

(19)



(11)

EP 2 524 519 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

06.03.2019 Bulletin 2019/10

(51) Int Cl.:

H04R 1/24 (2006.01)

H04R 1/30 (2006.01)

H04R 9/06 (2006.01)

H04R 9/02 (2006.01)

H04R 1/32 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **11707441.9**

(86) Numéro de dépôt international:

PCT/FR2011/000023

(22) Date de dépôt: **14.01.2011**

(87) Numéro de publication internationale:

WO 2011/086300 (21.07.2011 Gazette 2011/29)

(54) **SYSTÈME DE HAUT-PARLEUR COAXIAL À CHAMBRE DE COMPRESSION À PAVILLON**

KOAXIAL-LAUTSPRECHERSYSTEM MIT EINER KOMPRESSIIONSKAMMER MIT EINER HUPE
COAXIAL SPEAKER SYSTEM HAVING A COMPRESSION CHAMBER WITH A HORN

(84) Etats contractants désignés:

**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**

• **CLEVY, Nicolas**

F-75013 Paris (FR)

• **TEBEC, Jean-Louis**

F-75013 Paris (FR)

• **HAYNE, Bénédicte**

F-75013 Paris (FR)

(30) Priorité: **15.01.2010 FR 1000154**

(43) Date de publication de la demande:

21.11.2012 Bulletin 2012/47

(74) Mandataire: **Louiset, Raphaël et al**

Dejade & Biset

35, rue de Châteaudun

75009 Paris (FR)

(73) Titulaire: **PHL Audio**

77590 Chartrettes (FR)

(72) Inventeurs:

- **FLAVIGNARD, Yoann**
F-77590 Chartrettes (FR)
- **LESAGE, Philippe**
F-77590 Chartrettes (FR)
- **LEROUX, Arthur**
F-75013 Paris (FR)

(56) Documents cités:

EP-A1- 0 341 926

EP-A2- 1 755 357

WO-A1-95/28065

WO-A1-2008/008034

FR-A1- 2 892 887

JP-A- 60 253 399

US-A- 1 907 723

US-A- 5 872 339

US-A1- 2003 051 940

US-A1- 2006 285 705

EP 2 524 519 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] L'invention a trait au domaine de la reproduction sonore au moyen de haut-parleurs, également dénommés transducteurs électrodynamiques ou électroacoustiques.

[0002] La reproduction sonore consiste à convertir une énergie (ou puissance) électrique en énergie (ou puissance) acoustique.

[0003] L'énergie électrique est le plus souvent délivrée par un amplificateur dont la caractéristique de puissance peut varier de quelques Watts pour les installations audio domestiques de faible puissance, à plusieurs centaines - ou milliers - de Watts pour certaines installations de sonorisation professionnelle (studios d'enregistrement, scènes musicales, espaces publics, etc.).

[0004] L'énergie acoustique est quant à elle rayonnée par une membrane dont les déplacements entraînent des variations de pression de l'air environnant, qui se propagent dans l'espace sous forme d'une onde acoustique.

[0005] Bien que relativement jeune, la technologie de la reproduction sonore a donné lieu à un nombre considérable de conceptions différentes depuis les années 1920 et les premiers essais conduits par Chester W. RICE et Edward W. KELLOG, de la compagnie américaine GENERAL ELECTRIC, et dont l'association des noms désigne aujourd'hui encore le type le plus courant de transducteur électroacoustique : le haut-parleur électrodynamique « Rice-Kellog ».

[0006] Dans ce type de transducteur, la membrane est mue par une bobine mobile comprenant un solénoïde plongé dans un champ magnétique et parcouru par un courant (issu de l'amplificateur). L'interaction entre le courant électrique et le champ magnétique génère une force connue sous le nom de « force de LAPLACE », qui produit un déplacement de la bobine mobile laquelle entraîne avec elle la membrane dont les vibrations sont la source du rayonnement acoustique.

[0007] Bien que chaque individu possède des caractéristiques auditives propres, l'oreille humaine est considérée comme sensible aux sons sur une gamme de fréquences (appelée bande audible) comprise entre 20 Hz et 20 000 Hz (20 kHz). Les sons inférieurs à 20 Hz sont appelés « infrasons » ; ceux supérieurs à 20 kHz sont appelés « ultrasons ». Infrasons et ultrasons sont perçus par certains animaux mais sont considérés comme imperceptibles par l'oreille humaine (on pourra à ce sujet se référer aux ouvrages généraux, tel que Le livre des techniques du son, Tome 1, notions fondamentales, 3e édition, chap. 4, La perception auditive, pp.191-192).

[0008] C'est pourquoi, dans la construction des haut-parleurs, on s'attache généralement à reproduire les signaux délimités à la bande audible. Par convention, on dénomme « grave » la gamme des fréquences comprises entre 20 Hz et 200 Hz ; « médium » la gamme des fréquences comprises entre 200 Hz et 2 000 Hz (2 kHz) ; et « aigu » la gamme des fréquences comprises entre 2 000 Hz et 20 000 Hz (20 kHz).

[0009] Très nombreuses ont été les tentatives de concevoir un haut-parleur électrodynamique unique permettant de reproduire de manière satisfaisante la bande audible complète. Ces tentatives n'ont pas abouti.

[0010] En effet, la reproduction des fréquences graves nécessite un transducteur de grandes dimensions, et donc une membrane de taille importante capable d'une grande amplitude. A contrario, la reproduction des fréquences aiguës ne peut être satisfaisante qu'avec une source de petite taille, donc une petite membrane. De plus, les débattements de cette petite membrane seront de faible amplitude. Ces caractéristiques étant contradictoires, on comprend aisément que la construction d'un transducteur unique couvrant toute la gamme audible de manière satisfaisante soit véritablement très difficile à réaliser.

[0011] C'est pourquoi un haut-parleur électrodynamique est généralement conçu pour reproduire une gamme réduite de fréquences, au sein de laquelle la réponse du transducteur peut être optimisée.

[0012] La réponse acoustique en fréquence d'un tel transducteur, mesurée au moyen d'un microphone de mesure associé à un analyseur de spectre, est habituellement représenté sous la forme d'une courbe illustrant les variations de niveau de pression acoustique du signal (exprimé en dB, sur une échelle linéaire généralement comprise entre 60 dB et 110 dB) en fonction de la fréquence du signal (exprimée en Hz, généralement suivant une échelle logarithmique comprise entre 20 Hz et 20 kHz).

[0013] Si l'on compte en théorie trois familles de transducteurs : grave, médium et aigu, en pratique toutefois la classification est plus fine, car la réponse d'un transducteur est une fonction continue qui peut chevaucher plusieurs gammes de fréquences. Ainsi, à titre d'exemple, un transducteur conçu pour reproduire le grave pourra offrir une réponse convenable dans la partie basse du médium (bas médium) ; de manière similaire un transducteur d'aigu pourra offrir une réponse convenable dans la partie haute du médium (haut médium), de sorte que par abus de langage on a coutume de désigner par :

- « transducteur de grave » un transducteur apte à reproduire le grave et au moins le bas médium,
- « transducteur de médium » un transducteur apte à reproduire le médium et au moins une partie supérieure du grave et/ou au moins une partie inférieure de l'aigu ;
- « transducteur d'aigu » un transducteur apte à reproduire l'aigu et au moins le haut médium.

[0014] Outre des différences de dimensions, la conception d'un transducteur varie selon qu'il s'agit d'un transducteur de grave ou de médium, ou d'un transducteur d'aigu. Ainsi, bien qu'il existe de nombreuses formes de membranes, la forme conique (ou pseudo-conique, selon le profil de la génératrice) est aujourd'hui la plus

utilisée dans les transducteurs de grave et de médium, tandis que les membranes à dôme sont les plus utilisées dans les transducteurs d'aigus.

[0015] Pour obtenir une reproduction de la totalité de la bande audible, on a donc coutume de combiner plusieurs transducteurs pour réaliser un système de reproduction sonore. Une solution répandue consiste à combiner trois transducteurs spécialisés : un pour le grave, un pour le médium et un pour l'aigu. Toutefois, pour des raisons principalement économiques il est courant de se limiter à deux transducteurs, à savoir un transducteur de grave apte à reproduire le grave et au moins le bas médium, et un transducteur d'aigu apte à reproduire l'aigu et au moins le haut-médium. Les transducteurs sont généralement montés sur une même enceinte acoustique, le plus couramment sur une même face (appelée face avant de l'enceinte). Dans la terminologie des enceintes, le nombre de « voies » est égal au nombre de segmentations réalisées sur la bande audible. En pratique, le nombre de voies d'une enceinte correspond au nombre de transducteurs qu'elle comprend. Ainsi, une enceinte comprenant un transducteur de grave et un transducteur d'aigu est une enceinte deux voies.

[0016] La spécialisation des transducteurs pose cependant une difficulté, liée à la répartition électrique du signal, couramment appelée filtrage. On peut aisément comprendre que, chaque transducteur n'étant optimisé que sur une partie du spectre, on doit filtrer le signal pour n'aiguiller vers chaque transducteur que la partie du spectre qu'il peut reproduire convenablement. Un mauvais filtrage peut avoir des conséquences différentes selon la fréquence. Sans entrer dans le détail, on notera qu'un signal d'aigu aiguillé vers un transducteur de grave n'est tout simplement pas reproduit, tandis qu'un signal de grave aiguillé vers un transducteur d'aigu peut facilement détruire le transducteur.

[0017] Pour simplifier, le filtre d'une enceinte deux voies comprend une section de filtrage de type passe-bas, reliée au transducteur de grave du système et qui ne laisse majoritairement passer que les fréquences inférieures à une fréquence de coupure prédéterminée, et une section de filtrage de type passe-haut, reliée au transducteur d'aigus du système et qui laisse passer de manière prépondérante les fréquences supérieures à la fréquence de coupure choisie.

[0018] La question du choix de la technologie employée pour le filtrage n'a pas d'impact sur la conception des transducteurs puisque le filtrage est réalisé en amont. En revanche, le principe même de la reproduction sonore par une enceinte multivoies pose un problème physique de fond sur l'agencement spatial des systèmes de haut-parleurs, en raison de la nécessaire recombinaison des signaux sonores individuels issus des différentes voies. Cette recombinaison se réalise dans l'air, et la moindre différence de trajet des ondes en provenance des différents transducteurs du système génère des distorsions temporelles et crée des interférences qui altèrent le signal recombinaison.

[0019] Pour s'affranchir de ces distorsions et interférences, de nombreux constructeurs tentent de monter les différents transducteurs d'un système composé au plus proche les uns des autres. L'expérience montre en effet que deux transducteurs juxtaposés et rayonnant en phase dont l'entraxe est inférieur au quart de la longueur d'onde considérée se comportent quasiment comme une source acoustique unique. Si un tel critère dimensionnel apparaît acceptable aux basses fréquences (le calcul préconise un entraxe maximum de l'ordre de 350 mm pour une fréquence maximum d'utilisation inférieure à 250 Hz, ce qui est aisément réalisable), il ne peut plus être satisfait aux fréquences élevées : par exemple, à une fréquence de 2 kHz l'espacement entre les transducteurs ne devrait pas dépasser 42,5 mm, ce qui n'est pas réalisable dans la pratique (cf. Jacques Foret, Les enceintes acoustiques, in Le livre des techniques du son, Tome 2, La technologie, 3e édition, chap. 3, p.149).

[0020] C'est pourquoi certains constructeurs ont proposé des systèmes dont les transducteurs sont montés de manière coaxiale, de sorte à faire coïncider les axes de rayonnement des transducteurs afin de réduire les distorsions et interférences au moment où le signal audio se recombine.

[0021] Toutefois, à lui seul, le montage coaxial des transducteurs ne résout pas le problème de la maîtrise de la directivité. En effet, le rayonnement acoustique d'un transducteur n'est généralement pas homogène spatialement. Dans le grave (c'est-à-dire aux grandes longueurs d'onde), la membrane, de dimension faible devant la longueur d'onde, peut être considérée comme une source ponctuelle rayonnant une onde sphérique omnidirectionnelle. A contrario, dans l'aigu (c'est-à-dire aux petites longueurs d'onde), la membrane, de grande dimension devant la longueur d'onde, ne peut plus être considérée comme une source sonore rayonnant de manière omnidirectionnelle, mais tend à devenir directive.

[0022] La directivité des transducteurs variant suivant les fréquences reproduites, le signal recombinaison issu d'un tel système de haut-parleurs peut comprendre à la fois une composante de signal rayonnée de manière directive en provenance de l'un des transducteurs (par exemple en provenance du transducteur de grave rayonnant dans le haut de son spectre) et une composante de signal rayonnée de manière omnidirectionnelle en provenance de l'autre transducteur (par exemple en provenance du transducteur d'aigu rayonnant dans le bas de son spectre).

[0023] On comprend aisément que le signal recombinaison ne soit pas homogène dans l'espace, et que la perception par l'oreille humaine puisse s'en trouver altérée. En effet, le signal acoustique issu de l'enceinte n'étant pas le même dans toutes les directions, les différents signaux arrivant aux oreilles de l'auditeur (signal direct et signaux réfléchis sur les murs de la pièce) ne seront pas cohérents, ce défaut de cohérence étant préjudiciable pour la qualité de reproduction sonore.

[0024] En outre, la directivité de tout transducteur aug-

mente avec la fréquence. Les professionnels de la sonorisation savent que le public d'un auditorium placé hors de l'axe des haut-parleurs ne perçoit pas l'aigu.

[0025] Afin de remédier à ces difficultés, certains constructeurs ont la volonté non pas de rendre les transducteurs omnidirectionnels quelle que soit la fréquence rayonnée (ce qui paraît impossible au stade présent de la technologie), mais de *contrôler* la directivité des transducteurs en la maintenant relativement constante sur l'ensemble du spectre émis.

