

(19)



(11)

EP 2 989 809 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
04.10.2017 Patentblatt 2017/40

(51) Int Cl.:
H04R 1/40 (2006.01) H04R 3/12 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15720645.9**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2015/058792

(22) Anmeldetag: **23.04.2015**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2015/165794 (05.11.2015 Gazette 2015/44)

(54) **ARRAY AUS ELEKTROAKUSTISCHEN AKTOREN UND VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINES SOLCHEN ARRAYS**

ARRAY OF ELECTROACOUSTIC ACTUATORS UND METHOD FOR PRODUCING SUCH AN ARRAY

RÉSEAU D'ACTIONNEURS ET PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UN TEL RÉSEAU

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

• **BEER, Daniel**
98693 Martinroda (DE)

(30) Priorität: **30.04.2014 DE 102014208256**

(74) Vertreter: **Zinkler, Franz et al**
Schoppe, Zimmermann, Stöckeler
Zinkler, Schenk & Partner mbB
Patentanwälte
Radtkoferstrasse 2
81373 München (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.03.2016 Patentblatt 2016/09

(73) Patentinhaber: **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.**
80686 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 034 844

(72) Erfinder:
• **BETZ, Lorenz**
91717 Wassertrüdingen (DE)
• **EHRIG, Lutz**
01277 Dresden (DE)

• **D. KEELE: "Effective Performance of Bessel-Arrays", JOURNAL OF AUDIO ENGINEERING SOCIETY, Bd. 38, Nr. 10, Oktober 1990 (1990-10), Seiten 723-748, XP000164899, in der Anmeldung erwähnt**

EP 2 989 809 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Arrays und insbesondere auf sogenannte Bessel-gewichtete Arrays aus elektroakustischen Aktoren.

[0002] Lautsprecher eines Lautsprecher-Arrays, z.B. eines Linienarrays bzw. eines Flächen-Arrays, können unterschiedlich angesteuert werden. Die EP 0034844 A1 offenbart eine Amplituden-/Phasengewichtung basierend auf den Funktionswerten der Bessel-Funktion erster Art bei unterschiedlicher Ordnung.

[0003] Eine mögliche Ausführungsform eines solchen Arrays ist in Fig. 11 (a) gezeigt. Es besteht aus fünf Einzellautsprechern, die entsprechend der Anordnung im beispielsweise linienförmigen Array mit 1, 2, 3, 4, 5 bezeichnet sind. Die Amplituden-/Phasengewichtung ist links neben dem Lautsprecher-Array 1100 in Fig. 11 dargestellt. Die beiden äußersten Lautsprecher haben eine Gewichtung von 0,5 und die inneren Lautsprecher haben eine Gewichtung von 1, wobei ein Lautsprecher, nämlich der Lautsprecher 2 zusätzlich eine Phasenverschiebung von 180° aufweist.

[0004] Ein solches Array erzielt gegenüber dem Einzellautsprecher einen höheren Schalldruckpegel. Obwohl das Array eine größere Abstrahlfläche als der Einzellautsprecher besitzt, unterscheiden sich die Abstrahlcharakteristiken kaum voneinander.

[0005] Für das linienförmige Lautsprecher-Array, das in Fig. 11 (a) gezeigt ist, das aus fünf aktiven Lautsprechern gleichen Typs besteht, sieht die Bessel-Gewichtung das Amplitudenverhältnis vor, das links vom Array 1100 eingezeichnet ist. Das Phasenverhältnis beträgt $0^\circ:180^\circ:0^\circ:0^\circ:0^\circ$ der Einzellautsprecher zueinander. Fig. 11 (b) zeigt eine Verschaltung der Lautsprecher in Form einer Serienschaltung. Insbesondere sind die Lautsprecher 2, 3, 4 in Serie geschaltet und wiederum in Serie zu einer Parallelschaltung der beiden äußeren Lautsprecher 1 und 5. Damit ergibt sich aufgrund des entsprechenden Spannungsabfalls die an jedem Lautsprecher geforderte Besselähnliche Gewichtung.

[0006] Alternativ kann die Bessel-Gewichtung auch mit einer Parallelschaltung erzeugt werden, die aus mehreren Parallelzweigen besteht (Fig. 11 (c)). Einer dieser Parallelzweige besteht aus einer Serienschaltung der Lautsprecher 1 und 5, die restlichen Parallelzweige enthalten jeweils einen einzigen Lautsprecher (2, 3, 4)

[0007] Vorteilhaft an den Verschaltungen in Fig. 11 (b) und 11 (c) ist, dass die geforderte Bessel-Gewichtung allein durch eine geeignete Verschaltung der Lautsprecher realisierbar ist. Die Amplituden werden durch Parallel-/Serienschaltung und die Phasen durch die entsprechende Polung der Lautsprecher untereinander erzielt. Dies ergibt sich in Fig. 11 dadurch, dass die Polung des Lautspechters 2 jeweils umgedreht ist, im Vergleich zu den Polungen der anderen Lautsprecher, dass also der negative Eingang des Lautspechters mit dem entsprechenden positiven Ausgang des Lautsprecher-Verstärkers, der in Fig. 11 nicht gezeigt ist, verbunden ist.

[0008] Diese Verschaltung hat jedoch die Problematik der Gesamtimpedanz des Arrays. Bei der seriellen Verschaltung des 5er-Bessel-Arrays von Fig. 11 (b) ergibt sich eine Gesamtimpedanz des Arrays, die dem 3,5-fachen der Einzellautsprecher entspricht. Bei einer Nennimpedanz des einzelnen Lautspechters von $4\ \Omega$ bzw. $8\ \Omega$ beträgt die Gesamtimpedanz der Reihenschaltung demnach $14\ \Omega$ bzw. $28\ \Omega$. Konventionelle Audioverstärker sind dagegen für Nennimpedanzen von $4\ \Omega$ bis $8\ \Omega$ optimiert. Um eine Impedanz von $14\ \Omega$ mit der gleichen elektrischen Leistung wie eine Impedanz von $4\ \Omega$ zu treiben, ist eine wesentlich höhere Spannungsverstärkung erforderlich.

[0009] Für die Realisierung mittels Parallelschaltung in Fig. 11 (c) sinkt die Impedanz des 5er-Bessel-Arrays auf das 0,29-fache der Einzelimpedanz. Für ein Array aus $4\ \Omega$ bzw. $8\ \Omega$ -Lautspechern beträgt somit die Gesamtimpedanz $1,14\ \Omega$ bzw. $2,29\ \Omega$. Dies liegt in der Regel deutlich unter den für heutige Verstärker optimalen Lastimpedanzen. Dem Verstärker wird hierbei ein zu großer Strom abverlangt, was zur Zerstörung seiner Bauteile führen kann.

[0010] Aus diesem Grund kann die Bessel-Gewichtung mit Lautspechern üblicher Impedanz, wie beispielsweise $4\ \Omega$ bis $8\ \Omega$, nicht optimal umgesetzt werden.

[0011] Im Hinblick auf linienförmige Arrays mit einer größeren Anzahl an Lautspechern, wobei die Anzahl größer als fünf ist, erreicht die Gesamtimpedanz bei der Parallelschaltung einen noch geringeren Wert und bei der Serienschaltung einen noch größeren Wert, wenn wiederum von der gleichen Lautspecherimpedanz ausgegangen wird.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein verbessertes Lautspecher-Array zu schaffen.

Diese Aufgabe wird durch ein Array nach Patentanspruch 1 oder ein Verfahren zum Herstellen eines Arrays nach Patentanspruch 17 gelöst.

Ein Array aus elektroakustischen Aktoren, umfasst wenigstens fünf elektroakustische Aktoren (101, 102, 103, 104, 105), wobei die elektroakustischen Aktoren so verschaltet sind, dass in einem ersten Parallelzweig (110a) wenigstens zwei elektroakustische Aktoren in Serie geschaltet sind, und dass in einem zweiten Parallelzweig (110b) ein elektroakustischer Aktor in Serie zu einer Parallelschaltung von zwei elektroakustischen Aktoren geschaltet ist, und wobei der erste Parallelzweig parallel zu dem zweiten Parallelzweig geschaltet ist. Bei einer alternativen Implementierung sind die elektroakustischen Aktoren so verschaltet, dass in einem ersten Serienzweig (110c) wenigstens zwei elektroakustische Aktoren parallel geschaltet sind, und dass in einem zweiten Serienzweig (110d) ein elektroakustischer Aktor parallel zu einer Serienschaltung von zwei elektroakustischen Aktoren geschaltet ist, wobei der erste Serienzweig in Serie zu dem zweiten Serienzweig geschaltet ist, und wobei die seriell geschalteten Serienzweige (110c, 110d) ausgebildet sind, um von einem Lautspecher-Verstärker (112) getrieben zu werden.

[0012] Erfindungsgemäß können also die Schaltungen jeweils gespiegelt werden. Bei einer elektrisch "gespiegelten" Schaltung wird jede Parallelschaltung zu einer Serienschaltung und umgekehrt. Die Gesamtimpedanz liegt wieder in unmittelbarer Nähe der Einzellautsprecherimpedanz. Im Gegensatz zur Verwendung von Parallelzweigen, bei der die Impedanz knapp unterhalb der des ELS liegt, ist sie für Modifikation mit Serienzweigen knapp oberhalb des der ELS.

5 Damit wird eine annähernde Bessel-Gewichtung erreicht, jedoch mit einer im Vergleich zur bekannten Serienschaltung deutlich niedrigeren Gesamtimpedanz oder mit einer im Vergleich zur bekannten Parallelschaltung deutlich höheren Gesamtimpedanz. Dadurch können übliche Lautsprecher-Verstärker verwendet werden, die auf die Impedanzen der einzelnen Lautsprecher optimiert sind.

10 **[0013]** In anderen Worten ausgedrückt, erreicht die erfindungsgemäße Verwendung von zwei Parallelzweigen, wobei ein Parallelzweig eine Serienschaltung aus einem Lautsprecher und einer Parallelschaltung aus zwei Lautsprechern aufweist, Gesamtimpedanzen von Lautsprecher-Arrays, die nicht zu groß wie bei der Serienschaltung oder nicht zu klein wie bei der Parallelschaltung sind.

15 **[0014]** Somit sind Lautsprecher-Arrays implementierbar, die eine zwar nicht identische, aber angenäherte Bessel-Gewichtung haben. Die Abweichung von der idealen Bessel-Gewichtung ist jedoch, wie sich herausgestellt hat, so gering, dass das Abstrahlverhalten eines Lautsprecher-Arrays mit erfindungsgemäßer Parallelschaltung der Parallelzweige also mit einer gut handhabbaren Gesamtimpedanz vom Strahlverhalten eines Arrays, das gemäß Fig. 11 implementiert ist und eigentlich die ideale Bessel-Gewichtung hat, nahezu nicht unterscheidbar ist.

20 **[0015]** Erfindungsgemäß wird also die Problematik zu hoher bzw. zu niedriger elektrischer Impedanzen bei der Anwendung einer Bessel-Gewichtung durch die spezielle Verschaltung, die eine leicht modifizierte Bessel-Gewichtung hervorruft, gelöst. Dabei wird in Analogie zum Stand der Technik die Amplituden-/Phasengewichtung allein durch Verpolen bzw. Serien- und Parallelschalten der Einzellautsprecher umgesetzt. Die daraus resultierende Amplituden-/Phasengewichtung der einzelnen Lautsprecher ist ähnlich der von Fig. 11.

25 **[0016]** Gegenüber dem Einzellautsprecher werden weiterhin ein Schalldruckpegelgewinn und eine nahezu identische Abstrahlcharakteristik erzielt. Die elektrische Impedanz des Arrays liegt jedoch in Folge der erfindungsgemäß eingesetzten Verschaltung, um beispielsweise die modifizierte Bessel-Gewichtung zu implementieren, nun im Bereich der Impedanz der eingesetzten Lautsprecher. Dadurch kann das Array problemlos mit konventionellen Verstärkern betrieben werden.

30 **[0017]** Alternativ oder zusätzlich zu Lautsprechern können auch Körperschallanreger eingesetzt werden, als weitere Beispiele für elektroakustische Aktoren. Diese werden auch als Exciter oder Shaker bezeichnet, die z. B. an einer Platte angebracht sind und durch Anregung der Platte Schall erzeugen können.

[0018] In der nachfolgenden Beschreibung wird auf Einzellautsprecher Bezug genommen. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass ein Einzellautsprecher lediglich stellvertretend für sämtliche elektroakustische Aktoren steht

[0019] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen detailliert erläutert. Es zeigen:

- 35 Fig. 1(a) eine schematische Darstellung des Lautsprecher-Arrays;
 Fig. 1(b) eine schematische Darstellung einer Einzellautsprecher- (ELS-) Verschaltung von Fig. 1(a) mit Parallelzweigen;
 Fig. 1(c) eine schematische Darstellung einer Einzellautsprecher- (ELS-) Verschaltung von Fig. 1(a) mit Serienzweigen;
 40 Fig. 2 eine Darstellung eines Lautsprecher-Arrays mit modifizierter Bessel-Gewichtung;
 Fig. 3 ein Verschaltungsbeispiel für das Ausführungsbeispiel von Fig. 2;
 Fig. 4(a) eine alternative Implementierung eines Lautsprecher-Arrays mit modifizierter bzw. angenäherter Bessel-Gewichtung;
 45 Fig. 4(b) eine Verschaltung für die Implementierung von Fig. 4(a);
 Fig. 4(c) ein detailliertes Schaltungsdiagramm zur Erklärung der Verschaltungsdarstellung von Fig. 4(b);
 Fig. 5 eine Verschaltungsvariante für ein Array mit sechs aktiven Einzellautsprechern;
 Fig. 6 eine tabellarische Darstellung verschiedener Verschaltungsvarianten;
 Fig. 7 eine schematische Darstellung des Arrays mit sechs aktiven Einzellautsprechern;
 50 Fig. 8 eine Verschaltungsvariante für ein Array mit sieben aktiven Einzellautsprechern;
 Fig. 9 eine tabellarische Darstellung der verschiedenen Verschaltungen der einzelnen Lautsprecher bezüglich ihrer Anordnung im Array;
 Fig. 10 eine schematische Darstellung des Lautsprecher-Arrays, wobei zwei Einzellautsprecher nicht vorhanden oder inaktiv sind;
 55 Fig. 11(a) bis 11(c) ein bekanntes Array mit einer bekannten Verschaltung;
 Fig. 12(a) eine Verschaltung mit Serienzweigen;
 Fig. 12(b) eine Gewichtung für die Verschaltung mit Serienzweigen;
 Fig. 13(a) eine Verschaltungsvariante für ein Array mit sechs Einzellautsprechern;

- Fig. 13(b) eine Verschaltungsvariante für ein Array mit sieben Einzellautsprechern;
 Fig. 14 eine simulierte Abstrahlcharakteristik eines linienförmigen Arrays aus fünf Lautsprechern mit originaler Bessel-Gewichtung;
 Fig. 15 eine simulierte Abstrahlcharakteristik eines linienförmigen Arrays aus fünf Lautsprechern mit modifizierter Bessel-Gewichtung von Fig. 3;
 Fig. 16 eine simulierte Abstrahlcharakteristik eines linienförmigen Arrays aus fünf Lautsprechern mit modifizierter Bessel-Gewichtung von Fig. 4(b);
 Fig. 17 eine Isobaren-Darstellung der gemessenen Abstrahlcharakteristik eines linienförmigen Arrays aus fünf Lautsprechern mit originaler Bessel-Gewichtung entlang der Array-Ausdehnung; und
 Fig. 18 eine Isobaren-Darstellung der gemessenen Abstrahlcharakteristik eines linienförmigen Arrays aus fünf Lautsprechern mit modifizierter Bessel-Gewichtung entlang der Array-Ausführung von Fig. 4(b).

