

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Numéro de publication: **0 335 892 B1**

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication de fascicule du brevet: **21.07.93** (51) Int. Cl.⁵: **H04R 1/22, H04R 1/28**

(21) Numéro de dépôt: **88900235.8**

(22) Date de dépôt: **11.12.87**

(86) Numéro de dépôt internationale :
PCT/FR87/00494

(87) Numéro de publication internationale :
WO 88/04513 (16.06.88 88/13)

(54) **PROCEDE DE CORRECTION DE LA REPONSE AMPLITUDE/FREQUENCE D'UN SYSTEME DE TRANSDUCTION ELECTRO-ACOUSTIQUE ET ENSEMBLE TRANSDUCTEUR CORRESPONDANT.**

(30) Priorité: **12.12.86 FR 8617423**

(43) Date de publication de la demande:
11.10.89 Bulletin 89/41

(45) Mention de la délivrance du brevet:
21.07.93 Bulletin 93/29

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH DE GB IT LI LU NL SE

(56) Documents cités:

CH-A- 558 119	FR-A- 2 135 089
FR-A- 2 304 237	FR-A- 2 418 990
GB-A- 1 403 354	US-A- 3 845 246
US-A- 3 858 679	US-A- 4 064 966
US-A- 4 276 446	US-A- 4 509 615

(73) Titulaire: **Eloise-Pillerault, Clément**
8-10 rue du Plateau
F-94700 Maisons-Alfort(FR)

Titulaire: **Benoit, Claude**
11, rue de Lorraine

F-92600 Asnières(FR)

Titulaire: **Benoit, Vincent**
11, rue de Lorraine
F-92600 Asnières(FR)

(72) Inventeur: **Eloise-Pillerault, Clément**
8-10 rue du Plateau
F-94700 Maisons-Alfort(FR)
Inventeur: **Benoit, Claude**
11, rue de Lorraine
F-92600 Asnières(FR)
Inventeur: **Benoit, Vincent**
11, rue de Lorraine
F-92600 Asnières(FR)

(74) Mandataire: **Rodhain, Claude et al**
Cabinet Claude Rodhain 30, rue la Boétie
F-75008 Paris (FR)

EP 0 335 892 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

L'invention concerne le domaine des transducteurs électro-acoustiques, notamment des systèmes de transduction constitués d'au moins un haut-parleur monté dans une enceinte acoustique résonnante, destinés à être branchés en sortie d'une source électrique de modulation pour restituer le signal sonore correspondant.

Plus précisément, l'invention a pour objet un procédé de correction de la réponse amplitude/fréquence de ce type de systèmes de transduction. Elle fournit également un nouveau système de transduction permettant de fonctionner selon le procédé inventé, ainsi que des modes d'utilisation préférentiels de l'ensemble transducteur nouveau.

ETAT DE LA TECHNIQUE

On connaît déjà des installations, telles celle du brevet US-A-3 845 246, dans lesquelles on met en oeuvre des haut-parleurs dits "de basses" dans des chambres scellées contigües présentant des fréquences de résonance différentes (30 Hz et 40 Hz dans le cas du document mentionné ci-dessus) ce qui permet de spécialiser chaque ensemble chambre + haut-parleur dans la reproduction de la zone correspondante de la gamme des fréquences audibles, zone dans laquelle leur niveau de reproduction respectif est maximal. Ces installations nécessitent la mise en oeuvre de haut-parleurs supplémentaires pour reproduire les fréquences plus élevées (depuis le bas-médium), puisque la réponse des haut-parleurs de basses est par construction limitée à la gamme des fréquences basses, ce qui conduit dans le cas de ce brevet à une coupure autour de 50 Hz à 60 Hz du côté des médiums. De plus, il reste à résoudre le problème de l'égalisation des niveaux sonores produits par chaque partie de l'installation spécialisée dans la reproduction d'une zone de la gamme des fréquences audibles.

Jusqu'à présent, le problème de l'égalisation de la réponse amplitude/fréquence des transducteurs électro-acoustiques, autrement dit du niveau de sortie du signal sonore en fonction de la fréquence, était résolu par l'emploi de circuits spécifiques actifs ou passifs, appelés égaliseurs. Il s'agit généralement de réseaux sélectifs, incorporés le plus souvent dans l'enceinte acoustique, et destinés à corriger le signal électrique d'entrée du transducteur, pour compenser les irrégularités de la réponse amplitude/fréquence des haut-parleurs.

Cette méthode d'égalisation est par exemple réalisée par utilisation de circuits passifs anti-résonnants insérés entre l'amplificateur et l'enceinte acoustique, et réalisant un affaiblissement sélectif

du signal de sortie de l'amplificateur.

Du fait que le principe de fonctionnement de ces égaliseurs connus consiste à assurer un affaiblissement dudit signal électrique, il en résulte que ces systèmes présentent l'inconvénient de diminuer le rendement de l'ensemble amplificateur + enceinte acoustique. L'affaiblissement doit être compensé par un surcroît d'amplification, et implique l'utilisation de composants travaillant à plus grande puissance, avec des exigences accrues de qualité pour éviter la distorsion.

Les filtres eux-mêmes sont un facteur de distorsion du signal, du fait de l'impossibilité de leur conférer une fonction de transfert parfaitement linéaire dans leur bande passante. Ils sont en outre sujets à des variations de leurs caractéristiques de réponse en fonction de la température ambiante, ou même de leur vieillissement.

De plus, l'utilisation de circuits d'égalisation amène des contraintes en ce qui concerne les caractéristiques du haut-parleur corrigé pour éviter les effets indirects défavorables, comme par exemple le désamortissement du haut-parleur (cf. "Technique de l'Ingénieur" ; E 2613-9 ; paragraphes 2, 32). De façon connue, l'égalisation de la courbe de réponse des transducteurs électro-acoustiques est également approchée en effectuant des choix précis sur les paramètres de l'enceinte, en relation avec les paramètres du ou des haut-parleurs montés dans l'enceinte.

La figure 3 représente la courbe de réponse non corrigée (courbe A) caractéristique des transducteurs connus, et la courbe de réponse après correction (courbe B), en utilisant les techniques connues, comme par exemple les techniques dites de "Thiele et Small". Il s'agit en général d'agir sur la fréquence de résonance, le coefficient de surtension, ou encore le volume équivalent (V_{as}) du haut-parleur, en relation avec des techniques d'amortissement des phénomènes acoustiques parasites d'enceintes, par exemple par bourrage de ses parois internes à l'aide d'un matériau "d'étouffement" (laine de verre).

Or, on constate à la lecture de la courbe résultante B après correction, que ces techniques connues abaissent le niveau de la puissance sonore restituée par le transducteur : cet affaiblissement peut atteindre jusqu'à 5 dB et davantage, ce qui est considérable.

D'autre part, ces techniques connues n'ont pas un effet homogène sur la totalité du spectre de fréquence, du fait que les phénomènes d'affaiblissement cycliques introduits par les transducteurs sont très différents dans le domaine des basses fréquences (inférieures à 300 Hz) par rapport aux fréquences supérieures. Les techniques d'amortissement connues agissent alors de façon relativement efficace aux basses fréquences, du fait que la

responsabilité de l'enceinte dans les irrégularités du niveau de restitution de signal sonore est prépondérante. En revanche, la correction des irrégularités dans le domaine des médium et des aigus, c'est-à-dire là où les paramètres liés à la constitution du haut-parleur sont prépondérants, est nettement moins bien réalisée.

