



⑫ **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

④⑤ Veröffentlichungstag der Patentschrift :
21.09.94 Patentblatt 94/38

⑤① Int. Cl.⁵ : **H04R 3/08**

②① Anmeldenummer : **89110971.2**

②② Anmeldetag : **16.06.89**

⑤④ **Elektrodynamischer Lautsprecher.**

③⑩ Priorität : **15.07.88 CH 2727/88**

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung :
17.01.90 Patentblatt 90/03

④⑤ Bekanntmachung des Hinweises auf die
Patenterteilung :
21.09.94 Patentblatt 94/38

⑧④ Benannte Vertragsstaaten :
AT BE CH DE FR GB IT LI

⑤⑥ Entgegenhaltungen :
EP-A- 0 221 324
WO-A-81/02501
FR-A- 892 396
FR-A- 2 345 880
FR-A- 2 378 418

⑤⑥ Entgegenhaltungen :
US-A- 4 137 510
US-A- 4 340 778
AUDIO ENGINEERING, August 1951, Seiten
20-22,54-55, Philadelphia, US; W.CLEMENTS:
"A new approach to loudspeaker damping"
FUNK-TECHNIK, Band 40, Nr. 8, August 1985,
Seiten 322-325, Heidelberg, DE; H.-J. HAASE:
"Schaltungstechnik moderner Hifi-Aktiv-Laut-
sprecher-boxen"

⑦③ Patentinhaber : **STUDER REVOX AG**
Althardstrasse 30
CH-8105 Regensdorf ZH (CH)

⑦② Erfinder : **Zwicky, Paul**
Chännelstrasse 4
CH-8157 Dielsdorf (CH)
Erfinder : **Schultheiss, Roger**
Gumpenwiesenstrasse 2
CH-8157 Dielsdorf (CH)

EP 0 350 652 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

Die Erfindung betrifft einen elektrodynamischen Lautsprecher.

Aus der DE - A - 27 13 023 ist ein elektrodynamischer Lautsprecher mit einem Verstaerker zur Speisung einer Schwingspule bekannt. Der Lautsprecher ist als Tieftonlautsprecher ausgebildet. Dabei ist die effektive Ausgangsimpedanz des Verstaerkers einem negativen Widerstand aequivalent, der in Serie mit einem Parallelschwingkreis liegt. Der negative Widerstand hat praktisch den gleichen Wert wie der Widerstand der Schwingspule des Lautsprechers. Durch den Betrieb des Lautsprechers mit einem derartigen Verstaerker laest sich die Veraenderung der Basscharakteristik des Lautsprechers, die aequivalent ist zur Aenderung der mechanischen Parameter des Lautsprecherelements sowie dessen Bewegungsmasse, Daempfung und Aussteuerung, erreichen. Mit anderen Worten soll so die Eigenresonanzfrequenz des Lautsprechers bekaempft und gleichzeitig eine andere Resonanzfrequenz erzwungen werden, die besser auf das Gehaeuse des Lautsprechers abgestimmt ist.

Der Nachteil dieser Loesung besteht darin, dass sie zwar bei Tieftonlautsprechern oder bei der Wiedergabe von tiefen Toenen durch andere Lautsprecher Vorteile bringt, aber zur Verbesserung von Mittel- und Hochtonlautsprechern oder zur Verbesserung der Wiedergabe von Toenen mittlerer und hoher Frequenz nicht verwendet werden kann, da bei diesen diese Probleme mit der Eigenresonanzfrequenz gar nicht oder nur in sehr abgeschwaechter Form auftreten. Zudem ergibt diese Loesung keinen vorhersehbaren, eine klare Tendenz aufzeigenden Frequenzgang, wie das fuer andere Glieder (z.B. Verstaerker, Aufzeichnungsgeraet usw.) einer elektroakustischen Kette ueblicherweise gefordert wird. Damit bleibt der Lautsprecher das schlechteste Glied einer solchen Kette, die mit dem Mikrophon beginnt und mit dem Lautsprecher endet. Beim Lautsprecher sind die linearen und die nichtlinearen Verzerrungen wesentlich schlechter als bei den uebrigen Gliedern einer solchen elektroakustischen Kette wie z.B. Mikrophon, Verstaerker, Mischer, Speicher usw. Die gemass der obengenannten Patentanmeldung sowie mit anderen bekannten Massnahmen erreichten Verbesserungen sind immer noch derart klein in der Wirkung, dass sie den Aufwand oft nicht lohnen.

Aus Audio-Engineering, August 1951, W. Clements: "A new approach to loudspeaker damping" ist eine Verstaerkerschaltung mit negativer Impedanz bekannt, die so ausgelegt ist, dass dadurch die Impedanz der Schwingspule eines nachgeschalteten Lautsprechers beinahe verschwindet. Der Vorteil der sich dadurch ergeben soll, besteht darin, dass damit eine sehr hohe Daempfung des Lautsprechers erreicht wird.

Damit ist es klar, dass eine solche Verstaerkerschaltung, wie sie dort beschrieben wird, insbesondere zur Daempfung von Resonanzen des Lautsprechers bei tiefen Frequenzen Verwendung findet. Bei Mehrweglautsprechern liegt nur beim Tieftoener die Resonanzfrequenz im Uebertragungsbereich. Beim Mitteltöner und beim Hochtoener liegt diese Resonanzfrequenz ausserhalb des Uebertragungsbereiches. Bei Mehrwegsystemen wird eine solche Verstaerkerschaltung deshalb ausschliesslich als Antrieb von Tieftoenern mit Erfolg verwendet. Beim Mitteltöner und beim Hochtoener wird der Frequenzgang nicht mit einer solchen Verstaerkerschaltung verbessert, weil andere Mittel dies anzustreben eingesetzt werden.

Die Erfindung wie sie in den Patentansprüchen gekennzeichnet ist, löst die Aufgabe, einen Lautsprecher mit mehreren elektrodynamischen Lautsprechereinheiten zu schaffen, bei denen die Signalverzerrungen über den jeweiligen Frequenzbereich wesentlich vermindert sind.

Die durch die Erfindung erreichten Vorteile sind im wesentlichen darin zu sehen, dass der Lautsprecher nun einen ueber seinen gesamten Frequenzbereich stetig ansteigenden geraden Frequenzgang aufweist. Damit ist eine mathematisch ideale Situation geschaffen, die es erlaubt mit Hilfe eines, einen Integrator enthaltenden, Ausgleichsnetzwerkes, das dem Leistungsverstaerker vorgeschaltet ist, einen geraden horizontalen Frequenzgang zu erzeugen. Vorteilhaft ist weiter der Umstand, dass der so erhaltene Frequenzgang phasenlinear ist, d.h. eine lineare Beziehung zwischen Phase und Frequenz hat, die ueber alle Frequenzen einfach voraussehbar ist. Obwohl gemass der genannten DE-A-27 13 023 Leistungsverstaerker mit negativer Impedanz fuer Tieftonlautsprecher bekannt sind, tritt ein ueberraschender und bisher nicht genutzter Effekt auf, wenn man solche Leistungsverstaerker mehrfach in einem Mehrweglautsprecher zusammen mit einer Frequenzweiche kombiniert. Dieser Effekt besteht im bereits genannten vorhersehbaren und konstante Eigenschaften aufweisenden Frequenz- und Phasengang ueber den gesamten Uebertragungsbereich. Ist es einmal gelungen gemass der Erfindung den Frequenzgang ueber den gesamten Frequenzbereich gerade und phasenlinear zu machen, so eroeffnen sich weitere Moeglichkeiten mit denen Mehrwegsysteme wesentlich verbessert werden koennen. Diese Verbesserungen wirken sich aber erst voll aus, wenn Frequenz- und Phasengang genuegend gut und verlaesslich bekannt sind. Solche Verbesserungen sind bei den Magnetsystemen der Lautsprechereinheiten und bei den Frequenzweichen erreichbar. Beispielsweise kommen weitere vorgeschlagene Massnahmen zur Linearisierung der Antriebskraft der Schwingspule im Magnetfeld des Magnetsystems erst dann zur Geltung, wenn die Nichtlinearitaeten

der Rueckstellkraefte auf die erfindungsgemaesse Weise schon bekaempft sind. Obwohl gewisse der genannten Verbesserungen an sich bereits bekannt sind, so wird deren Wirkung ueberraschend gesteigert, wenn sie an Lautsprechern vorgenommen werden, die durch Leistungsverstaerker mit negativer Quellenimpedanz angetrieben werden.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von lediglich einen Ausfuehrungsweg darstellenden Zeichnungen naeher erlaeutert. Es zeigt

Figur 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemaessen elektrodynamischen Lautsprechers,

Figur 2, 3 und 4 je eine Ausfuehrungsform einer im Lautsprecher verwendeten Frequenzweiche in schematischer Darstellung,

Figur 5 einen Schnitt durch eine Lautsprecher-einheit,

Figur 6 ein elektrisches Ersatzschaltbild,

Figur 7 eine Schaltung zur Erzeugung einer negativen Quellenimpedanz,

Figur 8 eine Darstellung verschiedener Charakteristiken,

Figur 9 eine Schaltung fuer einen Teil des Lautsprechers und

Figur 10 eine Filtercharakteristik.

