



12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: **93111202.3**

51 Int. Cl.⁵: **G10K 11/16**

22 Anmeldetag: **13.07.93**

30 Priorität: **13.08.92 DE 4226885**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
16.03.94 Patentblatt 94/11

84 Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT

71 Anmelder: **Bayerische Motoren Werke
Aktiengesellschaft
Patentabteilung AJ-3
D-80788 München(DE)**

72 Erfinder: **Freymann, Raymond, Dr.
Bahnhofstrasse 27**

D-85386 Eching(DE)
 Erfinder: **Spannheimer, Helmut**
Böhmerwaldstrasse 4
D-85630 Grasbrunn(DE)
 Erfinder: **Beer, Rainer**
Münchner Ring 2
D-85716 Unterschleißheim(DE)

74 Vertreter: **Dirscherl, Josef**
c/o Bayerische Motoren Werke
Aktiengesellschaft
Patentabteilung AJ-34
D-80788 München (DE)

54 **Schallabsorptionsverfahren für Kraftfahrzeuge.**

57 Bei einem Schallabsorptionsverfahren für Kraftfahrzeuge, bei dem mittels eines Lautsprechers Schalldruckwerte erzeugt werden und bei dem mittels eines Helmholtz-Resonators (AHR) Schalldruck bei dessen Resonanzfrequenz absorbiert wird, werden mittels des im Hohlkörper (H) des Helmholtz-Resonators (AHR) angebrachten Lautsprechers (L) Schalldruckwerte im Hohlkörper (H) erzeugt, durch die gleichzeitig oder zeitlich aufeinanderfolgend beliebig viele von dem realen Hohlkörpervolumen abweichende Hohlkörpervolumina simuliert werden, wobei die zu simulierenden Hohlkörpervolumina aufgrund beliebiger gewünschter Resonanzfrequenzen für den Helmholtz-Resonator (AHR) bestimmt werden.

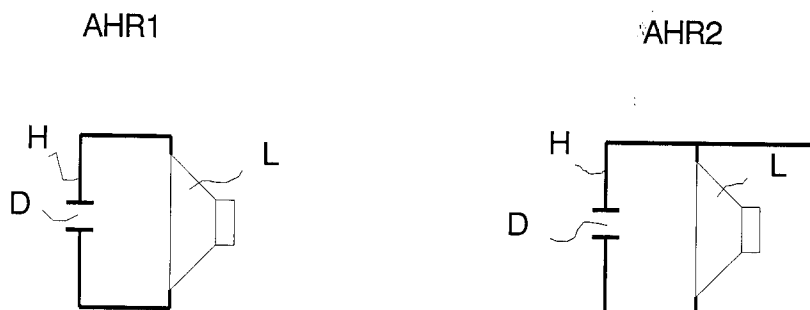


Fig. 2

Die Erfindung bezieht sich auf ein Schallabsorptionsverfahren für Kraftfahrzeuge nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Aus der DE 37 29 765 A1 ist beispielsweise ein Schallabsorptionsverfahren bekannt, bei dem mehrere Helmholtz-Resonatoren, insbesondere zur Dämpfung tieffrequenter Hohlraumschwingungen, parallel geschaltet und platzsparend in der Fahrzeugkarosserie untergebracht sind. Bei einer Dämpfung von Schall-
5 druckschwingungen durch Helmholtz-Resonatoren sind mit tiefer werdenden Frequenzen in der Regel größere Hohlkörpervolumina der Helmholtz-Resonatoren erforderlich. Das aus der DE 37 29 765 A1 bekannte Schallabsorptionssystem versucht das Problem der großen Hohlkörpervolumina lediglich durch die Art der Unterbringung im Kraftfahrzeug zu lösen.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Schallabsorptionssystem zu schaffen, das bei Einsatz von Helmholtz-Resonatoren auch zur Absorption von tieffrequenten Schalldruckschwingungen keine großen Hohlkörpervolumina benötigt.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst.

