

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

Anmeldenummer: 89110971.2

Int. Cl.4: **H04R 3/08**

Anmeldetag: 16.06.89

Priorität: 15.07.88 CH 2727/88

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
17.01.90 Patentblatt 90/03

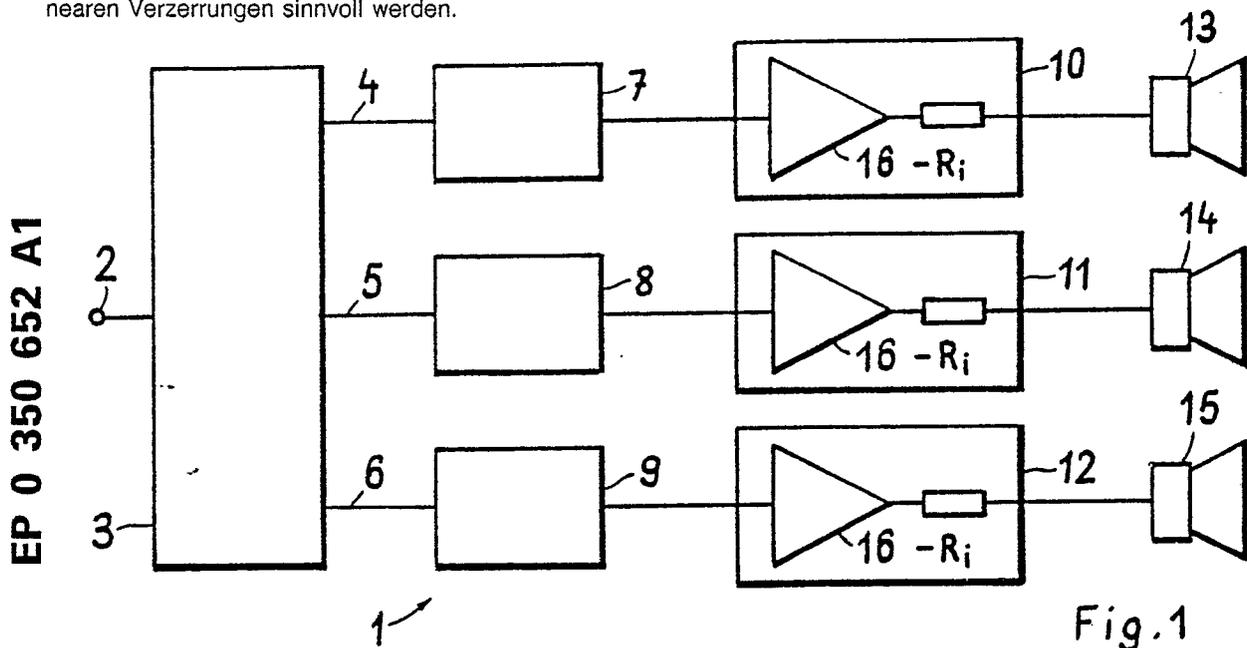
Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE FR GB IT LI

Anmelder: **WILLI STUDER AG** Fabrik für
elektronische Apparate
Althardstrasse 30
CH-8105 Regensdorf ZH(CH)

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

Elektrodynamischer Lautsprecher.

Bei einem solchen Lautsprecher mit mehreren Lautsprechereinheiten (13, 14, 15), die ueber je einen Leistungsverstaerker (10, 11, 12) an eine Frequenzweiche (3) angeschlossen sind, werden Leistungsverstaerker mit negativer Quellenimpedanz ($-R_i$) vorgeschlagen, die die linearen und nichtlinearen Verzerrungen soweit verringern, dass die Anwendung von modernen Weichen moeglich wird und weitere Massnahmen zur Verringerung von nicht linearen Verzerrungen sinnvoll werden.



Elektrodynamischer Lautsprecher

Die Erfindung betrifft einen elektrodynamischen Lautsprecher.

Aus der DE - A - 27 13 023 ist ein elektrodynamischer Lautsprecher mit einem Verstärker zur Speisung einer Schwingspule bekannt. Der Lautsprecher ist als Tieftonlautsprecher ausgebildet. Dabei ist die effektive Ausgangsimpedanz des Verstärkers einem negativen Widerstand äquivalent, 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 Verstärker lässt sich die Veränderung der Basscharakteristik des Lautsprechers, die äquivalent ist zur Änderung der mechanischen Parameter des Lautsprecherelements sowie dessen Bewegungsmasse, Dämpfung und Aussteuerung, erreichen. Mit anderen Worten soll so die Eigenresonanzfrequenz des Lautsprechers bekämpft und gleichzeitig eine andere Resonanzfrequenz erzwungen werden, die besser auf das Gehäuse des Lautsprechers abgestimmt ist.

Der Nachteil dieser Lösung besteht darin, dass sie zwar bei Tieftonlautsprechern oder bei der Wiedergabe von tiefen Tönen durch andere Lautsprecher Vorteile bringt, aber zur Verbesserung von Mittel- und Hochtonlautsprechern oder zur Verbesserung der Wiedergabe von Tönen mittlerer und hoher Frequenz nicht verwendet werden kann, da bei diesen diese Probleme mit der Eigenresonanzfrequenz gar nicht oder nur in sehr abgeschwächter Form auftreten. Zudem ergibt diese Lösung keinen vorhersehbaren, einen klaren Tendenz aufweisenden Frequenzgang, wie das für andere Glieder (z.B. Verstärker, Aufzeichnungsgerät usw.) einer elektroakustischen Kette üblicherweise gefordert wird. Damit bleibt der Lautsprecher das schlechteste Glied einer solchen Kette, die mit dem Mikrofon beginnt und mit dem Lautsprecher endet. Beim Lautsprecher sind die linearen und die nichtlinearen Verzerrungen wesentlich schlechter als bei den übrigen Gliedern einer solchen elektroakustischen Kette wie z.B. Mikrofon, Verstärker, Mischer, Speicher usw. Die gemäß 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 Verstärkerschaltung 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 Dämpfung des Lautsprechers erreicht wird.

