die Parameter des verwendeten Lautsprechers angepasst sind,
  - die Anpassung von Gehäusevolumen und Hochpassfilter an die Lautsprecherparameter dergestalt erfolgt, daß im Zusammenspiel mit den akkustischen Eigenschaften des Lautsprechers und dessen elektrische Rückwirkungen auf den Hochpassfilter bestimmte akkustisch günstige Frequenzgänge realisiert werden.
2. Lautsprecher nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das betrachtete Lautsprecherchassis Teil eines aktiven oder passiven Mehrwegesystemes ist.
3. Lautsprecher nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** vorhandene Se-

rienwiderstände - auch parasitäre - in der Auslegung mitberücksichtigt werden.

4. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** dem Lautsprecher ein RC-Glied zur Kompensation der Schwingspuleninduktivität parallel geschaltet ist. 5
5. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** dem erfindungsgemäßen passiven Hochpassfilter passive Tiefpassfilter hinzugefügt sind. 10
6. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** es sich um einen Subwoofer handelt. 15
7. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** es sich um einen Tief-/Tiefmitteltöner in einem System mit oder ohne integriertem oder externem Subwoofer handelt. 20
8. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Erfindungsgedanke auf Mittel- oder Hochtöner angewendet wird. 25
9. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** das System Lautsprecher / Hochpass / Gehäuse auf eine höhere als die tiefstmögliche Grenzfrequenz abgestimmt wird. 30
10. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Erfindungsgedanke auf die Verwendung mehrerer Chassis im betrachteten Frequenzband - akkustisch parallel oder in Reihe (Compound-Prinzip) oder kombiniert - angewendet wird. 35  
40
11. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Volumen des geschlossenen Gehäuses durch einen akkustischen Strömungswiderstand (z.B. Variovent) mit der Umgebung in Verbindung steht und bedämpft wird. 45
12. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Erfindungsgedanke mit dem Bandpassgehäuseprinzip kombiniert wird. 50