[0026] Une technique bien connue permettant de maîtriser la directivité d'un système de haut-parleur est d'utiliser un transducteur d'aigu à chambre de compression et pavillon, monté de manière coaxiale à l'arrière d'un transducteur de grave, alors appelé transducteur principal, à membrane conique.

[0027] Cette technique, connue de longue date, a donné lieu à de nombreuses variantes d'architecture, telle que celle proposée par Whiteley dès 1952 (Brevet britannique GB 701,395), dans laquelle le pavillon du transducteur d'aigu fait saillie au centre du cône du transducteur de grave. D'autres variantes proposent d'utiliser le cône du transducteur de grave pour constituer le pavillon du transducteur d'aigu, cf. notamment l'architecture proposée par Tannoy dans les années 1940 et 1950 (modèles « Dual Concentric », « Twelve »), perfectionnée jusqu'à la fin des années 1970 (Brevets américains US 4,164,631 de 1978, et US 4,256,930 de 1979). Cette technique permet d'obtenir une bonne cohérence du champ acoustique avec une directivité conique relativement constante sur l'ensemble du spectre émis dont certains auteurs prétendent qu'elle peut atteindre 90° (cf. L. Haidant, Guide pratique de la Sonorisation, ch. 6, pp.64-67).

[0028] L'utilisation d'un transducteur à pavillon et chambre de compression a d'autres avantages. Dans ce transducteur, la membrane ne rayonne pas directement dans l'espace aérien, le rayonnement étant contraint à passer dans un espace restreint (dénommé gorge) de section inférieure à celle de la membrane, d'où l'expression « chambre de compression ».

[0029] Le rendement d'un transducteur à chambre de compression, à rayonnement indirect, est bien supérieur à celui des transducteurs à rayonnement direct.

[0030] Le rendement d'un transducteur se définit comme le quotient entre l'énergie acoustique rayonnée dans tout l'espace aérien par le transducteur, et l'énergie électrique absorbée (ou consommée) par celui-ci. En général, le rendement des transducteurs électrodynamiques à rayonnement direct et de conception courante du type Rice-Kellog est particulièrement faible, de l'ordre de quelque pour mille à quelque pour cent (sans dépasser, ou rarement, 5%).

[0031] Le rendement ne pouvant être mesuré directement, la norme IEC 60268-5 recommande une mesure de puissance acoustique de source. En négligeant la directivité du transducteur, son niveau d'efficacité, aussi appelé niveau de sensibilité, c'est-à-dire la pression so-

nore (en dB) générée par celui-ci en champ libre en demi-espace (« half-space free field ») à 1 mètre, pour une puissance électrique absorbée de 1 W, permet une bonne approximation de son rendement. Le niveau d'efficacité est exprimée en dB/W à 1 mètre. Cette mesure est effectuée dans la bande utile du transducteur et dans l'axe, et peut constituer la courbe de réponse en fréquence de celui-ci.

[0032] Si de nombreux efforts portent aujourd'hui sur la qualité de la reproduction sonore (on parle également de fidélité), il semble toutefois que l'époque ne soit pas à la recherche du meilleur rendement, de nombreux constructeurs estimant qu'un faible rendement énergétique peut être compensé par l'utilisation d'amplificateurs de forte puissance. Il est vrai que les installations domestiques peuvent se satisfaire de transducteurs à faible rendement, compte tenu de la faible portée sonore requise (quelques mètres tout au plus). En revanche, pour les systèmes professionnels de sonorisation (notamment dans le cas de concerts donnés dans de vastes salles ou en plein air) qui requièrent une longue portée sonore, l'expérience montre qu'il est préférable d'utiliser des transducteurs à rendement élevé alimentés sous une puissance électrique moyenne, plutôt que des transducteurs à faible rendement alimentés sous une puissance électrique élevée. D'une part, la majorité de la puissance électrique étant dissipée sous forme de chaleur au niveau du circuit magnétique, on constate dans le second cas des niveaux thermiques très élevés, avec des températures de plusieurs centaines de degrés qui peuvent affecter les performances acoustiques du transducteur et nécessitent de prévoir de complexes dispositifs de refroidissement. D'autre part, la compensation d'un rendement faible par l'augmentation de la puissance électrique est restreinte par un phénomène de limitation du niveau acoustique, appelé compression thermique.

[0033] Nous avons déjà indiqué que les transducteurs à pavillon et chambre de compression offrent des rendements bien supérieurs aux transducteurs classiques à rayonnement direct. Ces performances ont été constatées très tôt, dès les années 1920 et les premiers développements des chambres de compression. Le niveau de sensibilité du célèbre modèle WE 555 W (commercialisée par la firme américaine WESTERN ELECTRIC à partir de 1928 pour la sonorisation des salles de spectacle et des premiers films parlants), seulement partiellement décrit dans le brevet de son concepteur Edward C. WENTE n° US 1,707,545, atteint en effet 118 dB/W/m (mesure faite sur modèle d'origine avec pavillon). Pour obtenir un tel niveau à fréquence égale au moyen d'un transducteur moderne ordinaire de sensibilité jugée (de nos jours) plutôt bonne dans le domaine de la haute fidélité (88 dB/W/m), il serait nécessaire de l'alimenter sous une puissance électrique de 1 000 W (rappelons que, la mesure étant logarithmique, à un écart de 10 dB correspond un facteur 10 en sensibilité, de sorte qu'à un écart de 30 dB correspond un facteur $10^3=1000$).

[0034] On comprend donc que, outre ses performan-

ces intéressantes en termes de directivité et de cohérence spatiale, le système de haut-parleur coaxial à transducteur d'aigu à pavillon et chambre de compression soit prisé des professionnels de la sonorisation pour son rendement élevé. C'est ce type de système que l'invention vise à perfectionner. Malgré ses qualités, il présente en effet un certain nombre de défauts, parmi lesquels on peut mentionner :

- Un retard temporel du rayonnement du transducteur d'aigu sur celui du transducteur principal ;
- Les limites imposées à l'ouverture de l'angle de couverture du rayonnement (en d'autres termes la caractéristique de directivité) par l'architecture dimensionnelle du transducteur principal, puisque l'on hérite des caractéristiques de directivité imposées par la géométrie du transducteur principal ;
- L'encombrement du système, principalement axial ainsi que son surcroît de masse ;
- Les difficultés de réalisation d'un circuit magnétique puissant pour le transducteur principal, en raison de la nécessité de ménager au centre du noyau de celui-ci un passage faisant office de début de pavillon pour le transducteur d'aigu à chambre de compression. On peut en effet constater, sur certaines réalisations, un défaut de concentration du champ magnétique du circuit du transducteur principal (cette perte est due à la faiblesse de la section de passage du flux magnétique au sein du noyau ainsi creusé, qui se trouve saturé magnétiquement).

[0035] Dans les systèmes de sonorisation professionnelle de haut de gamme, le retard de la voie d'aigu sur la voie de grave peut être compensé par un filtrage actif de type numérique (connu sous l'acronyme anglais DSP, Digital Signal Processing). Mais cette compensation ne peut être que partielle, généralement dans l'axe. Par ailleurs, les technologies plus conventionnelles (et moins onéreuses) de filtrage passif à inductances et condensateurs ne peuvent pas compenser le retard important que l'on mesure sur les systèmes coaxiaux connus, qui peut atteindre 250 μ s. Un tel retard, bien que faible en apparence, a un effet psycho-acoustique non négligeable, et dégrade la qualité de la restitution sonore. Il contribue, entre autres raisons, à la réputation de « mauvais réalisme sonore » ou de « mauvaise qualité sonore » que les ingénieurs du son ont coutume d'associer à la sonorisation professionnelle.

[0036] Le document WO 2008/008034 A1, publié le 17 janvier 2008, décrit une unité de commande haute fréquence comportant un diaphragme de type dôme dans un ensemble de diaphragme et de bobine acoustique. L'ensemble de diaphragme et de bobine acoustique est notamment destiné à être employé dans des haut-parleurs composés comportant une pluralité d'unités de commande, conçus pour reproduire différentes parties du spectre de fréquence audio, les unités de commande

étant disposées en configuration coaxiale. Le diaphragme de l'ensemble de diaphragme et de bobine acoustique comporte une découpe circulaire sur sa partie supérieure, définissant une périphérie intérieure du dôme de diaphragme. Le diaphragme est suspendu sur sa périphérie intérieure par une suspension annulaire supérieure, sur sa périphérie extérieure par une suspension annulaire extérieure s'étendant vers l'extérieur dans une direction radiale, et sur sa périphérie extérieure par une suspension annulaire intérieure s'étendant vers l'intérieur. Par ailleurs, le diaphragme de type dôme est surmonté d'une pièce centrale connectée à un support annulaire par l'intermédiaire de poutrelles radiales, l'ensemble de ces pièces ayant vocation à servir de pavillon ou guide d'ondes.

[0037] L'invention vise à apporter une contribution à la résolution des problèmes évoqués ci-dessus, en apportant des perfectionnements aux systèmes de haut-parleurs coaxiaux à chambre de compression.

[0038] A cet effet, l'invention propose, selon un premier mode de réalisation, un système de haut-parleur coaxial à au moins deux voies selon la revendication 1.

[0039] Un tel système procure les avantages suivants, grâce au montage coaxial frontal du transducteur d'aigu par rapport au transducteur de grave :

- le retard temporel du premier par rapport au second peut être minimisé, au bénéfice de l'homogénéité acoustique ;
- de même, il est possible de repousser les limites imposées à la directivité des systèmes traditionnels caractérisés par le montage traversant du pavillon au centre du circuit magnétique du transducteur de grave ;
- l'encombrement axial du système est égal à celui du transducteur de grave, et le surcroît de masse devient négligeable ;
- la section de passage du flux magnétique est moins limitée et il est possible de maximiser la valeur et la concentration du champ magnétique du transducteur principal, car il n'est plus nécessaire de percer le circuit magnétique de celui-ci pour ménager un passage constituant un début de pavillon pour le transducteur d'aigu.

[0040] Le transducteur secondaire peut être monté sur une face avant d'une pièce polaire du circuit magnétique principal. Plus précisément, le circuit magnétique principal inclut par exemple une pièce polaire arrière comprenant un noyau central ayant une face avant sur laquelle est monté le transducteur secondaire.

[0041] Selon un mode de réalisation, la bobine mobile du transducteur principal comprend un support et un solénoïde bobiné sur ce support, le transducteur secondaire peut être reçu dans un espace du transducteur principal, délimité vers l'arrière par la face avant de la pièce polaire du circuit magnétique principal, et latéralement par la paroi cylindrique du support de bobine mobile, soit

en position coaxiale « frontale ».

[0042] Le montage des transducteurs est de préférence réalisé de manière que les centres acoustiques des transducteurs soient coïncidents ou quasiment coïncidents.

[0043] Par ailleurs, l'architecture du transducteur secondaire est de type « à endosquelette » et présente un châssis interne fixe appelé endosquelette sur lequel l'équipage mobile du transducteur secondaire est monté par l'intermédiaire d'une suspension interne au diaphragme, l'équipage mobile du transducteur secondaire étant de préférence dépourvu de suspension externe au diaphragme.

[0044] Le transducteur secondaire peut être fixé sur le transducteur principal par l'intermédiaire de son endosquelette. Cet endosquelette comprend par exemple une platine, fixée au circuit magnétique secondaire, et une tige solidaire de la platine et par laquelle le transducteur est fixé sur le circuit magnétique principal.

[0045] L'invention propose, en second lieu, une enceinte acoustique comprenant un système de haut-parleur coaxial tel que décrit ci-dessus.

[0046] D'autres objets et avantages de l'invention apparaîtront à la lumière de la description faite ci-après en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe montrant un système de haut-parleur coaxial comprenant un transducteur principal de grave, et un transducteur d'aigu à chambre de compression ;
- la figure 2 est une vue en coupe du transducteur d'aigu ;
- la figure 3 est une vue de dessus du transducteur d'aigu ;
- la figure 4 est une vue d'un détail de la figure 2 ;
- la figure 5 est une vue en coupe montrant un détail du transducteur d'aigu ;
- la figure 6 est une vue similaire à la figure 5, montrant une variante de réalisation du transducteur d'aigu ;
- la figure 7 est une vue en perspective montrant une variante de réalisation d'un guide d'onde pour un transducteur tel que représenté sur les figures 2 à 5 ;
- la figure 8 est une vue similaire à la figure 1, illustrant une variante de réalisation ;
- la figure 9 est une vue en perspective montrant une enceinte incluant un système de haut-parleur coaxial tel que représenté sur la figure 1.

[0047] Sur la figure 1 est représenté un système 1 de haut-parleur coaxial à plusieurs voies. Dans l'exemple représenté, le système 1 comprend deux voies, mais on pourrait imaginer un système à trois voies ou plus.

[0048] Le système 1 est conçu pour couvrir un spectre acoustique étendu, dans l'idéal la totalité de la bande audible. Il comprend un transducteur de grave 2, conçu pour reproduire une partie inférieure du spectre et que l'on dénommera « transducteur principal », et un transducteur d'aigu 3, conçu pour reproduire une partie supé-

rieure du spectre et que l'on dénommera « transducteur secondaire ».

[0049] En pratique, le transducteur principal 2 peut être conçu pour reproduire le grave et/ou le médium, et éventuellement une partie de l'aigu. A cet effet son diamètre sera de préférence compris entre 10 et 38 cm. Bien que l'objet principal de la présente invention ne soit pas de définir des préconisations concernant le spectre couvert par les différents transducteurs du système 1, précisons toutefois que le spectre couvert par le transducteur principal 2 peut couvrir le grave, c'est-à-dire la bande de 20 Hz à 200 Hz, ou bien le médium, c'est-à-dire la bande de 200 Hz à 2 kHz, ou bien encore une partie au moins du grave et du médium (et par exemple la totalité du grave et du médium), et éventuellement une partie de l'aigu. A titre d'exemple, le transducteur principal peut être conçu pour couvrir une bande de 20 Hz à 1 kHz ou de 20 Hz à 2 kHz, ou encore de 20 Hz à 5 kHz.