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

Die Erfindung wie sie in den Patentansprüchen gekennzeichnet ist, löst die Aufgabe, einen elektrodynamischen Lautsprecher zu schaffen, bei dem Verzerrungen bei der Bewegung der Membran über den gesamten hörbaren Frequenzbereich wesentlich vermindert werden.

Die durch die Erfindung erreichten Vorteile sind im wesentlichen darin zu sehen, dass der Lautsprecher nun einen über 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 Leistungsverstärker 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 über alle Frequenzen einfach voraussehbar ist. Obwohl gemäß der genannten DE-A-27 13 023 Leistungsverstärker mit negativer Impedanz für Tieftonlautsprecher bekannt sind, tritt ein überraschender und bisher nicht genutzter Effekt auf, wenn man solche Leistungsverstärker mehrfach in einem Mehrweglautsprecher zusammen mit einer Frequenzweiche kombiniert. Dieser Effekt besteht im bereits genannten vorhersehbaren und konstante Eigenschaften aufweisenden Frequenz- und Phasengang über den gesamten Übertragungsbereich. Ist es einmal gelungen gemäß der Erfindung den Frequenzgang über den gesamten Frequenzbereich gerade und phasenlinear zu machen, so eröffnen sich weitere Möglichkeiten mit denen Mehrwegsysteme wesentlich verbessert werden können. Diese Verbesserungen wirken sich aber erst voll aus, wenn Frequenz- und Phasengang genügend gut und verlässlich be-

kannt 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 Lautsprechereinheit,

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 besehen 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 Eingaengen 32 und 33, ein Filter 34 mit einem Eingaeng 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 angeschlossenem 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 ge-

zeichneten 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 Zeitverzoeigerung erzeugt, die vom Abstand Δt_1 abhaengt sowie eine an einen Ausgang 49 der Additionsschaltung 31 angeschlossene Zeitverzoeigerungsschaltung 50. Diese erzeugt eine Zeitverzoeigerung, die vom Abstand Δt_2 abhaengt.

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 gehoeren ein Polstueck 54, eine Polplatte 55 und ein Magnet 56. Das Magnetsystem 52 weist eine Schwingspule 57 auf die in an sich bekannter Weise angeschlossen und gespeist wird. Zwischen der Polplatte 55 und dem Polstueck 54 oder genauer genommen einer dazugehoerenden Grundplatte 58 ist ein Kurzschlussring 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 ringfoermigen Luftspalt 60 aufweist, ist eine Schwingspule 61 angeordnet. Koaxial zur Schwingspule 61 ist eine weitere Spule 62 fest auf dem Polstueck 54 angeordnet. 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 weiteren 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 Spulen 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 Summe beider Magnetfelder Null ist und demzufolge im Luftspalt 60 nur das gleichfoermige Magnetfeld auftritt, das durch den Magneten 56 erzeugt wird.

Figur 6 zeigt ein vereinfachtes elektrisches Er-

satzschaltbild eines Lautsprechers mit seiner Speisung. Darin findet man eine Spannungsquelle 68, einen negativen Widerstand 69, einen Widerstand 70, der den ohmschen Widerstand der Schwingspule darstellt, eine Induktivitaet 71, die die Induktivitaet der Schwingspule darstellt, eine Induktivitaet 72, die mechanische Rueckstellkraefte wie sie die Aufhaengung der Membran und das Luftpolster im Gehaeuse des Lautsprechers erzeugen, darstellt und eine Kapazitaet 73, die die Massen der Membran usw. darstellt. 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 Leistungsverstaerker und die uebrigen Elemente bilden zusammen eine Lautsprecheinheit.

Figur 7 zeigt ein Beispiel einer Leistungsverstaerkerschaltung mit einer negativen Quellenimpedanz wie sie in der Figur 6 an die Stelle der Spannungsquelle 68 und des negativen Widerstandes 69 treten kann. Sie besteht aus einem Operationsverstaerker 76 mit einem invertierenden Eingang 77, einem nicht invertierenden Eingang 78 und einem Ausgang 79. An diesen ist eine Impedanz Z_s angeschlossen. Von deren Ausgang 80 ist eine Rueckkopplung 81 mit einem Widerstand R_2 auf den Eingang 77 zurueckgefuehrt. Dazu gehoert auch ein Widerstand R_1 , der an den Eingang 77 angeschlossen ist. Vom Ausgang 79 ist eine weitere Rueckkopplung 82 mit einem Widerstand R_4 auf den Eingang 78 zurueckgefuehrt 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 vereinfacht die Widerstaende, Kapazitaeten und Induktivitaeten der Lautsprecheinheiten 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 Widerstaende 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 Frequenzgaenge. Auf der horizontalen Achse 84 sind die Frequenzen, auf der vertikalen Achse 85 ist der akustische Ausgang i_0 , unter dem man Schalldruck, Ausgangsleistungen usw. verstehen kann, aufgetragen. Eine Linie 86 zeigt den Frequenzgang, den der Leistungsverstaerker 10, 11, 12 (Fig. 1) mit der negativen 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 Serie-

schaltung des Integrators mit dem Leistungsverstärker erzeugt wird.