Figur 1 zeigt einen elektrodynamischen Lautsprecher 1 in schematischer Darstellung mit einem Eingang 2 fuer ein elektrisches Signal, mit einer Frequenzweiche 3 mit drei Ausgaengen 4, 5 und 6, die ueber je einen Integrator 7, 8 und 9 mit je einem Leistungsverstaerker 10, 11 und 12 verbunden sind, an die je eine Lautsprechereinheit 13, 14 und 15 angeschlossen ist. Dabei sind die Integratoren genau gesehen als Ausgleichsnetzwerke die einen Integrator enthalten zu betrachten, da deren Charakteristik nicht ueber den ganzen Frequenzbereich derjenigen eines Integrators entsprechen soll wie dies aber an sich bereits bekannt ist. Die Leistungsverstaerker 10, 11 und 12 bestehen beispielsweise aus einem Operationsverstaerker 16 und einer Schaltung zur Erzeugung einer negativen Quellenimpedanz $-R_i$ wie sie beispielsweise aus dem US-Patent Nr. 4,720,665 bekannt ist. Ein solcher Leistungsverstaerker kann aber auch einen anderen Aufbau haben, solange er eine negative Quellenimpedanz aufweist. Die Frequenzweiche 3 kann in an sich bekannter Weise ausgefuehrt sein. Beispielsweise ist eine solche in JEL Journal of the Electronics Industry, Vol 32, September 1985 Seiten 38 bis 44 beschrieben und in den Figuren 3 und 4 dieses Artikels dargestellt. Eine solche Frequenzweiche mit einem Eingang und zwei Ausgaengen besteht dann mindestens aus einer Additionsschaltung mit einem positiv zaehlenden und einem negativ zaehlenden Eingang und aus einem Filter. Der Eingang des Filters ist moeglicherweise ueber eine Zeitverzoeigerungseinheit mit dem positiv zaehlenden Eingang und der Ausgang des Filters mit dem

negativ zaehlenden Eingang der Additionsschaltung verbunden. Werden mehr als zwei Ausgaenge an der Frequenzweiche verlangt, so koennen mehrere solcher Frequenzweichen fuer zwei Ausgaenge in Serie geschaltet werden. Als Lautsprechereinheiten sind uebliche dynamische Lautsprecher vorgesehen.

Figur 2 zeigt eine Frequenzweiche mit einem Eingang 17 und drei Ausgaengen 18, 19 und 20. Diese weist eine Additionseinheit 21 mit einem positiv zaehlenden Eingang 22 und einem negativ zaehlenden Eingang 23 sowie ein Filter 24 mit einem Eingang 25 und einem Ausgang 26 auf. Dabei ist der Ausgang 26 ueber eine Leitung 27 mit dem negativ zaehlenden Eingang 23 der Additionsschaltung 21 und mit dem Ausgang 20 verbunden. Der Eingang 25 des Filters 24 ist ueber eine Leitung 28 und ueber eine Zeitverzoeigerungseinheit 29 an den positiv zaehlenden Eingang 22 der Additionsschaltung 21 angeschlossen. Die Additionsschaltung 21 hat auch einen Ausgang 30. Die Elemente 17 und 21 bis 30 bilden somit eine erste Frequenzweiche mit zwei Ausgaengen 20 und 30. An den Ausgang 30 ist eine zweite Frequenzweiche in Serie angeschlossen, die die selben Elemente aufweist. Dies sind die Additionsschaltung 31 mit Eingaugen 32 und 33, ein Filter 34 mit einem Eingaug 35 und einem Ausgang 36 und Leitungen 37 und 38. Eine Zeitverzoeigerungsschaltung 39 ist in die Leitung 37 eingeschaltet.

Figur 3 zeigt eine Frequenzweiche die weitgehend die selben Elemente aufweist wie die Frequenzweiche gemaess Figur 2. Sie enthaelt zusaetzlich eine Phasenkorrekturschaltung 40, die dem Filter 34 vorgeschaltet ist. Diese Phasenkorrekturschaltung 40 ist als Allpassfilter ausgebildet.

Figur 4 zeigt eine weitere Ausfuehrung einer Frequenzweiche mit daran angeschlossenen Lautsprechereinheiten 41, 42 und 43, die alle in eine gemeinsame Schallwand 44 muenden. Das bedeutet, dass deren Magnetsysteme 45, 46 und 47 unterschiedliche Abstaende zu dieser Schallwand 44 aufweisen. Misst man diese Abstaende in Laufzeiten der Schallwellen, so hat die Schwingspule im Magnetsystem 45 der Lautsprechereinheit 41 einen solchen Abstand $\Delta t_1 + \Delta t_2$, die Schwingspule im Magnetsystem 46 der Lautsprechereinheit 42 einen Abstand Δt_2 und die Schwingspule im Magnetsystem 47 der Lautsprechereinheit 43 einen vernachlaessigbaren Abstand. Die hier nicht gezeichneten Leistungsverstaerker und Integratoren wie sie aus der Figur 1 bekannt sind, sind fuer die Zwecke dieser Darstellung nicht wesentlich, sind in Wirklichkeit aber doch vorhanden. Die Frequenzweiche hat wiederum die selben Elemente wie sie bereits aus den Figuren 2 und 3 bekannt sind. Diese Elemente sind deshalb auch mit den selben Bezugszeichen versehen. Neue Elemente sind aber trotzdem hinzugekommen und zwar eine Zeitverzoeigerungsschaltung 48, die an den Ausgang 30 der Additionsschaltung 21 angeschlossen ist und eine Zeit-

verzögerung erzeugt, die vom Abstand Δt_1 abhängt sowie eine an einen Ausgang 49 der Additionsschaltung 31 angeschlossene Zeitverzögerungsschaltung 50. Diese erzeugt eine Zeitverzögerung, die vom Abstand Δt_2 abhängt.

Figur 5 zeigt zwei symmetrische Magnetsysteme. Links einer Mittellinie 51 das Magnetsystem 52 und rechts davon das Magnetsystem 53. Der Aufbau beider Magnetsysteme 52, 53 ist teilweise gleich. Deshalb koennen gemeinsame Elemente mit den selben Bezugszeichen versehen werden. Dazu gehoe-
ren ein Polstueck 54, eine Polplatte 55 und ein Magnet 56. Das Magnetsystem 52 weist eine Schwing-
spule 57 auf die in an sich bekannter Weise ange-
geschlossen und gespeist wird. Zwischen der Polplatte 55 und dem Polstueck 54 oder genauer genommen
einer dazugehoerenden Grundplatte 58 ist ein Kurz-
schlussring 59 aus Kupfer in an sich bekannter Weise
eingesetzt. Im Bereiche der Schwingspule 57 ist auch
auf dem Polstueck 54 ein Kurzschlussring 93 aus
Kupfer eingesetzt.