[0020] Fig. 1 (a) zeigt ein Lautsprecher-Array gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Das Lautsprecher-Array umfasst ein Array-Gehäuse 100 mit montierten Einzellautsprechern 101, 102, 103, 104, 105, die bei dem in Fig. 1 (a) gezeigten Ausführungsbeispiel als Linien-Array angeordnet sind. Die Einzellautsprecher sind durch eine Einzellautsprecher-Verschaltung 110 miteinander verschaltet, und die Einzellautsprecher-Verschaltung 110 ist durch einen Lautsprecher-Verstärker 112 über einen positiven Anschluss 113 und einen negativen Anschluss 114 treibbar. Vorzugsweise ist die Einzellautsprecher-Verschaltung 110 so ausgeführt, dass eine angenäherte Bessel-Gewichtung erreicht wird, dass jedoch die von dem Lautsprecher-Verstärker 112 gesehene Gesamtimpedanz des Lautsprecher-Arrays in gut handhabbaren Dimensionen liegt.

[0021] Zu diesem Zweck umfasst die Einzellautsprecher-Verschaltung 110 eine Implementierung, wie sie in Fig. 1(b) gezeigt ist. Die Einzellautsprecher-Verschaltung umfasst einen ersten Parallelzweig 110a, der eine Serienschaltung von Einzellautsprechern aufweist, und einen zweiten Parallelzweig 110b, der eine Serien-Parallelschaltung von Einzellautsprechern aufweist. Insbesondere umfasst der erste Parallelzweig 110a wenigstens zwei in Serie geschaltete Einzellautsprecher, und umfasst der zweite Parallelzweig einen Einzellautsprecher in Serie zu einer Parallelschaltung von zwei Einzellautsprechern. Ferner sind, wie es in Fig. 1 (b) gezeigt ist, die beiden Parallelzweige 110a, 110b parallel geschaltet und von dem Lautsprecher-Verstärker 112 von Fig. 1(a) treibbar.

[0022] Alternativ umfasst die Einzellautsprecher-Verschaltung 110 eine Implementierung, wie sie in Fig. 1 (c) gezeigt ist. Die Einzellautsprecher-Verschaltung umfasst einen ersten Serienzweig 110c, der eine Parallelschaltung von Einzellautsprechern aufweist, und einen zweiten Serienzweig 110d, der eine Parallel-Serienschaltung von Einzellautsprechern aufweist. Insbesondere umfasst der erste Serienzweig 110c wenigstens zwei parallel geschaltete Einzellautsprecher, und umfasst der zweite Serienzweig einen Einzellautsprecher parallel zu einer Serienschaltung von zwei Einzellautsprechern. Ferner sind, wie es in Fig. 1(c) gezeigt ist, die beiden Serienzweige 110c, 110d seriell geschaltet und von dem Lautsprecher-Verstärker 112 von Fig. 1(a) treibbar.

[0023] Fig. 2 zeigt ein Array, z.B. das Array von Fig. 1(a), jedoch hier in senkrechter Darstellung. Ferner sind die Einzellautsprecher 101 bis 105 mit "1" bis "5" dargestellt, wobei ferner die modifizierten Bessel-Gewichtungen in Fig. 2 links von den Einzellautsprechern dargestellt sind. Diese modifizierten Bessel-Gewichtungen werden durch die spezielle Serien-Parallelschaltung von Fig. 3 erreicht. So umfasst der erste Parallelzweig 110a die beiden Einzellautsprecher 2, 3 in Serie zueinander geschaltet, und umfasst der zweite Parallelzweig 110b den Einzellautsprecher 4 in Serie geschaltet zu der Parallelschaltung der beiden äußeren Array-Lautsprecher 1 und 5. Der negative Gewichtungsfaktor für den zweiten Lautsprecher 102 wird durch entgegengesetztes Polen des Lautsprechers bezüglich der anderen Lautsprecher im ersten Parallelzweig 110a erreicht, wie es schematisch in Fig. 3 dargestellt ist.

[0024] Fig. 4(a) und 4(b) zeigen eine alternative Implementierung. Insbesondere sind die Positionen der Lautsprecher 3 und 4 im Vergleich zu Fig. 2 bzw. Fig. 3 vertauscht. Der Lautsprecher 4 in Fig. 4(b) ist nunmehr im ersten Parallelzweig 110a angeordnet, und der Lautsprecher 3 ist im zweiten Parallelzweig 110b angeordnet. Dies führt dazu, dass die Gewichtungen der Lautsprecher ausgetauscht sind, dass also der Lautsprecher 3 eine Gewichtung von 1 und der Lautsprecher 4 eine Gewichtung von 0,75 aufweist, was eine Umkehrung im Vergleich zu der entsprechenden Gewichtung in Fig. 2 ist.

[0025] Die beispielhaften linienförmigen Arrays von Fig. 2 und Fig. 4(a) umfassen jeweils fünf Lautsprecher. Im Vergleich zu einem Lautsprecher-Array mit fünf Lautsprechern mit originaler Bessel-Gewichtung werden die Lautsprecher gemäß Fig. 3 bzw. Fig. 4(b) verschaltet. Dadurch liegt die elektrische Impedanz des modifizierten Arrays nur 14 % unter der des einzelnen Lautsprechers, z.B. bei 3,4 Ω , wenn die Lautsprecherimpedanz der Einzellautsprecher 4 Ω beträgt. Für eine originale Bessel-Gewichtung läge die elektrische Impedanz des Arrays bei 14 Ω für die Serienschaltung von Fig. 11 (b) oder bei 1,14 Ω für die Parallelschaltung von Fig. 11 (c). Bei der gespiegelten Variante mit Serienzweigen liegt die Impedanz nur 14 % über der eines einzelnen Lautsprechers, also bei z.B. 4,56 Ω .

[0026] Aufgrund der geänderten Lautsprecher-Verschaltung ergibt sich eine modifizierte Amplituden- und Phasengewichtung, da statt der Faktoren "0,75" eigentlich die Faktoren "1" gefordert werden. Dennoch verändert sich die Ab-

strahlcharakteristik des Arrays gegenüber dem Array mit originaler Bessel-Gewichtung bzw. gegenüber einem einzelnen Lautsprecher nur gering, wie es anhand der Fig. 14, 15, 16, 17, 18 unterstrichen wird.

[0027] Fig. 4(c) zeigt eine detailliertere Darstellung der Verschaltung von Fig. 4(b), wobei insbesondere die Verschaltung der positiven/negativen Eingänge der einzelnen Lautsprecher gezeigt ist. Insbesondere ist die negative Verpolung des Lautsprechers 2 gezeigt, bei der der negative Anschluss des Lautsprechers 4 mit dem negativen Anschluss des Lautsprechers 2 gekoppelt ist, so dass die 180°-Phasenverschiebung im Vergleich zu den anderen Lautsprechern im Array erreicht wird.

[0028] Die Fig. 5, 6 und 7 zeigen weitere Ausführungsbeispiele für größere Linien-Arrays. Solche Bessel-gewichteten Linien-Arrays werden typischerweise auch mit sieben bzw. neun Elementen verwendet, wie es in D. Keele, "Effective Performance of Bessel-Arrays", Journal of Audio Engineering Society, Vol. 38, Nr. 10, Seiten 723 - 748, Oktober 1990, beschrieben ist. Bei diesen Arrays muss zwischen Elementen einerseits und Lautsprechern andererseits unterschieden werden. Lautsprecher sind hierbei die Elemente des Arrays, die eine Amplitudengewichtung ungleich 0 besitzen. An den Array-Positionen mit der Amplitudengewichtung 0 muss kein Lautsprecher platziert werden. Die Lücke soll aber nicht durch ein Aneinander-Rücken der benachbarten Lautsprecher geschlossen werden. Alternativ kann an der Array-Position mit der Amplitudengewichtung 0 ein Lautsprecher platziert sein. Dieser Lautsprecher wäre jedoch dann inaktiv oder würde nur wesentlich weniger Schalldruckpegel (z.B. höchstens 10%) emittieren als andere Lautsprecher im Array mit einer Amplitudengewichtung ungleich 0.

[0029] Bezüglich Fig. 7 sei darauf hingewiesen, dass die Abstände zwischen den Einzellautsprecherpositionen gleich bzw. äquidistant sind. Zwischen 3 und 5 würde dann ein zweifacher Abstand sein, wenn der Lautsprecher 4 weggelassen wird.

[0030] Die Problematik einer zu großen (Serienschaltung) bzw. einer zu kleinen (Parallelschaltung) elektrischen Impedanz beim Einsatz üblicher Lautsprecherimpedanzen, also von Lautsprecherimpedanzen zwischen 4 und 8 Ω , tritt hier noch stärker auf, wenn die konventionelle Verschaltung verwendet wird.

[0031] Fig. 7 zeigt insbesondere eine Implementierung für ein 7er-Array mit sechs aktiven Lautsprechern. Wie es in Fig. 7 gezeigt ist, ist für das 7er-Lautsprecher-Array die Position 4, also die mittlere Position eine Position für einen Einzellautsprecher, der inaktiv ist, oder ist eine Position, die leergelassen ist, an der also überhaupt kein Einzellautsprecher angeordnet ist. Die verbleibenden sechs Einzellautsprecher werden wie in Fig. 5 verschaltet. Die Gewichtungen der einzelnen Lautsprecher in Fig. 5, die aufgrund der Serien/Parallel-Schaltung erzeugt werden, sind in der Figur eingetragen.

[0032] So sind die beiden Lautsprecher mit der Gewichtung 0,4 bei allen verschiedenen Verschaltungen, die in Fig. 6 dargestellt sind, die beiden äußersten Lautsprecher. Allerdings können die Positionen der Lautsprecher mit den Gewichtungen 0,8 und 1 entsprechend variiert werden, so dass wenigstens sechs verschiedene Möglichkeiten der Anordnung der Einzellautsprecher an den in Fig. 7 gezeigten Positionen erhalten werden. Dies bedeutet, dass die Verschaltung vorzugsweise so ist, wie sie in Fig. 5 dargestellt ist, dass jedoch die Positionen der Lautsprecher mit den Gewichtungen 1 und 0,8 in Fig. 5 an verschiedenen inneren Positionen des Lautsprecher-Arrays sein können, also an den Positionen 2, 3, 5, 6. Es existieren ferner mehr Möglichkeiten, als sie in Fig. 6 dargestellt sind. Diese Varianten sind die, bei denen die Amplitudengewichtung an der Array-Mitte, also ELS 4, gespiegelt ist, also z.B.

0,4:1:1:0:0,8:0,8:0,4

0,4:1:0,8:0:1:0,8:0,4.

[0033] Die Phasengewichtung bleibt dabei gleich!

[0034] Eine weitere Variante besteht darin, dass wenn die Phasen, und die Amplitudengewichtung an der Array-Mitte (ELS 4) gespiegelt werden. Dies wäre eine Drehung des Arrays (Fig. 5) auf den Kopf.

[0035] Die Phasengewichtung wird insbesondere dadurch erreicht, dass der an der dritten oder bei einer Phasenspiegelung an der Arraymitte an der fünften Position angeordnete Lautsprecher entgegengesetzt gepolt wird. Dies wird je nach Implementierung von einer der in Fig. 6 gezeigten Möglichkeiten der entsprechende Lautsprecher sein.

[0036] Die Fig. 8, 9, 10 zeigen weitere Ausführungsbeispiele im Hinblick auf ein Linien-Array mit neun Lautsprechern, bei dem, wie es in Fig. 10 gezeigt ist, zwei Positionen 4, 6 nicht vorhanden bzw. inaktiv sind, so dass sich insbesondere eine Verschaltung von sieben Einzellautsprechern ergibt (z. B. Fig. 8). Während bei dem in Fig. 5 gezeigten Ausführungsbeispiel im Vergleich zu Fig. 3 oder Fig. 4(b) ein zusätzlicher Einzellautsprecher im zweiten Parallelzweig 110b nötig war, um die bevorzugten Gewichtungen zu erhalten, ist nunmehr, wie es in Fig. 8 gezeigt ist, ein zusätzlicher Einzellautsprecher 110a vorhanden.

[0037] Damit ergeben sich wiederum die Gewichtungen, wie sie in Fig. 8 gezeigt sind. Die einzelnen Positionen der Lautsprecher können wieder, wie es in Fig. 9 gezeigt ist, je nach Gewichtung variiert werden, wobei sich hier eine Vielzahl von unterschiedlichen Positionierungen der Einzellautsprecher ergibt, solange die Position 4 und die Position 6 freibleiben bzw. inaktiv sind, wobei inaktiv nicht komplett inaktiv sein muss, sondern z.B. auch ein Pegel bedeuten kann, der bei z. B. kleiner als 10% des am wenigstens emittierenden Lautsprechers im Array sein kann, und solange die beiden Lautsprecher mit der Gewichtung 0,45 an den Enden des Linien-Arrays angeordnet sind. Andererseits können die Lautsprecher mit den Gewichtungen 0,75 und 1,0 in den inneren Positionen relativ beliebig variiert werden, wobei bei bevorzugten

Ausführungsbeispielen darauf geachtet wird, dass die Umpolung für die zweite Position und die fünfte Position durchgeführt wird.

[0038] Fig. 12a zeigt eine detaillierte Ausführungsform der Implementierung mit Serienzweigen. Der erste Serienzweig umfasst die Lautsprecher 102, 103, und der zweite Serienzweig umfasst die Lautsprecher 104 parallel zur Serienschaltung aus 101 und 105. Die sich ergebenden Gewichtungen sind in Fig. 12(b) gezeigt.

[0039] Fig. 13(a) zeigt die Verwendung der Serienzweige für die Variante von sechs Lautsprechern in Analogie zu Fig. 5. Der zusätzliche Lautsprecher 500 ist im zweiten Serienzweig enthalten und in Serie zu dem Lautsprecher 104 von Fig. 12(a).

[0040] Fig. 13(b) zeigt die Verwendung der Serienzweige für die Variante von sieben Lautsprechern in Analogie zu Fig. 8. Der zusätzliche Lautsprecher 500 ist im zweiten Serienzweig enthalten und in Serie zu dem Lautsprecher 104 von Fig. 12a. Der weitere zusätzliche Lautsprecher ist im ersten Serienzweig parallel zu den Lautsprechern 102, 103 von Fig. 12(a) angeordnet.