Figur 9 zeigt eine Schaltung wie sie beispielsweise fuer das Magnetsystem 53 gemaess Figur 5 zusammen 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 Verstärkers 94 mit negativer Quellenimpedanz angeschlossen. Der Eingang 96 des Verstärkers 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 horizontalen Achse 100 sind die Frequenzen und auf der vertikalen Achse 101 ist der akustische Ausgang aufgetragen. 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 gemaess 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 unerwunschten 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 Leistungsverstärker wird genauer durch die Schaltung gemaess 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 gemaess 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 erhoehen. 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 Leistungsverstärker 10, 11 und 12, wo diese Signalteile eine Amplituden/Frequenz-Charakteristik gemäss der Linie 86 aus Figur 8 erhalten. Zusammen ergibt das dann aber eine Charakteristik gemäss der Linie 88 oder eben einen geraden Frequenzgang. Die Integratoren und die Leistungsverstärker mit der negativen Quellenimpedanz sind dabei so auszulegen, dass die Steigungen der Linien 86 und 87 gerade entgegengesetzt gleich sind. Vorzugsweise beträgt die Steigung 6dB/Oktave. Dabei wäre es denkbar den Leistungsverstärker 10 für die Hochton-Lautsprechereinheit 13 ohne negative Quellenimpedanz auszubilden, doch dann lässt sich der gerade Frequenzgang nicht mehr bis in den Hochtonbereich hinein erzeugen. Doch könnte man diesen Kompromiss allenfalls eingehen und die Nachteile vernachlässigen.

Wird ein elektrisches Signal an den Eingang 17 der ersten Frequenzweiche 21 bis 30 gemäss der Figur 2 angelegt, so gelangt es über die Leitung 28 an den Eingang 25 des Filters 24, welches als Tiefpassfilter ausgebildet ist. Das ungefilterte Signal wird auch über die Leitung 28 an den positiv zählenden 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. Unabhängig davon, ob Zeitverzögerungsschaltungen 29 und 39 vorgesehen sind oder nicht, lässt sich mit einer solchen Frequenzweiche erreichen, dass die Signale von den Ausgängen 18, 19 und 20, die ja über die Leistungsverstärker 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 lässt sich erreichen, wenn die Zeitverzögerungsschaltungen 29 und 39 so ausgelegt sind, dass sie die Zeitverzögerungen 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 Ausgängen 18, 19 und 20 Signale, die die Lautsprechereinheiten 13, 14 und 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 für die Uebernahmefrequenz der Lautsprechereinheiten 13 und 14 erreicht werden.

Eine Vereinfachung lässt sich erreichen, wenn das Filter 24 als Tiefpassfilter mit zwei Polen und mit einer Güte die grösser 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 Dämpfung übergeht, wie dies die Figur 10 zeigt. Dies im Gegensatz zu einem üblichen Frequenzgang, der bis zur unendlichen Dämpfung absinkt. Dadurch wird die Gruppenlaufzeit im Filter 24 wesentlich verkürzt was den Schaltungsaufwand in der Zeitverzögerungsschaltung 29 wesentlich verringert. Unter Umständen kann die Zeitverzögerungsschaltung 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 genügend hohen Frequenzen beeinflusst. Zu diesen genügend hohen Frequenzen gehören insbesondere auch Frequenzen im Bereiche des abfallenden Frequenzganges des Filters 34. Damit bildet die Additionsschaltung 31 ein Hochpassfilter mit einer Steilheit eines Filters dritter Ordnung.

Alle bisher für die Frequenzweiche vorgeschlagenen Elemente sind in der Darstellung gemäss der Figur 4 vereint. Dazu kommen aber noch die beiden Zeitverzögerungsschaltungen 48 und 50. Die Zeitverzögerungsschaltung 48 verzögert das Signal aus dem Ausgang 30 um einen Betrag, der so bemessen ist, dass Zeitverzögerungen aller in Serie geschalteten Elemente, wie Zeitverzögerungsschaltung 48, Phasenkorrekturschaltung 40 und Filter 34, zusammengerechnet der Zeitdifferenz Δt_1 entsprechen. Man stelle sich vor, dass das Signal das dem Eingang 2, 17 zugeführt wird, aus zwei Teilsignalen zusammengesetzt ist und dass ein Teilsignal über die Lautsprechereinheit 41 und das andere Teilsignal über die Lautsprechereinheit 42 ausgestrahlt wird. Dann wird durch die Zeitverzögerungsschaltung 48 sichergestellt, dass beide Teilsignale, wenn sie die Schallwand passieren und in Schallwellen umge-

wandelt sind, die Schallwand 44 genau dann und somit so verlassen, wie sie im Signal am Eingang 2, 17 zusammengesetzt waren. Die Zeitverzögerungsschaltung 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, könnten aber solche Zeitverzögerungsschaltungen auch an anderen Orten in der Frequenzweiche vorgesehen werden.

Durch Verbesserungen an den Magnetsystemen (siehe Fig. 5) der einzelnen Lautsprechereinheiten 13, 14 und 15 lässt sich der erfindungsgemäße 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 führen, dass die Abnahme der Magnetfeldstärke an beiden Enden des Luftspaltes stetig und symmetrisch erfolgt. Dies wird beispielsweise dadurch erreicht, dass das Polstück 54 über die Polplatte 55 hinausragt. Dadurch werden nichtlineare Verzerrungen bei der Bewegung der Schwingspule vermindert. Diese Verminderung ist in vielen Fällen nicht bemerkbar, weil die nichtlinearen Verzerrungen, die durch die nichtlinearen Rückstellkräfte der Aufhängung der Membran erzeugt werden, überwiegen. Das bedeutet, dass solche Verbesserungen am Magnetsystem erst dann sinnvoll werden, wenn sie zusammen mit der Speisung über Leistungsverstärker mit negativer Quellenimpedanz angewendet werden.