Un exemple de correction des irrégularités dans le domaine des basses fréquences dues à l'emploi d'un type déterminé d'enceinte (enceinte fermée), par l'emploi conjugué d'une enceinte d'un autre type (enceinte ouverte), est montré par le brevet CH-A-558 119, mais comme mentionné ci-dessus, ce brevet ne résoud pas le problème de la correction des irrégularités dans le domaine des médiums et des aigus dues à la constitution du haut-parleur.

Un autre exemple d'une telle correction est donné par le document FR-A-2 304 237, dans lequel sont associées deux enceintes dont au moins l'une est à évent, en vue d'obtenir entre les deux haut-parleurs, également un "déphasage différentiel ... entre les émissions de chacun d'eux", essentiellement aux basses fréquences, sans aucune préoccupation de compensation des irrégularités des courbes aux fréquences médium et supérieures.

OBJECTIFS DE L'INVENTION

L'objectif de la présente invention est donc de pallier ces différents inconvénients des procédés d'égalisation existants.

Plus précisément, un premier objet de l'invention est de fournir un procédé de correction de la courbe de réponse amplitude/fréquence des transducteurs électro-acoustiques, sans obérer le rendement du système amplificateur électrique + transducteur électro-acoustique.

Un second objet de l'invention est de fournir un tel procédé de correction applicable quelle que soit la courbe de réponse spécifique des transducteurs électro-acoustiques utilisés, pourvu que leur courbe de réponse amplitude/fréquence présente des irrégularités "cycliques" autour d'une valeur moyenne du niveau de restitution du signal sonore.

Un objet complémentaire de l'invention est de fournir un procédé d'égalisation qui fonctionne sur toute l'étendue du spectre des fréquences audibles, notamment jusqu'aux sons fondamentaux les plus élevés (4000 Hz).

De plus, comme on le verra ci-après, le procédé suivant l'invention a également pour avantage de permettre d'agir de façon très fine sur la tonalité ou le timbre du signal sonore restitué par les transducteurs. Cette caractéristique assez surprenante permet ainsi par exemple d'obtenir des effets sonores diversifiés par réglage des transducteurs,

ou encore de compenser des défauts affectant le signal sonore émis, ces défauts pouvant par exemple résulter de la technique d'enregistrement du signal, ou encore de l'acoustique de la salle d'écoute.

CARACTERISTIQUES ESSENTIELLES DE L'INVENTION

Ces objectifs et avantages de l'invention, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, sont obtenus à l'aide d'un procédé de correction de la réponse amplitude/fréquence d'un système de transduction électro-acoustique, notamment du type formé d'au moins un haut-parleur monté dans une enceinte résonnante et destiné à être branché en sortie d'une source électrique de modulation pour restituer un signal sonore associé, caractérisé en ce qu'on choisit au moins un transducteur dont la courbe de réponse amplitude/fréquence présente des irrégularités sensiblement sous la forme d'une succession d'alternances de niveaux maxima et minima sur la gamme de fréquences restituée, en ce qu'on choisit au moins un autre transducteur dont la courbe de réponse amplitude/fréquence présente des irrégularités sensiblement sous la forme d'une succession d'alternances de niveaux maxima et minima approximativement sur ladite gamme de fréquences restituée et sensiblement complémentaires de celle du premier transducteur c'est-à-dire présentant des minima sensiblement pour les fréquences pour lesquelles la courbe de réponse du premier transducteur présente des maxima, et des maxima sensiblement pour les fréquences pour lesquelles la courbe de réponse du premier transducteur présente des minima, et en ce qu'on associe ledit transducteur électro-acoustique et ledit autre transducteur électro-acoustique en les branchant en parallèle sur la même source de modulation pour former par addition des signaux sonores desdits transducteurs, un signal sonore résultant corrigé, du fait de la compensation mutuelle des irrégularités inhérentes à chaque courbe.

On notera que ledit transducteur présentera d'autant plus d'irrégularités naturelles "exploitables" que son rendement est élevé, c'est-à-dire qu'il est dépourvu de tout dispositif d'amortissement et se trouve à son maximum de sensibilité.

De façon préférentielle, on utilise comme second transducteur, un transducteur identique au premier transducteur, ledit second transducteur présentant une fréquence de résonance ajustable de façon à permettre un décalage de sa courbe de réponse par rapport à celle du premier transducteur, pour réaliser la compensation mutuelle de leurs irrégularités respectives.

De façon avantageuse, et lorsque lesdits transducteurs sont du type enceinte + haut-parleur, le décalage de la courbe de réponse dudit second transducteur est réalisé par action sur l'un des paramètres suivants : valeur et configuration du volume de l'enceinte ; modification de l'écoulement de l'air dans un ou plusieurs événements réalisés dans l'enceinte ; modification des caractéristiques d'un haut-parleur passif monté dans l'enceinte du transducteur électro-acoustique ajustable. Ces paramètres sont donnés à titre d'exemples non limitatifs, et l'homme du métier est à même d'utiliser tout autre moyen d'ajustement de la fréquence de résonance de l'enceinte du ou des transducteurs ajustables.

Selon l'invention, le procédé d'égalisation ainsi défini peut être notamment mis en oeuvre dans un jeu de transducteurs jumelés, constitués de deux enceintes munies chacune d'au moins un haut-parleur, lesdites enceintes présentant une paroi commune dont au moins une portion est déplaçable de façon à ajuster le volume de chacune desdites enceintes.

ENONCE DES FIGURES

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante de quelques modes de réalisation préférentiels de l'invention, donnés à titre d'exemples non limitatifs et des dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente la mise en oeuvre du procédé selon l'invention dans un jeu de deux cavités de Helmholtz, munies chacune d'un haut-parleur, et présentant une paroi latérale commune ;
- la figure 2 représente la mise en oeuvre de l'invention dans un jeu de deux cavités de Helmholtz jumelées et munies chacune d'un haut-parleur, et présentant une paroi commune de fond ;
- la figure 3 représente les courbes de réponse A et B, avant et après correction suivant les techniques connues respectivement, pour un transducteur classique du type à enceinte munie d'un haut-parleur ;
- la figure 4 représente le décalage des courbes de réponse amplitude/fréquence de deux transducteurs électro-acoustiques jumelés suivant le procédé de la présente invention ;
- la figure 5 représente la courbe résultante de réponse égalisée amplitude/fréquence pour les transducteurs de la figure 4 (courbe D), en comparaison avec la courbe obtenue par utilisation des techniques connues (courbe B).

DESCRIPTION DE MODES DE REALISATIONS DETAILLEES DE L'INVENTION

La figure 4 illustre le principe fondamental du procédé de réalisation suivant l'invention.

La courbe de réponse A correspond à un premier transducteur électro-acoustique destiné à fonctionner par exemple sur une plage f de fréquences allant de 60 Hz à 3000 Hz ou davantage. Cette courbe de réponse présente des irrégularités alternées, qui se traduisent par une variation du niveau de restitution sonore (axe des ordonnées en dB), autour d'un niveau moyen L_m situé aux alentours de + 2 dB, dans le cas représenté.