[0050] Le transducteur secondaire 3 est préférentiellement conçu pour que sa bande passante soit au moins complémentaire dans l'aigu de celui du transducteur principal 2. Ainsi, on pourra veiller à ce que celle du transducteur secondaire 3 couvre au moins en partie le médium et la totalité de l'aigu, jusqu'à 20 kHz.

[0051] Il est préférable que les bandes de fréquence où la réponse en amplitude des transducteurs 2,3 est de niveau constant se chevauchent en partie et que le niveau de sensibilité du transducteur d'aigu soit au moins égal à celui du transducteur de grave, afin d'éviter une chute de la réponse globale du système 1 à certaines fréquences correspondant à la partie haute du spectre du transducteur principal 2 et à la partie basse du spectre du transducteur secondaire 3.

[0052] Bien visible sur la figure 1, le transducteur principal 2 comprend un circuit magnétique principal 4 qui inclut un aimant 5 annulaire, pris en sandwich entre deux pièces polaires en acier doux formant des plaques de champ, à savoir une pièce polaire arrière 6 et une pièce polaire avant 7, fixées sur deux faces opposées de l'aimant 5 par collage.

[0053] L'aimant 5 et les pièces polaires 6,7 sont symétriques de révolution autour d'un axe commun A1 formant l'axe général du transducteur principal 2 et que l'on dénomme ci-après « axe principal ».

[0054] Dans le mode de réalisation illustré, la pièce polaire arrière 6 est monobloc. Elle comprend un fond 8 annulaire fixé à une face arrière 9 de l'aimant 5, et un noyau 10 central cylindrique, qui présente à l'opposé du fond 8 une face avant 11 et est percé d'un alésage 12 central débouchant de part et d'autre de la culasse 6.

[0055] La pièce polaire ou plaque avant 7, possède une forme de rondelle annulaire. Elle présente une face arrière 13, par laquelle elle est fixée à une face avant 14 de l'aimant 5, et une face avant 15 opposée qui s'étend dans le même plan que la face avant 11 du noyau 10.

[0056] La plaque avant 7 présente en son centre un alésage 16 dont le diamètre interne est supérieur au diamètre externe du noyau 10, de sorte qu'entre cet alésage

16 et le noyau **10** qui s'y trouve logé est défini un entrefer **17** dit principal dans lequel règne une partie du champ magnétique généré par l'aimant **5**.

[0057] Le transducteur principal **2** comprend par ailleurs un châssis **18** appelé saladier, qui inclut une embase **19** par laquelle le saladier **18** est fixé sur le circuit magnétique principal **4** - et plus précisément sur la face avant **15** de la plaque avant **7** -, une couronne **20** par laquelle le transducteur **2** est fixé à une structure porteuse, et une pluralité de branches **21** reliant l'embase **19** à la couronne **20**.

[0058] Le transducteur principal **2** comprend en outre un équipage mobile **22** incluant une membrane **23** et une bobine mobile **24** comprenant un solénoïde **25** enroulé sur un support **26** cylindrique solidaire de la membrane **23**.

[0059] La membrane **23** est réalisée dans un matériau rigide et léger tel que de la pulpe de cellulose imprégnée, et présente une forme conique ou pseudo-conique de révolution autour de l'axe **A1** principal, à génératrice curviligne (par exemple suivant une loi circulaire, exponentielle ou hyperbolique).

[0060] La membrane **23** est fixée sur le pourtour de la couronne **20** par l'intermédiaire d'une suspension périphérique **27** (encore appelée bord) qui peut être constituée par une pièce torique rapportée et collée à la membrane **23**. La suspension **27** peut être réalisée en élastomère (par exemple caoutchouc naturel ou synthétique), en polymère (alvéolaire ou non) ou dans un tissu ou un non-tissé imprégné et enduit.

[0061] En son centre, la membrane **23** définit une ouverture **28** sur le bord interne de laquelle le support **26** est fixé par une extrémité avant par collage. Le centre géométrique de l'ouverture **28** est considéré, en première approximation, comme étant le centre acoustique **C1** du transducteur principal **2**, c'est-à-dire la source ponctuelle équivalente à partir de laquelle est émis le rayonnement acoustique du transducteur principal **2**.

[0062] Un cache-noyau **29** hémisphérique, réalisé dans un matériau non émissif acoustiquement, peut être fixé à la membrane **23** au voisinage de l'ouverture **28** pour protéger celle-ci de l'intrusion de poussières.

[0063] Le solénoïde **25**, réalisé dans un fil métallique conducteur (par exemple en cuivre ou en aluminium) est bobiné sur le support **26**, à une extrémité arrière de celui-ci plongeant dans l'entrefer principal **17**. Suivant le diamètre du transducteur principal **2**, le diamètre du solénoïde **25** peut être compris entre 25 mm et plus de 100 mm.

[0064] Le centrage, le rappel élastique et le guidage axial de l'équipage mobile **22** sont assurés conjointement par la suspension périphérique **27** et par une suspension centrale **30**, encore appelée spider, de forme généralement annulaire, à corrugations concentriques, présentant un bord périphérique **31** par lequel le spider **30** est fixé (par collage) à un rebord **32** du saladier **18** voisin de l'embase **19**, et un bord intérieur **33** par lequel le spider **30** est fixé (également par collage) au support **26** cylin-

drique.

[0065] L'apport du signal électrique au solénoïde **25** est réalisé de manière classique au moyen de deux conducteurs électriques (non représentés) reliant chacune des deux extrémités du solénoïde **25** à une borne du transducteur **2** où s'effectue le raccord avec un amplificateur de puissance.

[0066] Comme cela est illustré sur la figure 1, le transducteur secondaire **3** est logé dans le transducteur principal **2** en étant reçu dans un espace central frontal (c'est-à-dire du côté avant du circuit magnétique **4**) délimité vers l'arrière par la face avant **11** du noyau **10**, et latéralement par la paroi interne du support **26**.

[0067] Le transducteur secondaire **3** comprend un circuit magnétique **34** secondaire, distinct du circuit magnétique principal **4**, qui inclut un aimant permanent **35** annulaire central, pris en sandwich entre deux pièces polaires formant des plaques de champ, à savoir une pièce polaire arrière **36** et une pièce polaire avant **37**, fixées sur deux faces opposées de l'aimant **35** par collage.

[0068] L'aimant **35** et les pièces polaires **36,37** sont symétriques de révolution autour d'un axe **A2** commun formant l'axe général du transducteur secondaire **3** et que l'on dénomme ci-après « axe secondaire ».

[0069] L'aimant **35** est de préférence réalisé dans un alliage de terre rare néodyme-fer-bore, qui présente l'avantage d'offrir une densité énergétique élevée (jusqu'à 12 fois plus importante que celle d'un aimant permanent de ferrite de baryum de taille équivalente).

[0070] Comme cela est bien visible sur la figure 2, la pièce polaire arrière **36**, dénommée culasse, est en l'occurrence monobloc et réalisée en acier doux. Elle présente une forme de coupe de section diamétrale en U, et comprend un fond **38** fixé à une face arrière **39** de l'aimant **35**, et une paroi latérale **40** périphérique s'étendant axialement à partir du fond **38**. La paroi latérale **40** se termine, à une extrémité avant opposée au fond **38**, par une face avant **41** annulaire. Le fond **38** présente une face arrière **42** appliquée contre la face avant **11** du noyau **10**, de manière coaxiale, c'est-à-dire de telle sorte que l'axe secondaire **A2** soit sensiblement confondu avec l'axe principal **A1**.

[0071] La pièce polaire avant **37**, dénommée noyau, est également réalisée en acier doux. Elle est de forme annulaire et présente une face arrière **44**, par laquelle elle est fixée à une face avant **45** de l'aimant **35**, et une face avant **46** opposée qui s'étend dans le même plan que la face avant **41** de la paroi latérale **40** de la culasse **36**.

[0072] Comme cela est visible sur la figure 2, le circuit magnétique **34** est extra-plat, c'est-à-dire que son épaisseur est faible comparée à son diamètre hors tout. Par ailleurs, le circuit magnétique **34** s'étend jusqu'au diamètre extérieur du transducteur **3**. En d'autres termes, la taille du circuit magnétique **34** est maximisée par rapport au diamètre hors tout du transducteur **3**, ce qui augmente sa tenue en puissance ainsi que la valeur du champ magnétique, et donc la sensibilité du transducteur

3.

[0073] Le noyau 37 présente un diamètre hors tout inférieur au diamètre interne de la paroi latérale 40 de la culasse 36, de sorte qu'entre le noyau 37 et la paroi latérale 40 de la culasse 36 est défini un entrefer 47 secondaire dans lequel est concentrée la majeure partie du champ magnétique généré par l'aimant 35.

[0074] Au niveau de l'entrefer 47, les arêtes du noyau 37 et de la culasse 36 peuvent être chanfreinées, ou de préférence et comme cela est illustré sur la figure 2, arrondies de manière à éviter les bavures néfastes.

[0075] Le transducteur secondaire 3 comprend en outre un équipement mobile 48 incluant un diaphragme 49 en forme de dôme et une bobine mobile 50 solidaire du diaphragme 49.

[0076] Le diaphragme 49 est réalisé dans un matériau rigide et léger, par exemple en polymère thermoplastique ou encore dans un alliage léger à base d'aluminium, en magnésium ou titane. Il est positionné de sorte à recouvrir le circuit magnétique 34 du côté du noyau 37, et de manière que son axe de symétrie de révolution soit confondu avec l'axe secondaire A2. Dans ces conditions, le sommet du diaphragme 49, situé sur l'axe secondaire A2, peut être considéré comme le centre acoustique C2 de celui-ci, c'est-à-dire la source ponctuelle équivalente à partir de laquelle est émis le rayonnement acoustique du transducteur secondaire 3.

[0077] Le diaphragme 49 présente un bord périphérique 51 circulaire légèrement relevé pour faciliter la fixation de la bobine mobile 50.

[0078] La bobine mobile 50 comprend un solénoïde en fil (de section circulaire ou rectangulaire) métallique, conducteur (par exemple en cuivre ou en aluminium), d'une largeur préférée de 0,3 mm, enroulé en spirale pour former un cylindre dont une extrémité supérieure est fixée par collage au bord périphérique 51 relevé du diaphragme 49. La bobine 50 est ici dépourvue de support (mais pourrait en comporter un).

[0079] La bobine mobile 50 est plongée dans l'entrefer secondaire 47. Le diamètre intérieur de la bobine mobile 50 est très légèrement supérieur au diamètre extérieur du noyau 37, de sorte que le jeu fonctionnel intérieur ménagé entre la bobine mobile 50 et le noyau 37 soit faible devant la largeur de l'entrefer 47. En variante, les jeux fonctionnels pourraient être dimensionnés de manière conventionnelle.

[0080] Selon un mode préféré de réalisation, le pourtour au moins du noyau 37 est de préférence revêtu d'une fine couche de polymère à bas coefficient de frottement, tel que polytétrafluoroéthylène (PTFE ou téflon) d'une épaisseur voisine au centième de millimètre (ou inférieure), et de préférence de quelques dizaines de μm (par exemple environ 20 μm).

[0081] Il en résulte qu'en dépit du faible jeu entre le noyau 37 et la bobine mobile 50, d'une part, que la mise en place de la bobine mobile 50 dans l'entrefer 47 est relativement aisée et, d'autre part, qu'en fonctionnement le mouvement axial de la bobine mobile 50 n'est pas

contrarié par la proximité du noyau 37, même dans l'hypothèse où ces deux éléments viendraient accidentellement et temporairement au contact l'un de l'autre.

[0082] En pratique, la bobine mobile 50 et l'entrefer 47 sont de préférence dimensionnés de manière que :

- le jeu entre la bobine mobile 50 et le noyau 37 (revêtement compris) soit inférieur au dixième de millimètre, et par exemple compris entre 0,05 et 0,1 mm. Selon un mode préféré de réalisation, le jeu intérieur est de 0,08 mm (sans qu'il soit exclu de dimensionner ce jeu de manière classique) ;
- le jeu extérieur ménagé entre la bobine mobile 50 et la paroi latérale 40 de la culasse 36 soit inférieur à 0,2 mm, et par exemple compris entre 0,1 mm et 0,2 mm. Selon un mode préféré de réalisation, le jeu extérieur est de 0,17 mm.

[0083] Ainsi, la largeur maximale de l'entrefer 47, pour une bobine mobile 50 de 0,3 mm de large, est de 0,6 mm (avec un jeu intérieur de 0,1 mm et un jeu extérieur de 0,2 mm). Dans cette configuration, le taux d'occupation de la bobine mobile 50 dans l'entrefer 47, égal au rapport des sections de la bobine mobile 50 et de l'entrefer 47, est voisin de 50%. Dans la configuration préférée, pour une largeur d'entrefer de 0,55 mm, un jeu intérieur de 0,08 mm et un jeu extérieur de 0,17 mm, le taux d'occupation de la bobine mobile 50 dans l'entrefer 47 est de l'ordre de 55%.

[0084] Ces valeurs sont à comparer aux taux d'occupation des transducteurs de l'art antérieur, inférieurs à 35% environ.

[0085] Il résulte de la largeur réduite de l'entrefer 47 une augmentation de la densité de flux magnétique dans l'entrefer 47, et une augmentation subséquente du niveau de sensibilité du transducteur 3, la sensibilité variant comme le carré de la densité de flux magnétique dans l'entrefer 47.

[0086] On peut avoir avantage à garnir l'entrefer 47 d'une huile minérale chargée de particules magnétiques, par exemple du type commercialisé par la société FERROTEC sous la dénomination commerciale Ferrofluid (marque déposée). Une telle garniture a les avantages suivants :

- elle favorise le centrage de la bobine mobile 50 dans l'entrefer 47,
- elle a une fonction de lubrification dynamique, au bénéfice du silence de fonctionnement du transducteur 3,
- grâce à sa conductivité thermique très supérieure à celle de l'air, elle favorise l'évacuation vers le circuit magnétique 34, et en particulier vers la culasse 36, de la chaleur produite par effet Joule dans la bobine mobile 50.