Ferner ist es bekannt, dass der in einen Hohlraum 97 (Fig. 5) hineinragende Teil 98 der Schwingspule 57 eine zusätzliche Erregung im Magnetkreis bewirkt, sobald er vom Strom durchflossen wird. Die Kraft, die die Schwingspule erfährt, ist gegeben durch das Vektorprodukt aus Magnetfeld und Strom. Da aber das Magnetfeld, wie erwähnt, wieder eine Funktion des Stromes durch die Schwingspule ist, wird das Vektorprodukt nicht linear. Es gilt also der Änderung des Magnetfeldes entgegenzuwirken. Eine Möglichkeit dazu bietet der Kurzschlussring 59. Darin bilden sich immer Ströme derart aus, dass der Änderung des Magnetflusses entgegengewirkt wird. Es besteht weiter die Möglichkeit eine Spule an Stelle des Kurzschlussringes 59 vorzusehen. Sie wird durch den Strom in der Schwingspule erregt und kompensiert damit die unerwünschte 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 lässt sich dieser kompensieren, indem der Kurzschluss über einen negativen Widerstand erfolgt. Das

heisst, die Spule wird an einen Verstärker mit negativer Quellenimpedanz angeschlossen. Es ergibt sich dann auch für diese an die Stelle des Kurzschlussringes 59 getretene Spule eine Schaltung gemäss der Figur 9. Der Verstärker 94 erhält aber kein Signal am Eingang 96. Der Verstärker 94 kompensiert den ohm'schen Widerstand 62a der Spule 62b. Somit hat die Spule 62b keinen Widerstand mehr und es können darin beliebig grosse Ströme fließen, das heisst sie ist kurzgeschlossen. Auch diese Verbesserung ist erst richtig bemerkbar, wenn die Verzerrungen die durch die nichtlinearen Rückstellkräfte 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 Polarität der Felder am einen Ende des Luftspaltes eine Feldverstärkung und am anderen Ende eine Feldschwächung eintritt. Dies scheint zunächst nicht schlimm zu sein, bleibt doch der totale Fluss im Luftspalt etwa konstant. Erst genauere Untersuchungen zeigen, dass dies nicht der Fall ist. Die Permeabilität des Eisens in der Polplatte 55 und im Polstück 54 ist von der magnetischen Aussteuerung abhängig. Dies führt dazu, dass der totale Magnetfluss doch wieder vom Strom in der Schwingspule 61 abhängig ist. Durch einen Kurzschlussring 93 im Bereiche des Luftspaltes lassen sich die doch entstandenen Verzerrungen bekämpfen. Eine weitere Möglichkeit 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 möglich die Spule 62 durch einen separaten Verstärker anzuspisen. Ferner ist es denkbar, die Spule an einen Verstärker 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 Rückstellkräfte hervorgerufen werden.

Ansprüche

1. Elektrodynamischer Lautsprecher (1), dadurch gekennzeichnet, dass er eine Frequenzweiche (3) aufweist, an die mehrere dynamisch arbeitende Lautsprechereinheiten (13, 14, 15) über je einen Leistungsverstärker (10, 11, 12) angeschlossen sind und dass mindestens zwei dieser Lei-

stungsverstaerker (10, 11, 12) eine negative Quellenimpedanz ($-R_i$) aufweisen.

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 durchfliest.

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 Frequenzweiche 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.

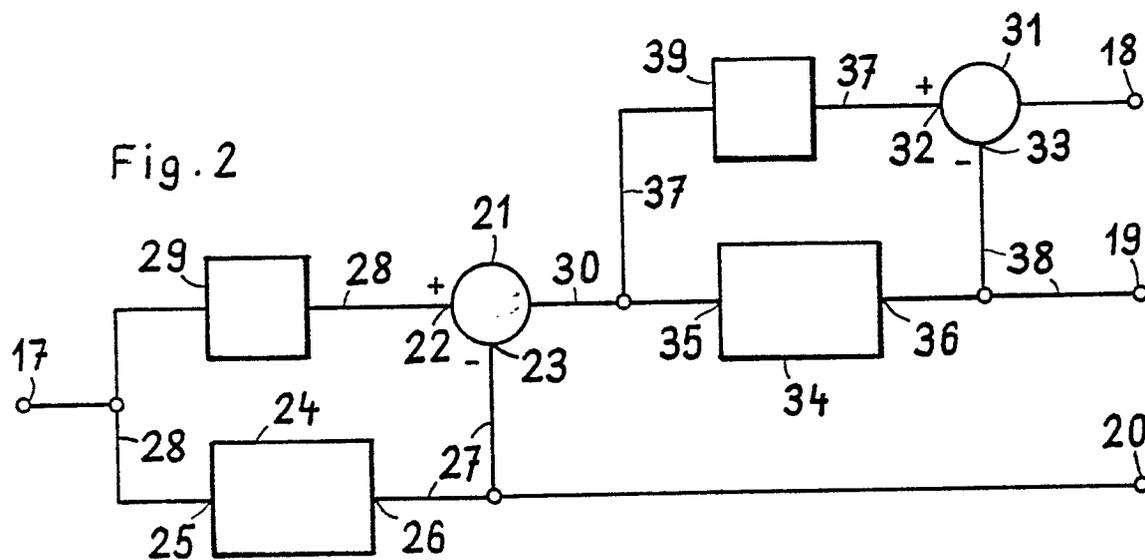
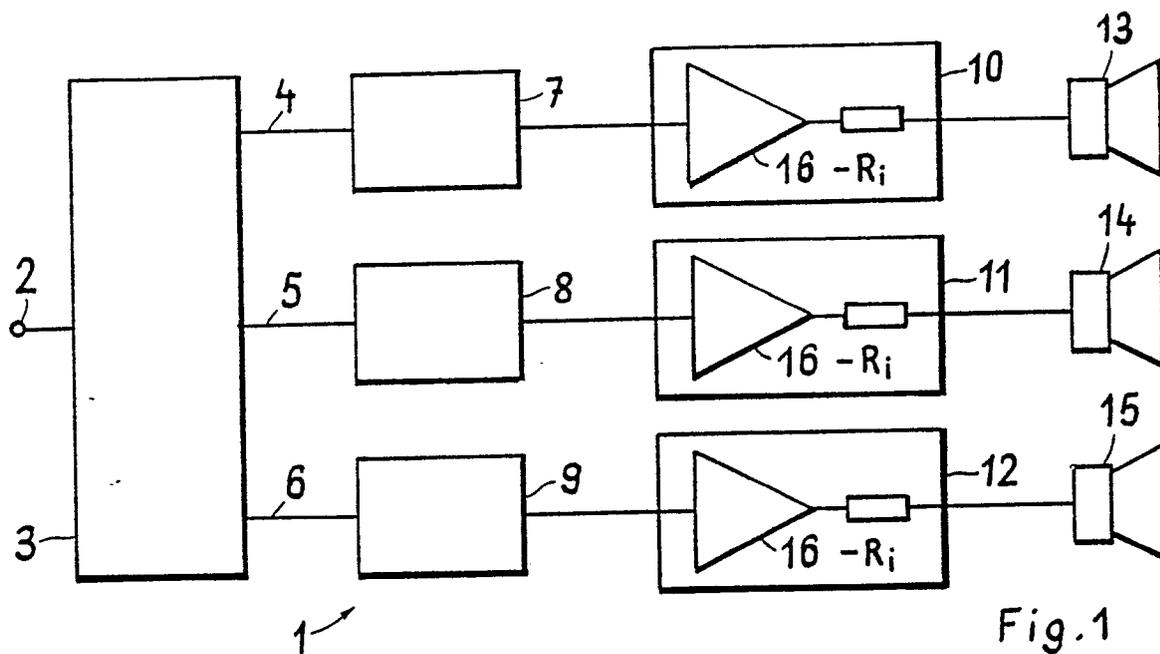
7. Elektrodynamischer Lautsprecher nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Filter (24) als Tiefpassfilter mit zwei Polen, einer Guete groesser oder gleich $1/\sqrt{2}$ und mit einem abfallenden Frequenzgang (103) ausgelegt ist, der in einen Bereich (105) mit im wesentlichen konstanter Dämpfung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