[0041] Fig. 14 zeigt eine simulierte Abstrahlcharakteristik eines linienförmigen Arrays aus fünf Lautsprechern mit originaler Bessel-Gewichtung, wobei die simulierte Abstrahlcharakteristik für ein Array ist, das waagrecht in der Zeichenebene liegt und Bezug nehmend auf die Zeichenebene nach oben strahlt. Ferner ist die Darstellung über der Frequenz parametrisiert, und zwar von 100 Hz bis 8000 Hz.

[0042] Fig. 15 zeigt eine entsprechende Darstellung für die Implementierung von Fig. 3 und Fig. 16 zeigt eine entsprechende Darstellung für die Implementierung von Fig. 4(b), also für die angenäherte bzw. modifizierte Bessel-Gewichtung, wobei gute Übereinstimmungen zu sehen sind, jedoch mit einer gesamten Lautsprecher-Array-Impedanz, die optimal von handelsüblichen bzw. für die Impedanz eines Einzellautsprechers konfigurierten Lautsprecher-Verstärkern getrieben werden kann.

[0043] Fig. 17 zeigt eine Isobaren-Darstellung der gemessenen Abstrahlcharakteristik eines linienförmigen Arrays aus fünf Lautsprechern mit originaler Bessel-Gewichtung entlang der Array-Ausdehnung. Es sei darauf hingewiesen, dass die 0°-Linie der Hauptstrahlrichtung entspricht, also der 90°-Linie von z.B. Fig. 16. Ferner zeigt die Isobaren-Darstellung die Abweichung auf einer bestimmten Grad-Koordinate bezogen auf den Schalldruck auf der 0-Koordinate, und zwar für Frequenzen von 319,9 bis 20.000 Hz. Aus einem Vergleich von Fig. 18 und Fig. 17 ist ersichtlich, dass das erfindungsgemäße Array von Fig. 4(b) zwar die Isobaren-Darstellung des idealen Bessel-Arrays von Fig. 17 nicht komplett nachbildet, jedoch sehr gut annähert.

[0044] Nachfolgend werden weitere Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung dargestellt.

[0045] Wie es anhand von diversen Figuren bereits dargestellt worden ist, werden die beiden im zweiten Parallelzweig parallel geschalteten Einzellautsprecher, wie beispielsweise 1 und 5 in Fig. 3 oder die entsprechenden Lautsprecher von Fig. 5 bzw. Fig. 8 an den Array-Enden eines Linien-Arrays angeordnet. Ferner wird es bevorzugt, die Gegenpolung zumindest beim 5-Lautsprecher-Array dadurch zu erreichen, dass die beiden im ersten Parallelzweig 110a angeordneten Lautsprecher entgegengesetzt gepolt sind.

[0046] Bei einer Implementierung hat jeder Einzellautsprecher eine Impedanz, wobei die Impedanzen der Einzellautsprecher gleich sind oder um höchstens 20 % von einem Mittelwert aller Impedanzen der Einzellautsprecher abweichen. Vorzugsweise sind jedoch die zumindest Nenn-Impedanzen der Einzellautsprecher gleich, obgleich herstellungsbedingte Abweichungen natürlich nicht auszuschließen sind. Selbst jedoch bei relativ moderat abweichenden Lautsprecher-Impedanzen der Einzellautsprecher, also abweichenden Impedanzen kann immer noch ein guter Gesamtimpedanzwert des Arrays erreicht werden, der für übliche Lautsprecher-Verstärker geeignet ist.

[0047] Darüber hinaus sind bei den dargestellten Arrays und auch bei größeren Arrays die im ersten Parallelzweig angeordneten in Serie geschalteten Einzellautsprecher und auch der im zweiten Parallelzweig angeordnete in Serie geschaltete Einzellautsprecher, wie beispielsweise die Einzellautsprecher 2, 3, 4 in Fig. 3 oder Fig. 4(b), in der Array-Linie an inneren Positionen angeordnet und werden jeweils von einem weiteren, typischerweise parallel geschalteten Einzellautsprecher, wie beispielsweise 1 und 5, im Array nach außen hin benachbart.

[0048] Typische Lautsprecherimpedanzen liegen bei 4 bis 8 Ω . Es wird jedoch bevorzugt, auch für die vorliegende Erfindung Einzellautsprecher einzusetzen, deren Impedanzen größer oder gleich 2,5 Ω oder kleiner oder gleich 12 Ω sind.

[0049] Wie es z.B. anhand von Fig. 1(a) beschrieben worden ist, sind die Einzellautsprecher in dem ersten Parallelzweig und dem zweiten Parallelzweig so verschaltet und in dem Array zueinander angeordnet, dass sich wenigstens eine annähernde Bessel-Gewichtung für das Lautsprecher-Array ergibt. Die angenäherte Bessel-Gewichtung besagt beispielsweise, dass in Fig. 2 der Wert 0,75 den Gewichtungsfaktor 1 annähert oder dass der Wert -0,75 den Gewichtungsfaktor -1 annähert, etc. Weitere Serien/Parallelschaltungen mit dem Ziel von mittleren Gesamtimpedanzen sind jedoch ebenfalls für Fachleute insbesondere für größere Arrays im Hinblick auf die vorliegende Darstellung erkennbar.

[0050] Wie es in Fig. 5 gezeigt ist, umfasst das entsprechend größere Array im Vergleich zu Fig. 3 den zusätzlichen Lautsprecher im zweiten Parallelzweig 500, der eine Gewichtung von 0,8 hat. Das wiederum größere Array ist in Fig. 8 gezeigt und umfasst, im Vergleich zur Fig. 5, zusätzlich zu dem in Fig. 5 ebenfalls vorhandenen Lautsprecher 500 im ersten Parallelzweig den zusätzlichen Lautsprecher 800.

[0051] Bei einem Verfahren zum Herstellen eines Lautsprecher-Arrays werden in einem Schritt die Einzellautsprecher

in einem Lautsprecher-Array angeordnet. Darüber hinaus werden die Einzellautsprecher so verschaltet, dass sich die beschriebene Parallelschaltung von Parallelzweigen ergibt, woraufhin die verschalteten Lautsprecher mit einem Lautsprecher-Verstärker, der typischerweise und vorzugsweise für die Impedanz eines Einzellautsprechers optimiert bzw. konfiguriert ist, getrieben werden.

Patentansprüche

1. Array aus elektroakustischen Aktoren, mit folgenden Merkmalen:

wenigstens fünf elektroakustischen Aktoren (101, 102, 103, 104, 105),
wobei die elektroakustischen Aktoren so verschaltet sind, dass in einem ersten Parallelzweig (110a) wenigstens zwei elektroakustische Aktoren in Serie geschaltet sind, und dass in einem zweiten Parallelzweig (110b) ein elektroakustischer Aktor in Serie zu einer Parallelschaltung von zwei elektroakustischen Aktoren geschaltet ist, wobei der erste Parallelzweig parallel zu dem zweiten Parallelzweig geschaltet ist, und wobei die parallel geschalteten Parallelzweige (110a, 110b) ausgebildet sind, um von einem Aktor-Verstärker (112) getrieben zu werden, oder
wobei die elektroakustischen Aktoren so verschaltet sind, dass in einem ersten Serienzweig (110c) wenigstens zwei elektroakustische Aktoren parallel geschaltet sind, und dass in einem zweiten Serienzweig (110d) ein elektroakustischer Aktor parallel zu einer Serienschaltung von zwei elektroakustischen Aktoren geschaltet ist, wobei der erste Serienzweig in Serie zu dem zweiten Serienzweig geschaltet ist, und wobei die seriell geschalteten Serienzweige (110c, 110d) ausgebildet sind, um von einem Aktor-Verstärker (112) getrieben zu werden.

2. Array nach Anspruch 1,

bei dem das Array eine Array-Linie aufweist, und
bei dem die elektroakustischen Aktoren der Parallelschaltung (101, 105) im zweiten Parallelzweig (110b) an den Enden der Array-Linie angeordnet sind, wobei pro Array-Ende ein elektroakustischer Aktor angeordnet ist, oder
bei dem die elektroakustischen Aktoren der Serienschaltung (101, 105) im zweiten Serienzweig (110d) an den Enden der Array-Linie angeordnet sind, wobei pro Array-Ende ein elektroakustischer Aktor angeordnet ist.

3. Array nach Anspruch 1 oder 2,

bei dem ein elektroakustischer Aktor in dem ersten Parallelzweig bezüglich einem weiteren Lautsprecher in dem ersten Parallelzweig (110a) entgegengesetzt gepolt ist, oder
bei dem ein elektroakustischer Aktor in dem ersten Serienzweig bezüglich einem weiteren Lautsprecher in dem ersten Serienzweig (110c) entgegengesetzt gepolt ist.

4. Array nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

bei dem jeder elektroakustische Aktor eine Impedanz hat, wobei die Impedanzen der elektroakustischen Aktoren gleich sind oder die Impedanz eines elektroakustischen Aktors um höchstens 20 % von einem Mittelwert aller Impedanzen der elektroakustischen Aktoren abweicht.

5. Array nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

bei dem ein in Serie geschalteter elektroakustischer Aktor im ersten Parallelzweig (110a) und ein in Serie geschalteter elektroakustischer Aktor im zweiten Parallelzweig (110b) in einer Array-Linie des elektroakustischen Aktors an inneren Positionen der Array-Linie angeordnet sind, oder
bei dem ein parallel geschalteter elektroakustischer Aktor im ersten Serienzweig (110c) und ein parallel geschalteter elektroakustischer Aktor im zweiten Serienzweig (110d) in einer Array-Linie des elektroakustischen Aktors an inneren Positionen der Array-Linie angeordnet sind.

6. Array nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

bei dem Impedanzen der elektroakustischen Aktoren größer oder gleich $2,5 \Omega$ oder kleiner oder gleich 12Ω sind.

7. Array nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

bei dem die elektroakustischen Aktoren in dem ersten Parallelzweig und in dem zweiten Parallelzweig so verschaltet sind, und in dem Array so zueinander angeordnet sind, dass sich eine wenigstens annähernde Bessel-Gewichtung für das Lautsprecher-Array ergibt, oder
bei dem die elektroakustischen Aktoren in dem ersten Serienzweig und in dem zweiten Serienzweig so verschaltet

sind, und in dem Array so zueinander angeordnet sind, dass sich eine wenigstens annähernde Bessel-Gewichtung für das Lautsprecher-Array ergibt.

8. Array nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

bei dem das Lautsprecher-Array eine Array-Linie mit fünf Lautsprechern aufweist, die in aufsteigender Nummerierung entlang der Array-Linie angeordnet sind, wobei der erste elektroakustische Aktor und der fünfte elektroakustische Aktor in dem zweiten Parallelzweig parallel geschaltet sind oder in dem zweiten Serienzweig seriell geschaltet sind, wobei der dritte elektroakustische Aktor in dem ersten Parallelzweig oder in dem zweiten Parallelzweig angeordnet ist, wobei der vierte elektroakustische Aktor in dem zweiten Parallelzweig bzw. in dem ersten Parallelzweig ist, oder wobei der dritte elektroakustische Aktor in dem ersten Serienzweig oder in dem zweiten Serienzweig angeordnet ist, wobei der vierte elektroakustische Aktor in dem zweiten Serienzweig bzw. in dem ersten Serienzweig ist, und wobei der zweite elektroakustische Aktor in dem ersten Parallelzweig oder dem ersten Serienzweig ist.

9. Array nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

bei dem das Lautsprecher-Array sechs elektroakustische Aktoren aufweist, wobei in dem zweiten Parallelzweig ein weiterer elektroakustischer Aktor (500) zu dem elektroakustischen Aktor, der in Serie zu der Parallelschaltung geschaltet ist, in Serie geschaltet ist, oder wobei in dem zweiten Serienzweig ein weiterer elektroakustischer Aktor (500) zu dem elektroakustischen Aktor, der parallel zu der Serienschaltung geschaltet ist, seriell geschaltet ist.

10. Array nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 7,

bei dem das Lautsprecher-Array sieben elektroakustische Aktoren aufweist, wobei im ersten Parallelzweig (110a) ein weiterer elektroakustischer Aktor (800) vorhanden ist, so dass in dem ersten Parallelzweig drei elektroakustische Aktoren in Serie geschaltet sind, oder wobei im ersten Serienzweig (110c) ein weiterer elektroakustischer Aktor (800) vorhanden ist, so dass in dem ersten Serienzweig drei elektroakustische Aktoren parallel geschaltet sind.

11. Array nach Anspruch 9 oder 10,

bei dem die parallel geschalteten elektroakustischen Aktor im zweiten Parallelzweig an Enden des Lautsprecher-Arrays angeordnet sind, bei dem an einem mittleren Platz des Lautsprecher-Arrays kein elektroakustischer Aktor angeordnet ist oder ein inaktiver Aktor oder ein Aktor mit einem Emissionspegel von weniger als 10 % des am geringsten emittierenden Aktors von dem Array angeordnet ist, und bei dem einer der seriell geschalteten elektroakustischen Aktoren im ersten oder zweiten Parallelzweig gegenüber einem anderen elektroakustischen Aktor der Serienschaltung in dem Parallelzweig entgegengesetzt gepolt ist, oder bei dem die seriell geschalteten elektroakustischen Aktor im zweiten Serienzweig an Enden des Lautsprecher-Arrays angeordnet sind, bei dem an einem mittleren Platz des Lautsprecher-Arrays kein elektroakustischer Aktor angeordnet ist oder ein inaktiver Aktor oder ein Aktor mit einem Emissionspegel von weniger als 10 % des am geringsten emittierenden Aktors von dem Array angeordnet ist, und bei dem einer der parallel geschalteten elektroakustischen Aktoren im ersten oder zweiten Serienzweig gegenüber einem anderen elektroakustischen Aktor der Parallelschaltung in dem Serienzweig entgegengesetzt gepolt ist.

12. Array nach Anspruch 9, 10, oder 11

bei dem die zwei elektroakustischen Aktoren in dem ersten Parallelzweig (110a) und die zwei elektroakustischen Aktoren in dem zweiten Parallelzweig an jeweiligen inneren Positionen des Lautsprecher-Arrays, jedoch nicht in der Mitte des Lautsprecher-Arrays angeordnet sind, oder bei dem die zwei elektroakustischen Aktoren in dem ersten Serienzweig (110c) und die zwei elektroakustischen Aktoren in dem zweiten Serienzweig (110d) an jeweiligen inneren Positionen des Lautsprecher-Arrays, jedoch nicht in der Mitte des Lautsprecher-Arrays angeordnet sind.

13. Array nach Anspruch 10,

bei dem das Lautsprecher-Array neun Positionen aufweist, wobei an einer vierten Position und an einer sechsten Position des Lautsprecher-Arrays kein elektroakustischer Aktor angeordnet ist oder ein inaktiver elektroakustischer Aktor angeordnet ist, und wobei die elektroakustischen Aktoren, die an einer zweiten oder fünften Position des Lautsprecher-Arrays angeordnet sind, zu anderen in Serie geschalteten elektroakustischen Aktoren entgegengesetzt gepolt sind, oder wobei

die elektroakustischen Aktoren, die an einer zweiten oder fünften Position des Lautsprecher-Arrays angeordnet sind, zu anderen parallel geschalteten elektroakustischen Aktoren entgegengesetzt gepolt sind.