[0087] Le transducteur secondaire 3 comprend en outre un support 52 fixé au circuit magnétique 34 secon-

daire, et auquel est suspendu l'équipage mobile **48**. Le support **52**, réalisé dans un matériau diamagnétique et électriquement isolant, par exemple un matériau thermoplastique tel que polyamide ou polyoxyméthylène (chargé verre ou non), présente une forme générale symétrique de révolution autour d'un axe confondu avec l'axe secondaire **A2**, à section en forme de T.

[0088] Le support **52**, monobloc, forme un endosquelette pour le transducteur **3**, comprenant une platine **53** annulaire appliquée contre la face avant **46** du noyau **37**, et une tige **54** cylindrique qui s'étend en saillie vers l'arrière à partir du centre de la platine **53**, et qui vient se loger dans un emplacement **55** cylindrique complémentaire pratiqué dans le circuit magnétique **34** et formé par une succession de perçages coaxiaux pratiqués dans la culasse **36**, l'aimant **35** et le noyau **37**.

[0089] Comme illustré sur la figure 2, l'endosquelette **52** est rigidement fixé au circuit magnétique **34** au moyen d'un écrou **56** vissé sur une portion filetée de la tige **54** et serré contre la culasse **36**, à l'intérieur d'un lamage **57** pratiqué sur la face arrière **42**, en son centre. De la sorte, la platine **53** est fermement plaquée contre la face avant **46** du noyau **37**, sans possibilité de rotation. Cette fixation peut éventuellement être complétée par l'application d'un film de colle entre la platine **53** et le noyau **37**.

[0090] Compte tenu de sa localisation frontale par rapport au circuit magnétique **34**, la platine **53** s'étend dans le volume interne lenticulaire délimité par le diaphragme **49**. La platine **53** comprend une jante annulaire **58** périphérique et un disque **59** central auquel se raccorde la tige **54**. Le disque **59** peut être percé de trous **60** dont une fonction est de maximiser le volume d'air sous le diaphragme **49**, de manière à diminuer la fréquence de résonance de l'équipage mobile **48**.

[0091] La jante **58** a sensiblement le profil d'une poulie et comprend une gorge **61** annulaire périphérique qui débouche radialement vers l'extérieur, en regard d'une portion annulaire **62** périphérique de la surface interne du diaphragme **49**, située à proximité du bord **51**.

[0092] La gorge **61** sépare la jante **58** en deux flasques en vis-à-vis formant les parois latérales de la gorge **61**, à savoir un flasque arrière **63**, en appui contre la face avant **46** du noyau **37**, et un flasque avant **64**. Les flasques **63,64** sont reliés par une âme **65** cylindrique formant le fond de la gorge **61**.

[0093] L'équipage mobile **48** est monté sur l'endosquelette **52** au moyen d'une suspension **66** intérieure qui assure la liaison entre le diaphragme **49** et la platine **53**. Cette suspension **66** se présente sous forme d'une pièce de révolution réalisée dans un matériau léger, élastique et non émissif acoustiquement (on peut à cet effet choisir un matériau poreux). Ce matériau est de préférence résistant à la chaleur régnant dans le transducteur, et son élasticité est choisie pour que la fréquence de résonance de l'équipage mobile **48** soit inférieure à la fréquence la plus basse reproduite par le transducteur **3** (en l'espèce 500 Hz à 2 kHz).

[0094] Du fait de la non émissivité acoustique de la

suspension **66**, seul le diaphragme en dôme **49** émet un rayonnement acoustique. De la sorte, on évite modes propres, résonances, et plus généralement le rayonnement acoustique parasite de la suspension **66**, qui viendrait interférer avec celui du diaphragme **49** et altérer les performances du transducteur **3**.

[0095] Selon un mode de réalisation préféré, dénommé ici « montage flottant » et illustré notamment sur les figures 2, 4 et 5, la suspension **66** présente une section de forme sensiblement polygonale et comprend un bord interne **67** droit, c'est-à-dire cylindrique de révolution autour de l'axe secondaire **A2**, et un bord externe **68** périphérique sensiblement tronconique.

[0096] La suspension peut être réalisée dans un tissu de fibres naturelles (par exemple coton) ou synthétiques (par exemple polyester, polyacrylique, nylon, et plus particulièrement les aramides, dont le Kevlar, marque déposée) ou dans un mélange de fibres naturelles et synthétiques (par exemple coton-polyester), ces fibres étant imprégnées d'une résine thermodurcissable ou thermoplastique, qui confère tenue et raideur et élasticité à la suspension **66**. Mais la suspension sera de préférence réalisée dans une mousse de polymère réticulée (par exemple de polyester ou de mélamine), particulièrement bien adaptée car présentant une porosité élevée.

[0097] Par son bord externe **68** tronconique, la suspension **66** est fixée, par collage, sur la portion périphérique **62** de la surface intérieure du diaphragme **49**. En variante, dans l'hypothèse où la bobine mobile **50** comprendrait un support cylindrique solidaire du diaphragme **49** et sur lequel serait monté le solénoïde, la suspension **66** pourrait être fixée, par son bord périphérique externe (qui serait alors cylindrique), sur la surface intérieure de ce support.

[0098] Comme illustré sur la figure 2, l'épaisseur de la suspension **66** (mesurée suivant l'axe secondaire **A2**), bien qu'inférieure à sa longueur libre (mesurée radialement entre les flasques **63,64** et la surface **62** interne du diaphragme **49**), n'est pas négligeable par rapport à celle-ci, mais est du même ordre de grandeur. Plus précisément, le rapport entre la longueur libre et l'épaisseur de la suspension **66** est préférentiellement inférieur à 5 (en l'occurrence ce rapport est inférieur à 3). Le fait de minimiser ainsi la longueur libre de la suspension **66** permet de stabiliser l'équipage mobile **48** et l'empêcher de basculer (effet anti-tangage).

[0099] Du côté de son bord interne **67**, la suspension **66** est logée dans la gorge **61** en étant légèrement comprimée entre les flasques **63,64** de manière à éviter les bruits parasites, mais sans toutefois être fixée à ceux-ci. En outre, le diamètre interne de la suspension **66** est supérieur au diamètre interne de la gorge **61** (c'est-à-dire au diamètre externe de l'âme **65** de la jante), de sorte qu'un espace annulaire **69** est ménagé entre la suspension **66** et l'âme **65**.

[0100] De la sorte, la suspension **66** est flottante par rapport à la jante **58** de la platine **53**, avec une possibilité de débatement radial, la suspension **66** pouvant glisser

par rapport aux flasques **63,64**. Afin de favoriser ce glissement, on peut appliquer sur les flasques **63,64** une couche de lubrifiant pâteux tel que de la graisse. Le jeu radial défini par l'espace annulaire **69** entre la suspension **66** et l'âme **65** (c'est-à-dire le fond de la gorge **61**) est de préférence inférieure à 1 mm. Suivant un mode préféré de réalisation, ce jeu est d'environ 0,5 mm. Sur les figures on a exagéré ce jeu à des fins de clarté.

[0101] Selon une variante de montage dit « non flottant », la suspension **66** peut être collée à l'intérieur des flasques **63, 64** au lieu d'être simplement graissée. Dans ce cas, le dimensionnement des jeux radiaux seront du type conventionnel et non réduits comme dans le montage flottant décrit ci-dessus. En montage non flottant, l'équipage mobile **48** sera centré par rapport à l'entrefer au moyen d'un outil de centrage (encore appelé « fausse culasse »), de la manière décrite ci-après à propos de la variante de suspension **66** de type « spider » représentée sur la figure 6.

[0102] En outre, il est préférable que la partie de la suspension **66** logée dans la gorge **61** soit de largeur (mesurée radialement) supérieure ou égale à son épaisseur, de manière à garantir une liaison mécanique de type appui-plan et minimiser tout effet néfaste de basculement de la suspension **66** par rapport à la platine **53**.

[0103] La suspension **66** s'étend ainsi intérieurement au diaphragme **49**. La suppression d'une suspension périphérique externe permet de supprimer les interférences acoustiques existant dans les transducteurs connus entre le rayonnement du diaphragme et celui de sa suspension.

[0104] En outre, la suspension **66** n'exerçant aucune contrainte radiale sur le diaphragme **49**, elle n'impose pas de fonction de centrage de celui-ci par rapport au circuit magnétique **34** secondaire, au bénéfice de la simplicité d'assemblage du transducteur secondaire **3**, ou du remplacement du diaphragme **49** en cas de défaillance.

[0105] Le centrage du diaphragme **49** est réalisé au niveau de la bobine mobile **50**, qui est ajustée avec faible jeu sur le noyau **37** et se centre automatiquement par rapport à celui-ci dès lors que la bobine mobile **50**, plongée dans le champ magnétique de l'entrefer **47**, est mise en mouvement par un courant électrique de modulation.

[0106] En revanche, la suspension **66** assure une fonction de rappel de l'équipage mobile **48** vers une position médiane de repos, adoptée en l'absence de contrainte axiale s'exerçant sur la bobine mobile **50** (c'est-à-dire, en pratique, en l'absence de courant parcourant celle-ci). C'est dans cette position médiane que l'on a représenté le transducteur secondaire **3** sur les figures.

[0107] La suspension **66** assure également une fonction de maintien de l'assiette du diaphragme **49**, c'est-à-dire de maintien du bord périphérique **51** du diaphragme **49** dans un plan perpendiculaire à l'axe secondaire **A2**, afin d'éviter tout basculement ou tangage du diaphragme **49** qui grèverait son fonctionnement.

[0108] On a représenté sur la figure 6 une variante de

réalisation du transducteur secondaire **3**, dite « non flottante » qui se distingue du mode de réalisation préféré qui vient d'être décrit par la conception de la suspension **66** et la forme de l'endosquelette **52**.

[0109] La suspension **66** est en effet de type spider et réalisée dans un tissu de fibres naturelles (par exemple coton) ou synthétiques (par exemple polyester, polyacrylique, nylon, et plus particulièrement les aramides, dont le Kevlar, marque déposée) ou dans un mélange de fibres naturelles et synthétiques (par exemple coton-polyester), ces fibres étant imprégnées d'une résine thermodurcissable ou thermoplastique, qui, après conformation par thermoformage, confère tenue, raideur et élasticité à la suspension **66**.

[0110] La suspension comprend une portion interne **98** annulaire, plane, fixée par collage sur une face supérieure **99** de la platine **53**, et une portion périphérique **100** qui s'étend autour de la portion interne **98**. La portion périphérique **100** s'étend radialement librement au-delà de la platine **53** et comprend des ondulations **101** qui peuvent être obtenues par thermoformage.

[0111] Par un bord externe **102**, la suspension **66** est fixée, par collage, sur la surface intérieure du diaphragme **49**, à proximité du bord périphérique **51** de celui-ci. En variante, dans l'hypothèse où la bobine mobile **50** comprendrait un support cylindrique solidaire du diaphragme **49** et sur lequel serait monté le solénoïde, la suspension **66** pourrait être fixée, par son bord externe, sur la surface intérieure de ce support.

[0112] Il est à noter que l'équipage mobile **48** doit être parfaitement centré par rapport au circuit magnétique **34**, et plus précisément par rapport à l'entrefer **47** dans lequel la bobine mobile **50** est logée. A cet effet, on utilise un montage de centrage (-encore appelé fausse culasse) dans lequel est positionné l'endosquelette **52**. Le montage de centrage comprend un alésage (d'un diamètre égal à celui du logement **55**) dans lequel est introduite la tige **54** de l'endosquelette **52**. Le collage de la suspension **66** sur la platine **53** est réalisé ensuite. Avant que la colle n'ait pris, on assure le centrage du diamètre intérieur de la bobine mobile **50** par rapport à l'alésage du montage de centrage, ce qui assure le centrage de l'équipage mobile **48** par rapport à l'endosquelette **52**. Après séchage de la colle, l'ensemble comprenant l'équipage mobile **48** et l'endosquelette **52** peut alors être monté en étant parfaitement centré dans le circuit magnétique **34**, en fabrication comme en cas de réparation par remplacement de l'équipage mobile **48**.

[0113] Le courant électrique est amené à la bobine mobile **50** par deux circuits électriques **70** qui relient les extrémités de la bobine mobile **50** à deux bornes électriques (non représentées) d'alimentation du transducteur **3**.

[0114] Comme cela est illustré sur la figure 2, chaque circuit électrique **70** comprend :

- un conducteur **71** de forte section, comprenant un fil de cuivre isolé par une gaine plastique, traversant le circuit magnétique **34** en étant logé dans une rai-

- nure pratiquée longitudinalement dans la tige **54** de l'endosquelette **52**, et dont une extrémité avant dénudée **72** débouche dans le volume interne au diaphragme **49** en faisant saillie du circuit magnétique **34** au niveau de l'un des trous **60** du disque ;
- un élément de jonction électrique sous forme, par exemple d'un oeillet **73** métallique (en cuivre ou en laiton) serti dans ce trou **60** et auquel l'extrémité dénudée **72** du conducteur **71** est raccordée électriquement (par exemple par l'intermédiaire d'un point de soudure, non représenté) ;
 - un conducteur **74** de faible section, sous forme d'une tresse métallique très souple et convenablement conformée, qui s'étend dans le volume interne du diaphragme **49** en enjambant la jante **58** et la suspension **66**, dans le cas du mode de réalisation préféré dit « montage flottant » et dont une extrémité interne **75** est raccordée électriquement à l'oeillet **73** (par exemple par l'intermédiaire d'une soudure, non représentée), et dont une extrémité externe opposée est raccordée électriquement à une extrémité de la bobine mobile **50**.