Im Magnetsystem 53, welches auch einen ring-
foermigen Luftspalt 60 aufweist, ist eine Schwingspu-
le 61 angeordnet. Koaxial zur Schwingspule 61 ist ei-
ne weitere Spule 62 fest auf dem Polstueck 54 ange-
ordnet. Es gibt verschiedene Moeglichkeiten die
Schwingspule 61 und die weitere Spule 62 an einen
Leistungsverstaerker anzuschliessen. Deshalb sind
nur zwei Anschuesse 63 und 64 eingezeichnet. Eine
Moeglichkeit besteht darin, das eine Ende 65 der
Schwingspule 61 mit dem anderen Ende 66 der wei-
teren Spule 62 zu verbinden, wie dies mit der Leitung
67 angedeutet ist. Vorzugsweise ist aber die weitere
Spule 62 an den selben Leistungsverstaerker wie die
Schwingspule 61 angeschlossen, weisen beide Spu-
len 61 und 62 gleichviele Windungen auf und sind in
entgegengesetztem Umlaufssinn gewickelt. Ziel der
weiteren Spule 62 ist es, ein Magnetfeld zu erzeugen,
das zu jeder Zeit demjenigen Magnetfeld entgegen
wirkt, das durch den Strom in der Schwingspule 61
erzeugt wird und dieses ausgleicht, so dass die Sum-
me beider Magnetfelder Null ist und demzufolge im
Luftspalt 60 nur das gleichfoermige Magnetfeld auf-
tritt, das durch den Magneten 56 erzeugt wird.

Figur 6 zeigt ein vereinfachtes elektrisches Er-
satzschaltbild eines Lautsprechers mit seiner Spei-
sung. Darin findet man eine Spannungsquelle 68, ei-
nen negativen Widerstand 69, einen Widerstand 70,
der den ohmschen Widerstand der Schwingspule dar-
stellt, eine Induktivitaet 71, die die Induktivitaet der
Schwingspule darstellt, eine Induktivitaet 72, die me-
chanische Rueckstellkraefte wie sie die Aufhaen-
gung der Membran und das Luftpolster im Gehaeuse
des Lautsprechers erzeugen, darstellt und eine Ka-
pazitaet 73, die die Massen der Membran usw. dar-
stellt. Alle diese Elemente sind ueber Leitungen 74,
91 miteinander verbunden und in Serie geschaltet, mit
Ausnahme der Induktivitaet 72, die zu der Kapazitaet

73 parallel geschaltet ist und ueber eine Leitung 75 an
die Leitung 74, 91 angeschlossen ist. Die Elemente
68 und 69 bilden zusammen den Leistungsverstaer-
ker und die uebrigen Elemente bilden zusammen ei-
ne Lautsprechereinheit.

Figur 7 zeigt ein Beispiel einer Leistungsver-
staerkerschaltung mit einer negativen Quellenimpe-
danz wie sie in der Figur 6 an die Stelle der Span-
nungsquelle 68 und des negativen Widerstandes 69
treten kann. Sie besteht aus einem Operationsver-
staerker 76 mit einem invertierenden Eingang 77, ei-
nem nicht invertierenden Eingang 78 und einem Aus-
gang 79. An diesen ist eine Impedanz Z_s angeschlos-
sen. Von deren Ausgang 80 ist eine Rueckkopplung
81 mit einem Widerstand R_2 auf den Eingang 77 zu-
rueckgefuehrt. Dazu gehoert auch ein Widerstand
 R_1 , der an den Eingang 77 angeschlossen ist. Vom
Ausgang 79 ist eine weitere Rueckkopplung 82 mit ei-
nem Widerstand R_4 auf den Eingang 78 zurueckge-
fuehrt und zudem auch ueber einen Widerstand R_3
mit der Erde verbunden. An den Ausgang 80 ist eine
Last 83 angeschlossen. Diese Last 83 stellt verein-
facht die Widerstaende, Kapazitaeten und Induktivi-
taeten der Lautsprechereinheiten dar. Aus Figur 6
sind dies die Elemente 70, 71, 72, 73, 74, 75 und 91.
Als Impedanz Z_q ist diejenige Impedanz zu verstehen,
die am unbelasteten Ausgang 80 auftritt. Fuer diese
Schaltung gemaess Figur 7 gilt:

- Die Impedanz Z_s soll viel kleiner sein als die Wi-
derstaende R_2 und R_4
- Die Impedanz $Z_q = -Z_s(1 + V_1)/(V_2 - V_1)$ mit
 $V_1 = R_2/R_1$ und $V_2 = R_4/R_3$.

Figur 8 zeigt eine Darstellung verschiedener Fre-
quenzgaenge. Auf der horizontalen Achse 84 sind die
Frequenzen, auf der vertikalen Achse 85 ist der aku-
stische Ausgang i_0 , unter dem man Schalldruck, Aus-
gangsleistungen usw. verstehen kann, aufgetragen.
Eine Linie 86 zeigt den Frequenzgang, den der Lei-
stungsverstaerker 10, 11, 12 (Fig. 1) mit der negati-
ven Quellenimpedanz erzeugt. Eine Linie 87 zeigt
den Frequenzgang, den der Integrator 7, 8, 9 (Fig. 1)
erzeugt. Eine Linie 88 zeigt den Frequenzgang, wie
er durch die Serienschaltung des Integrators mit dem
Leistungsverstaerker erzeugt wird.

Figur 9 zeigt eine Schaltung wie sie beispielswei-
se fuer das Magnetsystem 53 gemaess Figur 5 zu-
sammen mit der weiteren Spule 62 verwendet werden
kann. In dieser Schaltung ist die Spule 62 durch einen
ohm'schen Widerstand 62a und eine Induktivitaet 62b
dargestellt. Ueber einen Anschluss 63 ist sie an den
Ausgang 95 eines Verstaerkers 94 mit negativer
Quellenimpedanz angeschlossen. Der Eingang 96
des Verstaerkers 94 ist mit der Erde verbunden, wie
auch das andere Ende 66 der Spule 62.

Figur 10 zeigt einen Frequenzgang wie er fuer
das Filter 24 vorgesehen werden kann. Auf der hori-
zontalen Achse 100 sind die Frequenzen und auf der
vertikalen Achse 101 ist der akustische Ausgang auf-

getragen. Eine Kurve 102 stellt eine an sich bekannte Filtercharakteristik fuer einen Tiefpass mindestens 2.Ordnung nach Bessel dar. Eine weitere Kurve 103 oberhalb einer Stelle 104 stellt eine ebenfalls an sich bekannte Filtercharakteristik fuer einen Tiefpassfilter 2.Ordnung nach Butterworth (sofern die Guete $1/\sqrt{2}$ genau entspricht) oder Tchebycheff (sofern die Guete groesser als $1/\sqrt{2}$ ist) dar. Erfindungsgemaess ist diese Charakteristik nach der Stelle 104 horizontal in einem Bereich 105 auslaufend, in dem die Daempfung im wesentlichen konstant ist. Die Daempfung welche einem Abstand 106 entspricht, soll nur so gross sein, dass Signalanteile die dieses Filter durchlaesst und die im Frequenzbereich der Lautsprechereinheit 42 (Mitteltonbereich) liegen, die Lautsprechereinheit 41 (Tiefton) beziehungsweise dessen Ausgangssignal nicht spuerbar stoeren.