14. Array nach Anspruch 13,

bei dem die elektroakustischen Aktoren, die im ersten Parallelzweig und im zweiten Parallelzweig seriell geschaltet sind, an jeweiligen inneren Positionen des Lautsprecher-Arrays angeordnet sind, oder
bei dem die elektroakustischen Aktoren, die im ersten Serienzweig und im zweiten Serienzweig parallel geschaltet sind, an jeweiligen inneren Positionen des Lautsprecher-Arrays angeordnet sind.

15. Array nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

bei dem das Lautsprecher-Array ein Flächen-Array ist, das aus mehreren Linien-Arrays von elektroakustischen Aktoren besteht,
wobei jedes Linien-Array den ersten Parallelzweig und den zweiten Parallelzweig bzw. den ersten Serienzweig und den zweiten Serienzweig aufweist, und
wobei die elektroakustischen Aktoren der Linien-Arrays so verschaltet sind, dass eine wenigstens annähernde Bessel-Gewichtung für das Lautsprecher-Array erhalten wird.

16. Array nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

bei dem der Lautsprecher-Verstärker bzw. Aktoren-Verstärker (112) in einem Nennbetrieb für eine Lautsprecher-Eingangsimpedanz ausgebildet ist, die zwischen einem 0,8-fachen und einem 2-fachen einer Einzelimpedanz der elektroakustischen Aktoren liegt.

17. Verfahren zum Herstellen eines Arrays aus elektroakustischen Aktoren, mit folgenden Schritten:

Anordnen der elektroakustischen Aktoren in einem Array (100); und
Verschalten der elektroakustischen Aktoren so,
dass in einem ersten Parallelzweig (110a) wenigstens zwei elektroakustische Aktoren in Serie geschaltet sind, und dass in einem zweiten Parallelzweig (110b) ein elektroakustischer Aktor in Serie zu einer Parallelschaltung von zwei elektroakustischen Aktoren geschaltet ist, wobei der erste Parallelzweig parallel zu dem zweiten Parallelzweig geschaltet ist, oder
dass in einem ersten Serienzweig (110c) wenigstens zwei elektroakustische Aktoren parallel geschaltet sind, und dass in einem zweiten Serienzweig (110d) ein elektroakustischer Aktor parallel zu einer Serienschaltung von zwei elektroakustischen Aktoren geschaltet ist, wobei der erste Serienzweig in Serie zu dem zweiten Serienzweig geschaltet ist; und
dass die verschalteten elektroakustischen Aktoren mit einem Aktor-Verstärker (112) treibbar sind.

Claims

1. An array of electroacoustic actuators, comprising:

at least five electroacoustic actuators (101, 102, 103, 104, 105),
wherein the electroacoustic actuators are connected such that, in a first parallel branch (110a), at least two electroacoustic actuators are connected in series and, in a second parallel branch (110b), an electroacoustic actuator is connected in series to a parallel connection of two electroacoustic actuators,
wherein the first parallel branch is connected in parallel to the second parallel branch, and
wherein the parallel branches (110a, 110b) connected in parallel are configured to be driven by an actuator amplifier (112), or
wherein the electroacoustic actuators are connected such that, in a first serial branch (110c), at least two electroacoustic actuators are connected in parallel and, in a second serial branch (110d), an electroacoustic actuator is connected in parallel to a serial connection of two electroacoustic actuators,
wherein the first serial branch is connected in series to the second serial branch, and
wherein the serial branches (110c, 110d) connected in series are configured to be driven by an actuator amplifier (112).

2. The array in accordance with claim 1,

wherein the array comprises an array line, and
wherein the electroacoustic actuators of the parallel connection (101, 105) in the second parallel branch (110b) are

arranged at the ends of the array line, one electroacoustic actuator being arranged per array end, or wherein the electroacoustic actuators of the series connection (101, 105) in the second serial branch (110d) are arranged at the ends of the array line, one electroacoustic actuator being arranged per array end.

- 5 **3.** The array in accordance with claim 1 or 2,
 wherein an electroacoustic actuator in the first parallel branch is of opposite polarity relative to another loudspeaker in the first parallel branch (110a), or
 wherein an electroacoustic actuator in the first serial branch is of opposite polarity relative to another loudspeaker in the first serial branch (110c).
 10
- 4.** The array in accordance with any of the preceding claims,
 wherein each electroacoustic actuator exhibits an impedance, the impedances of the electroacoustic actuators being equal or the impedance of an electroacoustic actuator deviating by at most 20 % from a mean value of all the impedances of the electroacoustic actuators.
 15
- 5.** The array in accordance with any of the preceding claims,
 wherein an electroacoustic actuator connected in series in the first parallel branch (110a) and an electroacoustic actuator connected in series in the second parallel branch (110b) are arranged at inner positions of an array line in the array line of the electroacoustic actuator, or
 20 wherein an electroacoustic actuator connected in parallel in the first serial branch (110c) and an electroacoustic actuator connected in parallel in the second serial branch (110d) are arranged at inner positions of an array line in the array line of the electroacoustic actuator.
- 6.** The array in accordance with any of the preceding claims,
 25 wherein impedances of the electroacoustic actuators are greater than or equal to $2.5\ \Omega$ or smaller than or equal to $12\ \Omega$.
- 7.** The array in accordance with any of the preceding claims,
 wherein the electroacoustic actuators in the first parallel branch and in the second parallel branch are connected and arranged in the array to one another such that an at least approximated Bessel weighting results for the loudspeaker array, or
 30 wherein the electroacoustic actuators in the first serial branch and in the second serial branch are connected and arranged in the array to one another such that an at least approximated Bessel weighting results for the loudspeaker array.
- 8.** The array in accordance with any of the preceding claims,
 wherein the loudspeaker array comprises an array line of five loudspeakers, which are arranged in ascending numbering along the array line,
 wherein the first electroacoustic actuator and the fifth electroacoustic actuator are connected in parallel in the second parallel branch or are connected in series in the second serial branch,
 40 wherein the third electroacoustic actuator is arranged in the first parallel branch or in the second parallel branch, wherein the fourth electroacoustic actuator is in the second parallel branch or in the first parallel branch, or wherein the third electroacoustic actuator is arranged in the first serial branch or in the second serial branch, wherein the fourth electroacoustic actuator is in the second serial branch or in the first serial branch, and
 wherein the second electroacoustic actuator is in the first parallel branch or the first serial branch.
 45
- 9.** The array in accordance with any of claims 1 to 7,
 wherein the loudspeaker array comprises six electroacoustic actuators, wherein, in the second parallel branch, another electroacoustic actuator (500) is connected in series to the electroacoustic actuator which is connected in series to the parallel connection, or
 50 wherein, in the second serial branch, another electroacoustic actuator (500) is connected in series to the electroacoustic actuator which is connected in parallel to the serial connection.
- 10.** The array in accordance with any of the preceding claims 1 to 7,
 wherein the loudspeaker array comprises seven electroacoustic actuators, wherein there is another electroacoustic actuator (800) in the first parallel branch (110a) such that three electroacoustic actuators are connected in series in the first parallel branch, or
 55 wherein there is another electroacoustic actuator (800) in the first serial branch (110c) such that three electroacoustic actuators are connected in parallel in the first serial branch.

11. The array in accordance with claim 9 or 10,
 wherein the electroacoustic actuators connected in parallel, in the second parallel branch, are arranged at ends of the loudspeaker array,
 wherein no electroacoustic actuator is arranged at a central position of the loudspeaker array, or an inactive actuator
 5 or an actuator comprising an emission level of less than 10 % of that actuator emitting the least among the array, and
 wherein one of the electroacoustic actuators connected in series in the first or second parallel branch is of opposite polarity compared to another electroacoustic actuator of the series connection in the parallel branch, or
 wherein the electroacoustic actuators connected in series, in the second serial branch, are arranged at ends of the loudspeaker array,
 10 wherein no electroacoustic actuator is arranged at a central position of the loudspeaker array, or an inactive actuator or an actuator with an emission level of less than 10 % of that actuator emitting the least among the array, and
 wherein one of the electroacoustic actuators connected in parallel in the first or second serial branch is of opposite polarity compared to another electroacoustic actuator of the parallel connection in the serial branch.

12. The array in accordance with claim 9, 10 or 11,
 wherein the two electroacoustic actuators in the first parallel branch (110a) and the two electroacoustic actuators in the second parallel branch are arranged at respective inner positions of the loudspeaker array, but not in the center of the loudspeaker array, or
 20 wherein the two electroacoustic actuators in the first serial branch (110c) and the two electroacoustic actuators in the second serial branch (110d) are arranged at respective inner positions of the loudspeaker array, but not in the center of the loudspeaker array.

13. The array in accordance with claim 10,
 wherein the loudspeaker array comprises nine positions, wherein no electroacoustic actuator or an inactive electroacoustic actuator is arranged at a fourth position and at a sixth position of the loudspeaker array, and
 25 wherein the electroacoustic actuators arranged at a second or fifth position of the loudspeaker array are of opposite polarity compared to other electroacoustic actuators connected in series, or wherein the electroacoustic actuators arranged at a second or fifth position of the loudspeaker array are of opposite polarity compared to other electroacoustic actuators connected in parallel.
 30

14. The array in accordance with claim 13,
 wherein the electroacoustic actuators connected in series in the first parallel branch and in the second parallel branch are arranged at respective inner positions of the loudspeaker array, or
 wherein the electroacoustic actuators connected in parallel in the first serial branch and in the second serial branch
 35 are arranged at respective inner positions of the loudspeaker array.

15. The array in accordance with any of the preceding claims,
 wherein the loudspeaker array is an area array including several line arrays of electroacoustic actuators,
 wherein each line array comprises the first parallel branch and the second parallel branch or the first serial branch
 40 and the second serial branch, and
 wherein the electroacoustic actuators of the line arrays are connected such that an at least approximated Bessel weighting for the loudspeaker array is obtained.

16. The array in accordance with any of the preceding claims,
 45 wherein the actuator amplifier or actuators amplifier (112), in nominal operation, is configured for an actuator input impedance which is between 0.8 times and 2 times an individual impedance of the electroacoustic actuators.

17. A method of producing an array of electroacoustic actuators, comprising:

50 arranging the electroacoustic actuators in an array (100);
 connecting the electroacoustic actuators such that:

in a first parallel branch (110a), at least two electroacoustic actuators are connected in series and, in a second parallel branch (110b), an electroacoustic actuator is connected in series to a parallel connection
 55 of two electroacoustic actuators, the first parallel branch being connected in parallel to the second parallel branch, or

in a first serial branch (110c), at least two electroacoustic actuators are connected in parallel and, in a second serial branch (110d), an electroacoustic actuator is connected in parallel to a serial connection of

two electroacoustic actuators, the first serial branch being connected in series to the second serial branch;
and
the connected electroacoustic actuators can be driven using an actuator amplifier (112).

5

Revendications

1. Réseau d'actionneurs électro-acoustiques, aux caractéristiques suivantes:

10 au moins cinq actionneurs électro-acoustiques (101, 102, 103, 104, 105),
dans lequel les actionneurs électro-acoustiques sont raccordés de sorte que dans une première branche pa-
rallèle (110a) au moins deux actionneurs électro-acoustiques soient connectés en série, et que dans une
deuxième branche parallèle (110b) un actionneur électro-acoustique soit connecté en série à une connexion
15 en parallèle de deux actionneurs électro-acoustiques,
dans lequel la première branche parallèle est connectée en parallèle à la deuxième branche parallèle, et
dans lequel les branches parallèles connectées en parallèle (110a, 110b) sont réalisées pour être entraînées
par un amplificateur d'actionneur (112), ou
dans lequel les actionneurs électro-acoustiques sont connectés de sorte que dans une première branche série
(110c) au moins deux actionneurs électro-acoustiques soient connectés en parallèle, et que dans une deuxième
20 branche série (110d) un actionneur électro-acoustique soit connecté en parallèle à une connexion en série de
deux actionneurs électro-acoustiques,
dans lequel la première branche série est connectée en série à la deuxième branche série, et
dans lequel les branches série connectées en série (110c, 110d) sont réalisées pour être entraînées par un
amplificateur d'actionneur (112).

25

2. Réseau selon la revendication 1,
dans lequel le réseau présente un réseau en ligne, et
dans lequel les actionneurs électro-acoustiques de la connexion en parallèle (101, 105) dans la deuxième branche
parallèle (110b) sont disposés aux extrémités du réseau en ligne, où par extrémité de réseau est disposé un
30 actionneur électro-acoustique, ou
dans lequel les actionneurs électro-acoustiques de la connexion en série (101, 105) dans la deuxième branche
série (110d) sont disposés aux extrémités du réseau en ligne, où par extrémité de réseau est disposé un actionneur
électro-acoustique.

35

3. Réseau selon la revendication 1 ou 2,
dans lequel un actionneur électro-acoustique dans la première branche parallèle est polarisé de manière opposée
par rapport à un autre haut-parleur dans la première branche parallèle (110a), ou
dans lequel un actionneur électro-acoustique dans la première branche série est polarisé de manière opposée par
rapport à un autre haut-parleur dans la première branche série (110c).

40

4. Réseau selon l'une des revendications précédentes,
dans lequel chaque actionneur électro-acoustique a une impédance, où l'impédance des actionneurs électro-acous-
tiques sont identiques ou l'impédance d'un actionneur électro-acoustique diffère de tout au plus 20% d'une valeur
moyenne de toutes les impédances des actionneurs électro-acoustiques.

45

5. Réseau selon l'une des revendications précédentes,
dans lequel un actionneur électro-acoustique connecté en série dans la première branche parallèle (110a) et un
actionneur électro-acoustique connecté en série dans la deuxième branche parallèle (110b) dans un réseau en
ligne de l'actionneur électro-acoustique sont disposés à des positions intérieures du réseau en ligne, ou
50 dans lequel un actionneur électro-acoustique connecté en parallèle dans la première branche série (110c) et un
actionneur électro-acoustique connecté en parallèle dans la deuxième branche série (110d) dans un réseau en
ligne de l'actionneur électro-acoustique sont disposés à des positions intérieures du réseau en ligne.

55

6. Réseau selon l'une des revendications précédentes,
dans lequel les impédances des actionneurs électro-acoustiques sont supérieures ou égales à 2,5 Q ou inférieures
ou égales à 12 Ω .

7. Réseau selon l'une des revendications précédentes,

dans lequel les actionneurs électro-acoustiques dans la première branche parallèle et dans la deuxième branche parallèle sont connectés et disposés l'un par rapport à l'autre dans le réseau de sorte qu'il s'ensuive une pondération de Bessel au moins approximative pour le réseau de haut-parleurs, ou

dans lequel les actionneurs électro-acoustiques dans la première branche série et dans la deuxième branche série sont connectés et disposés l'un par rapport à l'autre dans le réseau de sorte qu'il s'ensuive une pondération de Bessel au moins approximative pour le réseau de haut-parleurs.