En l'absence de correction, le signal sonore perçu par l'auditeur est donc altéré par les affaiblissements relatifs du signal sur de faibles intervalles de fréquence répartis sur tout le spectre du signal restitué.

Le principe du procédé d'égalisation suivant l'invention consiste à utiliser au moins un second transducteur électro-acoustique, en coopération avec le premier, le second transducteur étant choisi de façon à présenter une courbe de réponse C similaire à la courbe de réponse A du premier transducteur, mais décalé par rapport à celle-ci.

Le décalage des deux courbes de réponse A et C correspond sensiblement à la valeur d'une demi-période des cycles d'irrégularité des transducteurs. Il en résulte que les intervalles de fréquence pour lesquels la courbe de réponse A du premier transducteur présente un affaiblissement relatif important correspondent sensiblement à un niveau de restitution maximal de la courbe de réponse C du second transducteur associé.

Le signal restitué correspondant à l'addition des signaux provenant de chacun des transducteurs est donc égalisé sur tout le spectre de fréquence, par la compensation mutuelle des courbes de réponse irrégulières de chaque transducteur.

L'égalisation du signal résultant restitué sera d'autant plus parfaite que les deux conditions suivantes seront réunies.

Tout d'abord, la compensation mutuelle des irrégularités des courbes de réponse A et C des transducteurs électro-acoustiques jumelés ne sera effective que si les irrégularités en question sont de forme alternée, c'est-à-dire qu'elles se présentent sous la forme d'une succession d'affaiblissements et de niveaux maximaux, à des intervalles qui coïncident en fonction de la fréquence. En d'autres termes, il faut que les irrégularités soient sous forme d'alternance d'affaiblissements et de niveaux maxima, d'amplitude sensiblement égale autour d'un niveau moyen de restitution pour chaque paire d'alternances positive et négative voisines, de façon que le décalage des courbes C et A d'une demi-période environ fasse coïncider les al-

ternances positives d'une courbe avec les alternances négatives de l'autre. selon le procédé, la coïncidence exacte est bien entendu avantageuse, mais des résultats extrêmement satisfaisants du point de vue de l'égalisation sont obtenus même pour des coïncidences approximatives.

La seconde condition qui doit être remplie au moins partiellement pour obtenir une égalisation satisfaisante est, comme déjà suggéré ci-dessus, la complémentarité des amplitudes de chaque demi-alternance adjacente, considérées par rapport au niveau moyen de restitution, de façon que la somme algébrique des courbes de réponse A et C des transducteurs jumelés fournisse un niveau résultant égalisé. A cet égard, il n'est pas nécessaire que les irrégularités de chaque courbe de réponse amplitude/fréquence présentent des écarts de niveau constants sur tout le spectre des fréquences. On obtiendra une compensation satisfaisante par décalage des courbes pourvu que la variation de l'écart de niveau d'une alternance à la suivante soit progressive. Cette caractéristique avantageuse de l'invention est illustrée en figure 4, où l'on peut constater que les amplitudes des alternances représentées diffèrent notablement, par exemple entre les gammes 50-100 Hz (environ 8 dB) et la gamme 1600-3200 Hz (1 dB).

Il est important de noter que la figure 4 constitue une illustration à but démonstratif du principe de base appliqué dans le procédé d'égalisation suivant l'invention. En fait, il faut noter que l'on a pu constater expérimentalement qu'une égalisation tout à fait satisfaisante est obtenue même si la succession des alternances positives et négatives des courbes de réponse d'amplitude/fréquence des transducteurs ne s'effectue pas selon des périodes régulières, ou si des variations d'amplitude de ces alternances sont relativement accidentées. Cela signifie que, même si le procédé suivant l'invention ne fournit pas un effet de réalisation parfait du point de vue arithmétique, il est tout à fait satisfaisant du point de vue psycho-auditif.

Un autre avantage essentiel de l'invention est représenté en figure 5, où sont portées sur un diagramme de rendement par rapport à la fréquence les courbes de réponse B et D correspondant à la réponse amplitude/fréquence pour des transducteurs corrigés suivant les techniques connues (courbe B), et selon le procédé d'égalisation suivant l'invention (courbe D). Cette comparaison des courbes met en évidence le gain de rendement "g" considérable que permet d'obtenir le procédé d'égalisation suivant l'invention. Cette caractéristique essentielle de l'invention est obtenue car chaque haut-parleur des transducteurs jumelés peut fonctionner dans des conditions de rendement optimal, sans qu'il soit nécessaire de faire appel à des techniques d'amortissement des transducteurs.

De façon surprenante, on s'est également aperçu que la mise en oeuvre du procédé d'égalisation suivant l'invention fournit un procédé extrêmement précis d'ajustement de la tonalité, ou encore du timbre, des signaux sonores restitués. Cette caractéristique extrêmement avantageuse de l'invention s'ajoute à l'effet d'égalisation.

L'origine de ce phénomène est probablement à trouver dans les effets de génération d'harmonique produits par la superposition des sons provenant de chacun des transducteurs jumelés. Or, une égalisation satisfaisante, suivant le procédé de l'invention, ne peut être obtenue que si on munit les transducteurs, ou à tout le moins l'un d'entre eux, d'un moyen d'ajustement fin de sa courbe de réponse, essentiellement par ajustement de sa fréquence de résonance. L'objectif est en effet de pouvoir imprimer au(x) transducteur(s) ajustable(s) un décalage de la courbe de réponse permettant une compensation des alternances. En procédant à de tels ajustements sur des prototypes, on a constaté qu'une égalisation acceptable est obtenue sur une certaine plage de réglages, ce qui donne une latitude d'ajustement. Cette latitude d'ajustement peut alors être mise à profit pour régler la tonalité ou le timbre du signal restitué, qui varie sur ces plages.

Les applications pratiques de ce phénomène sont extrêmement intéressantes. En effet, on sait que les techniques d'enregistrement des sons (bande magnétique, disque à microsillon, disque laser, ...) comportent chacune des défauts, et introduisent des modifications, notamment des modifications de tonalité ou de timbre du signal original. L'invention procure donc un moyen de compensation de ces altérations du signal enregistré par rapport au signal original. De plus, ce moyen de compensation se présente sous la forme d'un système de réglage des transducteurs, qui permet d'adapter un même jeu de transducteurs à la restitution compensée de signaux enregistrés suivant des techniques différentes.

Bien entendu, de nombreuses autres applications de ce phénomène sont envisageables, et apparaîtront aux yeux des spécialistes. On peut citer à titre d'exemple la génération d'effets sonores sur les sons produits par des instruments électroniques, ou encore l'adaptation des transducteurs à l'acoustique de la salle d'écoute.

On a également constaté que le phénomène de modification de la tonalité du signal restitué joue sur l'ensemble du spectre des fréquences audibles, mais s'exerce de façon tout à fait remarquable pour les fréquences supérieures à 300 Hz, c'est-à-dire dans le domaine des médium et des aigus.

Lors des essais sur prototypes, on a constaté que les effets sonores obtenus, par exemple sur un

enregistrement de voix, permettaient d'obtenir à volonté, à côté de la tonalité normale et fidèle, une tonalité nasale, ou encore caverneuse. Les figures 1 et 2 représentent des modes de réalisation préférentiels, bien entendu non limitatifs, de jeux de transducteurs électro-acoustiques mettant en oeuvre le procédé d'égalisation suivant l'invention.