[0115] Un seul conducteur **74** de faible section est visible sur la figure 2, le deuxième conducteur de faible section, diamétralement opposé au premier, étant situé en avant du plan de coupe de la figure.

[0116] La forme arquée (en U), ajoutée à la grande souplesse de ces conducteurs **74**, leur permet de se déformer sans difficulté et de suivre les mouvements de débattement du diaphragme **49** accompagnant les vibrations de la bobine mobile **50**, sans appliquer de contrainte mécanique radiale ou axiale pouvant compromettre la liberté de positionnement de l'équipage mobile **48**.

[0117] Le transducteur secondaire **3** comprend enfin un guide **76** d'onde acoustique, solidaire du circuit magnétique **34**.

[0118] Le guide d'onde **76** se présente sous forme d'une pièce monobloc réalisée dans un matériau ayant une conductivité thermique élevée, supérieure à $50 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, par exemple en aluminium (ou dans un alliage d'aluminium).

[0119] Le guide d'onde **76**, de forme de révolution, est fixé sur la culasse **36** et comprend une paroi latérale **77** externe sensiblement cylindrique qui s'étend dans le prolongement de la paroi latérale **40** de la culasse **36**. La fixation est de préférence effectuée par vissage, au moyen d'un nombre de vis égal ou supérieur à 3. Afin de maximiser le contact thermique entre les deux pièces, il est avantageux de compléter ce vissage par une enduction de pâte thermoconductrice.

[0120] Comme cela est visible sur les figures 2 et 5, le guide d'onde **76** présente, sur un bord périphérique arrière, une jupe **78** qui vient s'ajuster sur un décrochement **79** pratiqué dans la culasse **36**, de profil complémentaire. Il en résulte un centrage précis du guide d'onde **76** par rapport à la culasse **36** et, plus généralement, par rapport au circuit magnétique **34** et au diaphragme **49**. De plus,

la conduction thermique entre les deux pièces **36**, **76** s'en trouve améliorée.

[0121] Le guide d'onde **76** présente une face arrière **80** ayant une forme en calotte sensiblement sphérique, qui s'étend de manière concentrique au diaphragme **49**, en regard et au voisinage d'une face externe de celui-ci qu'elle couvre partiellement.

[0122] Selon un mode préféré de réalisation illustré sur les figures 1 à 5, la face arrière **80** est ajourée et comprend une portion périphérique **81** continue qui s'étend au voisinage du bord arrière du guide d'onde **76**, et une portion centrale **82** discontinue portée par une série d'aillettes **83** faisant saillie radialement depuis la paroi latérale **77** vers l'intérieur (c'est-à-dire vers l'axe **A2** du transducteur **3**). La face arrière **80** est délimitée intérieurement - c'est-à-dire du côté du diaphragme **49** - par une arête **84** de forme pétaloïde.

[0123] Comme cela est visible sur la figure 3, les ailettes **83** ne se rejoignent pas sur l'axe **A2** mais s'interrompent à une extrémité interne située à distance de l'axe **A2**. A leur sommet, les ailettes **83** présentent chacune une arête **85** curviligne.

[0124] La paroi latérale **77** du guide d'onde **76** est délimitée intérieurement par une face avant **86** tronconique discontinue répartie sur une pluralité de secteurs angulaires **87** qui s'étendent entre les ailettes **83**. Cette face avant **86** forme une amorce de pavillon s'étendant de l'intérieur vers l'extérieur et depuis un bord arrière, formé par l'arête pétaloïde **84** constituant une gorge de l'amorce de pavillon **86**, jusqu'à un bord avant **88** qui constitue une bouche de l'amorce de pavillon **86**. Les secteurs angulaires **87** de l'amorce de pavillon **86** sont des portions d'un cône de révolution dont l'axe de symétrie est confondu avec l'axe secondaire **A2**, et dont la génératrice est curviligne (par exemple suivant une loi circulaire, exponentielle ou hyperbolique). L'amorce de pavillon **86** assure une adaptation continue d'impédance acoustique entre le milieu aérien délimité par la gorge **84** et le milieu aérien délimité par la bouche **88**.

[0125] Selon un mode de réalisation, la tangente à l'amorce de pavillon **86** sur la bouche **88** forme avec un plan perpendiculaire à l'axe **A2** du transducteur **3** secondaire un angle compris entre 30° et 70° . Dans l'exemple illustré sur les dessins, cet angle est de 50° environ.

[0126] Les ailettes **83**, dont la fonction sera décrite plus loin, présentent chacune latéralement deux joues **89** qui se raccordent extérieurement aux secteurs angulaires **87** de l'amorce de pavillon **86** par l'intermédiaire de congés **90**.

[0127] Dans la variante de réalisation illustrée sur la figure 7, le guide d'onde **76** forme non une amorce de pavillon mais un pavillon complet (par exemple symétrique de révolution autour de l'axe secondaire **A2**), dont la gorge **84** est de contour circulaire et dont la longueur est telle que, lorsque le transducteur secondaire **3** est monté dans le transducteur principal **2**, la bouche **88** peut s'étendre, comme sur la figure 8, au delà du niveau de la suspension périphérique **27** de la membrane **23**.

[0128] Le guide d'onde **76** délimite sur le diaphragme **49** deux zones distinctes et complémentaires, à savoir :

- une zone interne **91** découverte, de forme pétaloïde, délimitée extérieurement par la gorge **84**,
- une zone externe **92** couverte, de forme complémentaire de la zone couverte **91**, délimitée intérieurement par la gorge **84**.

[0129] La face arrière **80** du guide d'onde **76** et la zone externe **92** couverte correspondante du diaphragme **49** définissent entre elles un volume d'air **93** appelé chambre de compression, dans laquelle le rayonnement acoustique du diaphragme **49** vibrant entraîné par la bobine mobile **50** se déplaçant dans l'entrefer **47** n'est pas libre, mais comprimé. La zone interne **91** découverte communique directement avec la gorge **84** en regard, qui concentre le rayonnement acoustique de la totalité du diaphragme **49**.

[0130] Le taux de compression du transducteur **3** est défini par le quotient de sa surface émissive, correspondant à la surface plane délimitée par le diamètre hors tout de la membrane **49** (mesuré sur le bord **51**) par la surface délimitée par la projection, dans un plan perpendiculaire à l'axe **A2**, de la gorge **84**. Ce taux de compression est de préférence supérieur à 1,2:1, et par exemple d'environ 1,4:1. Des taux de compression supérieurs, par exemple jusqu'à 4:1, sont envisageables.

[0131] Comme cela est représenté sur la figure 1, le transducteur secondaire **3** est monté dans le transducteur principal **2** à la fois :

- de manière coaxiale, c'est-à-dire que l'axe principal **A1** et l'axe secondaire **A2** sont confondus,
- de manière frontale, c'est-à-dire que le transducteur secondaire **3** est placé à l'avant du circuit magnétique **4** principal (autrement dit du côté du circuit magnétique **4** où s'étend la membrane **23**).

[0132] En pratique, le transducteur secondaire **3** est fixé sur le circuit magnétique principal **4** à l'avant de celui-ci en étant reçu, comme nous l'avons déjà vu, dans l'espace délimité vers l'arrière par la face avant **11** du noyau **10**, et latéralement par la paroi interne du support cylindrique **26**, la culasse **36** du circuit magnétique secondaire **34** étant plaquée directement ou par l'intermédiaire d'une entretoise contre la face avant **11** du noyau **10**. A cet effet, le transducteur secondaire **3** présente un diamètre hors tout inférieur au diamètre intérieur du support cylindrique **26**. Toutefois il est préférable de minimiser le jeu entre le transducteur secondaire **3** et le support **26**, de manière à réduire l'effet acoustique néfaste produit par la cavité annulaire ménagée entre eux. Ce jeu doit toutefois être suffisant pour éviter les frottements du support **26** sur le transducteur secondaire **3**. Un jeu faible, de quelques dixièmes de millimètres (par exemple compris entre 0,2 mm et 0,6 mm) constitue un bon compromis (sur les figures 1 et 7 on a exagéré ce jeu, à des fins de

clarté des dessins).

[0133] La tige **54** de l'endosquelette **52** est reçue dans l'alésage **12** du noyau **10**, et le transducteur secondaire **3** est rigidement fixé au circuit magnétique **4** du transducteur principal **2** au moyen d'un écrou **94** vissé sur une portion filetée de la tige **54** et serré contre la culasse **6** avec interposition éventuelle d'une rondelle, comme cela est illustré sur la figure 1.

[0134] Ce montage, qualifié de « frontal » par opposition au montage à l'arrière dans lequel le transducteur est monté sur la face arrière de la culasse (cf. par exemple le brevet Tannoy US **4,164,631**), est rendu possible grâce à l'architecture particulière du transducteur d'aigu **3** qui est de type dit « à endosquelette ».

[0135] Premièrement, la localisation de la suspension **66** à l'intérieur du diaphragme **49** en forme de dôme et la réalisation de la suspension **66** dans un matériau non émissif acoustiquement supprime les interférences acoustiques entre la suspension **66** et le diaphragme **49**.

[0136] Deuxièmement, le fait que la suspension **66** s'étende à l'intérieur du diaphragme **49** et non à l'extérieur de celui-ci permet d'augmenter la surface émissive à 100% du diamètre hors tout du diaphragme **49**.

[0137] Cette augmentation de la surface émissive du diaphragme **49** permet un gain substantiel en sensibilité du transducteur **3**, puisque ce gain est proportionnel au carré de la surface émissive. En pratique, l'architecture du transducteur **3** permet, à diamètre hors tout du transducteur égal, une augmentation de la surface émissive pouvant s'élever à 17%. Il en résulte pour cette valeur un gain en sensibilité de 1,4 dB environ.

[0138] Troisièmement, grâce à l'absence de suspension externe au diaphragme, le diamètre de la bobine mobile **50** peut être augmenté, en étant rendu égal au diamètre du diaphragme **49**. Il en résulte une augmentation de la puissance admissible de la bobine mobile **50**, proportionnelle à l'augmentation de son diamètre. Plus précisément, une augmentation du diamètre de la bobine mobile de 20% induit un gain équivalent de la tenue en puissance.

[0139] Quatrièmement, la fixation de l'équipage mobile **48** étant réalisée à l'intérieur du diaphragme **49**, via la suspension **66** et l'endosquelette **52**, le transducteur **3** est délivré de l'encombrement radial d'un support externe au diaphragme **49**. Compte tenu du caractère émissif à 100% du diaphragme **49**, on accroît ainsi significativement le ratio Surface émissive / Encombrement radial hors tout (égal au quotient des carrés des rayons du diaphragme et du transducteur), qui peut s'élever à 70% environ.

[0140] Ce ratio permet de réaliser une amorce de pavillon **86** courte axialement, ce qui autorise effectivement le montage du transducteur **3** de manière axiale et frontale dans le transducteur de grave **2**, avec raccordement tangentiel de l'amorce de pavillon **86** au profil de la membrane **23** du transducteur de grave **2**.

[0141] En outre, l'absence d'exosquelette évite le confinement thermique du circuit magnétique **34**. Cet aspect,

combiné au contact thermique direct entre la culasse **36** et le guide d'onde **76**, réalisé dans un matériau bon conducteur de la chaleur, permet d'améliorer significativement la capacité de dissipation thermique du transducteur **3**, et donc sa tenue en puissance.

[0142] Comme nous l'avons déjà indiqué, le transducteur **3** est délivré de l'encombrement radial d'un support externe au diaphragme **49** puisque ce support est réalisé au moyen d'un endosquelette **52**. Cet aspect, combiné à l'augmentation du diamètre de la bobine mobile **50**, égal à celui du diaphragme **49**, permet d'augmenter le diamètre du circuit magnétique **34**, qui peut égaler le diamètre hors tout du transducteur **3**, comme cela apparaît sur la figure 2 et la figure 6.

[0143] Il en résulte un gain en produit BL (produit du champ magnétique dans l'entrefer **47** par la longueur de fil du solénoïde **50**, auquel est proportionnelle la force de Laplace générant les déplacements de l'équipage mobile **48**), d'où un gain en sensibilité du transducteur (proportionnel au carré de l'augmentation du produit BL). En pratique, on peut obtenir avec l'architecture de type « à endosquelette » du transducteur **3** une augmentation du produit BL supérieure à 40% environ, et donc un gain en sensibilité pouvant s'élever à 3 dB environ.

[0144] Outre le positionnement coaxial frontal du transducteur secondaire **3** par rapport au transducteur principal **2**, leurs géométries respectives, en particulier (mais non seulement) les épaisseurs des circuits magnétiques **4,34** et la courbure (et par conséquent la profondeur) de la membrane **23**, sont de préférence adaptées pour permettre une coïncidence au moins approximative des centres acoustiques **C1** et **C2** des transducteurs **2,3**, telle que le décalage temporel entre les rayonnements acoustiques des transducteurs **2,3** soit imperceptible (on parle alors d'alignement temporel des transducteurs **2,3**). Le système **1** peut alors être considéré comme parfaitement cohérent malgré la dualité des sources sonores.

[0145] On peut raisonnablement considérer qu'un décalage temporel δ inférieur à 25 μ s environ est tout à fait imperceptible. Concrètement, un tel décalage temporel se traduit, le long de l'axe **A1**, par un décalage physique d entre les centres acoustiques **C1, C2** inférieur à 10 mm environ, en vertu de la formule de conversion suivante :

$$d = \delta C_{air}$$

[0146] Où C_{air} est la célérité du son dans l'air.

[0147] La bonne cohérence du système **1** élimine la nécessité d'introduire une compensation du décalage temporel, impossible à corriger en filtrage passif et dont la correction en filtrage actif peut introduire des défauts de cohérence temporelle hors de l'axe acoustique.