8. Réseau selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le réseau de haut-parleurs présente un réseau en ligne avec cinq haut-parleurs qui sont disposés selon un ordre de numérotation croissant le long du réseau en ligne, dans lequel le premier actionneur électro-acoustique et le cinquième actionneur électro-acoustique dans la deuxième branche parallèle sont connectés en parallèle ou sont connectés en série dans la deuxième branche série, dans lequel le troisième actionneur électro-acoustique est disposé dans la première branche parallèle ou dans la deuxième branche parallèle, dans lequel le quatrième actionneur électro-acoustique est disposé dans la deuxième branche parallèle ou dans la première branche parallèle, ou dans lequel le troisième actionneur électro-acoustique est disposé dans la première branche série ou dans la deuxième branche série, dans lequel le quatrième actionneur électro-acoustique est disposé dans la deuxième branche série ou dans la première branche série, et dans lequel le deuxième actionneur électro-acoustique est disposé dans la première branche parallèle ou dans la première branche série.

9. Réseau selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le réseau de haut-parleurs présente six actionneurs électro-acoustiques, dans lequel, dans la deuxième branche parallèle, un autre actionneur électro-acoustique (500) est connecté en série à l'actionneur électro-acoustique qui est connecté en série à la connexion en parallèle, ou dans lequel, dans la deuxième branche série, un autre actionneur électro-acoustique (500) est connecté en série à l'actionneur électro-acoustique qui est connecté en parallèle à la connexion en série.

10. Réseau selon l'une des revendications précédentes 1 à 7, dans lequel le réseau de haut-parleurs présente sept actionneurs électro-acoustiques, où est présent, dans la première branche parallèle (110a), un autre actionneur électro-acoustique (800), de sorte que dans la première branche parallèle soient connectés en série trois actionneurs électro-acoustiques, ou dans lequel est présent, dans la première branche série (110c), un autre actionneur électro-acoustique (800), de sorte que dans la première branche série soient connectés en parallèle trois actionneurs électro-acoustiques.

11. Réseau selon la revendication 9 ou 10, dans lequel l'actionneur électro-acoustique connecté en parallèle est disposé dans la deuxième branche parallèle à des extrémités du réseau de haut-parleurs, dans lequel à un emplacement central du réseau de haut-parleurs n'est pas disposé d'actionneur électro-acoustique, ou est disposé un actionneur inactif ou un actionneur avec un niveau d'émission de moins de 10% de l'actionneur à l'émission la plus basse du réseau, et dans lequel l'un des actionneurs électro-acoustiques connecté en série dans la première ou la deuxième branche parallèle est polarisé de manière opposée par rapport à un autre actionneur électro-acoustique de la connexion en série dans la branche parallèle, ou dans lequel l'actionneur électro-acoustique connecté en série est disposé dans la deuxième branche série à des extrémités du réseau de haut-parleurs, dans lequel à un emplacement central du réseau de haut-parleurs n'est pas disposé d'actionneur électro-acoustique, ou est disposé un actionneur inactif ou un actionneur avec une niveau d'émission de moins de 10% de l'actionneur à l'émission la plus basse du réseau, et dans lequel l'un des actionneurs électro-acoustiques connectés en parallèle dans la première ou la deuxième branche série est polarisé de manière opposée par rapport à un autre actionneur électro-acoustique de la connexion en parallèle dans la branche série.

12. Réseau selon la revendication 9, 10 ou 11 dans lequel les deux actionneurs électro-acoustiques dans la première branche parallèle (110a) et les deux actionneurs électro-acoustiques dans la deuxième branche parallèle sont disposés à des positions intérieures respectives du réseau de haut-parleurs, toutefois pas au centre du réseau de haut-parleurs, ou dans lequel les deux actionneurs électro-acoustiques dans la première branche série (110c) et les deux actionneurs électro-acoustiques dans la deuxième branche série (110d) sont disposés à des positions intérieures respectives

du réseau de haut-parleurs, toutefois pas au centre du réseau de haut-parleurs.

5 13. Réseau selon la revendication 10,
dans lequel le réseau de haut-parleurs présente neuf positions, où à une quatrième position et à une sixième position
du réseau de haut-parleurs est disposé aucun actionneur électro-acoustique ou un actionneur électro-acoustique
inactif, et
dans lequel les actionneurs électro-acoustiques qui sont disposées à une deuxième ou cinquième position du réseau
de haut-parleurs sont polarisées de manière opposée par rapport à d'autres actionneurs électro-acoustiques con-
nectés en série, ou dans lequel les actionneurs électro-acoustiques qui sont disposés à une deuxième ou cinquième
10 position du réseau de haut-parleurs sont polarisés de manière opposée par rapport à d'autres actionneurs électro-
acoustiques connectés en parallèle.

14. Réseau selon la revendication 13,
dans lequel les actionneurs électro-acoustiques qui sont connectés en série dans la première branche parallèle et
15 dans la deuxième branche parallèle sont disposés à des positions intérieures respectives du réseau de haut-parleurs,
ou
dans lequel les actionneurs électro-acoustiques qui sont connectés en parallèle dans la première branche série et
dans la deuxième branche série sont disposés à des positions intérieures respectives du réseau de haut-parleurs.

20 15. Réseau selon l'une des revendications précédentes,
dans lequel le réseau de haut-parleurs est un réseau de surface qui se compose de plusieurs réseaux en ligne
d'actionneurs électro-acoustiques,
dans lequel chaque réseau en ligne présente la première branche parallèle et la deuxième branche parallèle, ou la
première branche série et la deuxième branche série, et
25 dans lequel les actionneurs électro-acoustiques des rangées en ligne sont connectés de sorte que soit obtenue
une pondération de Bessel au moins approximative pour le réseau de haut-parleurs.

16. Réseau selon l'une des revendications précédentes,
dans lequel l'amplificateur de haut-parleur ou un amplificateur d'actionneur (112) est réalisé en fonctionnement
30 nominal pour une impédances d'entrée de haut-parleur qui est comprise entre 0,8 fois et 2 fois une impédances
individuelle des actionneurs électro-acoustiques.

17. Procédé de fabrication d'un réseau d'actionneurs électro-acoustiques, aux étapes suivantes consistant à:

35 disposer les actionneurs électro-acoustiques dans un réseau (100); et
connecter les actionneurs électro-acoustiques de sorte
que, dans une première branche parallèle (110a), au moins deux actionneurs électro-acoustiques soient con-
nectés en série, et que, dans une deuxième branche parallèle (110b), un actionneur électro-acoustique soit
connecté en série à une connexion en parallèle de deux actionneurs électro-acoustiques, où la première branche
40 parallèle est connectée en parallèle à la deuxième branche parallèle, ou
que, dans une première branche série (110c), au moins deux actionneurs électro-acoustiques soient connectés
en parallèle, et que, dans une deuxième branche série (110d), un actionneur électro-acoustique soit connecté
en parallèle à une connexion en série de deux actionneurs électro-acoustiques, où la première branche série
est connectée en série à la deuxième branche série; et
45 que les actionneurs électro-acoustiques connectés puissent être entraînés par un amplificateur d'actionneur
(112).