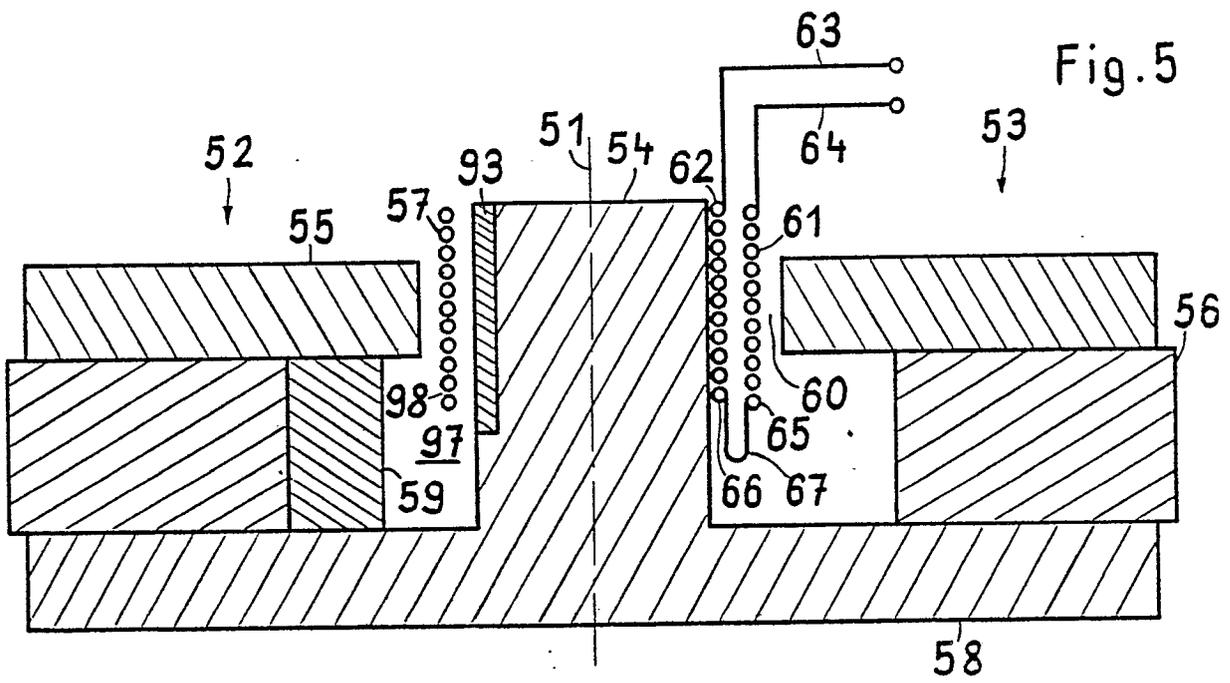
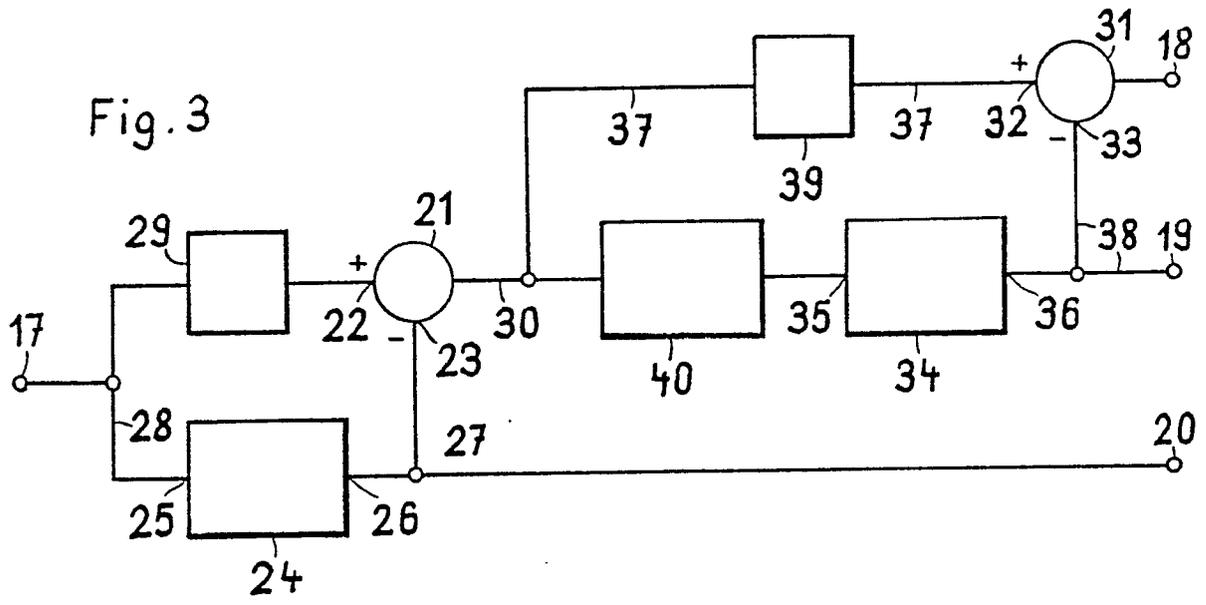
8. Elektrodynamischer Lautsprecher nach Anspruch 6, wobei die Frequenzweiche aus einer ersten und einer zweiten in Serie geschalteten Frequenzweiche besteht, dadurch gekennzeichnet, dass als Filter (24, 34) Tiefpassfilter vorgesehen sind, dass dem Filter (34) der zweiten Frequenzweiche eine Phasenkorrekturschaltung (40) zugeordnet 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 Verzoeigerungsschaltung