Das Hohlkörpervolumen eines Helmholtz-Resonators wirkt sich in Form des in ihm vorherrschenden
15 Schalldruckverhaltens auf die Schallabsorption aus. Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, in einem verhältnismäßig kleinen Hohlkörper eines Helmholtz-Resonators ein Schalldruckverhalten zu erzeugen, das dem Schalldruckverhalten des üblicherweise jeweils notwendigen Hohlkörpervolumens für die jeweils gewünschte Resonanzfrequenz des Helmholtz-Resonators, bei der der Schalldruck zumindest in überwiegendem Maße absorbiert wird, entspricht. Dazu ist im Hohlkörper eines Helmholtz-Resonators ein Lautsprecher
20 angebracht, durch den der Hohlkörper derart beschallt wird, daß das jeweils erforderliche Hohlkörpervolumen für die jeweils gewünschte Resonanzfrequenz im Hohlkörper vorgetäuscht wird. Dabei kann nur ein einziges Hohlkörpervolumen sowie aber auch zeitlich aufeinanderfolgend oder gleichzeitig mehrere Hohlkörpervolumina simuliert werden. Besonders vorteilhaft ist die Simulation derart vieler Hohlkörpervolumina, daß ein breitbandiges Resonanzverhalten in Form eines akustischen Bandpaßfilters erzeugt wird.

Durch diese Erfindung ist zum einen eine Schallabsorption durch Helmholtz-Resonatoren mit einem verhältnismäßig kleinen Volumen möglich. Zum anderen kann ein einziger Helmholtz-Resonator sowohl
25 zeitlich aufeinanderfolgend als auch gleichzeitig auf mehrere Resonanzfrequenzen abgestimmt werden.

Im folgenden wird der erfindungsgemäß mit einem Lautsprecher beschallte Helmholtz-Resonator auch als aktiver Helmholtz-Resonator bezeichnet, während herkömmliche Helmholtz-Resonatoren mit vorgegebenen realen Volumina auch passive Helmholtz-Resonatoren genannt werden.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Durch das Verfahren nach Unteranspruch 2 wird beispielsweise eine von den aktuellen in der Umgebung des aktiven Helmholtz-Resonators vorherrschenden Schalldruckwerten abhängige Ansteuerung des Lautsprechers erreicht. Die Ansteuerung des Lautsprechers findet durch ein Übertragungssystem statt,
35 das zwischen dem die in der Umgebung vorherrschenden Schalldruckwerte aufnehmenden Mikrofon und dem im aktiven Helmholtz-Resonator befindlichen Lautsprecher angeordnet ist. Das Übertragungssystem ist derart ausgebildet, daß das Schallabsorptionssystem bestehend aus dem Mikrofon, dem Übertragungssystem und dem aktiven Helmholtz-Resonator dasselbe Übertragungsverhalten aufweist wie ein passiver Helmholtz-Resonator mit dem für die jeweils gewünschte Resonanzfrequenz erforderlichen realen Volumen.

Das Übertragungssystem ist beispielsweise durch den Aufbau einer elektrischen Schaltanordnung mit digitalen oder analogen Mitteln realisierbar, die auf das gewünschte akustische Übertragungsverhalten durch elektrische Analogien abstimmbare ist.

Das Übertragungsverhalten des Übertragungssystems nach Unteranspruch 3 bildet, insbesondere mit PD₂T₂-Gliedern, das Übertragungsverhalten eines passiven Helmholtz-Resonators mit einem realen, dem
45 jeweils simulierten entsprechenden Volumen optimal nach.

Mit der Vorrichtung nach Unteranspruch 4 ist die Ansteuerung des Lautsprechers zur Anpassung des aktiven Helmholtz-Resonators auf eine gewünschte Resonanzfrequenz mittels der gemessenen Schalldruckwerte innerhalb eines kleinen passiven Vergleichs-Helmholtz-Resonators möglich.

Das Übertragungsverhalten dieses passiven Vergleichs-Helmholtz-Resonators ist ebenfalls auf die Absorption des Schalldruckes bei der gewünschten Resonanzfrequenz abgestimmt.

Eine derartige elektro-akustische Vorrichtung ist einfacher aufzubauen und paßt sich Störeinflüssen in Form von sich überlagernden äußeren Druckschwankungen besser an als eine elektrische Schaltanordnung auf der Basis einer elektrischen Analogie zu einer idealisierten akustischen Anordnung.