Die Wirkungsweise des erfindungsgemaessen Lautsprechers soll nachstehend erlaeutert werden. Dazu ist es vorteilhaft, zuerst die Wirkungsweise mit Hilfe der elektrischen Ersatzschaltung genaess Figur 6 zu behandeln. Dort stellt die Induktivitaet 72 die Eigenschaften der Aufhaengung der Membran und die Kapazitaet 73 die Traegheit der Membran einer Lautsprechereinheit dar. In der Leitung 91 fliesst ein Strom, der dem akustischen Ausgang entspricht. Dieser Strom sollte in einfacher und genauer Weise von der Spannung und der Frequenz an der Spannungsquelle 68 abhaengen. Im Idealfall soll die Spannung am Knoten 89 der Spannung an der Spannungsquelle 68 entsprechen. Dies scheint aber nicht zuzutreffen, da zwischen der Spannungsquelle 68 und dem Knoten 89 Impedanzen 69, 70 und 71 in Serie angeordnet sind und diese von einem Strom durchflossen werden. Damit treten an diesen Impedanzen Spannungsabfaelle auf, deren Summe eine Spannungsdifferenz ΔU zwischen der Spannungsquelle 68 und dem Knoten 89 angeben. Diese Spannungsdifferenz ΔU kann verschwinden, wenn die Spannungsquelle 68 direkt mit dem Knoten 89 verbunden wird. Dies trifft auch dann zu, wenn die Summe der Impedanzen 69, 70 und 71 null ist. Dies wird erreicht, indem die Impedanz oder der Widerstand 69 eine Groesse hat, die der negativen Summe der Impedanz oder des Widerstandes 70 und der Impedanz oder Induktivitaet 71 entspricht. Damit gelingt es, den unerwuenschten Einfluss des Widerstandes 70, der Induktivitaet 71 und auch der Induktivitaet 72 auf den Strom in der Leitung 91 ganz aufzuheben. Deren Einfluss auf den Frequenzgang und die Verzerrungen entfaellt damit.

Eine solche Impedanz oder Widerstand 69 mit negativer Impedanz zusammen mit einem Leistungsverstaerker wird genauer durch die Schaltung genaess Figur 7 dargestellt. Dabei stellt der Widerstand 83 die angeschlossene Lautsprechereinheit dar.

Der Ausgang 80 und der Knoten 92 sind zur besseren Orientierung in beiden Schaltungen (Fig. 6 und 7) angegeben. Die Wirkungsweise der Schaltung ge-

maess Figur 7 laesst sich wie folgt angeben: Die Widerstaende R_2 und R_1 bilden die negative Rueckkopplung 81 mit der Tendenz das Ausgangssignal am Ausgang 79 zu verkleinern. Die Widerstaende R_3 und R_4 bilden die positive Rueckkopplung 82 mit der Tendenz das Ausgangssignal am Ausgang 79 zu erhoe-hen. Fliesst an den Ausgaengen 79 und 80 kein Strom, so haben beide Ausgaenge 79 und 80 gleiche Spannung. Diese haengt von der Groesse der Widerstaende R_1 bis R_4 ab. Wird die Last 83 zugeschaltet, was bedeutet, dass die Lautsprechereinheit im Betrieb ist, so fliesst in der Impedanz Z_s ein Strom. Die Spannung am Ausgang 80 wird damit etwas kleiner als am Ausgang 79. Die positive Rueckkopplung 82 wird damit von einer groesseren Spannung abgenommen, als die negative Rueckkopplung 81. Damit steigt die Wirkung der positiven gegenueber der negativen Rueckkopplung und das Signal an den Ausgaengen 79 und 80 wird groesser. Eine groessere Belastung am Ausgang 80 hat eine Signalvergroesserung zur Folge. Das entspricht einer negativen Quellenimpedanz.

Beim erfindungsgemaessen elektrodynamischen Lautsprecher wie er in der Figur 1 dargestellt ist, wird an den Eingang 2 ein Wechselstromsignal angelegt. Dieses wird in der Frequenzweiche so aufgeteilt, dass beispielsweise Signalteile mit tiefen Frequenzen ueber den Ausgang 6 in den Integrator 9, Signalteile mit mittleren Frequenzen ueber den Ausgang 5 in den Integrator 8 und Signalteile mit hohen Frequenzen ueber den Ausgang 4 in den Integrator 7 gelangen. In diesen Integratoren werden diese Signalteile in an sich bekannter Weise so behandelt, dass deren Amplituden mit steigender Frequenz abnehmen, wie dies die Linie 87 in der Figur 8 angibt. Nach diesen Integratoren 7, 8 oder 9 gelangen diese Signalteile in die Leistungsverstaerker 10, 11 und 12, wo diese Signalteile eine Amplituden/Frequenz-Charakteristik genaess der Linie 86 aus Figur 8 erhalten. Zusammen ergibt das dann aber eine Charakteristik genaess der Linie 88 oder eben einen geraden Frequenzgang. Die Integratoren und die Leistungsverstaerker mit der negativen Quellenimpedanz sind dabei so auszulegen, dass die Steigungen der Linien 86 und 87 gerade entgegengesetzt gleich sind. Vorzugsweise betraegt die Steigung $6\text{dB}/\text{Oktave}$. Dabei waere es denkbar den Leistungsverstaerker 10 fuer die Hochton-Lautsprechereinheit 13 ohne negative Quellenimpedanz auszubilden, doch dann laesst sich der gerade Frequenzgang nicht mehr bis in den Hochtonbereich hinein erzeugen. Doch koennte man diesen Kompromiss allenfalls eingehen und die Nachteile vernachlaessigen.

Wird ein elektrisches Signal an den Eingang 17 der ersten Frequenzweiche 21 bis 30 genaess der Figur 2 angelegt, so gelangt es ueber die Leitung 28 an den Eingang 25 des Filters 24, welches als Tiefpassfilter ausgebildet ist. Das ungefilterte Signal wird

auch ueber die Leitung 28 an den positiv zaehlenden Eingang 22 der Additionsschaltung 21 angelegt. Von diesem Signal werden in der Additionsschaltung 21 die tiefen Frequenzen subtrahiert und am Ausgang 30 erscheinen nur noch die hohen Frequenzen. Die tiefen Frequenzen erreichen dann den Ausgang 20. Genau entsprechend arbeiten die Elemente 31 und 34 der zweiten Frequenzweiche 31 bis 39, so dass am Ausgang 18 die hohen, am Ausgang 19 die mittleren und am Ausgang 20 die tiefen Frequenzen anfallen. Dies gilt, wenn auch das Filter 34 als Tiefpassfilter ausgebildet ist. Unabhaengig davon, ob Zeitverzoeigerungsschaltungen 29 und 39 vorgesehen sind oder nicht, laesst sich mit einer solchen Frequenzweiche erreichen, dass die Signale von den Ausgaengen 18, 19 und 20, die ja ueber die Leistungsverstaerker 10, 11 und 12 an die Lautsprechereinheiten 13, 14 und 15 abgegeben werden, zusammen ein akustisches Ausgangssignal abgeben, das eine lineare Phasen/Frequenz-Charakteristik aufweist.

Eine wesentliche Verbesserung laesst sich erreichen, wenn die Zeitverzoeigerungsschaltungen 29 und 39 so ausgelegt sind, dass sie die Zeitverzoeigerungen des Signales in den Filtern 24 und 34 genau ausgleichen und wenn die Filter 24 und 34 als Tiefpassfilter mindestens vierter Ordnung nach Bessel ausgebildet sind. So ergeben sich an den Ausgaengen 18, 19 und 20 Signale, die die Lautsprechereinheiten 13, 14 und 14, 15 bei der betreffenden Uebernahmefrequenz gleichphasig arbeiten lassen. Das bedeutet, dass bei jeder Frequenz von Signalen im Bereiche der oberen Grenzfrequenz des als Tiefpassfilter ausgebildeten Filters 24, die Membranen der Lautsprechereinheiten 14 und 15 synchron und ohne Phasendifferenz arbeiten. Damit ist die Abstrahlungscharakteristik dieser beiden Lautsprechereinheiten stabil. Derselbe Effekt kann fuer die Uebernahmefrequenz der Lautsprechereinheiten 13 und 14 erreicht werden.

Eine Vereinfachung laesst sich erreichen, wenn das Filter 24 als Tiefpassfilter mit zwei Polen und mit einer Guete die groesser oder gleich $1/\sqrt{2}$ ist, ausgebildet wird und wenn der abfallende Frequenzgang des Filters so ausgelegt ist, dass er in einen Bereich mit im wesentlichen konstanter Daempfung uebergeht, wie dies die Figur 10 zeigt. Dies im Gegensatz zu einem ueblichen Frequenzgang, der bis zur unendlichen Daempfung absinkt. Dadurch wird die Gruppenlaufzeit im Filter 24 wesentlich verkuerzt was den Schaltungsaufwand in der Zeitverzoeigerungsschaltung 29 wesentlich verringert. Unter Umstaenden kann die Zeitverzoeigerungsschaltung 29 dann auch ganz weggelassen werden. Diese Vereinfachung hat zur Folge, dass die im Bereiche der Grenzfrequenz des Filters 24 arbeitenden Lautsprechereinheiten 14 und 15 nicht mehr genau gleichphasig arbeiten.