(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.





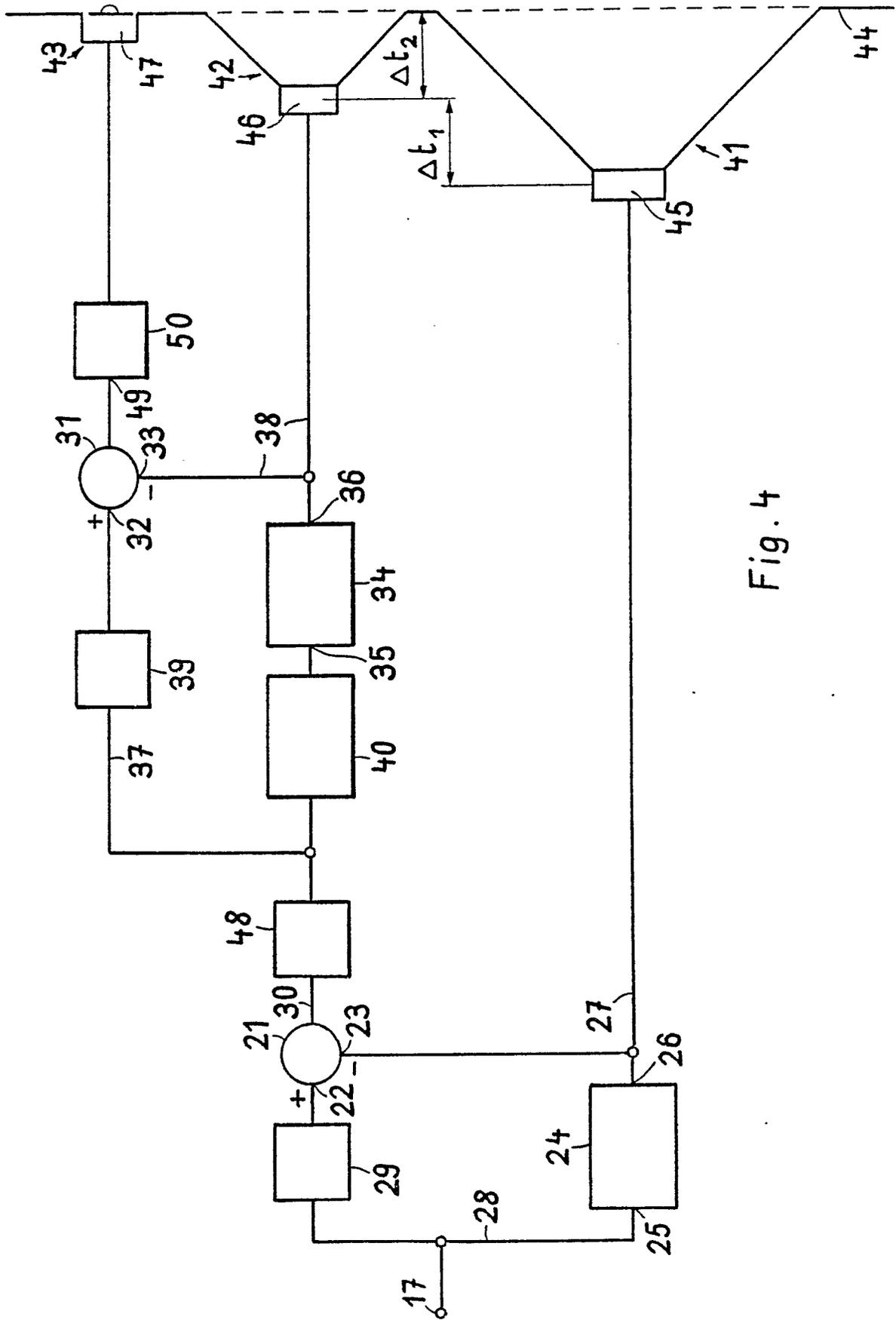
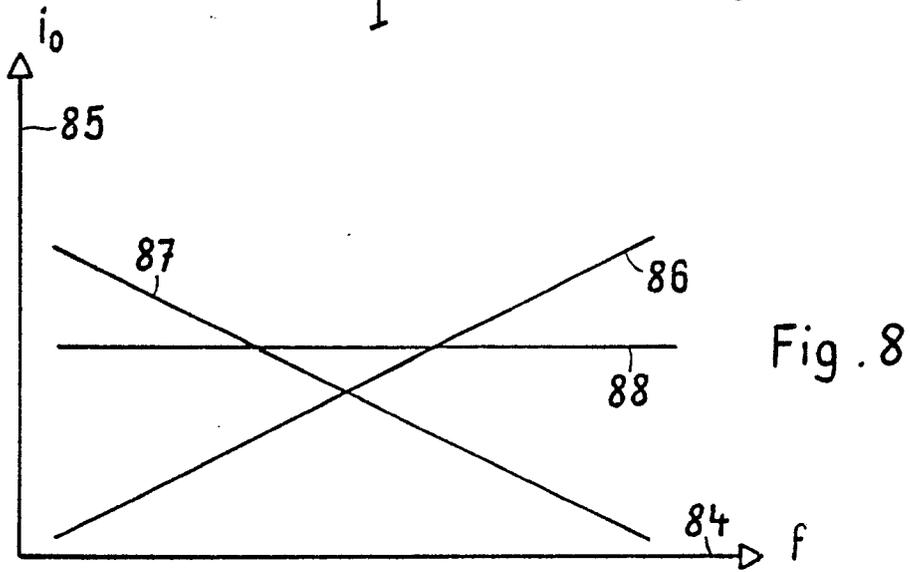