Il s'agit dans les deux cas de transducteurs du type des cavités de Helmholtz munies chacune d'un haut-parleur et d'un évent. Mais on comprendra aisément que le procédé selon l'invention s'applique à tout type de transducteur, pourvu que la courbe de réponse amplitude/fréquence qui lui correspond vérifie au moins partiellement les deux conditions mises en évidence plus haut.

Comme on peut le voir en figure 1, la mise en oeuvre du procédé d'égalisation est obtenue en utilisant deux cavités de Helmholtz 10 et 20, munies chacune d'un haut-parleur 11-21, et d'un évent 12-22. Les cavités 10-20 sont jumelées de façon à présenter une paroi latérale commune 15.

Les deux cavités sont de caractéristiques identiques, ou quasi-identiques. Ceci signifie qu'elles présentent chacune une courbe de réponse amplitude/fréquence de configuration sensiblement identique, notamment du point de vue de la fréquence de succession des irrégularités, et de l'amplitude des alternances.

L'ajustement du décalage des courbes de réponse permettant l'égalisation suivant l'invention est réalisé ici par ajustement de la fréquence de résonance des transducteurs. Plus précisément, un ajustement grossier est réalisé par déplacement de la paroi 15, et un ajustement fin par déplacement du bloc inférieur 16. Ces déplacements sont par exemple réalisés par l'intermédiaire de systèmes tige filetée-noix 17, 18 ; 37, 38 commandés par volants 19, 39 montés sur une paroi extérieure des cavités jumelées.

Bien entendu, tout autre système permettant un réglage fin du déplacement de la portion 16 articulée de la paroi commune 15 des cavités 10-20 convient tout aussi bien pour la mise en oeuvre de l'invention.

Comme on l'a compris, dans le mode de réalisation de la figure 1, la modification de la fréquence de résonance de chacun des deux transducteurs jumelés est réalisée par modification de la configuration et du volume intérieur des deux cavités 10-20 respectivement, du fait du déplacement de la portion de paroi 16. L'effet obtenu peut être illustré à partir de la figure 4. On peut en effet considérer que la courbe A correspond à la courbe de réponse amplitude/fréquence du transducteur 1, et que la courbe C correspond à la courbe de réponse amplitude/fréquence du second transducteur 2. La fréquence de résonance f_2 du transducteur 2 se situe aux environs de 40 Hz. De façon

connue, la fréquence de résonance correspond à un point de la pente d'affaiblissement caractéristique de tout système résonnant acoustique (pente de l'ordre de 18 dB par octave), sur la courbe de réponse amplitude/fréquence.

Si l'on considère fictivement que la courbe de réponse A du transducteur 1 reste fixe, l'effet du déplacement de la portion articulée 16 de la paroi commune 15 sur le décalage de la courbe C sera illustré approximativement par la courbe d_f . Cette courbe d_f est en effet parcourue par le point P de la fréquence de résonance du transducteur 2, sur la courbe de réponse C, lorsqu'on fait varier le volume intérieur de la cavité 20 du transducteur 2. Cette courbe d_f illustre l'influence de la variation du volume de la cavité 20 sur deux paramètres essentiels :

- d'une part, le décalage de l'origine de la courbe de réponse C vers la gauche, lorsque le volume de la cavité 20 augmente. En d'autres termes, l'augmentation du volume de la cavité 20 diminue la fréquence de résonance du transducteur, et par conséquent étend le spectre sonore restituable par le transducteur dans les fréquences ;
- d'autre part, l'augmentation du volume de la cavité résonnante 20 entraîne une remontée du point de résonance P vers le premier maximum de la courbe de réponse C.

L'effet combiné de ces deux phénomènes, et la prépondérance relative du second conduit à un déplacement du point P vers la gauche de la courbe d_f , qui croît en tendant plus ou moins asymptotiquement vers la valeur maximale du rendement de la première alternance de la courbe C.

Le décalage de la courbe C par rapport à la courbe A peut alors être dosé de façon très précise, pour que le déplacement du point P sur la courbe d_f corresponde à une valeur d'une demi-période des irrégularités alternées de la courbe de réponse.

Bien entendu, l'ajustement des volumes respectifs des cavités 10-20 des transducteurs jumelés représentés sur la figure 1, par déplacement de la portion de paroi 16 articulée, agit sur les courbes de réponse des transducteurs, puisque le volume de l'une des cavités 10 ; 20 augmente, lorsque le volume de l'autre cavité 20 ; 10 décroît. Le décalage des deux courbes de réponse A et C résulte donc du déplacement de chacune d'elles en sens opposés par rapport à l'échelle des fréquences.

L'installation de la figure 1 permet un réglage de l'égalisation par variation du volume de l'enceinte, grâce au déplacement d'une portion de la paroi commune 16. Bien entendu, les dimensions de la portion de paroi 16 articulée ne sont pas une caractéristique limitative de l'invention, et doivent être adaptées aux caractéristiques du transducteur,

et à la précision de réglage recherchée. Il est notamment possible de prévoir un système dans lequel l'ensemble de la paroi commune 15 est articulé.

Les spécialistes envisageront aisément que l'ajustement de la fréquence de résonance des transducteurs peut s'effectuer par action sur de nombreux autres paramètres des transducteurs, que celui du volume des cavités résonnantes.

Parmi les paramètres ajustables, on peut mentionner la modification de l'écoulement de l'air à travers les événements 12, 22 des cavités de Helmholtz. Cette modification de l'écoulement de l'air s'effectue par exemple par action sur un volet (non représenté) obturant plus ou moins complètement l'événement, ou encore par adjonction d'un col de longueur ou de forme ajustable. Une autre technique d'ajustement de la fréquence de résonance d'au moins un des transducteurs consiste à prévoir un diaphragme suspendu élastiquement et obturant hermétiquement l'événement (du type d'un haut-parleur passif). L'ajustement consiste alors à contrôler la fréquence de résonance du diaphragme, en agissant sur sa masse, sur la force élastique de rappel du diaphragme, ou par tout autre moyen.

L'action sur l'écoulement de l'air à travers l'événement peut être considérée, dans certaines applications, comme moins avantageuse que l'action sur le volume des cavités : une variation du volume de la cavité résonnante n'a en effet en général pas d'influence sur le rendement du transducteur, à la différence des techniques d'action sur l'événement.

Bien entendu, lorsque l'on souhaite ajuster l'égalisation d'un jeu de transducteurs selon l'invention, par modification du volume intérieur de la cavité résonnante de l'un d'entre eux, les deux transducteurs d'un même jeu peuvent parfaitement être tout à fait distincts l'un de l'autre, et ne pas présenter donc de paroi commune.

La figure 2 représente une variante du mode de réalisation de la figure 1, dans laquelle deux transducteurs 3, 4, du type à cavités de Helmholtz, sont jumelés en présentant une paroi de fond commune mobile. Chacun des transducteurs est muni d'un haut-parleur 31-41, et d'un événement 32-42.