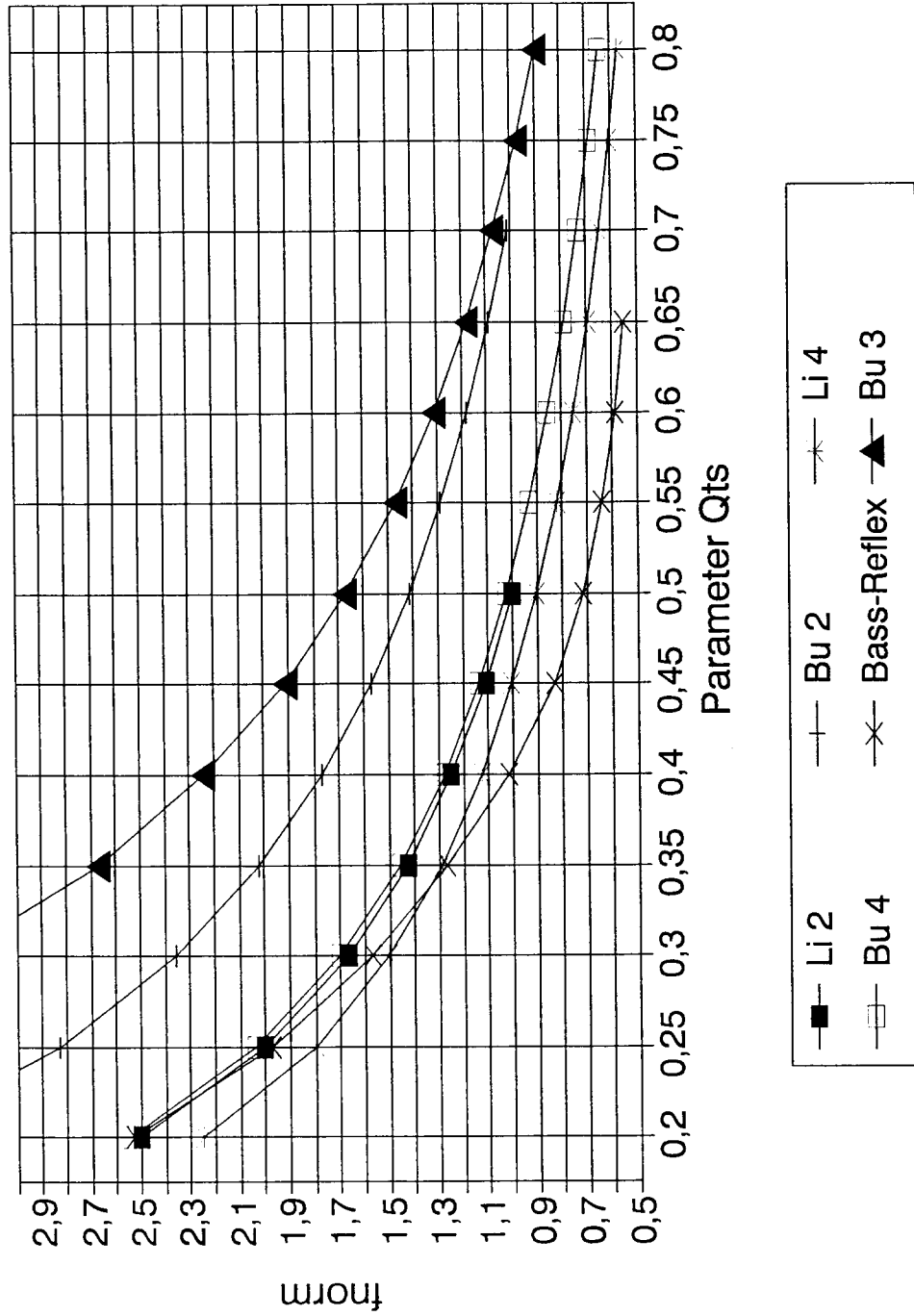
55

**Bild 1 Vnorm**  
Lösungen im Vergleich



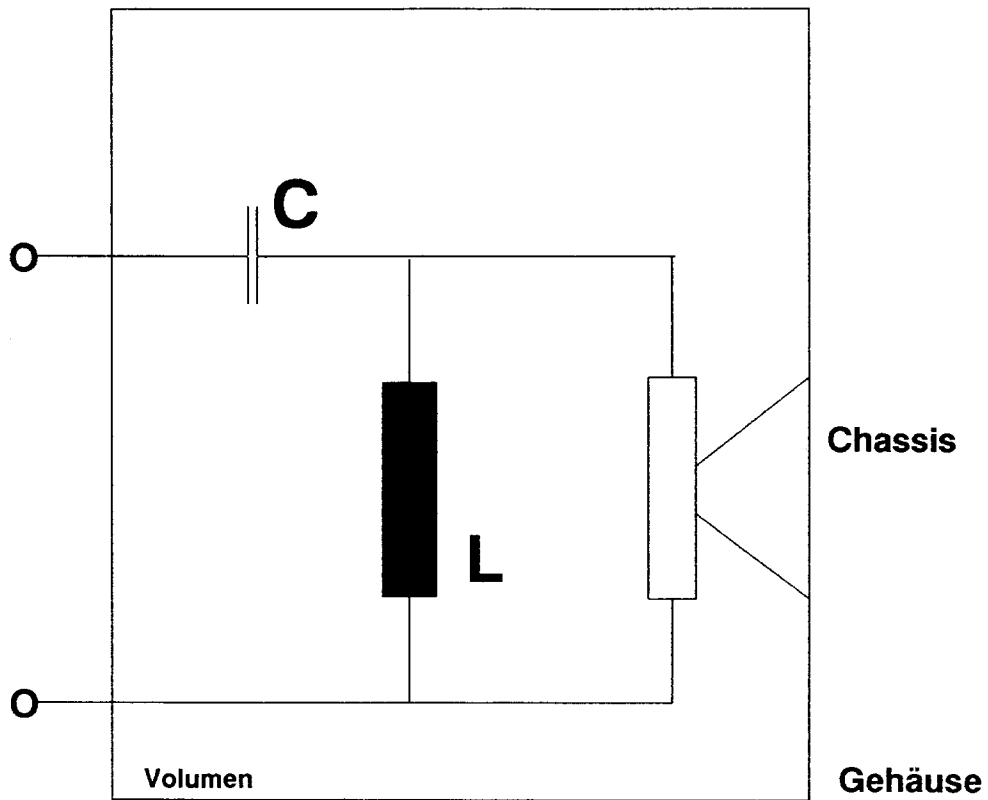
# Bild II $f_{norm}$

Lösungen im Vergleich



### Bild III

Schaltbild und Skizze





EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
X	US-A-4 383 134 (VON RECKLINGHAUSEN) * das ganze Dokument * ---	1-12	H04R3/04
X	JOURNAL OF THE AUDIO ENGINEERING SOCIETY. Bd. 27, Nr. 7/8, Juli 1979, NEW YORK US Seiten 548 - 561 J.E.BENSON 'Synthesis of High -Pass Filtered Loudspeaker Systems Part 1 - Isolated Filters Driving Second-Order (Closed-Box) Systems' * Seite 549, rechte Spalte, Zeile 1 - Zeile 33; Abbildung 1 * ---	1,2,5	
X	JOURNAL OF THE AUDIO ENGINEERING SOCIETY. Bd. 27, Nr. 10, Oktober 1979, NEW YORK US Seiten 769 - 779 J.E.BENSON 'Synthesis of High -Pass Filtered Loudspeaker Systems Part 2 - Isolated Filters Driving Forth-Order (Reflex) Systems' * Seite 769, rechte Spalte, Zeile 20 - Seite 770, linke Spalte, Zeile 18; Abbildung 1 * ---	1,11,12	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
X	US-A-4 483 015 (STROHBEEN) * Spalte 3, Zeile 58 - Spalte 4, Zeile 49; Abbildungen 3-6 * -----	1,11,12	H04R
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 20 NOVEMBER 1992	Prüfer GASTALDI G. L.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patendokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument ----- & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			