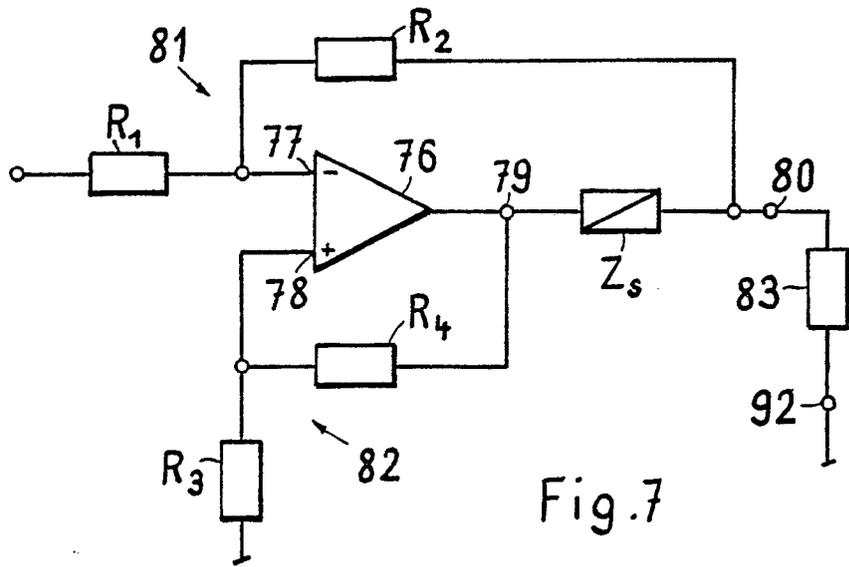
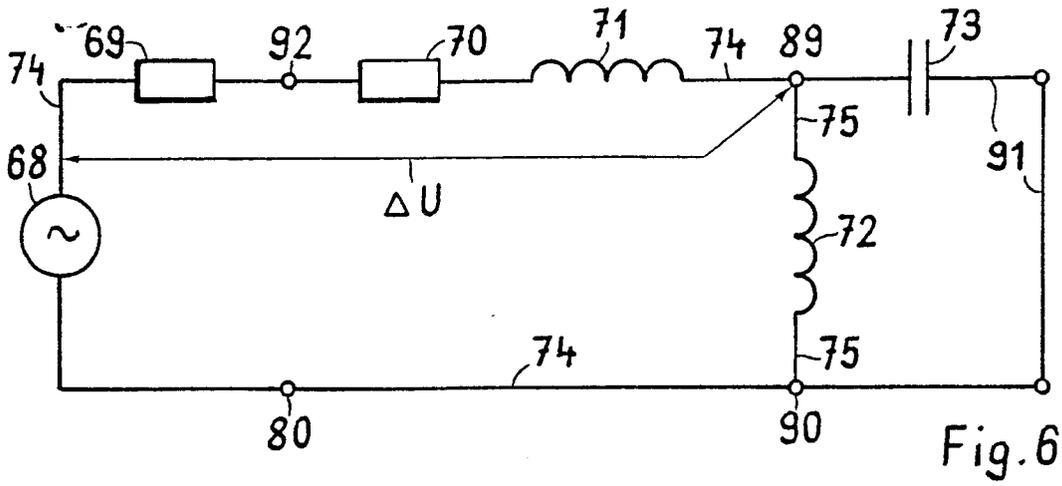
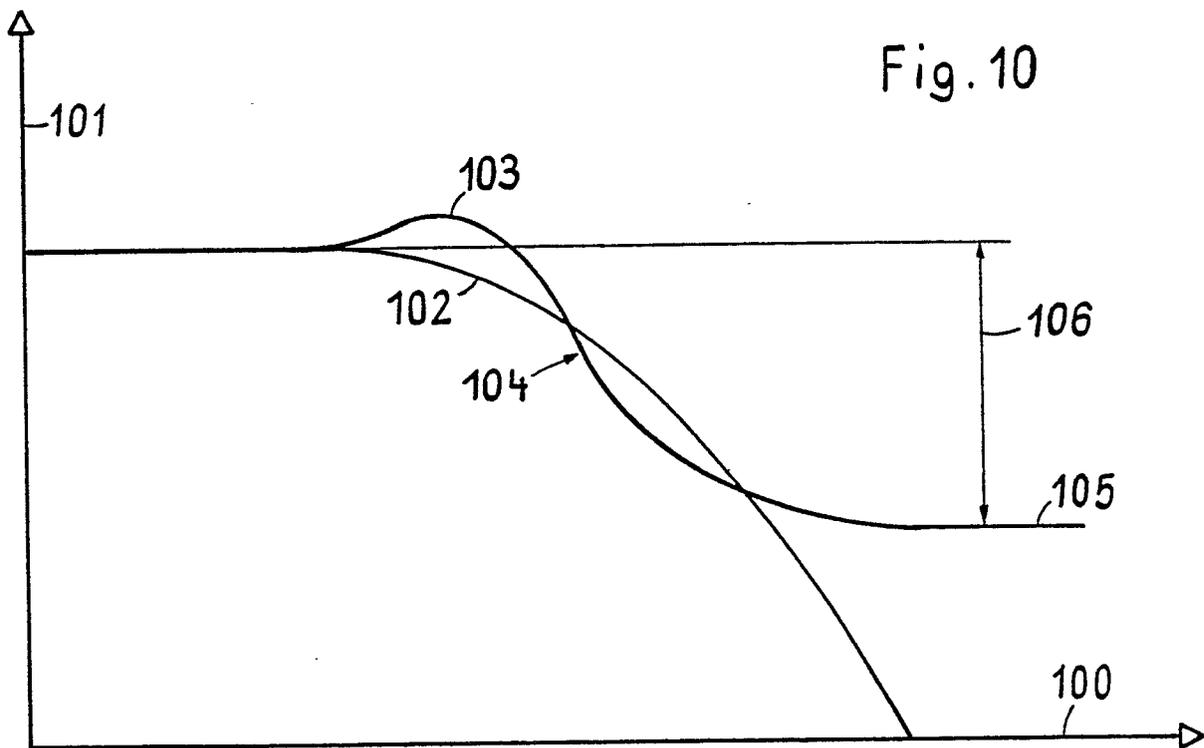
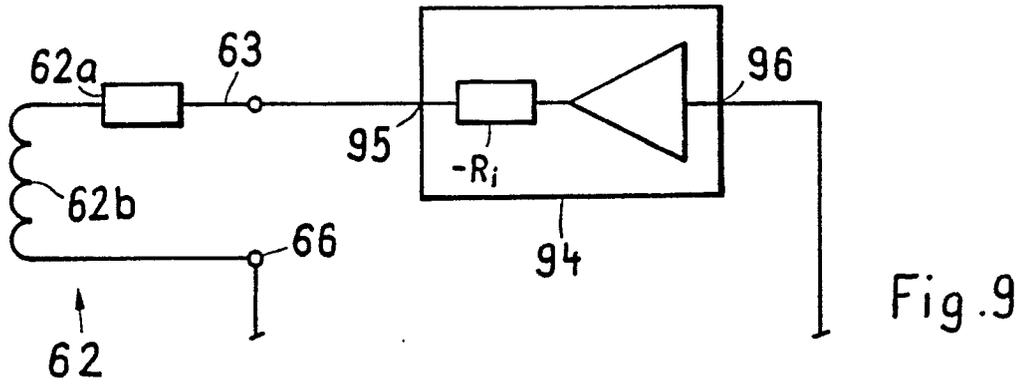