De façon avantageuse, la cloison intérieure mobile commune 35 est inclinée, de façon à éviter les effets défavorables de réflexion qui seraient induits par une cloison droite, et impliqueraient l'utilisation d'une technique d'amortissement domageable au rendement.

Un prototype correspondant à cette figure a été réalisé, au moyen d'un caisson, dont le volume intérieur total (couvrant les cavités des transducteurs 3 et 4) était de 80 litres. Les deux haut-parleurs sont semblables, et présentaient un diamètre hors-tout de 190 mm. La surface nominale de chacun des événements, de 2,5 dm², est ajustée par

un volet.

Cette configuration de mise en oeuvre du procédé de l'invention présente l'avantage de combiner le phénomène d'égalisation déjà décrit, avec un second phénomène de contrôle de la directivité du rayonnement acoustique du système.

Ce contrôle de directivité est obtenu en alimentant les deux transducteurs 3, 4 à partir de la même source de modulation, mais en les actionnant simultanément en décalage de phase, préférentiellement en opposition de phase.

Le contrôle de la directivité peut alors être obtenu en agissant sur l'un ou l'autre des paramètres tels que : la valeur du déphasage (constante ou non en fonction de la fréquence) ; l'orientation de l'émission de chaque transducteur ; l'intensité et le lobe de leur rayonnement ; les distances entre émetteurs ; l'étendue de fréquences concernées ; entre autres.

On conçoit donc que le mode de la réalisation de la figure 2 est extrêmement avantageux lorsque l'on souhaite avoir une possibilité de réglage de l'égalisation du signal sonore restitué, combinée à un effet de directivité, et éventuellement à une possibilité d'action sur la tonalité, tout ceci étant possible sans nuire au rendement de l'installation. Une application tout à fait préférentielle de ce système de transducteur électro-acoustique est la sonorisation à grande puissance des salles de congrès, de concert, ou plus généralement de toute manifestation publique.

Revendications

1. Procédé de correction de la réponse amplitude/fréquence d'un système de transduction électro-acoustique, notamment du type formé d'au moins un haut-parleur (11) monté dans une enceinte résonnante (10) et destiné à être branché en sortie d'une source électrique de modulation pour restituer un signal sonore associé,

caractérisé en ce qu'on choisit au moins un transducteur (1) dont la courbe de réponse amplitude/fréquence (A) présente des irrégularités sensiblement sous la forme d'une succession d'alternances de niveaux maxima et minima sur la gamme de fréquences restituée,

en ce qu'on choisit au moins un autre transducteur (2) dont la courbe de réponse amplitude/fréquence (C) présente des irrégularités sensiblement sous la forme d'une succession d'alternances de niveaux maxima et minima approximativement sur ladite gamme de fréquences restituée et sensiblement complémentaires de celle (A) du premier transducteur (1) c'est-à-dire présentant des minima sensiblement pour les fréquences pour lesquelles la

courbe de réponse du premier transducteur présente des maxima, et des maxima sensiblement pour les fréquences pour lesquelles la courbe de réponse du premier transducteur présente des minima,

et en ce qu'on associe ledit transducteur électro-acoustique (1) et ledit autre transducteur électro-acoustique (2) en les branchant en parallèle sur la même source de modulation pour former par addition des signaux sonores desdits transducteurs, un signal sonore résultant corrigé, du fait de la compensation mutuelle des irrégularités inhérentes à chaque courbe (A, C).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, en vue de choisir ledit autre transducteur, on sélectionne un transducteur (2) présentant une courbe de réponse amplitude/fréquence (C) sensiblement identique à celle (A) du premier transducteur (1), et on modifie la fréquence de résonance d'au moins l'un des deux transducteurs de façon à provoquer un décalage relatif de leurs courbes de réponse (A, C), assurant ainsi l'effet de correction par compensation mutuelle des irrégularités des courbes (A, C).

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que, pour modifier la fréquence de résonance d'au moins l'un des transducteurs électro-acoustiques (1, 2), on modifie au moins l'un des paramètres constitués par la configuration et/ou le volume du transducteur, l'écoulement de l'air à travers au moins un évent (12) réalisé dans l'enceinte résonnante (10) du transducteur, et des caractéristiques d'un diaphragme passif monté dans l'enceinte.

4. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'on ajuste les courbes de réponse amplitude/fréquence (A, C) des transducteurs (1, 2) l'une par rapport à l'autre de façon à égaliser le signal sonore résultant sur ladite gamme de fréquences restituée.

5. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'on ajuste les courbes de réponse amplitude/fréquence (A, C) des transducteurs (1, 2) l'une par rapport à l'autre de façon à modifier la tonalité du signal sonore résultant.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'on modifie la directivité de l'émission sonore des transducteurs (3, 4) en modifiant au moins l'un des

paramètres constitués par le déphasage du rayonnement des transducteurs (3, 4), l'orientation de leur émission sonore, l'intensité et le lobe de leur rayonnement, et la distance entre les transducteurs.

7. Système de transduction électro-acoustique à réponse amplitude/fréquence corrigée par le procédé de l'une quelconque des revendications 1 à 3, comportant au moins un transducteur du type formé d'au moins un haut-parleur (11) monté dans une enceinte résonnante (10) et destiné à être branché en sortie d'une source électrique de modulation pour restituer un signal sonore associé, caractérisé en ce que ledit transducteur a une courbe de réponse amplitude/fréquence (A) présentant des irrégularités sensiblement sous la forme d'une succession d'alternances de niveaux maxima et minima sur la gamme de fréquences restituée, en ce qu'il comporte au moins un autre transducteur, dont la courbe de réponse amplitude/fréquence (C) présente des irrégularités sensiblement sous la forme d'une succession d'alternances sensiblement complémentaires de celles (A) du premier transducteur, et en ce que les deux transducteurs sont associés en étant branchés en parallèle sur la même source de modulation pour former par addition des signaux sonores desdits transducteurs, un signal sonore résultant corrigé, du fait de la compensation mutuelle des irrégularités inhérentes à chaque courbe (A, C).

8. Système de transduction suivant la revendication 7, caractérisé en ce que lesdits transducteurs (1, 2) sont du type cavité résonnante de Helmholtz (10, 20) munies d'au moins un haut-parleur (11, 21), lesdites cavités résonnantes (10, 20) présentant une paroi (15) commune.

9. Système de transduction suivant la revendication 8, caractérisé en ce qu'au moins une portion de ladite paroi commune (15) est mobile, de façon à permettre un ajustement du volume intérieur desdites cavités (10, 20).

10. Système de transduction suivant la revendication 8, caractérisé en ce que lesdits transducteurs (3, 4) sont montés en opposition l'un par rapport à l'autre, et en ce que ladite paroi commune (25, 35) constitue la paroi de fond de chacun desdits transducteurs (3, 4).

11. Système de transduction suivant la revendication 10, caractérisé en ce que lesdits transducteurs (3, 4) sont alimentés en opposition de phase à partir d'une même source de modula-

tion.