In der Zeichnung sind Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt. Es zeigen

- Fig. 1 den schematischen Aufbau eines bekannten passiven Helmholtz-Resonators
- Fig. 2 zwei mögliche Ausgestaltungen für einen aktiven Helmholtz-Resonator
- Fig. 3 eine erfindungsgemäße Ansteuerung des Lautsprechers über ein elektronisch ausgebildetes Übertragungssystem und

Fig. 4 eine erfindungsgemäße Ansteuerung des Lautsprechers über ein elektro-akustisch ausgebildetes Übertragungssystem

Gleiche Bauteile in den Figuren 1 bis 4 sind mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Links in Fig. 1 ist in der Seitenansicht der Schnitt durch einen herkömmlichen Helmholtz-Resonator bestehend aus einem Hohlkörper mit dem Volumen V und einer Luftdurchtrittsöffnung mit einem Hals der Länge l und des Durchmessers d dargestellt. Auf der rechten Seite der Fig. 1 ist die Draufsicht des Helmholtz-Resonators mit der Luftdurchtrittsöffnung der Querschnittsfläche a gezeigt.

Für die Resonanzfrequenz eines Helmholtz-Resonators, bei der der Schalldruck zumindest in überwiegendem Maße absorbiert wird, gilt die Beziehung:

$$f = \frac{c}{2\pi} * \left(\frac{a}{l * V} \right)^{\frac{1}{2}}$$

mit der Schallgeschwindigkeit c, mit der Halslänge l und der Querschnittsfläche a der Luftdurchtrittsöffnung sowie mit dem Volumen V des Hohlkörpers.

Im folgenden soll auf die Abhängigkeit der Resonanzfrequenz f allein vom Volumen V eingegangen werden.

Die Länge l und die Querschnittsfläche a der Luftdurchtrittsöffnung seien konstant. Wie aus der Formel ersichtlich ist, muß mit tiefer werdenden Frequenzen f das Volumen V größer werden. Dieser Zusammenhang bildet die Problematik des großen Platzbedarfs bei der Anwendung eines Helmholtz-Resonators in Kraftfahrzeugen, da dort insbesondere die Schalldrücke tiefer Frequenzen absorbiert werden müssen.

Fig. 2 stellt zwei mögliche Ausführungsformen für einen aktiven Helmholtz-Resonator AHR1 und AHR2 vor, deren reale Volumina jeweils durch den Hohlkörper H festgelegt sind. Auch die Luftdurchtrittsöffnungen D seien jeweils fest definiert.

Bei dem aktiven Helmholtz-Resonator AHR1 ist die der Luftdurchtrittsöffnung D gegenüberliegende Wand des Hohlkörpers H durch einen Lautsprecher L ersetzt. Durch den Lautsprecher L werden die Schalldruckwerte im Hohlkörper H verändert, so daß andere imaginäre Volumina im Hohlkörper H simuliert werden als das Volumen, das real vorhanden ist.

Dieselbe Funktion erfüllt auch der Lautsprecher L, der innerhalb des Hohlkörpers H des aktiven Helmholtz-Resonators AHR2 angeordnet ist. Bei dieser Anordnungsmöglichkeit ist der Lautsprecher L nicht Teil einer Hohlkörperwand, sondern ist im Hohlkörper H zumindest nahezu vollständig zur Umgebung hin abgedichtet. Eine derartige Anordnung wird beispielsweise benötigt, wenn besondere Maßnahmen gegen unerwünschte Störeinflüsse durch sich überlagernde Druckschwankungen von außerhalb des Hohlkörpers H ergriffen werden sollen.

In Fig. 3 und 4 ist der Einfachheit halber jeweils nur ein aktiver Helmholtz-Resonator AHR in Form des Helmholtz-Resonators AHR1 dargestellt. Dies ist jedoch nicht einschränkend, sondern lediglich beispielhaft gemeint.

In Fig. 3 ist ein Mikrophon M außerhalb des aktiven Helmholtz-Resonators AHR über eine Eingangsleitung mit einem Übertragungssystem Ü verbunden. Das Übertragungssystem Ü ist über eine Ausgangsleitung am Lautsprecher L des aktiven Helmholtz-Resonators AHR angeschlossen.