[0148] En outre, dans le mode de réalisation principal, le positionnement axial du transducteur secondaire **3** par rapport au transducteur principal **2**, et la géométrie du

guide d'onde **76**, sont tels que la membrane **23** s'étend dans le prolongement de l'amorce de pavillon **86**, comme cela est illustré sur la figure 1. En d'autres termes, la tangente à l'amorce de pavillon **86** sur la bouche **88** est confondue avec la tangente à la membrane **23** sur son ouverture centrale **28**. Dans cette configuration, le guide d'onde **76** et la membrane **23** du transducteur principal **2** forment conjointement un pavillon complet pour le transducteur secondaire **3**, permettant aux deux transducteurs **2,3** de présenter des caractéristiques de directivité homogènes.

[0149] Dans la variante de réalisation de la figure 7, le guide d'onde **76** formant un pavillon complet est indépendant de la membrane **23** du transducteur principal **2**. Dans cette configuration, les caractéristiques de directivité des deux transducteurs **2,3** sont distinctes et peuvent être optimisées séparément, ce qui est avantageux dans certaines applications telles que les haut-parleurs de retour de scène.

[0150] Le guide d'onde **76** assure, outre l'adaptation d'impédance acoustique du transducteur secondaire **3** entre la gorge **84** et la bouche **88**, une fonction de dissipation de la chaleur produite au niveau du circuit magnétique **34**, grâce notamment à la présence des ailettes **83**.

[0151] Selon un mode de réalisation optionnel illustré sur la figure 8, le guide d'onde **76** faisant office de radiateur peut comporter, dans des alvéoles **96** pratiquées dans le pourtour extérieur de la paroi latérale **77** en regard de chaque ailette **83**, des reliefs **97** complémentaires formés par des ailettes radiales externes qui s'étendent radialement jusqu'au diamètre hors tout du transducteur **3**, sans le dépasser.

[0152] Ces ailettes externes **97** contribuent efficacement au refroidissement du transducteur **3** compte tenu de leur position dans l'espace annulaire entre celui-ci et la face interne du support **26** de la bobine mobile **24** du transducteur principal **2**, espace dans lequel circule un flux d'air pulsé produit par les déplacements de l'équipage mobile **22** du transducteur **1**.

[0153] Dans l'architecture coaxiale frontale décrite ci-dessus, une partie de la chaleur rayonnée par le solénoïde **25** vers l'intérieur est évacuée vers l'arrière du circuit magnétique **4**, mais une partie de cette chaleur est aussi communiquée au transducteur secondaire **3**. Cette chaleur provoque un échauffement exogène du transducteur secondaire **3**, qui s'ajoute à son échauffement endogène produit par effet Joule par sa propre bobine mobile **50**. Même si l'échauffement endogène du transducteur secondaire **3** est moins important que celui du transducteur principal **2**, il est toutefois nécessaire d'assurer la dissipation de la chaleur produite au niveau du transducteur secondaire **3** : telle est la seconde fonction du guide d'onde **76**, grâce :

- premièrement à sa réalisation dans un matériau dont la conductivité thermique est élevée (c'est-à-dire supérieure à 50 W.m⁻¹.K⁻¹, et même de préférence supérieure à 100, voire même 200 W.m⁻¹.K⁻¹),

- deuxièmement (pour le mode de réalisation principal illustré sur les figures 1 à 5) à la présence des ailettes **83** (et éventuellement à celle des ailettes externes **97**) qui augmentent la surface d'échange avec l'air ambiant,
- troisièmement à la suspension **66** interne du diaphragme **49** et l'absence de suspension externe, qui ont pour conséquences :
 - d'une part l'augmentation du diamètre de la bobine mobile **50**, source de chaleur, et donc son déport vers la périphérie du transducteur **3**,
 - d'autre part la fixation directe du guide d'onde **76** sur la culasse **36** (l'existence d'une suspension périphérique externe aurait entraîné l'interposition, entre le guide d'onde **76** et la culasse **36**, d'une pièce en matériau thermiquement isolant qui aurait freiné la dissipation thermique),
- quatrièmement à la réduction des jeux de fonctionnement entre la bobine mobile **50** et l'entrefer **47** du circuit magnétique **34**, résultant du mode préférentiel de montage dit « flottant » et en particulier du jeu extérieur, réduisant ainsi l'épaisseur de la lame d'air annulaire (par nature isolante) entre la bobine mobile **50** et la culasse **36** et favorisant par conséquent la conduction de la chaleur depuis la bobine mobile **50** vers le guide d'onde **76** via la culasse **36**.

[0154] De la sorte, la chaleur accumulée au niveau du transducteur secondaire **3** peut être au moins partiellement évacuée par rayonnement et convection, par l'avant du système **1**. En pratique, lorsque le système **1** est fixé par la couronne **20** de son saladier **18** sur la paroi verticale d'une enceinte acoustique (l'axe s'étend donc horizontalement), la chaleur dégagée frontalement par le guide d'onde **76** chauffe l'air ambiant qui a tendance à monter, créant ainsi un appel d'air frais et un mouvement convectif ascendant de circulation d'air évacuant les calories et assurant le refroidissement du transducteur secondaire **3**.

[0155] Dans le mode de réalisation principal, la réalisation effilée et arrondie de chaque ailette **83**, dont les joues **89**, d'une part sont inclinées à partir de la base de l'ailette **83** située du côté du diaphragme (et portant la portion centrale **82** de la face arrière **80**) vers son arête **85** sommitale, située à l'avant, et d'autre part se raccordent à l'amorce de pavillon **86** par des congés **90** à section circulaire, vise à minimiser l'influence des ailettes **83** sur le rayonnement acoustique du diaphragme **49**.

[0156] Le système **1** peut être monté sur tout type d'enceinte acoustique, par exemple une enceinte **95** de retour de scène, à face frontale inclinée, comme cela est illustré à titre d'exemple sur la figure 9.

Revendications

1. Système (**1**) de haut-parleur coaxial à au moins deux voies, comprenant un transducteur électrodynamique principal (**2**) pour la reproduction de fréquences graves et/ou médium, qui comprend :

- un circuit magnétique principal (**4**) définissant un entrefer (**17**) principal ;
- un équipement mobile (**22**), comprenant une membrane (**23**) solidaire d'une bobine mobile (**24**) plongée dans l'entrefer (**17**) principal;

le système (**1**) comprenant un transducteur électrodynamique secondaire (**3**) pour la reproduction de fréquences aiguës, monté de manière coaxiale et frontale par rapport au transducteur électrodynamique principal (**2**) et qui comprend :

- un circuit magnétique secondaire (**34**), distinct du circuit magnétique principal (**4**) et définissant un entrefer (**47**) secondaire, ledit circuit magnétique secondaire (**34**) étant symétrique de révolution autour d'un axe (**A2**);
- un équipement mobile (**48**), comprenant un diaphragme (**49**) solidaire d'une bobine mobile (**50**) plongée dans l'entrefer (**47**) secondaire;
- un guide d'onde (**76**), formant un pavillon complet, monté au voisinage du diaphragme (**49**),

système dans lequel :

- le guide d'onde (**76**) présente une face (**80**) située en regard et au voisinage du diaphragme (**49**) et délimitant une chambre de compression (**93**), ladite chambre de compression ayant un taux de compression, défini comme le quotient de la surface plane délimitée par le diamètre hors tout du diaphragme (**49**) par la surface délimitée par la projection, dans un plan perpendiculaire audit axe (**A2**), de la face (**80**) délimitant la chambre de compression (**93**), supérieur à 1,2 : 1 ;
- le transducteur électrodynamique secondaire (**3**) présente un endosquelette (**52**) fixe, sur lequel l'équipage mobile (**48**) du transducteur électrodynamique secondaire (**3**) est monté, par l'intermédiaire d'une suspension (**66**) interne au diaphragme (**49**).

2. Système (**1**) de haut-parleur coaxial selon la revendication 1, dans lequel la bobine mobile (**24**) du transducteur électrodynamique principal (**2**) comprend un support (**26**) et un solénoïde (**25**) bobiné sur ce support (**26**), et dans lequel le transducteur électrodynamique secondaire (**3**) est reçu dans un espace, délimité vers l'arrière par une face avant (**11**) d'une pièce polaire (**6**) du circuit magnétique principal (**4**),

et latéralement par la paroi du support (26) de bobine mobile (24).

3. Système (1) de haut-parleur coaxial selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les transducteurs électrodynamique (2,3) présentent des centres acoustiques (C1,C2) coïncidents ou quasiment coïncidents. 5
4. Système (1) de haut-parleur coaxial selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'équipage mobile (48) du transducteur électrodynamique secondaire (3) est dépourvu de suspension externe au diaphragme (49). 10
5. Système (1) de haut-parleur coaxial selon la revendication 4, dans lequel le transducteur électrodynamique secondaire (3) est fixé sur le transducteur électrodynamique principal (2), par l'intermédiaire de son endosquelette (52). 15
6. Système (1) de haut-parleur coaxial selon la revendication 5, dans lequel l'endosquelette (52) comprend une platine (53), fixée au circuit magnétique secondaire (34), et une tige (54) solidaire de la platine (53) et par laquelle le transducteur électrodynamique secondaire (3) est fixé sur le circuit magnétique principal (4). 20
7. Enceinte acoustique (95) comprenant un système (1) de haut-parleur coaxial selon l'une des revendications précédentes. 25

Patentansprüche 35

1. Koaxial-Lautsprechersystem (1) mit mindestens zwei Wegen, umfassend einen elektrodynamischen Haupttransducer (2) für die Wiedergabe von tiefen und/oder mittleren Frequenzen, das umfasst: 40
 - einen magnetischen Hauptkreis (4), der einen Hauptspalt (17) definiert,
 - eine bewegliche Ausrüstung (22), umfassend eine Membran (23), die mit einer in den Hauptspalt (17) getauchten beweglichen Spule (24) fest verbunden ist; 45
- wobei das System einen sekundären elektrodynamischen Transducer (3) für die Wiedergabe von hohen Frequenzen umfasst, der koaxial und frontal in Bezug auf den elektrodynamischen Haupttransducer (1) angebracht ist und der umfasst: 50
- einen sekundären magnetischen Kreis (34), der sich von dem magnetischen Hauptkreis (4) unterscheidet und einen sekundären Spalt (47) definiert, wobei der sekundäre magnetische 55

Kreis (34) um eine Achse (A2) drehsymmetrisch ist;

- eine bewegliche Ausrüstung (48), umfassend ein Diaphragma (49), das mit einer in den sekundären Spalt (47) getauchten beweglichen Spule (50) fest verbunden ist;
- einen Wellenleiter (76), der ein vollständiges Horn bildet, der in der Nähe des Diaphragmas (49) angebracht ist,

System, wobei

- der Wellenleiter (76) eine Fläche (80) aufweist, die sich gegenüber und in der Nähe des Diaphragmas (49) befindet und eine Kompressionskammer (93) begrenzt, wobei die Kompressionskammer eine Kompressionsrate hat, definiert als der Quotient der ebenen Oberfläche, begrenzt durch den Durchmesser über alles des Diaphragmas (49) durch die Oberfläche, begrenzt durch die Projektion, in einer zu der Achse (A2) senkrechten Ebene, der Fläche (80), welche die Kompressionskammer (93) begrenzt, größer als 1,2:1;
- der sekundäre elektrodynamische Transducer (3) ein festes Endoskelett (52) aufweist, auf dem die bewegliche Ausrüstung (48) des sekundären elektrodynamischen Transducers (3) anhand einer zum Diaphragma (49) internen Aufhängung (66) angebracht ist.

2. Koaxial-Lautsprechersystem (1) nach Anspruch 1, wobei die bewegliche Spule (24) des elektrodynamischen Haupttransducers (1) einen Halter (26) und einen auf diesen Halter (26) gewickelten Solenoid (25) umfasst und wobei der sekundäre elektrodynamische Transducer in einem Raum aufgenommen ist, der nach hinten von einer vorderen Fläche (11) eines Polteils (6) des magnetischen Hauptkreises (4) und seitlich von der Wand des Halters (26) einer beweglichen Spule (24) begrenzt ist.
3. Koaxial-Lautsprechersystem (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die elektrodynamischen Transducer (2, 3) übereinstimmende oder quasi übereinstimmende akustische Zentren (C1, C2) aufweisen.
4. Koaxial-Lautsprechersystem (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die bewegliche Ausrüstung (48) des sekundären elektrodynamischen Transducers (3) keine zum Diaphragma (49) externe Aufhängung hat.
5. Koaxial-Lautsprechersystem (1) nach Anspruch 5, wobei der sekundäre elektrodynamische Transducer (3) auf dem elektrodynamischen Haupttransducer (2) mittels seines Endoskeletts (52) befestigt ist.

6. Koaxial-Lautsprechersystem (1) nach Anspruch 5, wobei das Endoskelett (52) eine Platte (53) umfasst, die am sekundären magnetischen Kreis (34) befestigt ist, und einen Stab (54), der mit der Platte (53) fest verbunden ist und durch den der sekundäre elektrodynamische Transducer (3) auf dem magnetischen Hauptkreis (4) befestigt ist.
7. Akustikbox (95), umfassend ein Koaxial-Lautsprechersystem nach einem der vorangehenden Ansprüche.