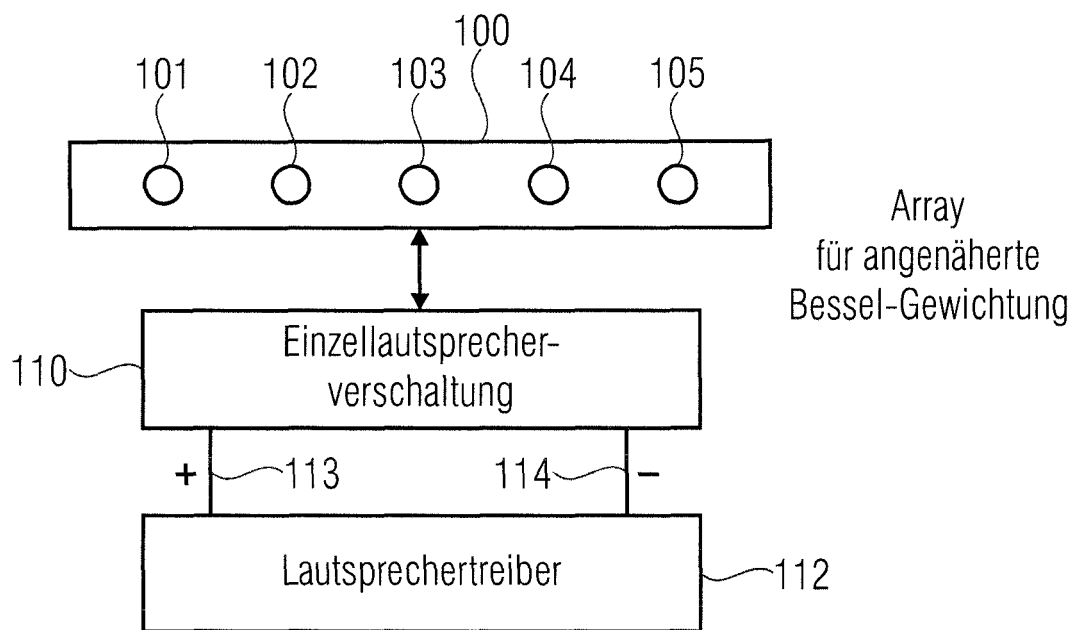


FIG 1A

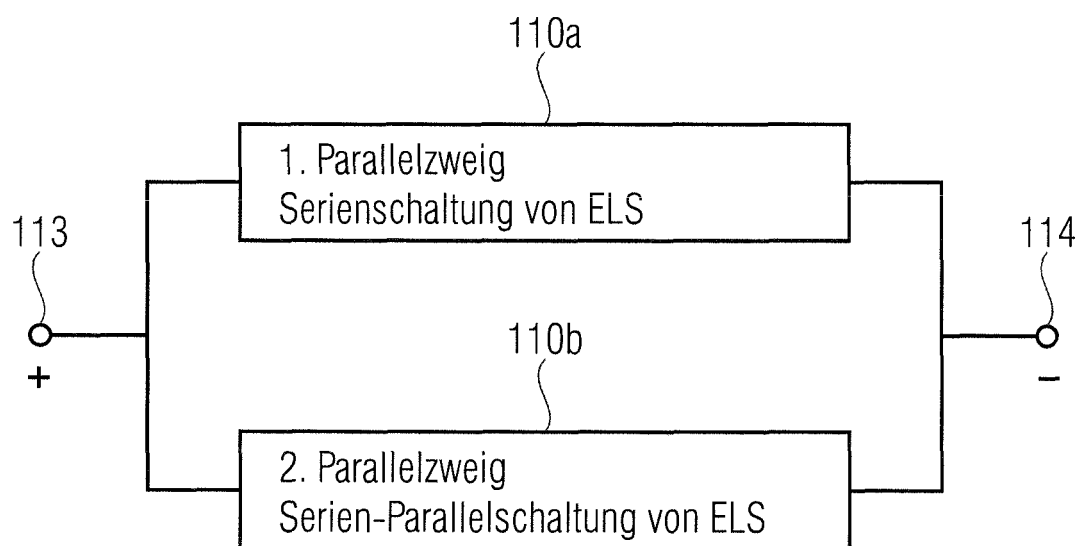


FIG 1B

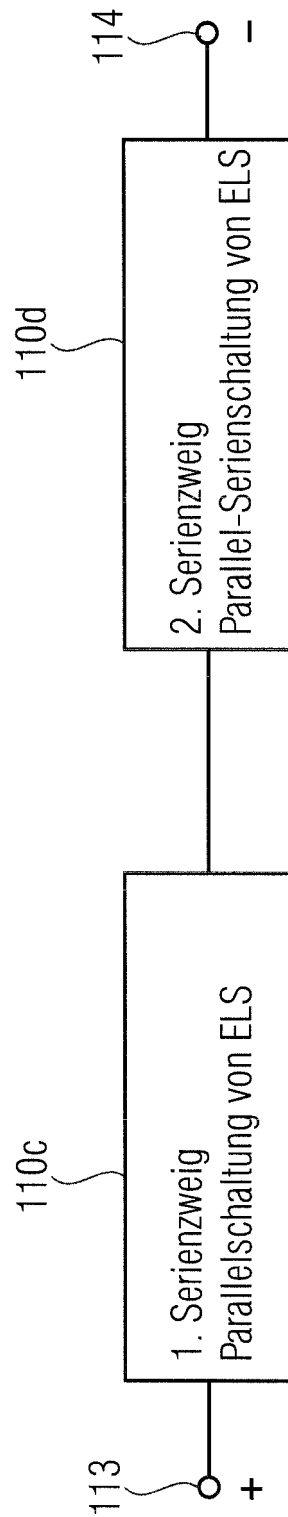


FIG 1C

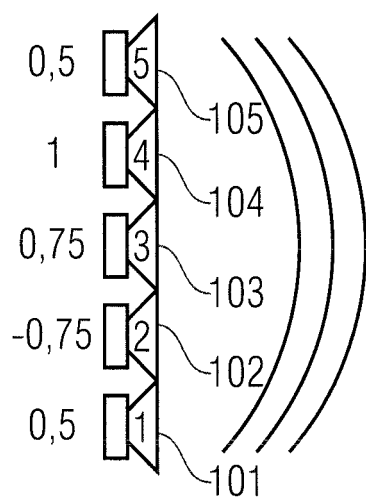


FIG 2

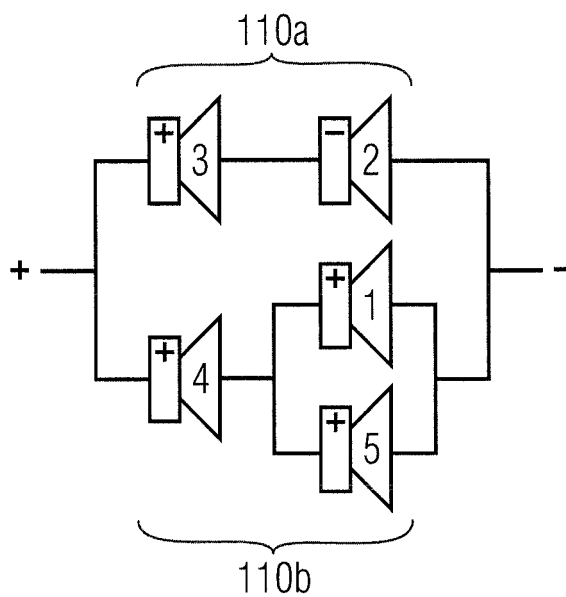


FIG 3

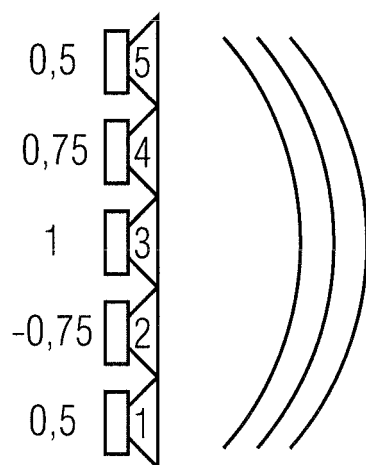


FIG 4A

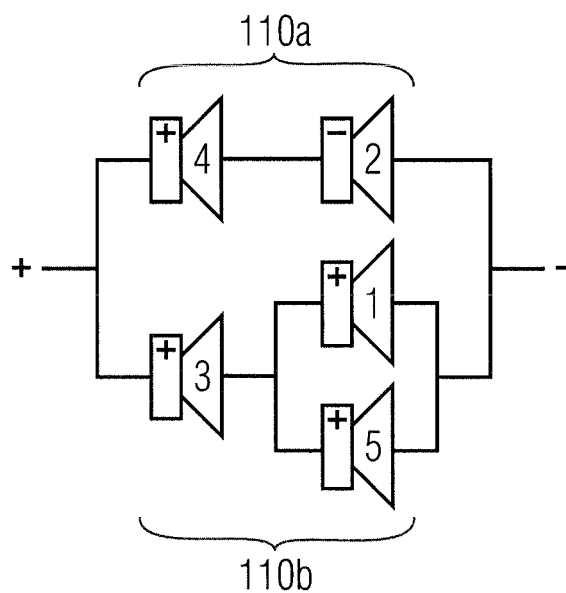


FIG 4B

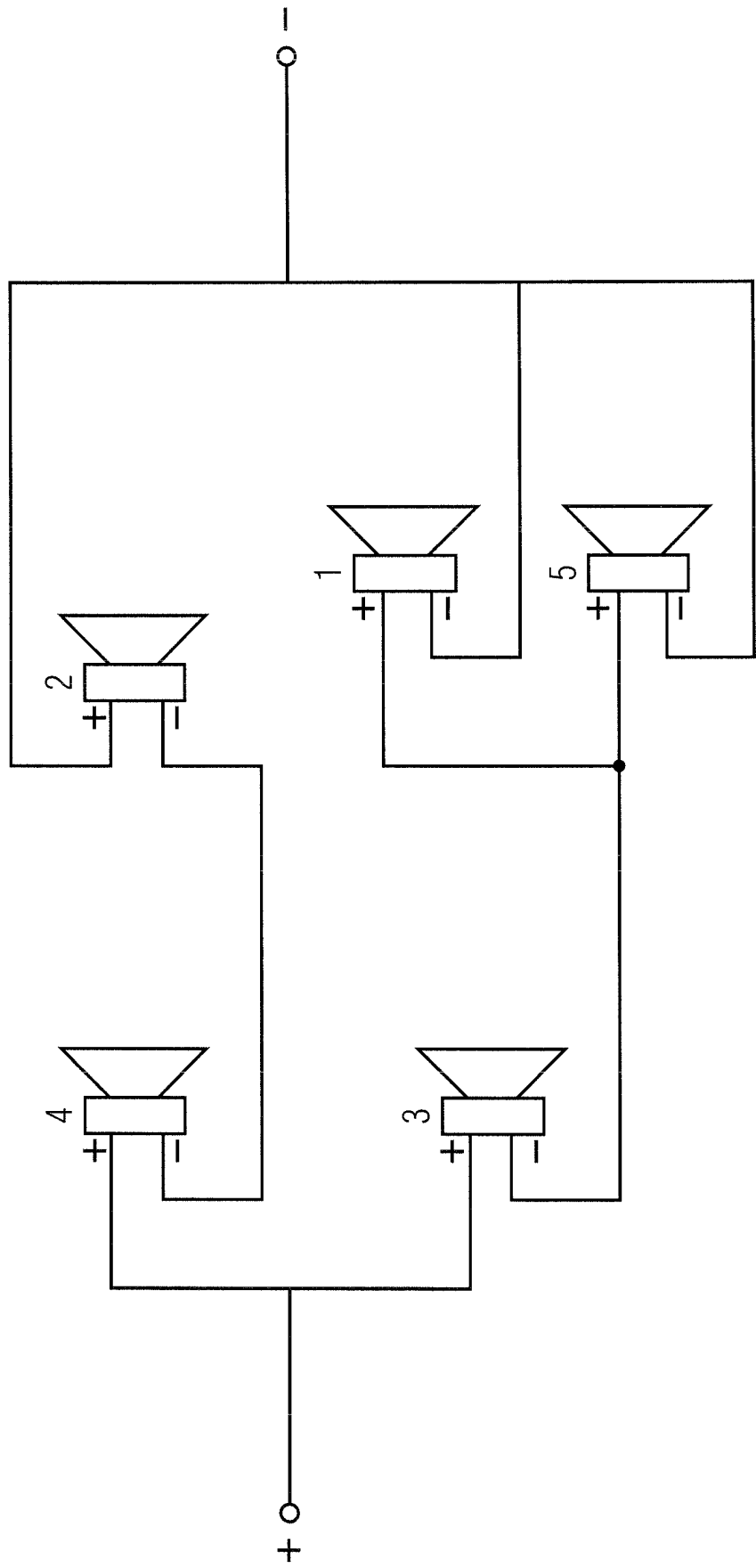


FIG 4C

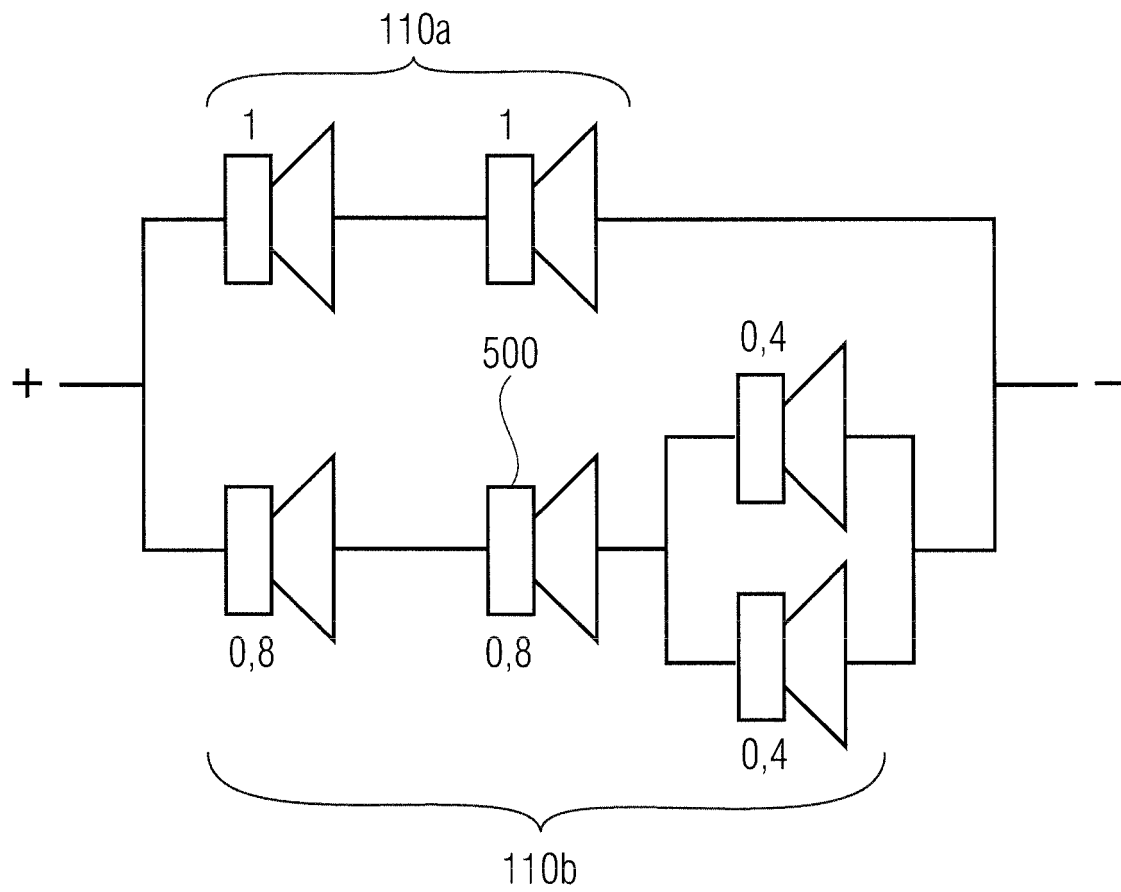


FIG 5

Position	1	2	3	4	5	6	7
Amplitudengewichtung	0,5 : 1 : 1 : 0 : 1 : 1 : 0,5 0,4 : 0,8 : 0,8 : 0 : 1 : 1 : 0,4, bzw. 0,4 : 0,8 : 1 : 0 : 0,8 : 1 : 0,4, bzw. 0,4 : 0,8 : 1 : 0 : 1 : 0,8 : 0,4, bzw. 0,4 : 1 : 0,8 : 0 : 0,8 : 1 : 0,4						
Phasengewichtung	0° : 0° : 180° : 0° : 0° : 0° 0° : 0° : 180° : 0° : 0° : 0°						
Gesamtimpedanz normiert auf Einzelimpedanz	1,111 Parallele Verschaltung: 0,22 Serielle Verschaltung: 4,5						

FIG 6

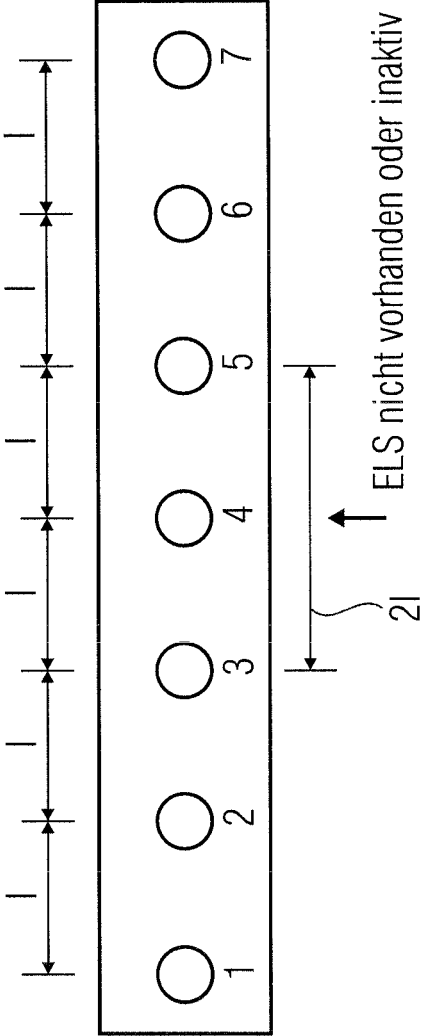


FIG 7

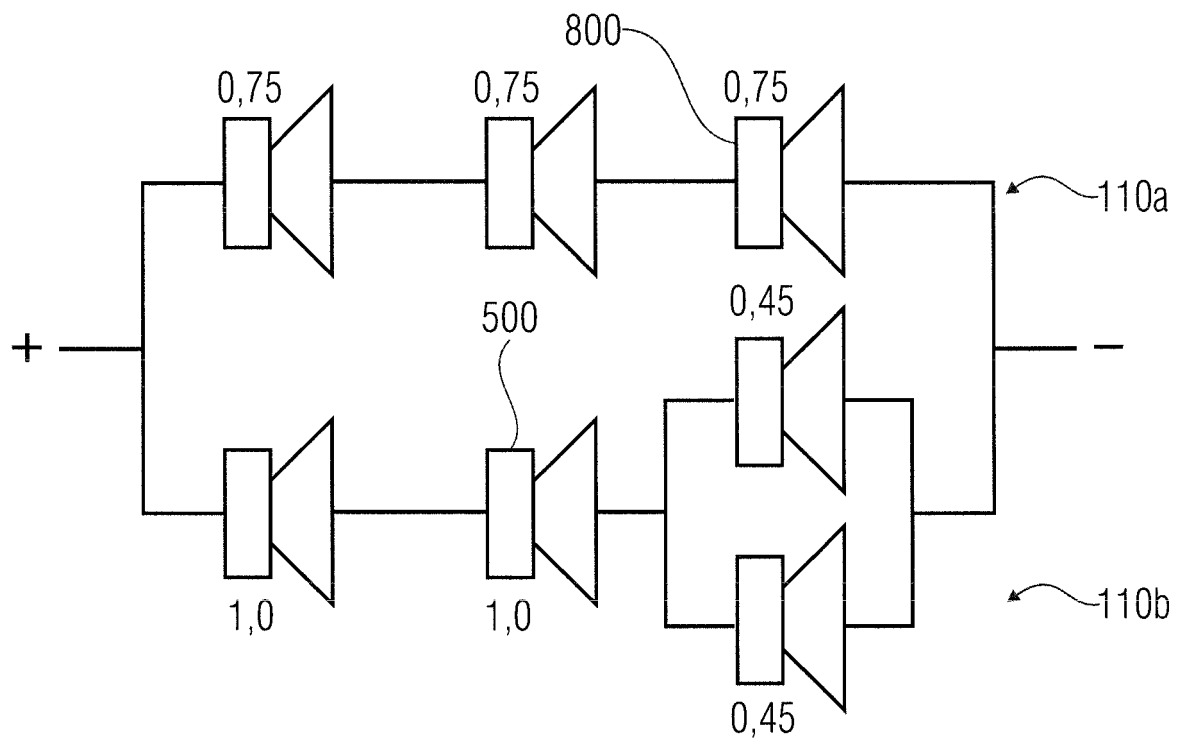


FIG 8

Position		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Amplitudengewichtung	0,5 : 1 : 1 : 0 : 1 : 0 : 1 : 1 : 0 : 1 : 0,5	0,45 : 1 : 1 : 0 : 0 : 0,75 : 0 : 0 : 0,75 : 0 : 0,45, bzw. 0,45 : 1 : 0,75 : 0 : 1 : 0 : 0 : 0,75 : 0 : 0,45, bzw. alle weiteren Kombinationen durch Variation der 0,75er- und 1er-Gewichtung								
Phasengewichtung	0° : 180° : 0° : 0° : 180° : 0° : 0° : 0° : 0°	0° : 180° : 0° : 0° : 0° : 180° : 0° : 0° : 0° : 0° : 0°								
Gesamtimpedanz normiert auf Einzelimpedanz	Parallele Verschaltung: 0,181818 Serielle Verschaltung: 5,5	1,363636								