Das Mikrophon M nimmt in der Nähe der Luftdurchtrittsöffnung D des Hohlkörpers H die außerhalb des Hohlkörpers H vorherrschenden Schalldruckwerte p_a auf und setzt diese in ein entsprechendes elektrisches Signal um, das an das Übertragungssystem Ü weitergegeben wird. Das Übertragungssystem Ü sei eine elektronische Schaltungsanordnung mit PD_2T_2 Übertragungsverhalten. Der Lautsprecher L wird durch den elektrischen Strom I vom Übertragungssystem Ü angesteuert.

Das PD_2T_2 -Übertragungsverhalten kann beispielsweise für eine einzige gewünschte Resonanzfrequenz mathematisch durch folgende Formel entsprechend der Laplace-Transformation

$$\frac{I}{p_a} = -C_0 * \frac{C_1 * s^2 + C_2 * s + 1}{C_3 * s^2 + C_4 * s + 1}$$

ausgedrückt werden, wobei C_0 , C_1 , C_2 , C_3 und C_4 Konstanten sind, die von der Form des Hohlkörpers H, von der gewünschten Resonanzfrequenz f sowie vom Frequenz-Leistungs-Verlauf des Lautsprechers L abhängen, und wobei s der Imaginäranteil der komplexen Frequenz $p = \sigma + j\omega$ mit $s = j\omega$ als Laplace-Variablen ist.

Das in Fig. 3 dargestellte Übertragungssystem $\ddot{U}$ ist für beliebig viele Resonanzfrequenzen anwendbar. Es kann in einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung demnach auch für eine Vielzahl verschiedener gewünschter Resonanzfrequenzen, deren Schalldrücke zu absorbieren sind, gleichzeitig angewendet werden.

Beispielsweise ist für eine Anzahl n von gewünschten Resonanzfrequenzen das Übertragungssystem mathematisch wie folgt darstellbar:

$$\frac{I}{p_a} = - \sum_{i=1}^n C_{0i} * \frac{C_{1i} * s^2 + C_{2i} * s + 1}{C_{3i} * s^2 + C_{4i} * s + 1}$$

Danach kann eine frequenzbreitbandige Wirksamkeit der Schalldruckabsorption erreicht werden, da sich der Helmholtz-Resonator gleichzeitig bei vielen Frequenzen in Eigenresonanz befindet.

In Fig. 4 sind ein aktiver Helmholtz-Resonator AHR und ein passiver Vergleichs-Helmholtz-Resonator PHR dargestellt. Ein Mikrofon M_1 außerhalb der beiden Helmholtz-Resonatoren und ein Mikrofon M_2 innerhalb des passiven Vergleichs-Helmholtz-Resonators PHR sind über Eingangsleitungen mit einer Recheneinheit R verbunden. Eine Ausgangsleitung der Recheneinheit R ist am Lautsprecher L des aktiven Helmholtz-Resonators AHR angeschlossen.

Der passive Vergleichs-Helmholtz-Resonator PHR soll in Miniaturbauform auf dieselbe Resonanzfrequenz bzw. zur Absorption des Schalldruckes derselben Frequenz ausgebildet sein, der auch vom aktiven Helmholtz-Resonator AHR absorbiert werden soll. Dazu besitzt der passive Vergleichs-Helmholtz-Resonator PHR dasselbe Übertragungsverhalten, das auch einem passiven Helmholtz-Resonator mit dem realen Hohlköpervolumen, das dem für den zu absorbierenden Schalldruck bei gewünschter Resonanzfrequenz erforderlichen zu simulierenden Hohlköpervolumen entspricht, zugrunde liegt.

Das Mikrofon M_1 nimmt die Schalldruckwerte außerhalb der beiden Helmholtz-Resonatoren AHR und PHR in der Nähe derer Luftdurchtrittsöffnungen D1 und D2 auf. Das Mikrofon M_2 erfaßt die Schalldruckwerte innerhalb des passiven Helmholtz-Resonators PHR. Die Signale der Mikrofone M_1 und M_2 werden der Recheneinheit R zugeführt. Die Recheneinheit R ist kein frequenzabhängiges Übertragungssystem $\ddot{U}$ ($\neq f(p)$, mit $p = \sigma + j\omega$), sondern lediglich eine additive und/oder multiplikative Verstärkungsschaltung unter Berücksichtigung der Konstanten C_0 , C_1 , C_2 , C_3 und/oder C_4 , die von der Form des Hohlkörpers H des AHR, von der gewünschten Resonanzfrequenz f sowie vom Frequenz-Leistungs-Verlauf des Lautsprechers L abhängen.