Claims

1. Method for correcting the amplitude/frequency response of an electroacoustic transduction system, especially of the type formed from at least one loudspeaker (11) mounted in a resonant chamber (10) and intended to be connected up to the output of an electrical modulation source in order to reconstruct a combined sound signal, characterised in that at least one transducer (1) is chosen, the amplitude/frequency response curve (A) of which exhibits irregularities which are substantially in the form of a succession of maximum and minimum level alternations over the reconstructed range of frequencies, in that at least one other transducer (2) is chosen, the amplitude/frequency response curve (C) of which exhibits irregularities which are substantially in the form of a succession of maximum and minimum level alternations approximately over the said reconstructed range of frequencies and which are substantially complementary to that (A) of the first transducer (1), that is to say exhibiting substantially minima for the frequencies for which the response curve of the first transducer exhibits maxima and substantially maxima for the frequencies for which the response curve of the first transducer exhibits minima, and in that the said electroacoustic transducer (1) and the said other electroacoustic transducer (2) are combined by connecting them up in parallel to the same modulation source in order to form, by adding the sound signals of the said transducers, a resultant sound signal corrected because of the mutual compensation of the irregularities inherent in each curve (A, C).
2. Method according to Claim 1, characterised in that, with a view to choosing the said other transducer, a transducer (2) is selected exhibiting an amplitude/frequency response curve (C) substantially identical to that (A) of the first transducer (1) and the resonant frequency of at least one of the two transducers is modified so as to cause a relative shift of their response curves (A, C), thereby achieving the correction effect by mutual compensation of the irregularities of the curves (A, C).
3. Method according to Claim 2, characterised in that, in order to modify the resonant frequency of at least one of the electroacoustic transducers (1, 2), at least one of the parameters constituted by the configuration and/or the volume of the transducer, the flow of air through at least one vent (12) made in the resonant chamber (10) of the transducer and characteristics of a passive diaphragm mounted in the chamber is modified.
4. Method according to any one of Claims 1 to 3, characterised in that the amplitude/frequency response curves (A, C) of the transducers (1, 2) is adjusted, one with respect to the other, so as to equalise the resultant sound signal over the said reconstructed range of frequencies.
5. Method according to any one of Claims 1 to 3, characterised in that the amplitude/frequency response curves (A, C) of the transducers (1, 2) are adjusted, one with respect to the other, so as to modify the tonality of the resultant sound signal.
6. Method according to any one of Claims 1 to 5, characterised in that the directivity of the sound emission from the transducers (3, 4) is modified by modifying at least one of the parameters constituted by the phase shift of the radiation from the transducers (3, 4), the orientation of their sound emission, the intensity and the lobe of their radiation, and the distance between the transducers.
7. Electroacoustic transduction system having amplitude/frequency response corrected by the method of any one of Claims 1 to 3, including at least one transducer of the type formed by at least one loudspeaker (11) mounted in a resonant chamber (10) and intended to be connected up to the output of an electrical modulation source in order to reconstruct a combined sound signal, characterised in that the said transducer has an amplitude/frequency response curve (A) exhibiting irregularities which are substantially in the form of a succession of maximum and minimum level alternations over the reconstructed range of frequencies, and in that it includes at least one other transducer, the amplitude/frequency response curve (C) of which exhibits irregularities which are substantially in the form of a succession of alternations complementary to those (A) of the first transducer, and in that the two transducers are combined by being connected up in parallel to the same modulation source in order to form, by adding the sound signals of the said transducers, a resultant sound signal corrected because of the mutual compensation of the irregularities inherent in each curve (A, C).

8. Transduction system according to Claim 7, characterised in that the said transducers (1, 2) are of the Helmolz resonant cavity (10, 20) type which are fitted with at least one loudspeaker (11, 21), the said resonant cavities (10, 20) exhibiting a common wall (15). 5
9. Transduction system according to Claim 8, characterised in that at least one portion of the said common wall (15) can be moved, so as to enable the internal volume of the said cavities (10, 20) to be adjusted. 10
10. Transduction system according to Claim 8, characterised in that said transducers (3, 4) are mounted in opposition, one with respect to the other, and in that the said common wall (23, 35) constitutes the end-face wall of each of the said transducers (3, 4). 15
20
11. Transduction system according to Claim 10, characterised in that the said transducers (3, 4) are fed in phase opposition from a single modulation source. 25

Patentansprüche

1. Verfahren zum Korrigieren des Amplituden/Frequenzganges eines elektroakustischen Umsetzungssystems, insbesondere der Bauart, die mindestens aus einem in einem Resonanzkörper (10) montierten Lautsprecher (11) gebildet und am Ausgang mit einer elektrischen Modulationsquelle verbindbar ist, um ein zugeordnetes Tonsignal wiederzugeben, dadurch **gekennzeichnet**, daß mindestens ein Wandler (1) gewählt wird, dessen Amplituden/Frequenzgang-Kennlinie (A) im wiedergegebenen Frequenzbereich Unregelmäßigkeiten aufweist, die im wesentlichen in Form einer alternierenden Folge aus maximalen und minimalen Pegeln auftreten, daß mindestens ein weiterer Wandler (2) gewählt wird, dessen Amplituden/Frequenzgang-Kennlinie (C) in ungefähr demselben Frequenzbereich Unregelmäßigkeiten aufweist, die im wesentlichen in Form einer alternierenden Folge aus maximalen und minimalen Pegeln auftreten und zur Kennlinie (A) des ersten Wandlers (1) im wesentlichen komplementär sind, d.h., im wesentlichen bei den Frequenzen Minima aufweisen, bei denen die Kennlinie des ersten Wandlers Maxima aufweist, und im wesentlichen bei den Frequenzen Maxima aufweisen, bei denen die Kennlinie des ersten Wandlers Minima aufweist, und daß dem elektroakustischen Wandler (1) 30
35
40
45
50
55