Wie aus der Figur 3 bekannt, kann dem Filter 34 eine Phasenkorrekturschaltung 40 vorgeschaltet

werden. Dies ergibt eine Verbesserung und ein phasenlineares und gleichphasiges akustisches Ausgangssignal. Dabei wird das als Tiefpass ausgebildete Filter 34 vorzugsweise als Butterworth-Filter zweiter Ordnung ausgelegt. Die Phasenkorrekturschaltung 40 muss dazu so ausgelegt werden, dass sie die Phase bis zu genuegend hohen Frequenzen beeinflusst. Zu diesen genuegend hohen Frequenzen gehoeren insbesondere auch Frequenzen im Bereiche des ab fallenden Frequenzganges des Filters 34. Damit bildet die Additionsschaltung 31 ein Hochpassfilter mit einer Steilheit eines Filters dritter Ordnung.

Alle bisher fuer die Frequenzweiche vorgeschlagenen Elemente sind in der Darstellung gemaess der Figur 4 vereint. Dazu kommen aber noch die beiden Zeitverzoeigerungsschaltungen 48 und 50. Die Zeitverzoeigerungsschaltung 48 verzoeigert das Signal aus dem Ausgang 30 um einen Betrag, der so bemessen ist, dass Zeitverzoeigerungen aller in Serie geschalteten Elemente, wie Zeitverzoeigerungsschaltung 48, Phasenkorrekturschaltung 40 und Filter 34, zusammengerechnet der Zeitdifferenz Δt_1 entsprechen. Man stelle sich vor, dass das Signal das dem Eingang 2, 17 zugefuehrt wird, aus zwei Teilsignalen zusammengesetzt ist und dass ein Teilsignal ueber die Lautsprechereinheit 41 und das andere Teilsignal ueber die Lautsprechereinheit 42 ausgestrahlt wird. Dann wird durch die Zeitverzoeigerungsschaltung 48 sichergestellt, dass beide Teilsignale, wenn sie die Schallwand passieren und in Schallwellen umgewandelt sind, die Schallwand 44 genau dann und somit so verlassen, wie sie im Signal am Eingang 2, 17 zusammengesetzt waren. Die Zeitverzoeigerungsschaltung 50 gleicht genau diejenige Zeitdifferenz Δt_2 aus, die dem Laufzeitunterschied der Schallwellen in den Lautsprechereinheiten 42 und 43 von der Membran bis zur Schallwand 44 entspricht. Um denselben Zweck zu erreichen, koennten aber solche Zeitverzoeigerungsschaltungen auch an anderen Orten in der Frequenzweiche vorgesehen werden.

Durch Verbesserungen an den Magnetsystemen (siehe Fig. 5) der einzelnen Lautsprechereinheiten 13, 14 und 15 laesst sich der erfindungsgemaesse Lautsprecher insgesamt weiter verbessern.

Es ist bekannt, dass es an einem Magnetsystem Massnahmen gibt, welche dahin zielen, die Verteilung des Magnetfeldes im Luftspalt zu verbessern. Diese Verbesserung soll dazu fuehren, dass die Abnahme der Magnetfeldstaerke an beiden Enden des Luftspaltes stetig und symmetrisch erfolgt. Dies wird beispielsweise dadurch erreicht, dass das Polstueck 54 ueber die Polplatte 55 hinausragt. Dadurch werden nichtlineare Verzerrungen bei der Bewegung der Schwingspule vermindert. Diese Verminderung ist in vielen Faellen nicht bemerkbar, weil die nichtlinearen Verzerrungen, die durch die nichtlinearen Rueckstellkraefte der Aufhaengung der Membran erzeugt werden, ueberwiegen. Das bedeutet, dass solche Ver-

besserungen am Magnetsystem erst dann sinnvoll werden, wenn sie zusammen mit der Speisung ueber Leistungsverstaerker mit negativer Quellenimpedanz angewendet werden.

Ferner ist es bekannt, dass der in einen Hohlraum 97 (Fig. 5) hineinragende Teil 98 der Schwingspule 57 eine zusaetzliche Erregung im Magnetkreis bewirkt, sobald er vom Strom durchflossen wird. Die Kraft, die die Schwingspule erfahrt, ist gegeben durch das Vektorprodukt aus Magnetfeld und Strom. Da aber das Magnetfeld, wie erwaeht, wieder eine Funktion des Stromes durch die Schwingspule ist, wird das Vektorprodukt nicht linear. Es gilt also der Aenderung des Magnetfeldes entgegenzuwirken. Eine Moeglichkeit dazu bietet der Kurzschlussring 59. Darin bilden sich immer Stroeme derart aus, dass der Aenderung des Magnetflusses entgegengewirkt wird. Es besteht weiter die Moeglichkeit eine Spule an Stelle des Kurzschlussringes 59 vorzusehen. Sie wird durch den Strom in der Schwingspule erregt und kompensiert damit die unerwuenschte Erregung durch den unteren Teil 98 der Schwingspule 57. Man kann diese Spule auch kurzschliessen. Die Wirkung entspricht dann derjenigen des Kurzschlussringes 59. Stoert der ohm'sche Widerstand dieser Spule, so laesst sich dieser kompensieren, indem der Kurzschluss ueber einen negativen Widerstand erfolgt. Das heisst, die Spule wird an einen Verstaerker mit negativer Quellenimpedanz angeschlossen. Es ergibt sich dann auch fuer diese an die Stelle des Kurzschlussringes 59 getretene Spule eine Schaltung gemass der Figur 9. Der Verstaerker 94 erhaelt aber kein Signal am Eingang 96. Der Verstaerker 94 kompensiert den ohm'schen Widerstand 62a der Spule 62b. Somit hat die Spule 62b keinen Widerstand mehr und es koennen darin beliebig grosse Stroeme fliessen, das heisst sie ist kurzgeschlossen. Auch diese Verbesserung ist erst richtig bemerkbar, wenn die Verzerrungen die durch die nichtlinearen Rueckstellkraefte hervorgerufen werden, beseitigt sind.

Es ist weiter bekannt, dass die Schwingspule als ganzes ein magnetisches Feld erzeugt, welches das Magnetfeld im Luftspalt 60 (Fig. 5) derart beeinflusst, dass je nach Polaritaet der Felder am einen Ende des Luftspaltes eine Feldverstaerkung und am anderen Ende eine Feldschwaechung eintritt. Dies scheint zu naechst nicht schlimm zu sein, bleibt doch der totale Fluss im Luftspalt etwa konstant. Erst genauere Untersuchungen zeigen, dass dies nicht der Fall ist. Die Permeabilitaet des Eisens in der Polplatte 55 und im Polstueck 54 ist von der magnetischen Aussteuerung abhaengig. Dies fuehrt dazu, dass der totale Magnetfluss doch wieder vom Strom in der Schwingspule 61 abhaengig ist. Durch einen Kurzschlussring 93 im Bereiche des Luftspaltes lassen sich die doch entstandenen Verzerrungen bekaempfen. Eine weitere Moeglichkeit ist der Ersatz des Kurzschlussringes 93 durch eine feststehende weitere Spule 62, welche so

angeordnet ist, dass sie das durch die Schwingspule 61 erzeugte Feld exakt aufhebt. Zu diesem Zwecke wird sie vorzugsweise vom Schwingspulenstrom ebenfalls durchflossen. Sie wird zu der Schwingspule in Serie oder parallel geschaltet. Es ist auch moeglich die Spule 62 durch einen separaten Verstaerker anzuspiesen. Ferner ist es denkbar, die Spule an einen Verstaerker mit negativer Quellenimpedanz anzuschliessen, wie dies die Figur 9 zeigt. Die Verbesserungen welche sich durch diese Massnahmen erreichen lassen, wirken sich erst richtig aus, wenn die dominanten Verzerrungen beseitigt sind, die durch nichtlineare Rueckstellkraefte hervorgerufen werden.