Die beiden Helmholtz-Resonatoren AHR und PHR unterscheiden sich lediglich darin, daß aufgrund der Hohlköpervolumenunterschiede durch den aktiven Helmholtz-Resonator AHR bei gleicher Frequenz und gleicher Dämpfung eine um ein Vielfaches größere Schallenergie absorbiert wird als durch den passiven Vergleichs-Helmholtz-Resonator PHR. Diese Absorptionsverstärkung findet in der Recheneinheit R statt und wirkt sich über die Ansteuerung des Lautsprechers L über die Ausgangsleitung der Recheneinheit R auf den aktiven Helmholtz-Resonator AHR aus.

Auch die Ausgestaltung der Erfindung gemäß Fig. 4 ist auf mehrere gewünschte Resonanzfrequenzen gleichzeitig anwendbar, indem mehrere Vergleichs-Helmholtz-Resonatoren, d.h. je ein jeder gewünschten Resonanzfrequenz zugeordneter Vergleichs-Helmholtz-Resonator, in Parallelschaltung zur Ansteuerung des Lautsprechers verwendet werden.

Darüber hinaus sei darauf hingewiesen, daß die Erfindung auf Helmholtz-Resonatoren mit beliebig geformten Hohlkörpern und beliebig ausgebildeten Luftdurchtrittsöffnungen anwendbar ist. Beispielsweise hat sich eine Luftdurchtrittsöffnung in Form einer größerflächigen siebartigen Abdeckung des Hohlkörpers als besonders vorteilhaft erwiesen.

Auch ist eine Anordnung von mehreren Lautsprechern innerhalb des aktiven Helmholtz-Resonators denkbar.

Patentansprüche

1. Schallabsorptionsverfahren für Kraftfahrzeuge, bei dem mittels eines Lautsprechers Schalldruckwerte erzeugt werden und bei dem mittels eines Helmholtz-Resonators Schalldruck bei dessen Resonanzfrequenz absorbiert wird,
 5 dadurch gekennzeichnet, daß mittels des im Hohlkörper (H) des Helmholtz-Resonators (AHR, AHR1, AHR2) angebrachten Lautsprechers (L) Schalldruckwerte im Hohlkörper (H) erzeugt werden, durch die gleichzeitig oder zeitlich aufeinanderfolgend beliebig viele von dem realen Hohlkörpervolumen (H) abweichende Hohlkörpervolumina simuliert werden, wobei die zu simulierenden Hohlkörpervolumina
 10 aufgrund beliebiger gewünschter Resonanzfrequenzen für den Helmholtz-Resonator (AHR, AHR1, AHR2) bestimmt werden.
2. Schallabsorptionsverfahren nach Patentanspruch 1,
 15 dadurch gekennzeichnet, daß mittels eines ersten Mikrofons (M, M₁) die außerhalb des Helmholtz-Resonators (AHR, AHR1, AHR2) vorherrschenden Schalldruckwerte (p_a) aufgenommen und einem Übertragungssystem (Ü) zugeführt werden, durch das der Lautsprecher (L) derart angesteuert wird, daß durch das gesamte Schallabsorptionsverfahren das Übertragungsverhalten von Helmholtz-Resonatoren mit realen, den simulierten entsprechenden Volumina nachgebildet wird.
- 20 3. Schallabsorptionsverfahren nach Patentanspruch 2,
 dadurch gekennzeichnet, daß jeder gewünschten Resonanzfrequenz im Übertragungssystem (Ü) ein PD_iT_k-Glieder, mit i und k größer oder gleich 1, vorteilhafterweise 1 oder 2, zugeordnet wird und daß das Übertragungssystem (Ü) aus der Summe aller PD_iT_k-Glieder erzeugt wird.
- 25 4. Schallabsorptionsverfahren nach Patentanspruch 2 oder 3,
 dadurch gekennzeichnet, daß der Lautsprecher (L) zur Erzeugung einer gewünschten Resonanzfrequenz durch Simulation eines dazu erforderlichen Hohlkörpervolumens mittels des Schalldrucksignals eines weiteren Mikrofons (M₂) innerhalb eines in Kleinbauform ausgebildeten Vergleichs-Helmholtz-Resonators (PHR) angesteuert wird, der dasselbe Übertragungsverhalten bezogen auf die gewünschte
 30 Resonanzfrequenz aufweist wie ein Helmholtz-Resonator mit einem realen dem simulierten entsprechenden Hohlkörpervolumen.