Claims

1. A coaxial loudspeaker system (1) with at least two ways, comprising a primary electrodynamic transducer (2) for reproducing low and/or mid-frequencies, which comprises:

- a primary magnetic circuit (4) defining a primary air gap (17);
- a movable element (22), comprising a membrane (23) integral with a movable coil (24) dipped in the primary air gap (17);

the system (1) comprising a secondary electrodynamic transducer (3) for reproducing high-frequencies, mounted coaxially and frontally with respect to the primary electrodynamic transducer (2) and which comprises:

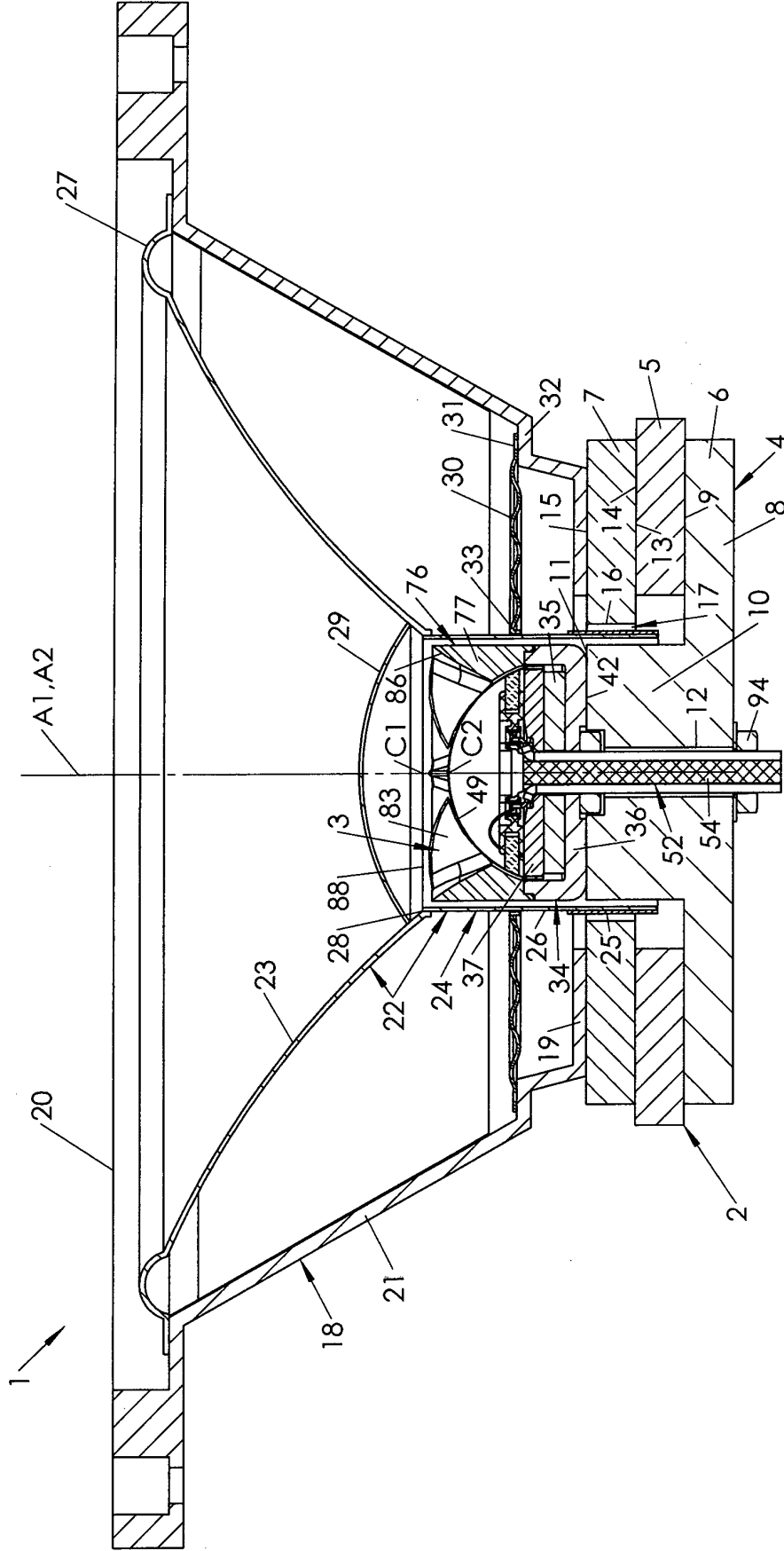
- a secondary magnetic circuit (34), distinct from the primary magnetic circuit (4) and defining a secondary air gap (47), said secondary magnetic circuit (34) having a revolution symmetry about an axis (A2);
- a movable element (48), comprising a diaphragm (49) integral with a movable coil (50) dipped in the secondary air gap (47);
- a waveguide (76), forming a full horn, mounted in the vicinity of the diaphragm (49),

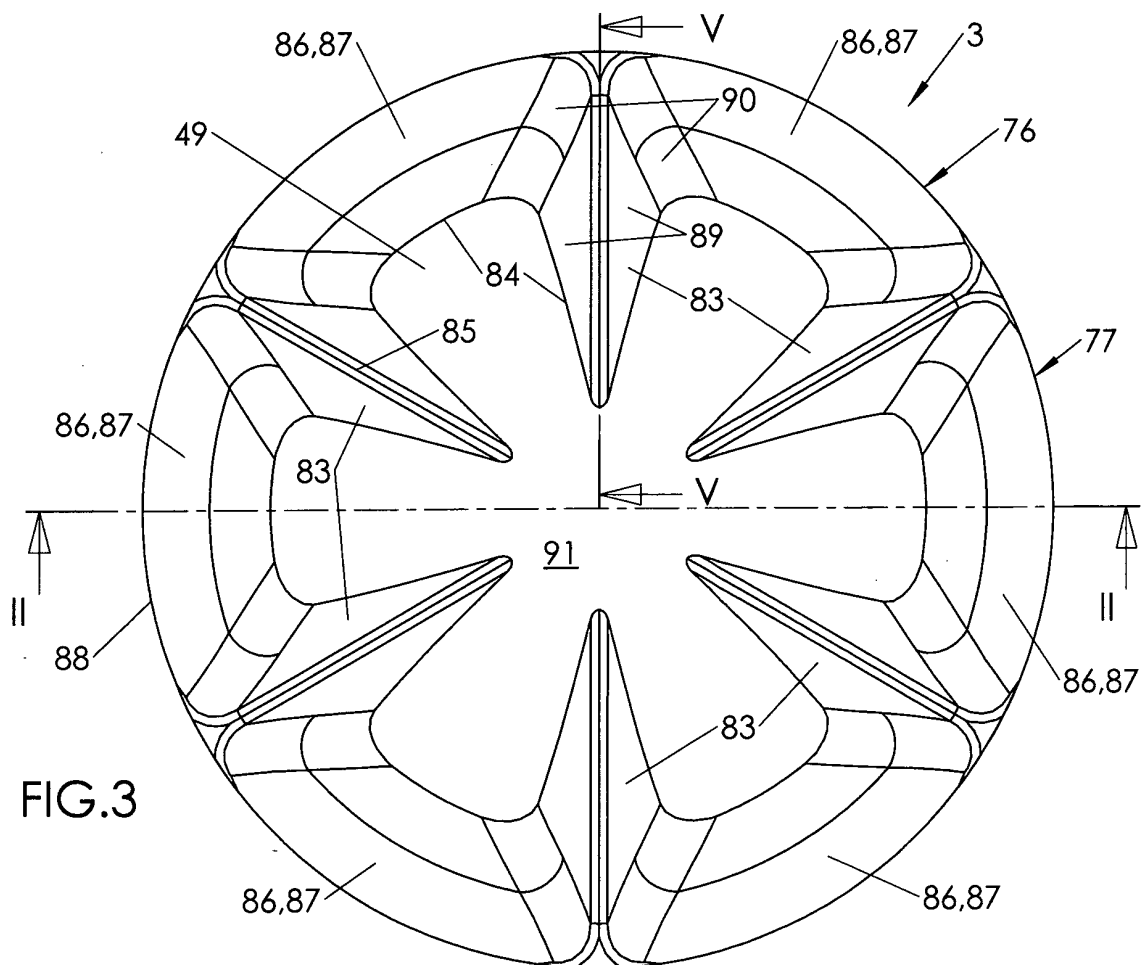
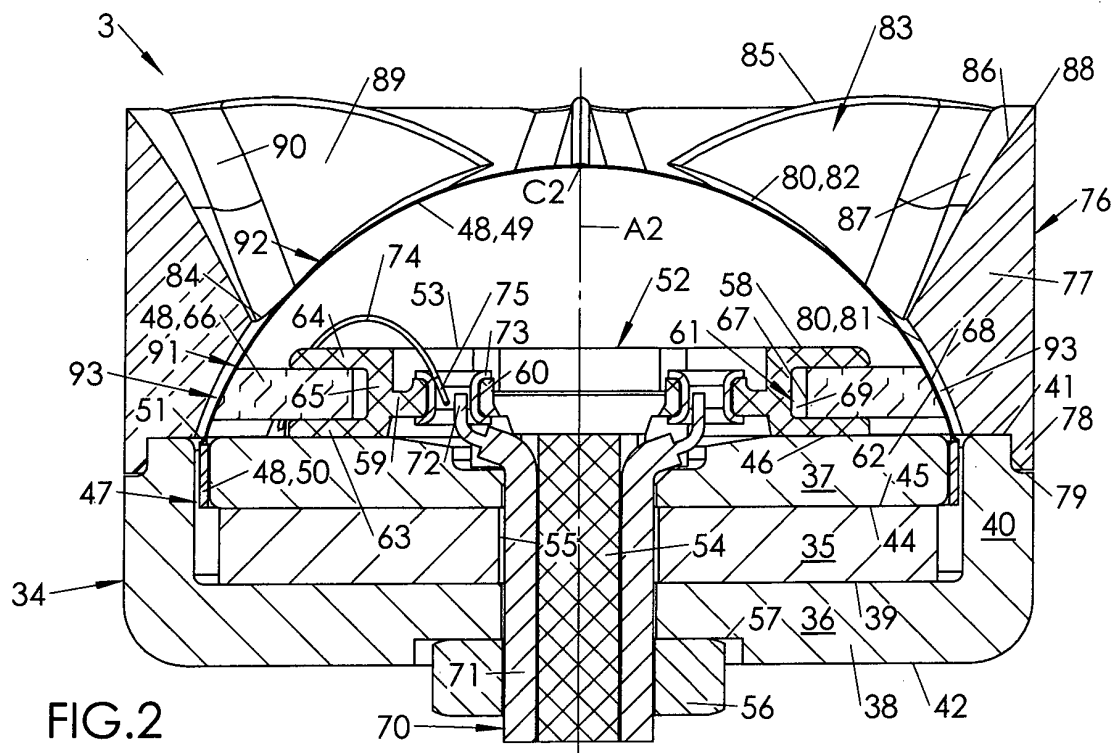
a system in which:

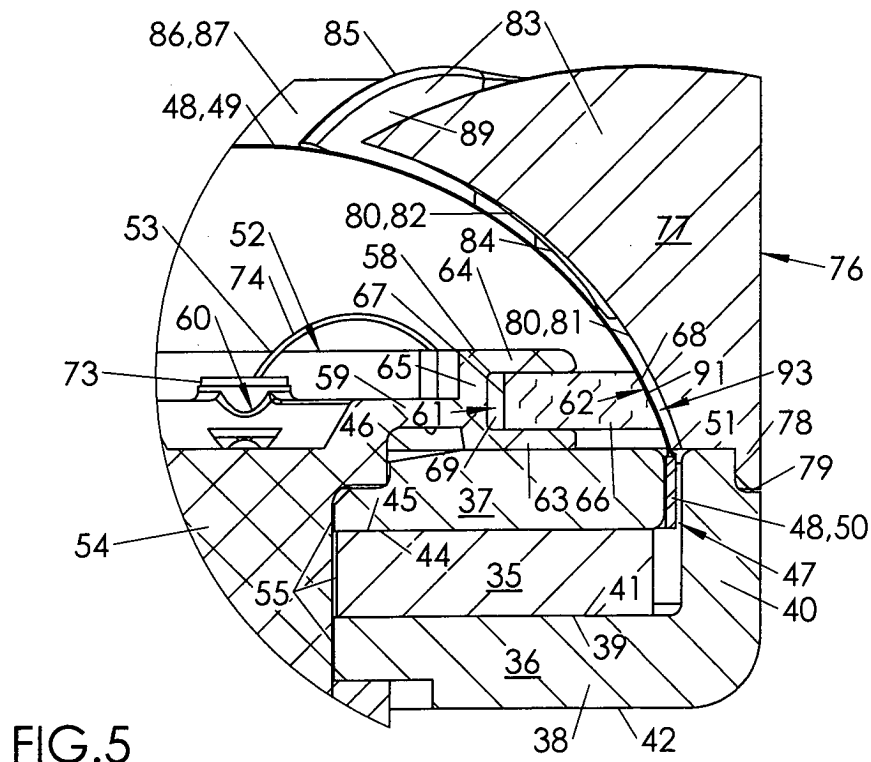
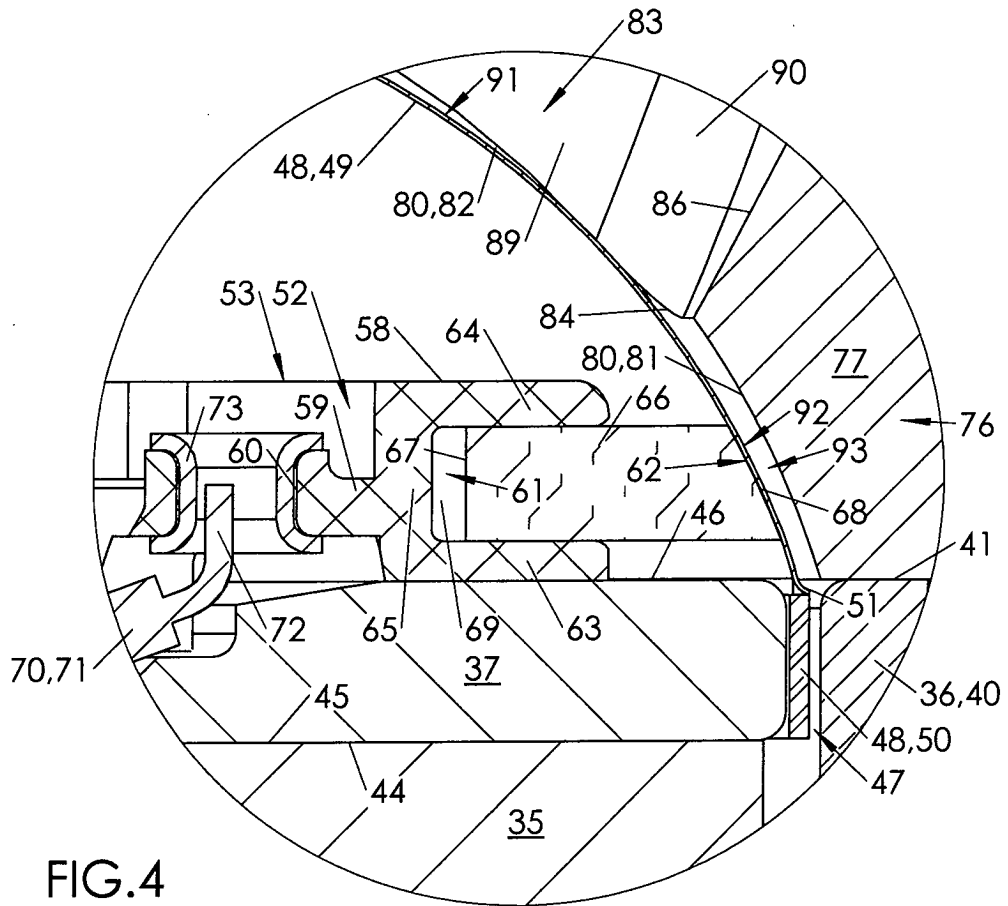
- the waveguide (76) has a face (80) located facing and in the vicinity of the diaphragm (49) and delimiting a compression chamber (93), said compression chamber having a compression rate, defined as the ratio of the planar surface delimited by the overall diameter of the diaphragm (49) to the surface delimited by the projection, in a plane perpendicular to said axis (A2), of the face (80) delimiting the compression chamber (93), higher than 1.2:1;
- the secondary electrodynamic transducer (3) has a fixed endoskeleton (52), on which the movable element (48) of the secondary electro-

dynamic transducer (3) is mounted, through a suspension (66) internal to the diaphragm (49).