FIG 9

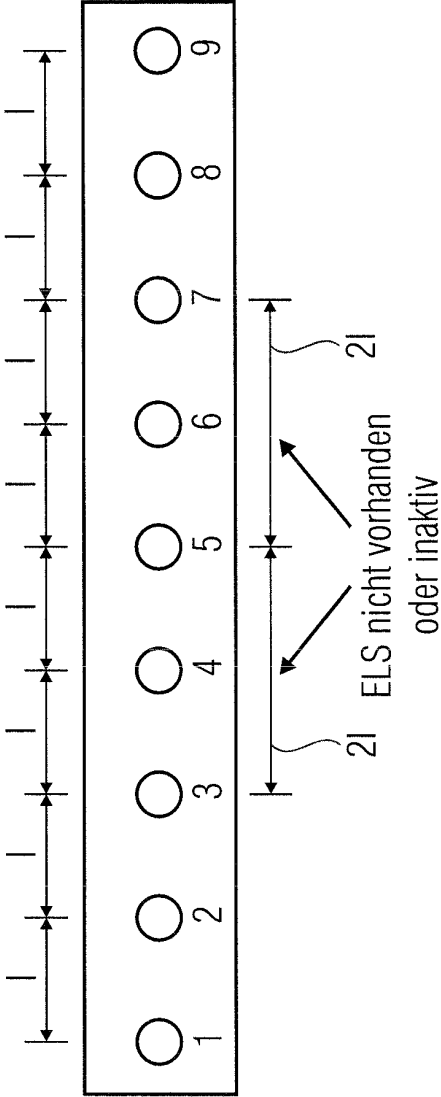


FIG 10

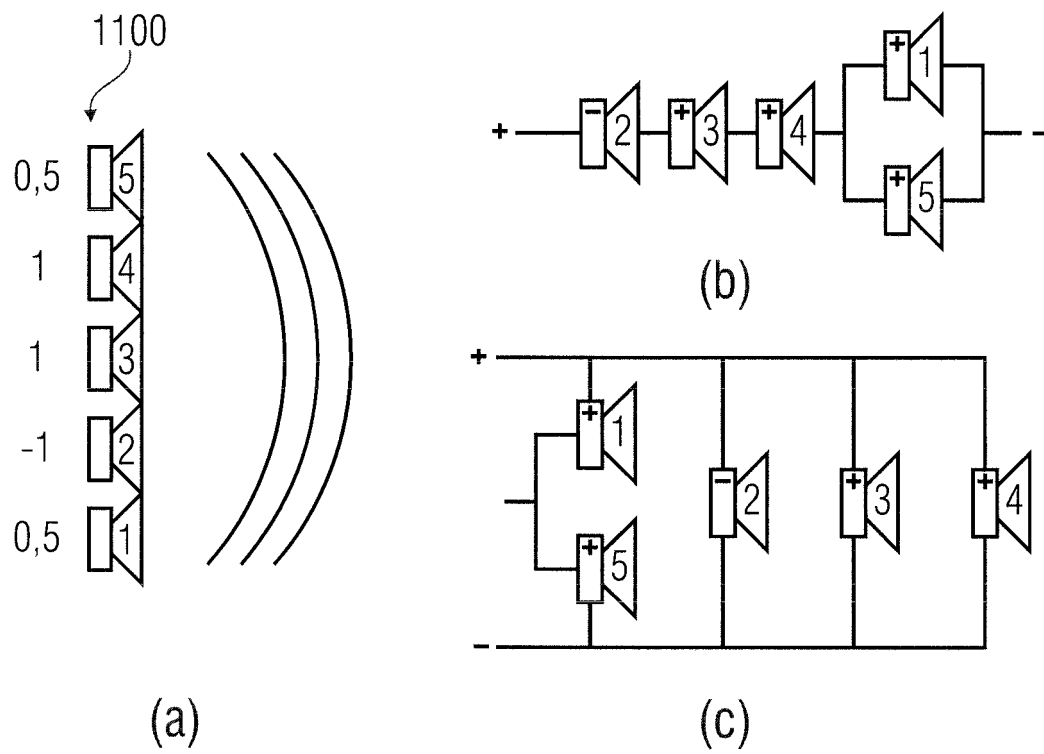


FIG 11
(STAND DER TECHNIK)

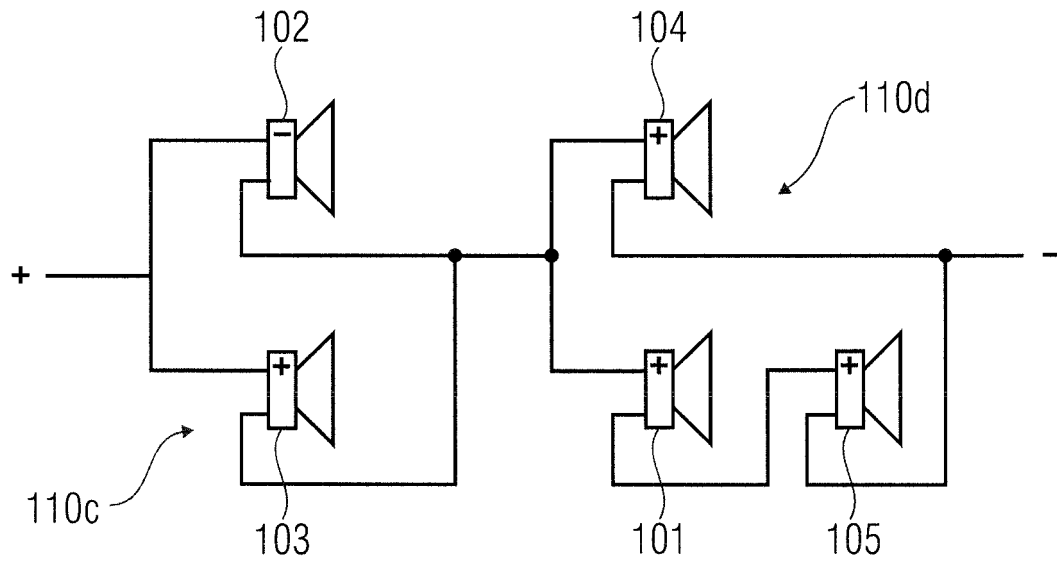


FIG 12A

Gewichtung

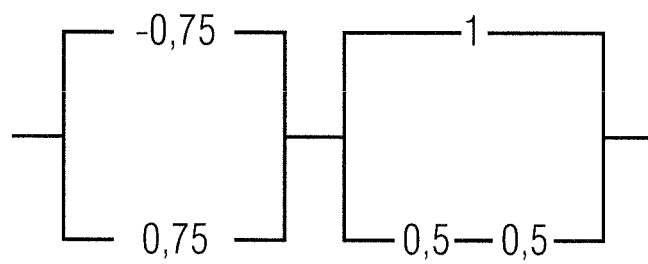


FIG 12B

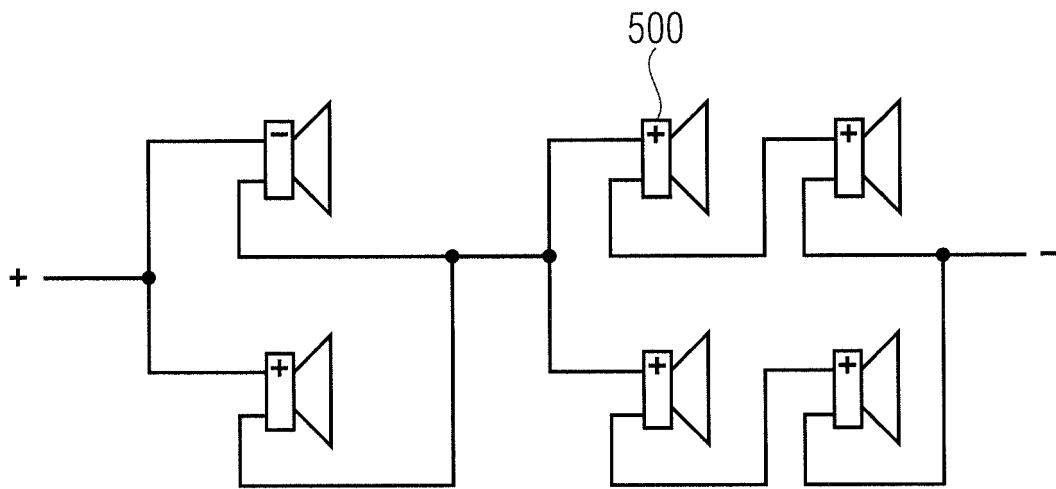


FIG 13A

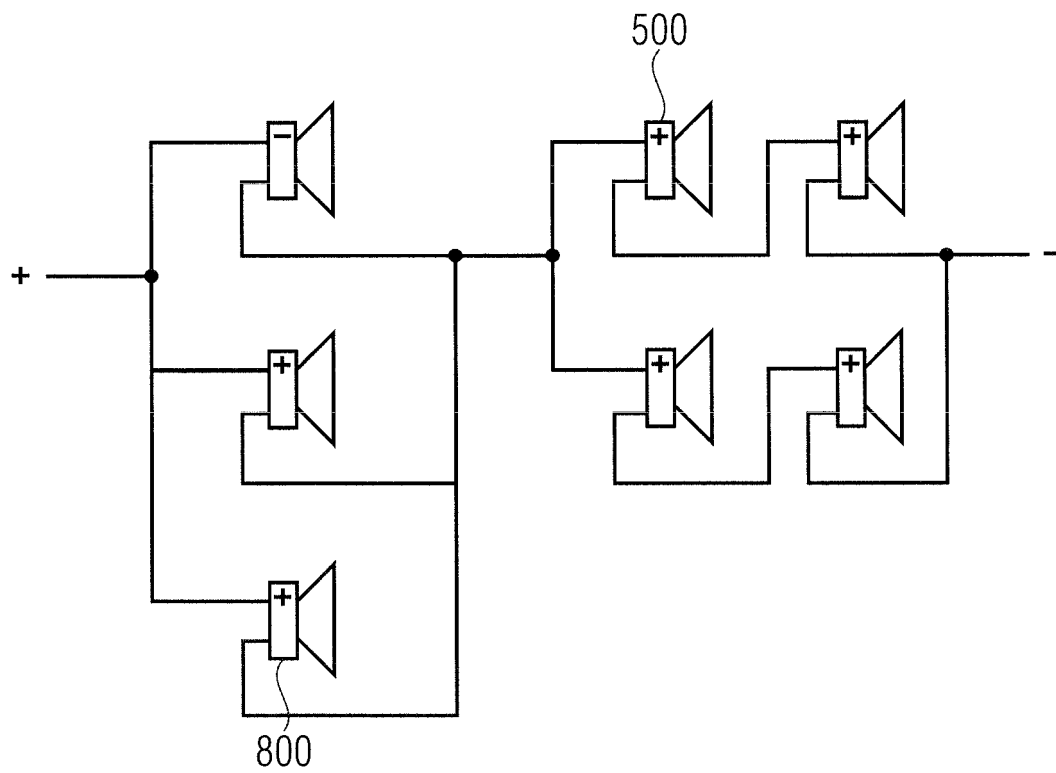
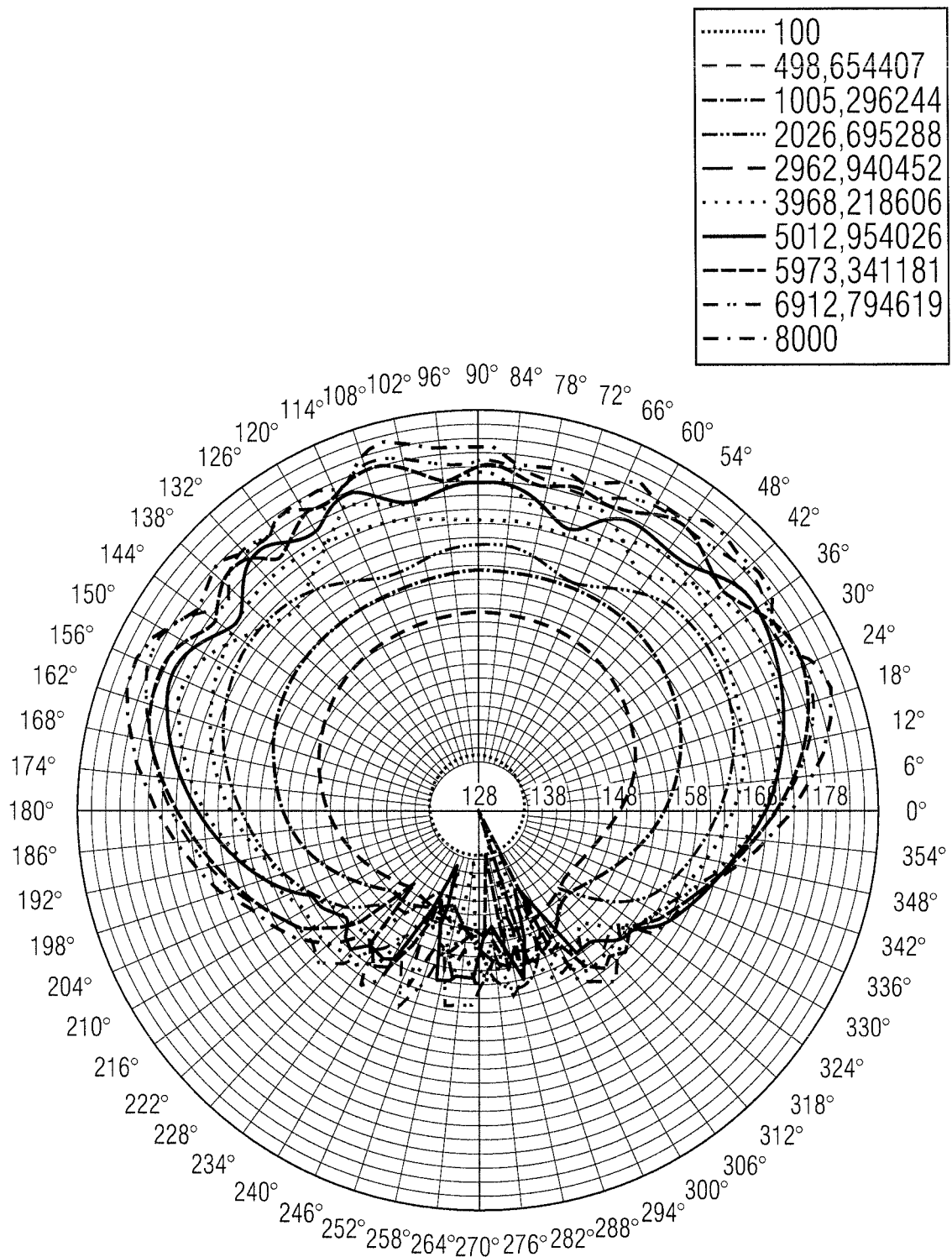
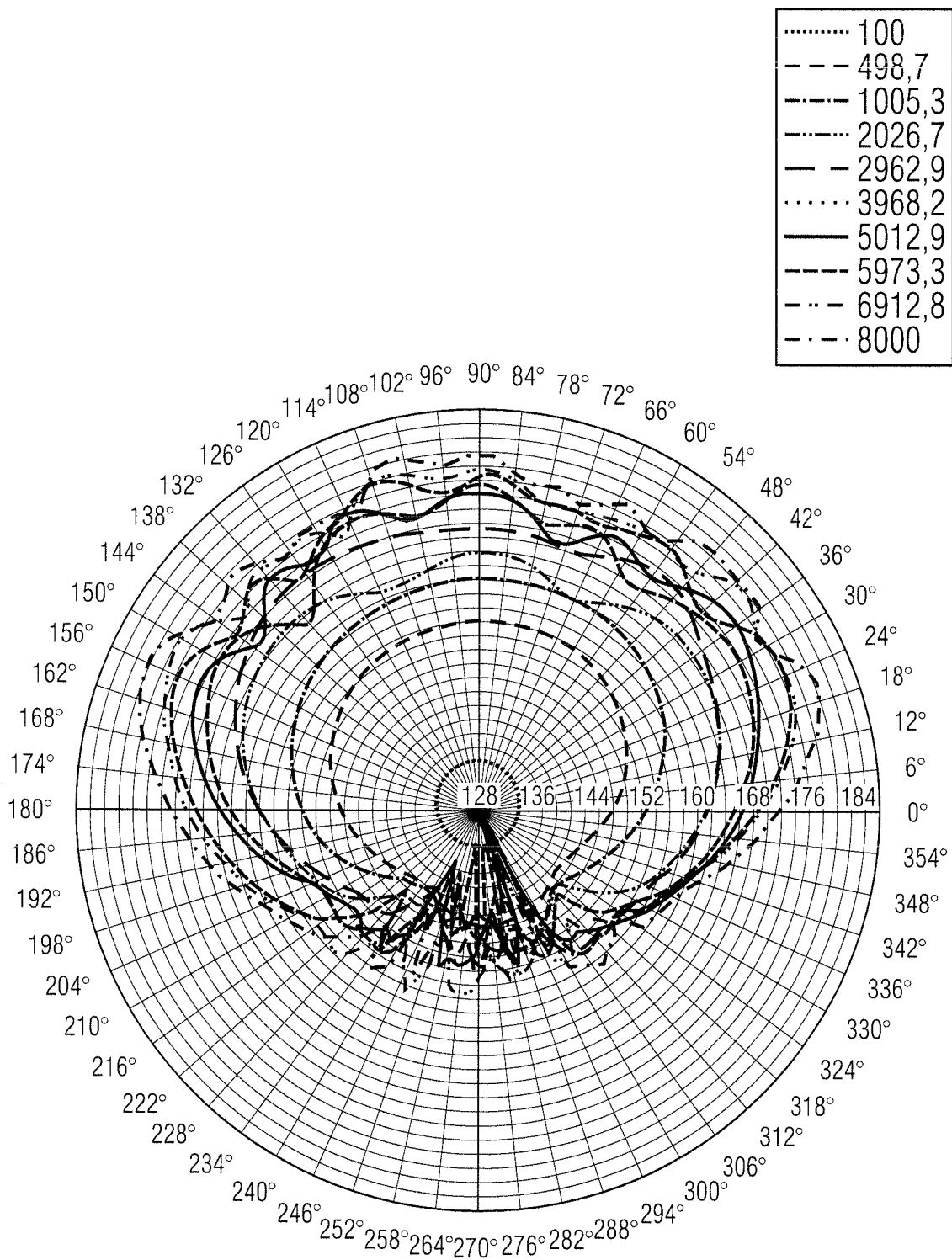