Patentansprüche

1. Elektrodynamischer Lautsprecher (1) mit mindestens zwei dynamisch arbeitenden Lautsprechereinheiten (13, 14, 15) für mindestens einen höheren und einen tieferen Frequenzbereich, die über mindestens eine Frequenzweiche verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Lautsprechereinheit (14, 15) für den oberen Frequenzbereich je ein Ausgleichsnetzwerk mit einem Integrator (8, 9) und einen Leistungsverstärker (11, 12) mit einer negativen Quellenimpedanz (-R) aufweist, der die Schwingspulenimpedanz (70, 71) so weitgehend kompensiert, dass die Gruppenlaufzeit in der Lautsprechereinheit (14, 15) mindestens annähernd konstant ist.
2. Elektrodynamischer Lautsprecher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lautsprechereinheiten (13, 14, 15) ein Magnetsystem (53) mit einer Schwingspule (61) aufweisen, dessen Magnetfluss von einem Strom im wesentlichen unabhängig ist, der die Schwingspule durchfließt.
3. Elektrodynamischer Lautsprecher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenzweiche (3) derart ausgebildet ist, dass sie Signale abgibt, die die Lautsprechereinheiten (13, 14, 15) zusammen ein phasenlineares akustisches Ausgangssignal erzeugen lassen.
4. Elektrodynamischer Lautsprecher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenzweiche (3) derart ausgebildet ist, dass sie Signale abgibt, die die Lautsprechereinheiten (13, 14, 15) bei einer Uebernahmefrequenz gleichphasig arbeiten lassen.
5. Elektrodynamischer Lautsprecher nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Magnetsystem (53) zusaetzlich zur Schwingspule

(61) eine weitere Spule (62) aufweist, die zur Schwingspule gleichachsig aber feststehend angeordnet ist und die das durch die Schwingspule erzeugte Magnetfeld aufhebt.

6. Elektrodynamischer Lautsprecher nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz weiche aus einer Additionsschaltung (21) mit einem positiv zaehlenden und einem negativ zaehlenden Eingang (22, 23) und aus einem Filter (24) besteht, die so verbunden sind, dass der Eingang (25) des Filters (24) mit dem positiv zaehlenden Eingang (22) und der Ausgang (26) des Filters (24) mit dem negativ zaehlenden Eingang (23) der Additionsschaltung (21) verbunden ist.

7. Elektrodynamischer Lautsprecher nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Filter (24) als Tiefpassfilter mit zwei Polen, einer Guete groesser oder gleich $1/\sqrt{2}$ und mit einem abfallenden Frequenzgang (103) ausgelegt ist, der in einen Bereich (105) mit im wesentlichen konstanter Daempfung (106) uebergeht.

8. Elektrodynamischer Lautsprecher nach Anspruch 6, wobei die Frequenz weiche aus einer ersten und einer zweiten in Serie geschalteten Frequenzweiche besteht, dadurch gekennzeichnet, dass als Filter (24, 34) Tiefpassfilter vorgesehen sind, dass dem Filter (34) der zweiten Frequenzweiche eine Phasenkorrekturschaltung (40) zugeschaltet ist und dass das Filter (34) der zweiten Frequenzweiche so ausgelegt ist, dass die nachgeschaltete Additionsschaltung (31) als Hochpassfilter mindestens dritter Ordnung wirkt.

9. Elektrodynamischer Lautsprecher nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Additionsschaltung (21) eine Verzoegerungsschaltung (48) nachgeschaltet ist, die Laufzeitunterschiede zwischen den Magnetsystemen (45, 46) der Lautsprechereinheiten (41, 42) und der Schallwand (44) der Lautsprechereinheiten mindestens teilweise ausgleicht.

10. Elektrodynamischer Lautsprecher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die negative Quellenimpedanz den ohm'schen Widerstand (70) und die Induktivitaet (71) der Schwingspule der angeschlossenen Lautsprechereinheiten ausgleicht.

Claims

1. Electrodynamic loudspeaker (1) with at least two dynamically operating loudspeaker units

(13,14,15) for at least one higher and one lower frequency range linked by means of at least one dividing network, characterized in that the loudspeaker unit (14,15) for the upper frequency range has a correcting network with an integrator (8,9) and a power amplifier (11,12) with a negative source impedance ($-R_i$), which compensates the voice coil impedance (70,71) to such an extent that the group delay in the loudspeaker unit (14,15) is at least approximately constant.

2. Electrodynamic loudspeaker according to claim 1, characterized in that the loudspeaker units (13,14,15) have a magnet system (53) with a voice coil (61), whose magnetic flux is substantially independent of a current flowing through the voice coil.

3. Electrodynamic loudspeaker according to claim 1, characterized in that the dividing network (3) is constructed in such a way that it emits signals, which allow the loudspeaker units (13,14,15) together to produce a phase-linear acoustic output signal.

4. Electrodynamic loudspeaker according to claim 1, characterized in that the dividing network (3) is constructed in such a way that it emits signals, which allow the loudspeaker units (13,14,15) to operate in in-phase manner at a take-over frequency.

5. Electrodynamic loudspeaker according to claim 2, characterized in that, in addition to the voice coil (61), the magnet system (53) has a further coil (62), which is arranged in in-phase, but fixed manner to the voice coil and which eliminates the magnetic field produced by the voice coil.

6. Electrodynamic loudspeaker according to claim 3, characterized in that the dividing network comprises a summer (21) with a positively counting and a negatively counting input (22,23) and a filter (24), which are connected in such a way that the input (25) of the filter (24) is connected to the positively counting input (22) and the output (26) of the filter (24) is connected to the negatively counting input (23) of the summer (21).

7. Electrodynamic loudspeaker according to claim 6, characterized in that the filter (24) is designed as a low-pass filter with two poles, a Q equal to or higher than $1/\sqrt{2}$ and with a decreasing frequency response (103), which passes into a range (105) with substantially constant attenuation (106).

8. Electrodynamic loudspeaker according to claim

6, in which the dividing network comprises a first and a second series-connected dividing networks, characterized in that as filters (24,34) are provided low-pass filters, that to the filter (34) of the second dividing network is connected a phase correcting circuit (40) and that the filter (34) of the second dividing network is designed in such a way that the following summer (31) acts at least as a third order high-pass filter.

9. Electrodynamic loudspeaker according to claim 6, characterized in that the summer (21) is followed by a delay network (48), which at least partly compensates delay differences between the magnet systems (45,46) of the loudspeaker units (41,42) and the acoustic baffle (44) of the loudspeaker units.

10. Electrodynamic loudspeaker according to claim 1, characterized in that the negative source impedance compensates the ohmic resistance (10) and the inductance (71) of the voice coil of the connected loudspeaker units.

Revendications

1. Haut-parleur électrodynamique (1) avec au moins deux unités de haut-parleur (13, 14, 15) fonctionnant de manière dynamique pour au moins un domaine de hautes fréquences et basses fréquences, qui sont reliées par au moins un diviseur de fréquences, caractérisé en ce que chaque unité de haut-parleur (14, 15) pour le domaine de hautes fréquences présente un réseau d'équilibrage avec un intégrateur (8, 9) et un amplificateur de puissance (11, 12) à impédance de source négative ($-R_i$), qui compense l'impédance de la bobine mobile (70, 71) dans une mesure telle que le temps de propagation de groupe dans l'unité de haut-parleur (14, 15) est au moins approximativement constant.

2. Haut-parleur électrodynamique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les unités de haut-parleur (13, 14, 15) présentent un système magnétique (53) avec une bobine mobile (61), dont le flux magnétique est sensiblement indépendant d'un courant qui parcourt la bobine mobile.

3. Haut-parleur électrodynamique selon la revendication 1, caractérisé en ce que le diviseur de fréquences (3) est conçu de façon à délivrer des signaux qui font produire par les unités de haut-parleur (13, 14, 15) réunies un signal de sortie acoustique à phase linéaire.