Fig. 4







EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
Y	US-A-4 340 778 (K. COWANS) * Figuren 4,10; Spalte 2, Zeile 57 - Spalte 3, Zeile 4; Spalte 9, Zeile 20 - Spalte 12, Zeile 39; Ansprüche 5,25-27,30-32 * ---	1,10	H 04 R 3/08
Y	AUDIO ENGINEERING, August 1951, Seiten 20-22,54-55, Philadelphia, US; W. CLEMENTS: "A new approach to loudspeaker damping" * Seite 21, linke Spalte, Zeilen 36-54; Seite 22, linke Spalte: "Negative inductance" * ---	1,10	
A	FUNK-TECHNIK, Band 40, Nr. 8, August 1985, Seiten 322-325, Heidelberg, DE; H.-J. HAASE: "Schaltungstechnik moderner Hifi-Aktiv-Lautsprecher-boxen" * Insgesamt * ---	1	
A	FR-A- 892 396 (M. CESATI) * Insgesamt * ---	2,5	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
A	WO-A-8 102 501 (SAKAI) * Zusammenfassung; Figuren * ---	2,5	H 04 R
A	US-A-4 137 510 (MAKOTO IWAHARA) * Figuren; Ansprüche * ---	4-8	
A	FR-A-2 378 418 (THE RANK ORGANISATION LTD) * Figuren; Ansprüche * ---	4-9	
A	FR-A-2 345 880 (E. STAHL) * Insgesamt * & DE-A-2 713 023 (Kat. A,D) --- -/-	1	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	11-10-1989	GASTALDI G. L.	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet		E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder	
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer		nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	
anderen Veröffentlichung derselben Kategorie		D : in der Anmeldung angeführtes Dokument	
A : technologischer Hintergrund		L : aus andern Gründen angeführtes Dokument	
O : mündliche Offenbarung		-----	
P : Zwischenliteratur		& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes	
		Dokument	



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
A	EP-A-0 221 324 (W. STUDER) * Figuren; Ansprüche * & US-A-4 720 665 (Kat. A,D) -----	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlussdatum der Recherche 11-10-1989	Prüfer GASTALDI G. L.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, 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 : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			