35

40

45

50

55

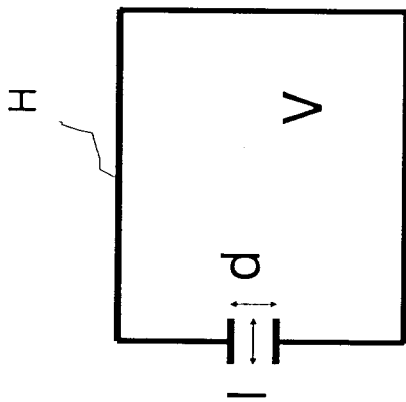
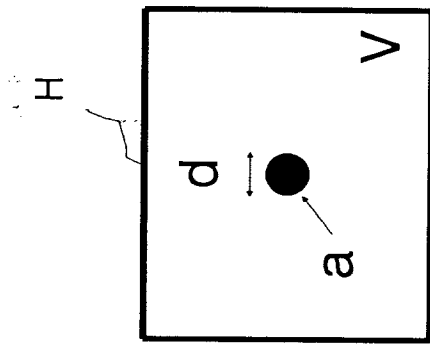
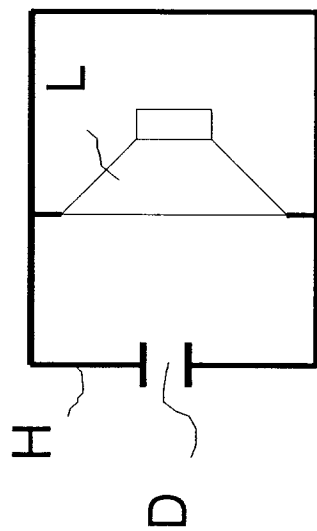