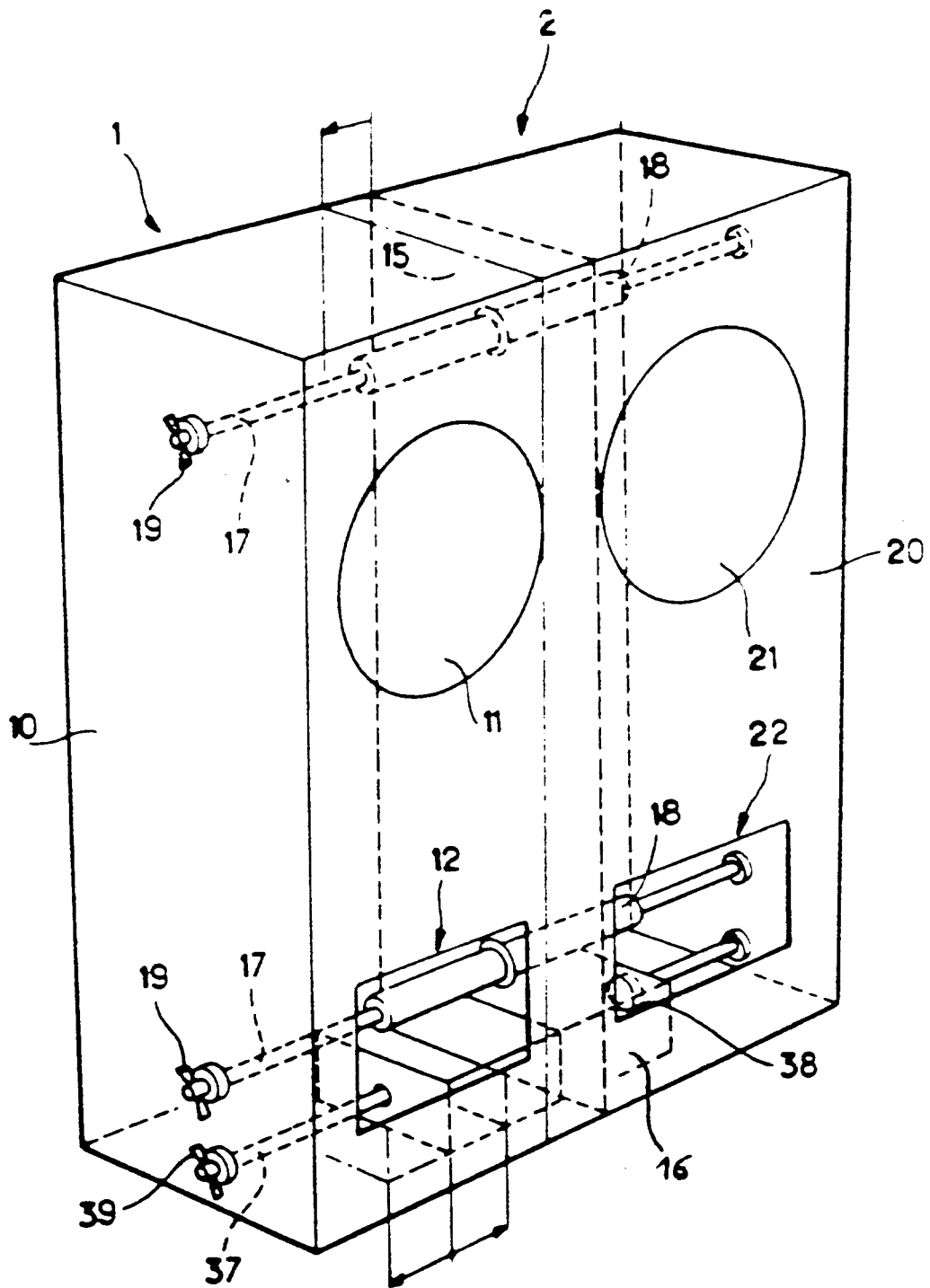
und dem anderen elektroakustischen Wandler (2) in Parallelschaltung dieselbe Modulationsquelle zugeordnet wird, um durch Addition der Tonsignale dieser Wandler ein korrigiertes resultierendes Tonsignal zu bilden, wobei sich die jeder Kennlinie (A, C) eigenen Unregelmäßigkeiten gegenseitig kompensieren.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß zum Auswählen des anderen Wandlers ein Wandler (2) mit einer Amplituden/Frequenzgang-Kennlinie (C) gewählt wird, die im wesentlichen gleich der (A) des ersten Wandlers (1) ist, und die Resonanzfrequenz mindestens eines der beiden Wandler so verändert wird, daß eine Relativverschiebung der beiden Kennlinien (A, C) erzeugt wird, um so die Korrektur durch gegenseitige Kompensation der Unregelmäßigkeiten der Kennlinien (A, C) zu gewährleisten.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß zum Verändern der Resonanzfrequenz mindestens eines der elektroakustischen Wandler (1, 2) mindestens einer der Parameter verändert wird, die durch die Konfiguration und/oder das Volumen der Wandler, den durch mindestens ein im Resonanzkörper (10) des Wandlers vorgesehenes Luftloch (12) hindurchgehenden Luftstrom und durch die Eigenschaften einer im Resonanzkörper angebrachten passiven Membran gegeben sind.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Amplituden/Frequenzgang-Kennlinien (A, C) der Wandler (1, 2) zueinander durch Abgleichen des sich in dem wiedergegebenen Frequenzbereich ergebenden Tonsignals eingestellt werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Amplituden/Frequenzgang-Kennlinien (A, C) der Wandler (1, 2) durch Verändern der Tonaltät des sich ergebenden Tonsignales relativ zueinander eingestellt werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Richtwirkung der Tonausgabe der Wandler (3, 4) verändert wird, indem mindestens einer der Parameter verändert wird, welche durch die Ausstrahlungs-Phasenverschiebung der Wandler (3, 4), die Orientierung ihrer Tonausgabe, die Intensität und die Strahlungskeulen ihrer Ausstrahlung und die Entfernung zwischen den Wandlern bestimmt sind.

7. Vorrichtung zum elektroakustischen Umsetzen eines korrigierten Amplituden/Frequenzganges mit dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, mit mindestens einem Wandler der Bauart, die von mindestens einem in einem Resonanzkörper (10) montierten Lautsprecher (11) gebildet ist und am Ausgang mit einer elektrischen Modulationsquelle verbindbar ist, um ein zugeordnetes Tonsignal wiederzugeben, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Wandler im wiedergegebenen Frequenzbereich eine Amplituden/Frequenzgang-Kennlinie (A) mit Unregelmäßigkeiten aufweist, die im wesentlichen in Form einer alternierenden Folge aus maximalen und minimalen Pegeln auftreten, und daß mindestens ein weiterer Wandler vorgesehen ist, dessen Amplituden/Frequenzgang-Kennlinie (C) Unregelmäßigkeiten aufweist, die im wesentlichen in Form einer zu der (A) des ersten Wandlers im wesentlichen komplementären alternierenden Folge vorliegen, und daß die beiden Wandler in Parallelschaltung derselben Modulationsquelle zugeordnet sind, um durch Addition der Tonsignale dieser Wandler ein korrigiertes, sich ergebendes Tonsignal zu bilden, wobei sich die jeder Kennlinie (A, C) eigenen Unregelmäßigkeiten gegenseitig kompensieren.
8. Vorrichtung zum Umsetzen nach Anspruch 7, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Wandler (1, 2) Helmholtz-Hohlraumresonatoren (10, 20) sind, wobei die Hohlraumresonatoren (10, 20) eine gemeinsame Wand (15) aufweisen.
9. Vorrichtung zum Umsetzen nach Anspruch 8, dadurch **gekennzeichnet**, daß mindestens ein Teil der gemeinsamen Wand (15) beweglich ist, um eine Einstellung des inneren Volumens der Hohlräume (10, 20) zu ermöglichen.
10. Vorrichtung zum Umsetzen nach Anspruch 8, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Wandler (3, 4) einander gegenüberliegend angebracht sind und daß die gemeinsame Wand (25, 35) die Bodenwand jedes der Wandler (3, 4) bildet.
11. Vorrichtung zum Umsetzen nach Anspruch 10, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Wandler (3, 4) von ein und derselben Modulationsquelle gegenphasig gespeist werden.