4. Haut-parleur électrodynamique selon la revendication 1, caractérisé en ce que le diviseur de fréquences (3) est conçu de façon à délivrer des signaux qui font fonctionner en phase les unités de haut-parleur (13, 14, 15) à une fréquence de transfert.

5. Haut-parleur électrodynamique selon la revendication 2, caractérisé en ce que le système magnétique (53) présente outre la bobine mobile (61) une autre bobine (62), qui est disposée sur le même axe que la bobine mobile mais stationnaire et qui supprime le champ magnétique produit par la bobine mobile.

6. Haut-parleur électrodynamique selon la revendication 3, caractérisé en ce que le diviseur de fréquences se compose d'un circuit additionneur (21) avec une autre entrée de comptage positif et une autre de comptage négatif (22, 23) et d'un filtre (24), qui sont reliés de telle sorte que l'entrée (25) du filtre (24) soit reliée à l'entrée de comptage positif (22) et la sortie (26) du filtre (24) à l'entrée de comptage négatif (23) du circuit additionneur (21).

7. Haut-parleur électrodynamique selon la revendication 6, caractérisé en ce que le filtre (24) est conçu comme un filtre pour graves avec deux pôles, une qualité supérieure ou égale à $1/\sqrt{2}$ et avec une réponse en fréquences (103) en baisse, qui passe dans un secteur (105) d'atténuation (106) sensiblement constante.

8. Haut-parleur électrodynamique selon la revendication 6, dans lequel le diviseur de fréquences se compose d'un premier diviseur de fréquences et d'un second monté en série, caractérisé en ce que des filtres pour graves sont prévus comme filtre (24, 34), en ce qu'un circuit de correction de phase (40) est connecté au filtre (34) du second diviseur de fréquences et en ce que le filtre (34) du second diviseur de fréquences est conçu de telle sorte que le circuit additionneur (31) monté en aval agisse comme un filtre pour aigus de troisième ordre au moins.

9. Haut-parleur électrodynamique selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'un circuit temporisateur (48) est monté en aval du circuit additionneur (21) et compense au moins partiellement les différences de temps de propagation entre les systèmes magnétiques (45, 46) des unités de haut-parleur (41, 42) et l'écran acoustique (44) des unités de haut-parleur.

10. Haut-parleur électrodynamique selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'impédance de source négative compense la résistance ohmique

que (70) et l'inductance (71) de la bobine mobile des unités de haut-parleur raccordées.

5

10

15

20

25

30

35

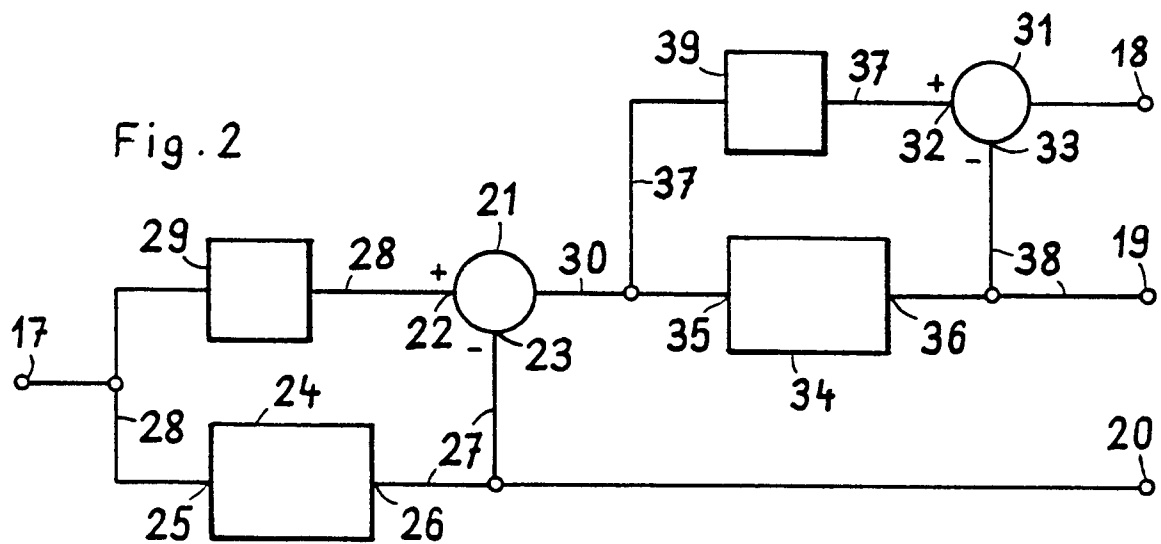
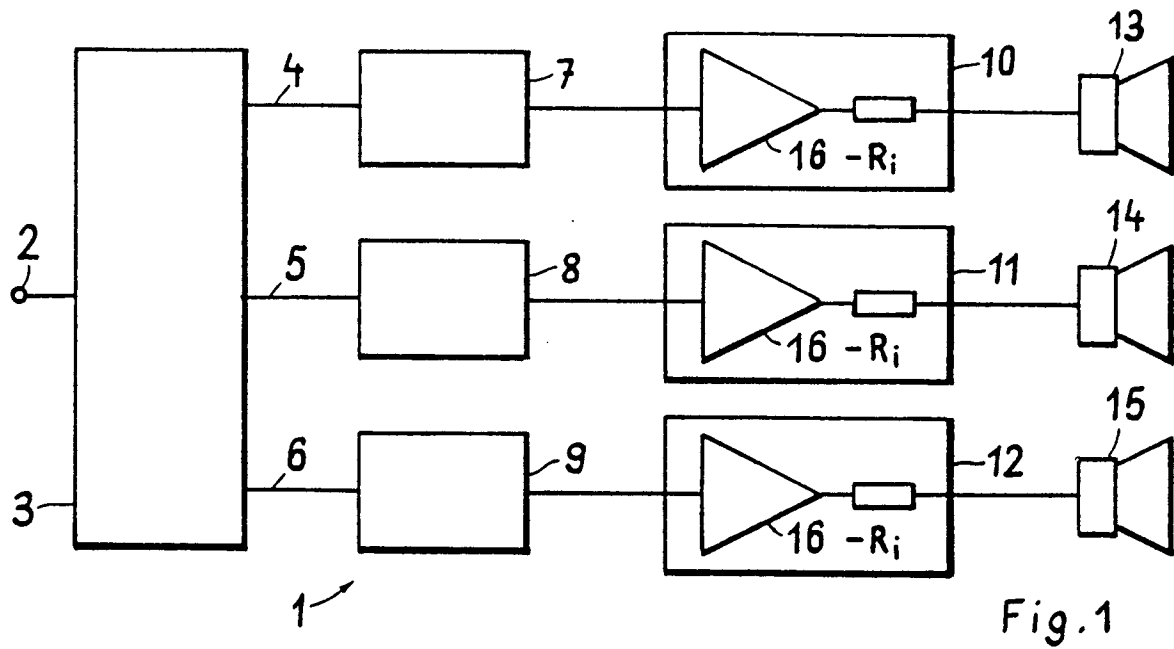
40