FIG 13B



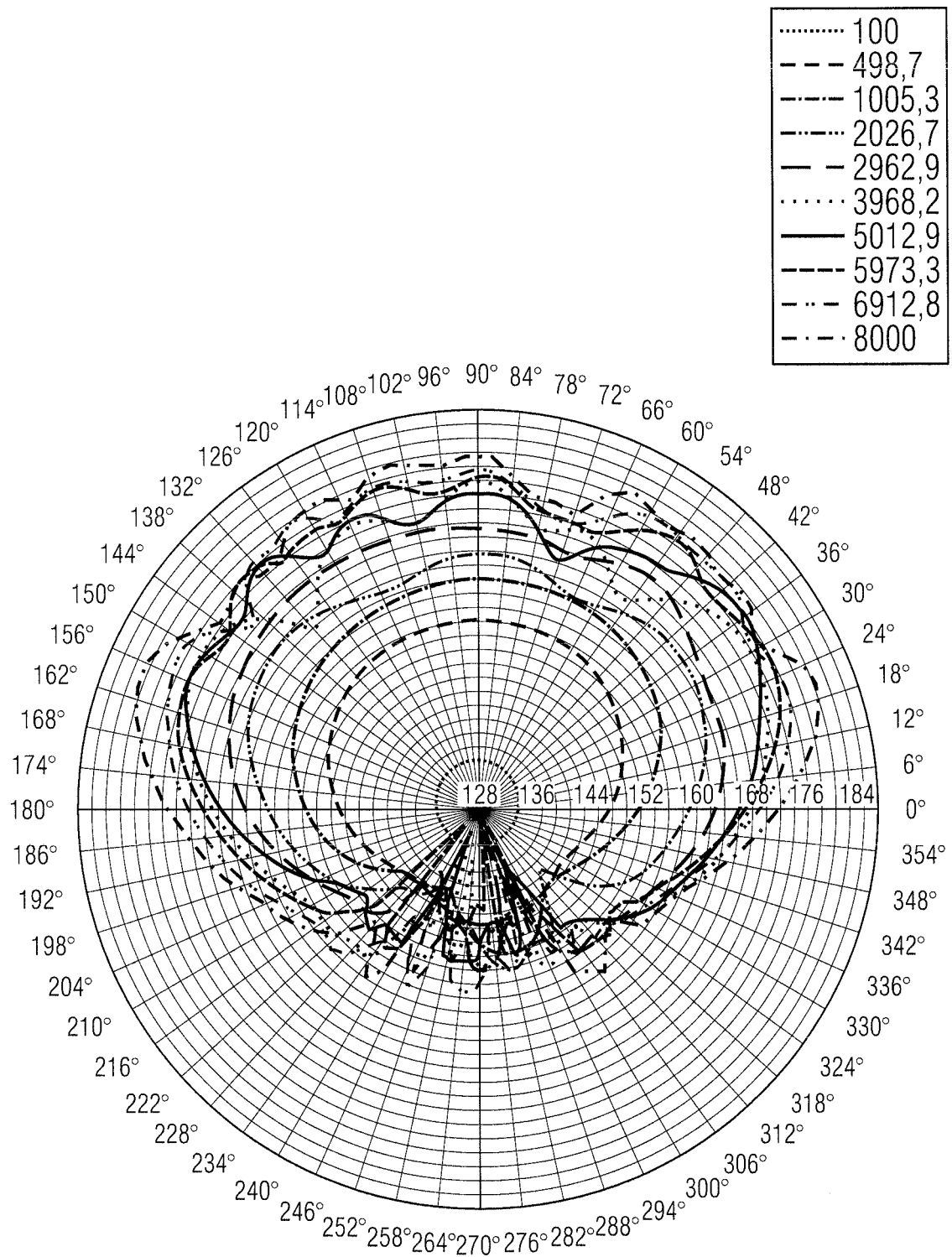
Simulierte Abstrahlcharakteristik eines linienförmigen Arrays aus
fünf Lautsprechern mit originaler Bessel-Gewichtung

FIG 14



Simulierte Abstrahlcharakteristik eines linienförmigen Arrays aus fünf Lautsprechern mit modifizierter Bessel-Gewichtung von FIG 3

FIG 15



Simulierte Abstrahlcharakteristik eines linienförmigen Arrays aus fünf Lautsprechern mit modifizierter Bessel-Gewichtung von FIG 4B

FIG 16

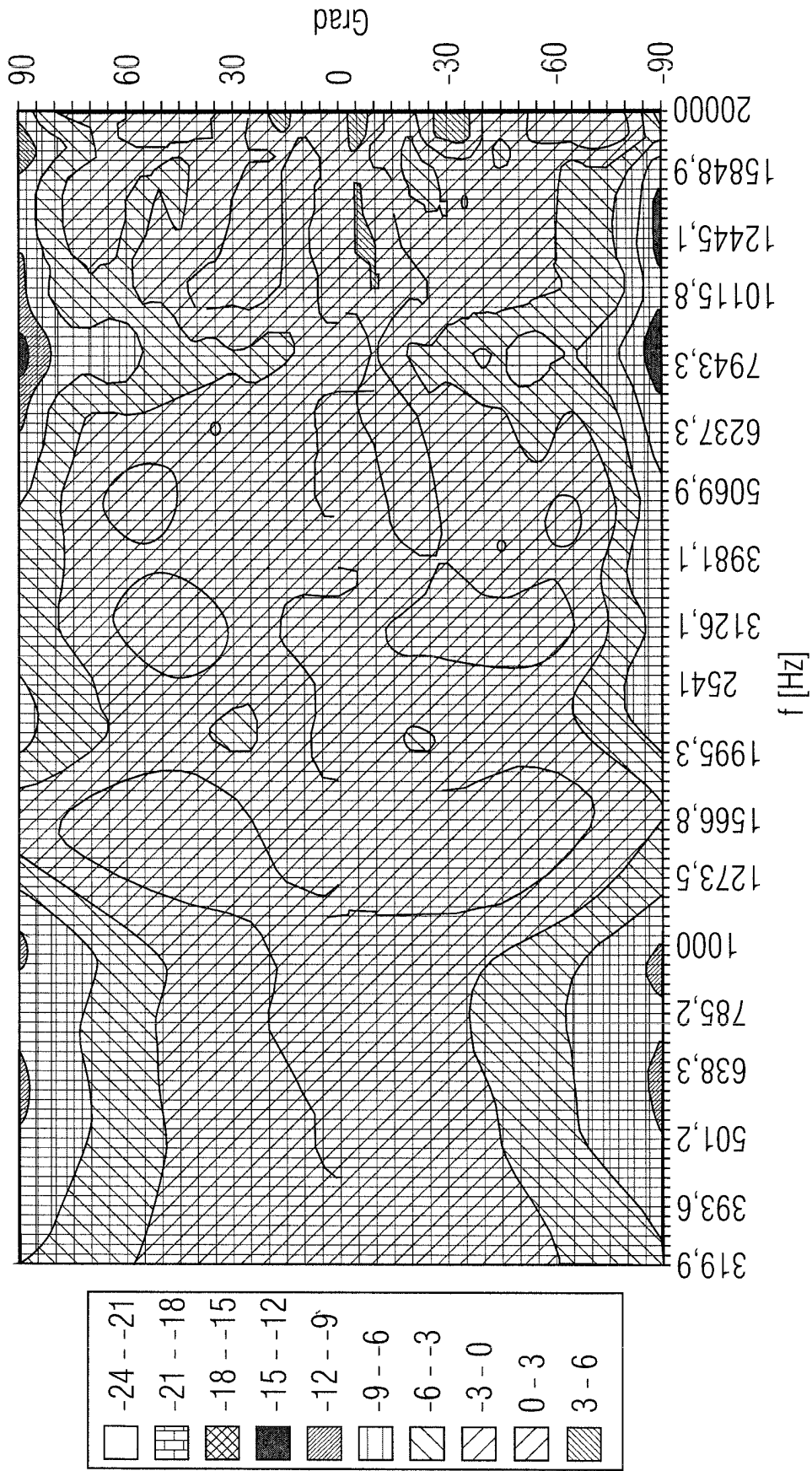
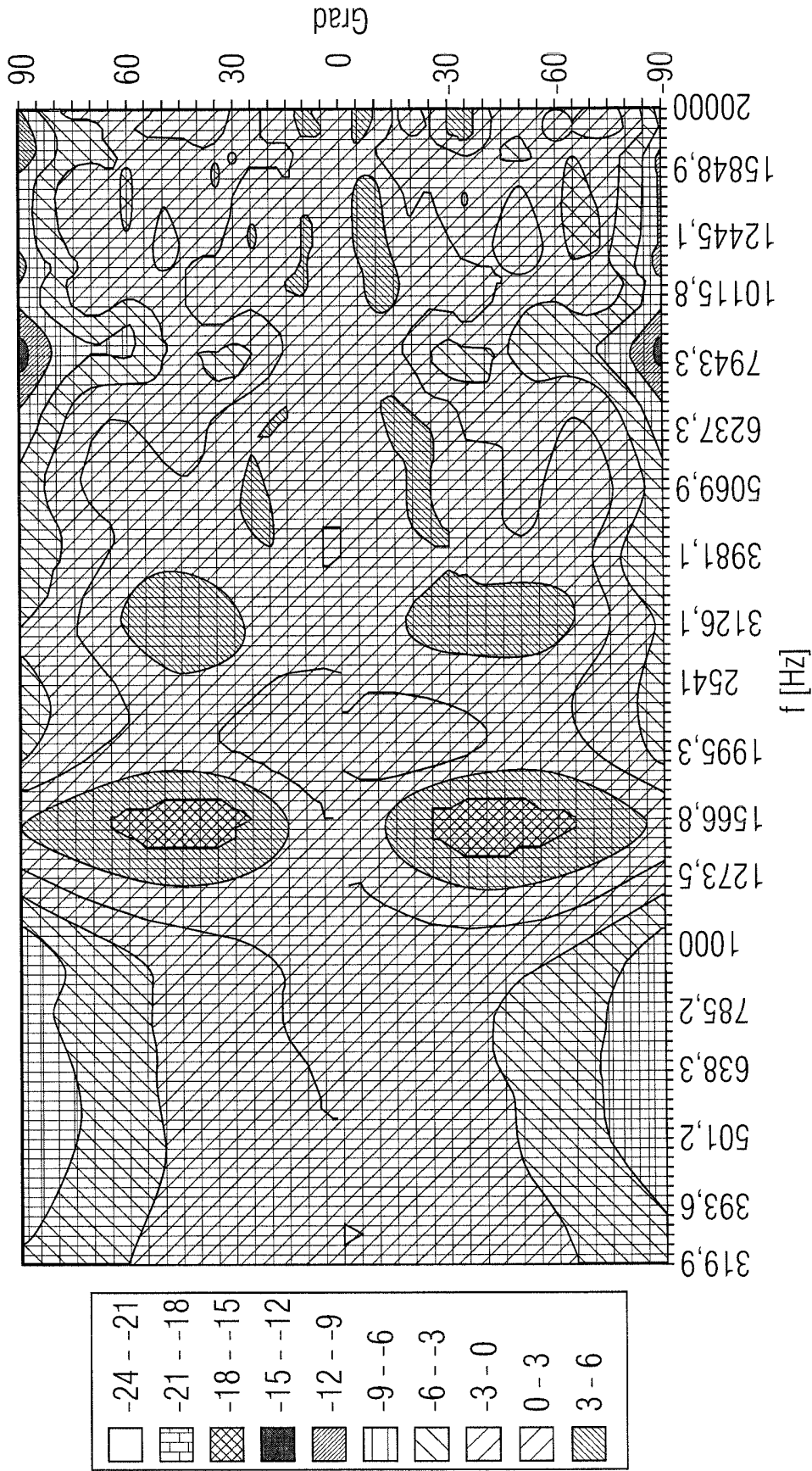


FIG 17



Isobaren-Darstellung der gemessenen Abstrahlcharakteristik eines linienförmigen Arrays aus fünf Lausprechern mit modifizierter Bessel-Gewichtung entlang der Array-Ausdehnung von FIG 4B

FIG 18

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0034844 A1 [0002]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **D. KEELE.** Effective Performance of Bessel-Arrays.
Journal of Audio Engineering Society, Oktober 1990,
vol. 38 (10), 723-748 [0028]