Fig. 1

AHR2



AHR1

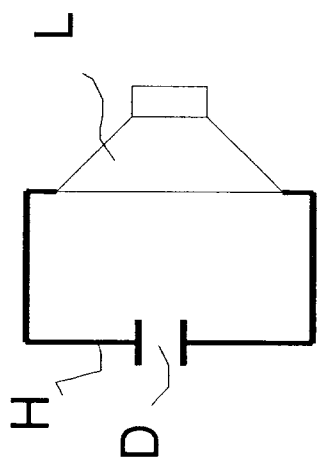


Fig. 2

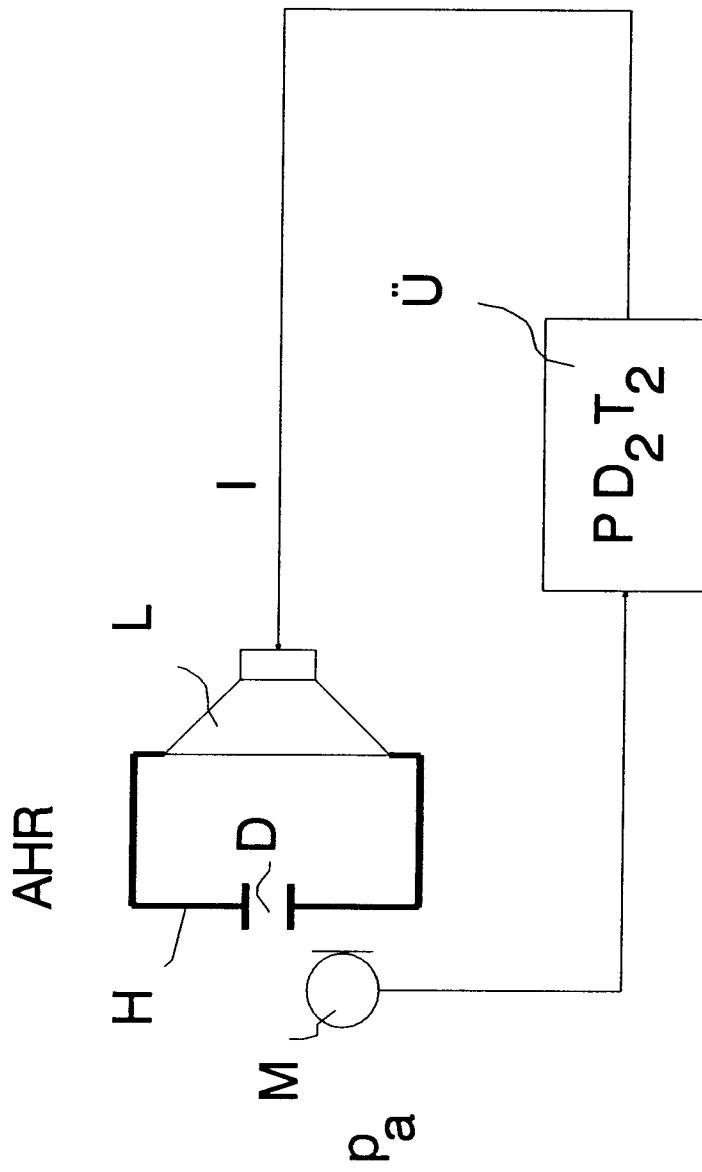


Fig. 3

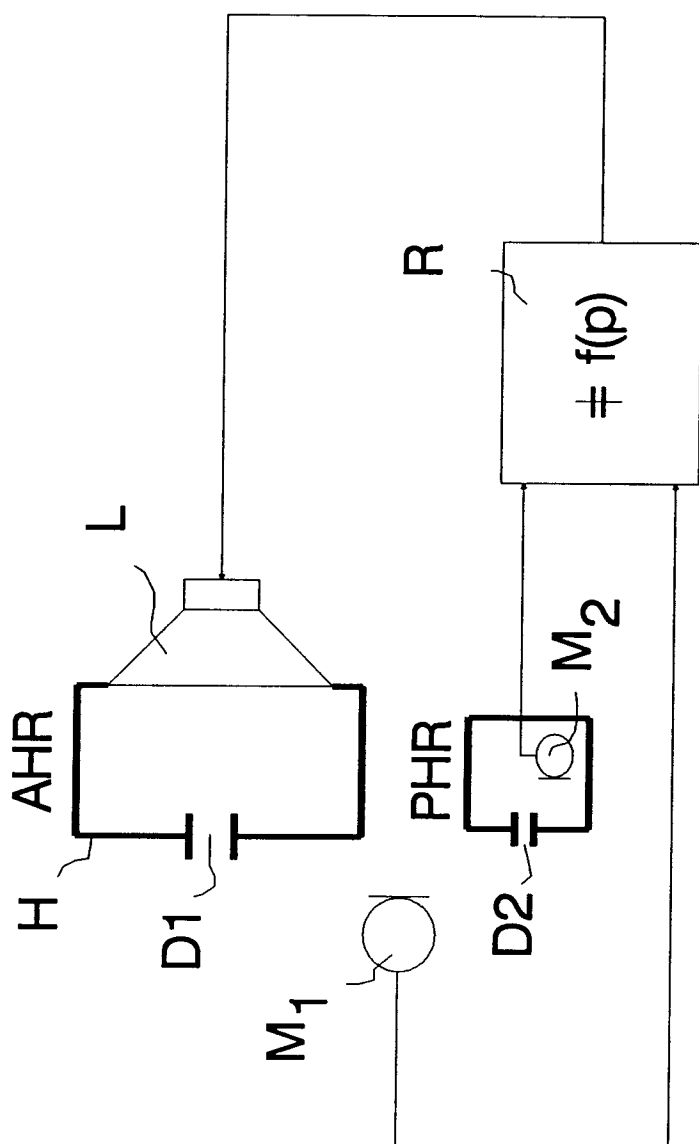


Fig. 4