2. The coaxial loudspeaker system (1) according to claim 1, wherein the movable coil (24) of the primary electrodynamic transducer (2) comprises a support (26) and a solenoid (25) wound on this support (26), and wherein the secondary electrodynamic transducer (3) is received in a space, delimited rearwardly by a front face (11) of a pole piece (6) of the primary magnetic circuit (4), and sideways by the wall of the support (26) of the movable coil (24).
3. The coaxial loudspeaker system (1) according to one of the preceding claims, wherein the electrodynamic transducers (2, 3) have acoustic centres (C1, C2) which are coincident or nearly coincident.
4. The coaxial loudspeaker system (1) according to one of the preceding claims, wherein the movable element (48) of the secondary electrodynamic transducer (3) is devoid of suspension external to the diaphragm (49).
5. The coaxial loudspeaker system (1) according to claim 4, wherein the secondary electrodynamic transducer (3) is attached to the primary electrodynamic transducer (2), through its endoskeleton (52).
6. The coaxial loudspeaker system (1) according to claim 5, wherein the endoskeleton (52) comprises a plate (53), attached to the secondary magnetic circuit (34), and a rod (54) integral with the plate (53) and through which the secondary electrodynamic transducer (3) is attached to the primary magnetic circuit (4).
7. An acoustic enclosure (95) comprising a coaxial loudspeaker system (1) according to one of the preceding claims.







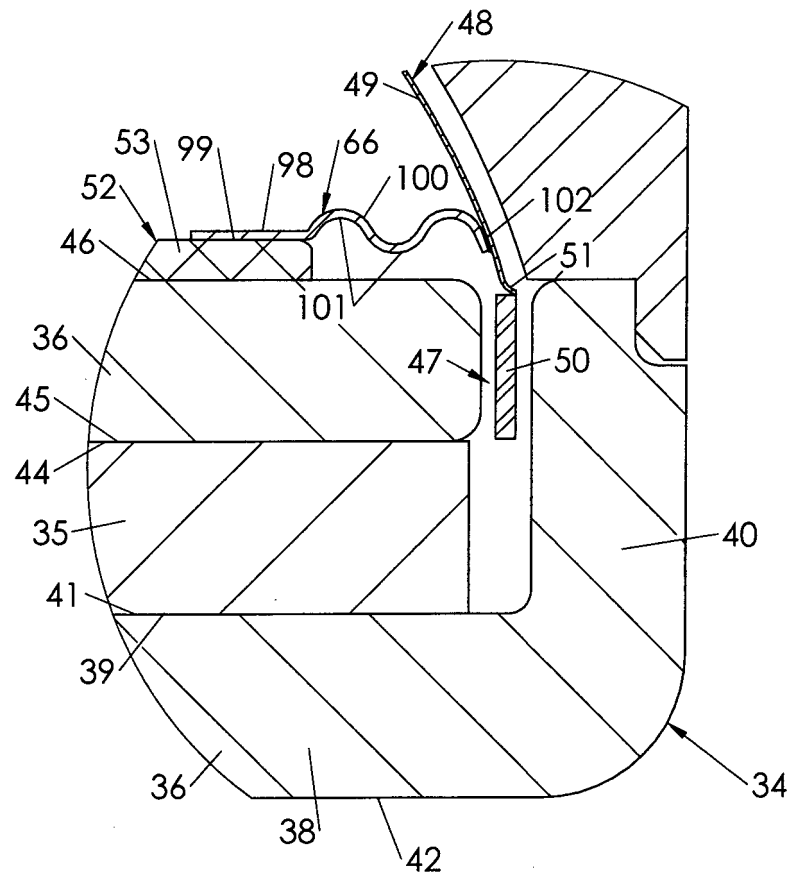


FIG.6

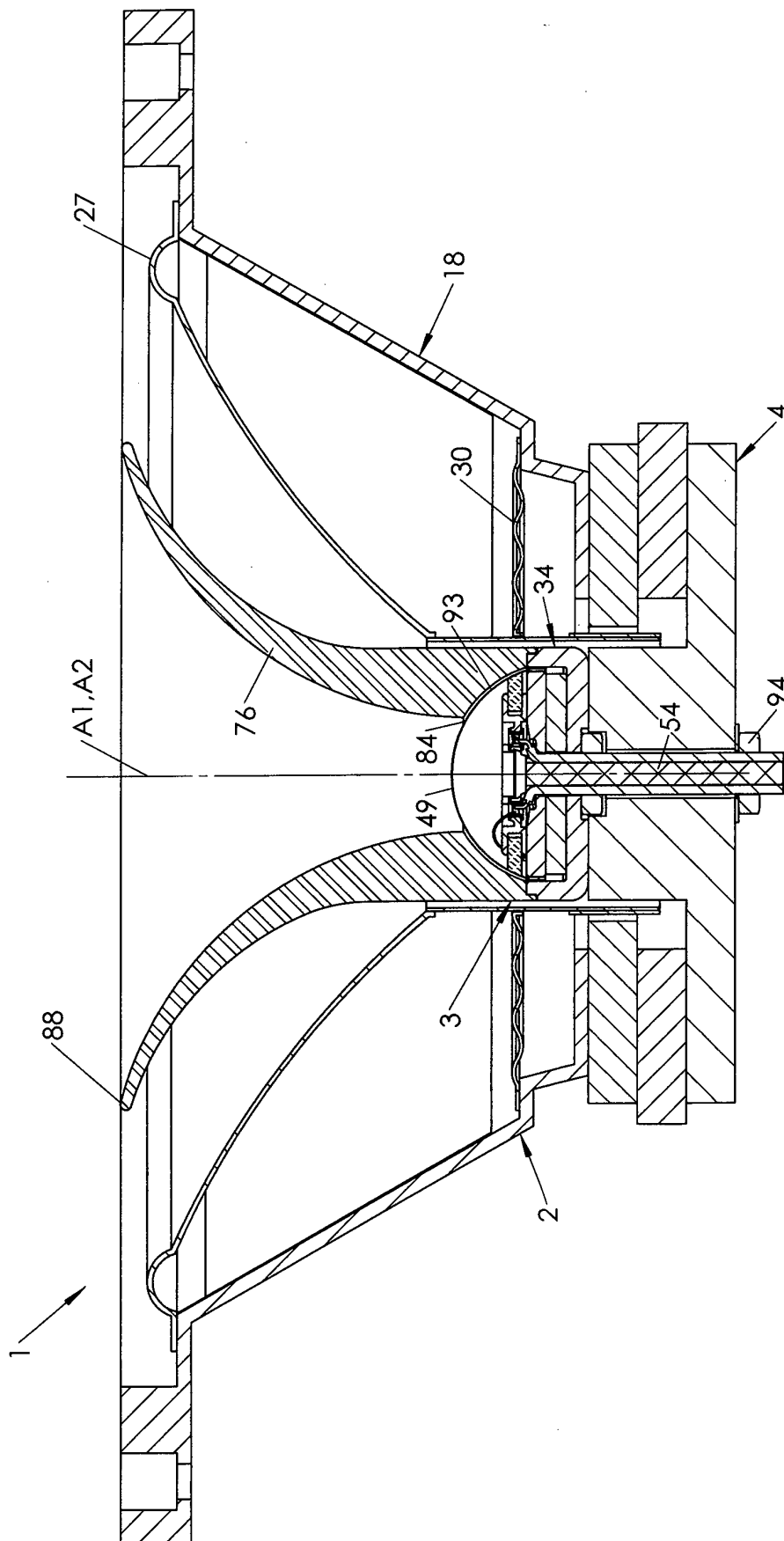
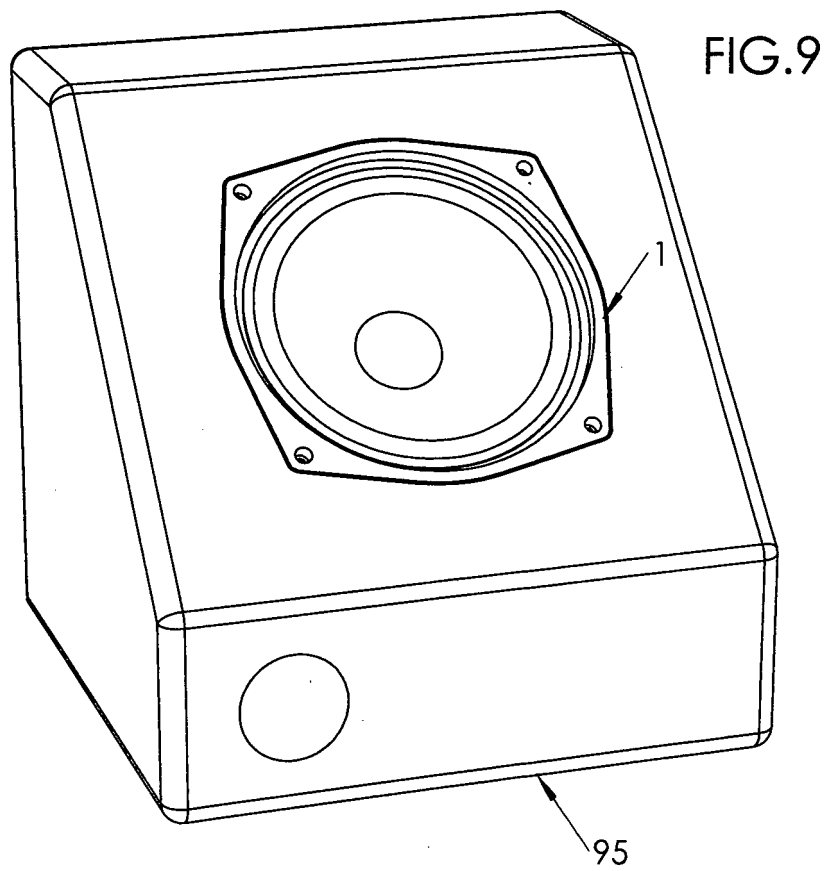
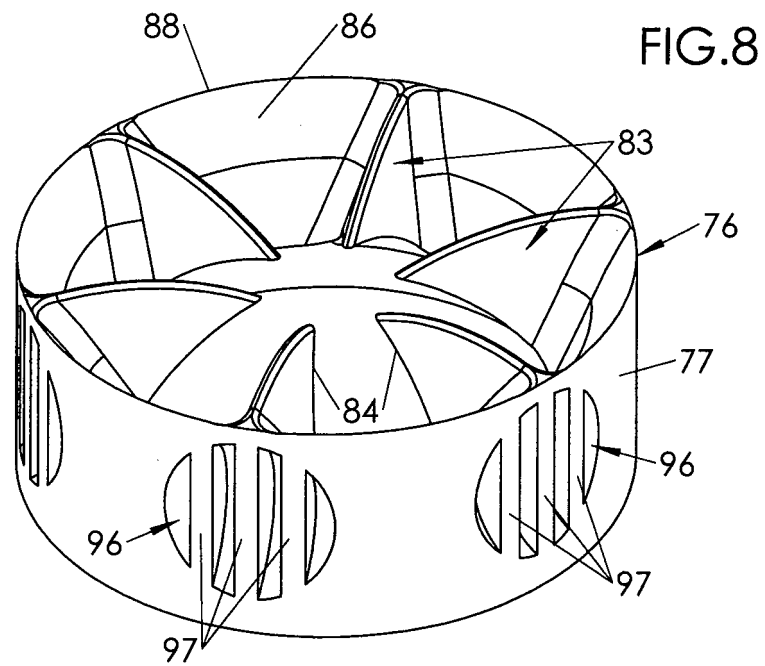


FIG. 7



RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- GB 701395 A [0027]
- US 4164631 A [0027]
- US 4256930 A [0027]
- US 1707545 A [0033]
- WO 2008008034 A1 [0036]

Littérature non-brevet citée dans la description

- Le livre des techniques du son, Tome 1, notions fondamentales. La perception auditive. 191-192 [0007]
- Les enceintes acoustiques. **JACQUES FORET**. Le livre des techniques du son, Tome 2, La technologie. 149 [0019]
- **L. HAIDANT**. Guide pratique de la Sonorisation. 64-67 [0027]