55

FIG. 1



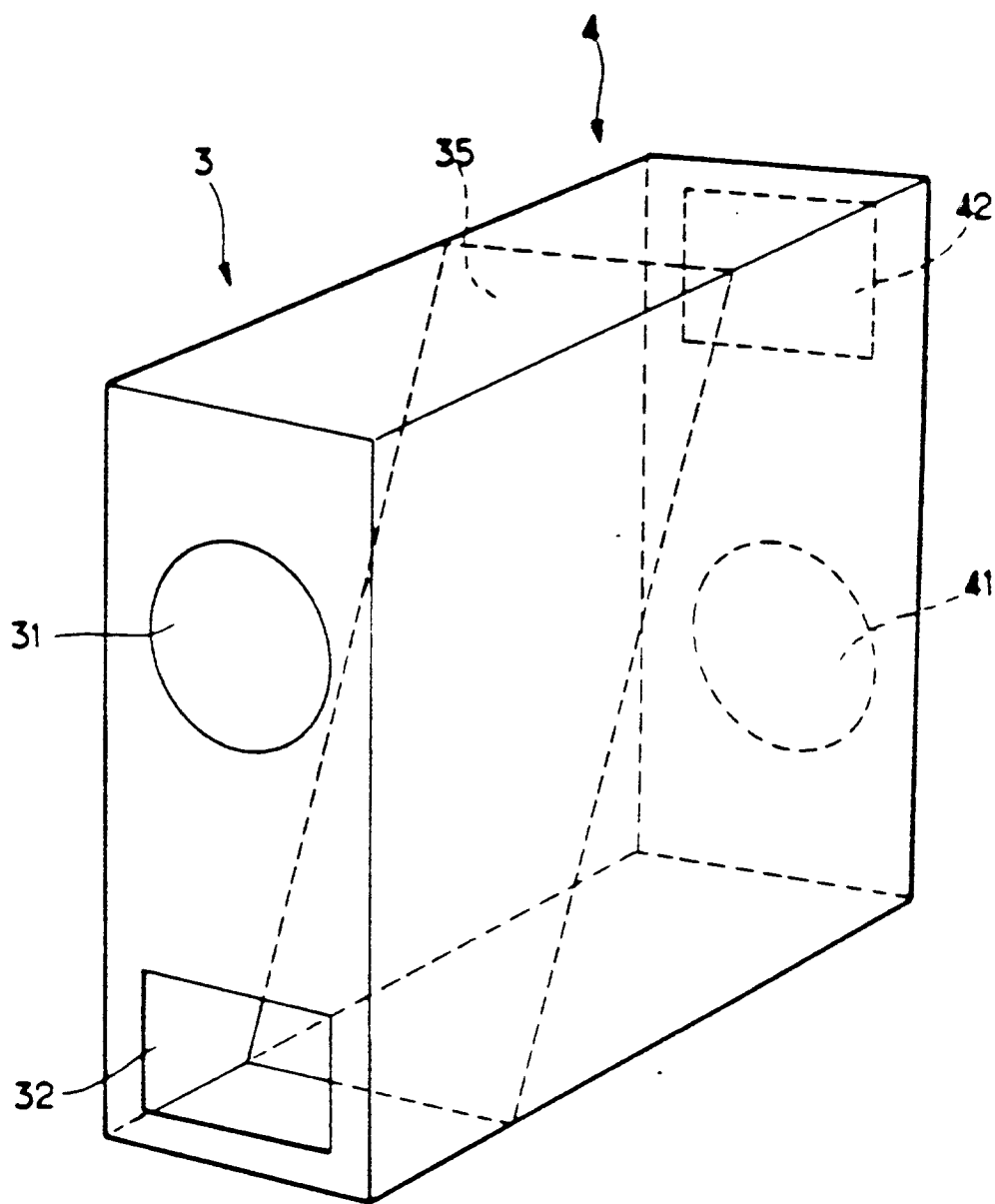


FIG. 2

FIG. 3

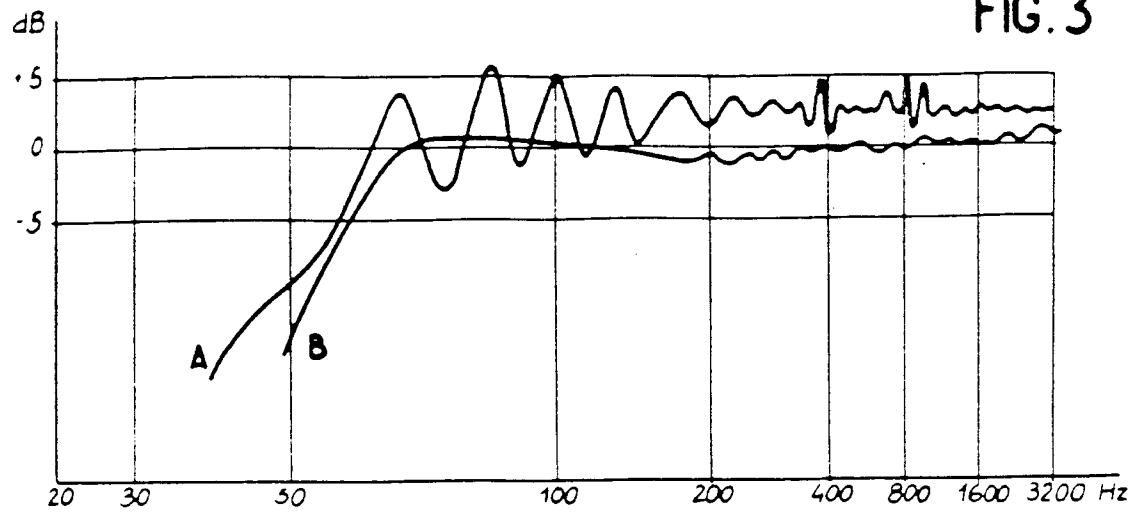


FIG. 4

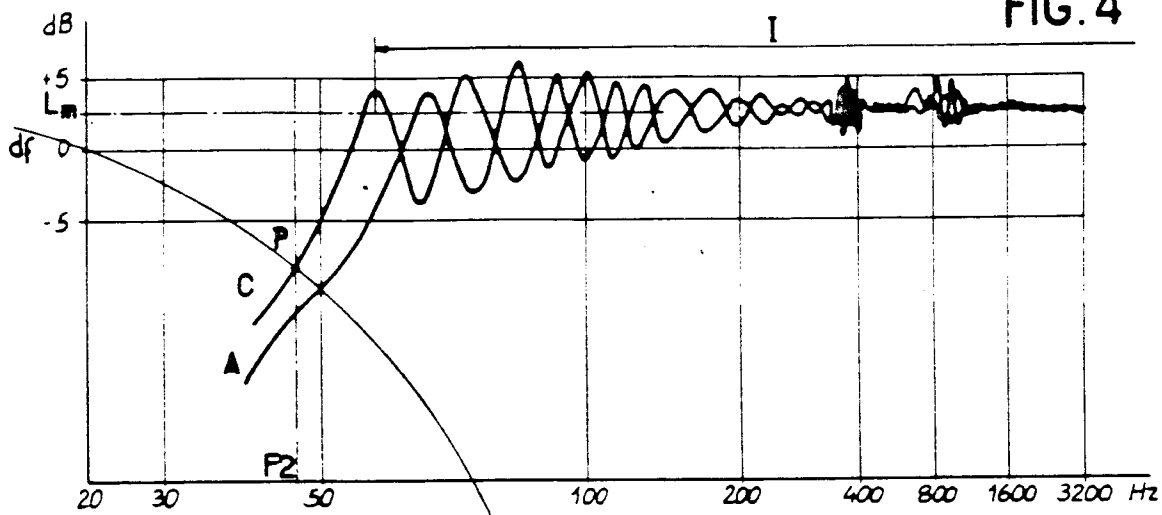


FIG. 5