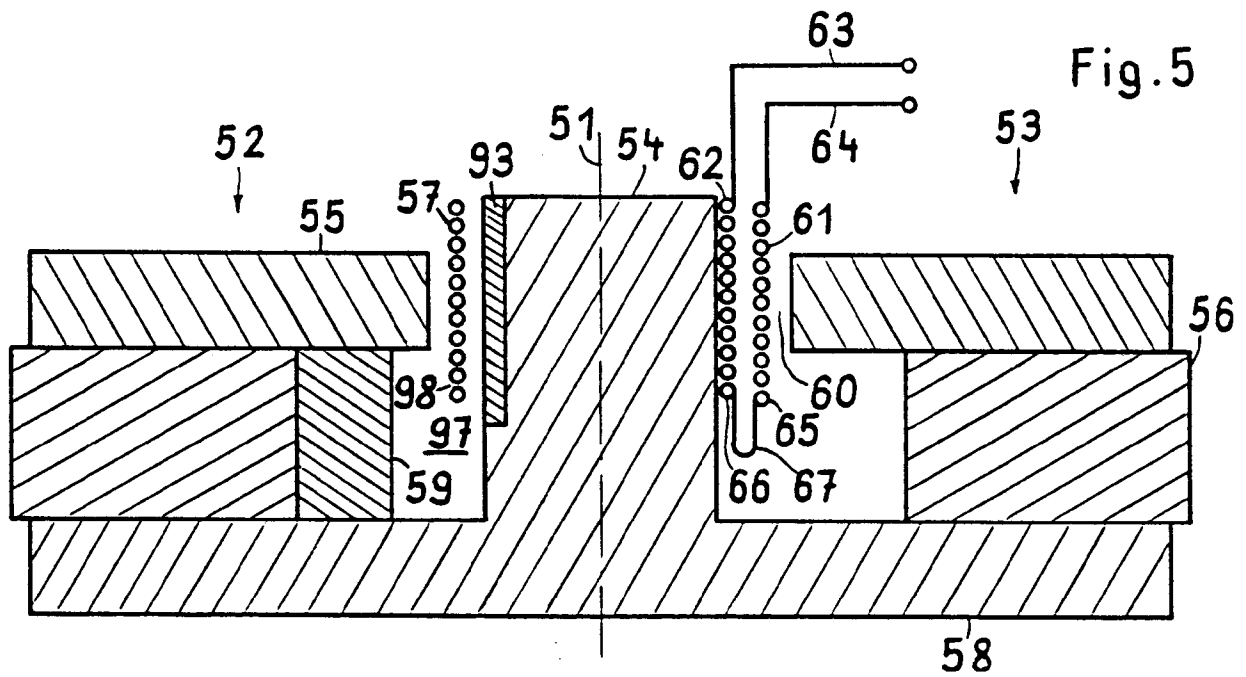
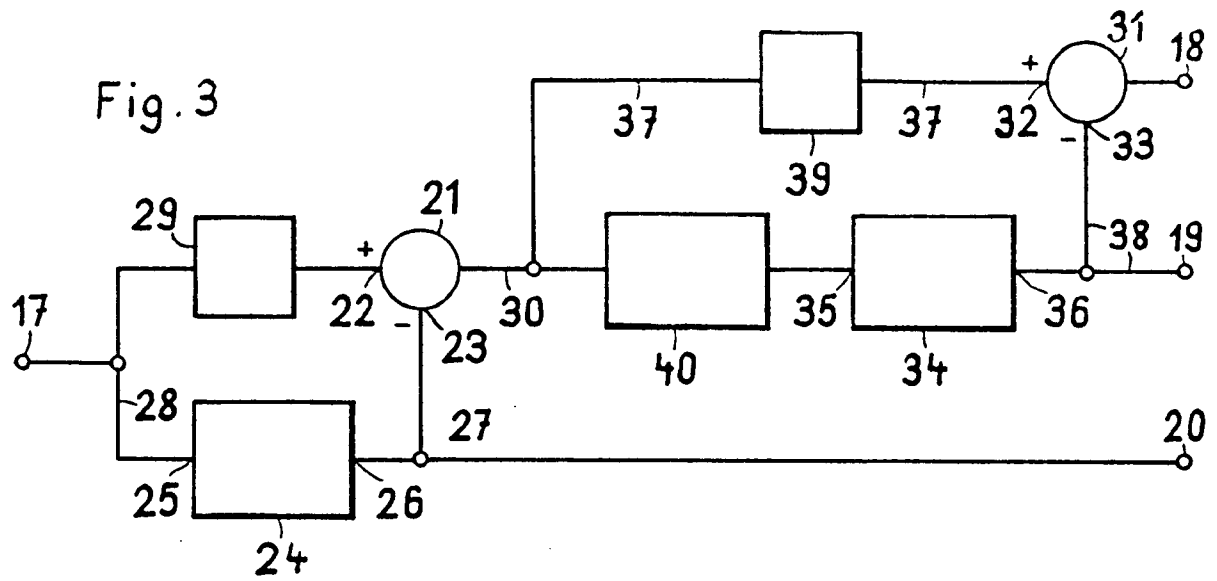
45

50

55

10





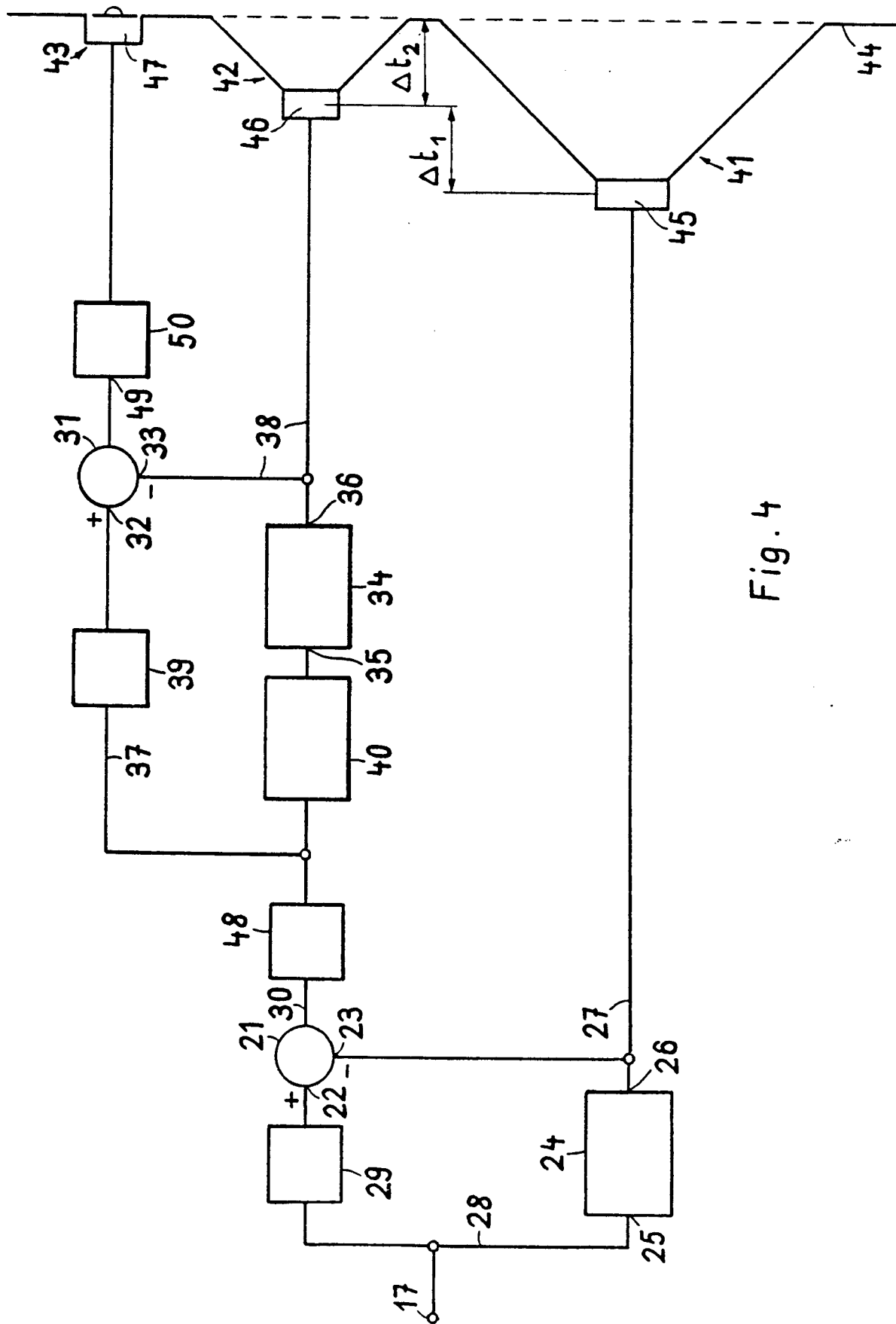


Fig. 4

