

⑤④ DISPOSITIF ACOUSTIQUE GÉNÉRANT UN SON AMÉLIORÉ.

②② Date de dépôt : 14.12.18.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 19.06.20 Bulletin 20/25.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 23.12.22 Bulletin 22/51.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : BOLZMACHER Christian et HUDIN
Charles.

⑦③ Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public.

⑦④ Mandataire(s) : BREVALEX.



Description

Titre de l'invention : DISPOSITIF ACOUSTIQUE GÉNÉRANT UN SON AMÉLIORÉ

[0001] **DOMAINE TECHNIQUE ET ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE**

[0002] La présente invention se rapporte à un dispositif acoustique, par exemple un haut-parleur, générant un son amélioré.

[0003] On cherche à réaliser des dispositifs acoustiques générant un son en utilisant des surfaces planes, des surfaces en trois dimensions, par exemple de surfaces complexes qui sont mises en vibration, par exemple pour réaliser des dispositifs de grande surface ou des dispositifs intégrés à des dispositifs ayant déjà une autre fonction, tels que des cloisons, des garnitures de portière dans un véhicule, des écrans par exemple de tablette tactile ou de téléphone intelligent type smartphone.

[0004] Cependant ces dispositifs ne génèrent pas un son de très bonne qualité en comparaison de celui émis par les haut-parleurs traditionnels, car la surface mise en vibration n'est pas dédiée à la génération du son. D'une part la surface peut présenter une forme particulière avec des zones pour lesquelles la maîtrise du son généré est complexe, des zones de fixation pour lesquelles également il est difficile de maîtriser le son émis, des raidisseurs, des parties plus ou moins souples. Il en résulte qu'une vibration homogène sur toute la surface ne peut être générée, ce qui nuit à la qualité du son.

[0005] Par exemple, des différentes zones de la surface peuvent vibrer en opposition de phase, ce qui nuit à la qualité du son.

[0006] Le document US2018/0249248 décrit un haut-parleur surfacique comportant une pluralité d'actionneurs pilotés par un contrôleur qui est configuré pour améliorer les phases et les amplitudes entre les signaux pour chacun des actionneurs. Le principe se base sur la résolution des valeurs propres des lois de comportement en mécanique des milieux continus. Sur une surface symétrique il existe des solutions simples. Mais pour les structures complexes le contrôleur met en œuvre une méthode variationnelle relativement complexe.

Exposé de l'invention

[0007] C'est par conséquent un but de la présente invention d'offrir un dispositif acoustique comportant une surface de forme quelconque apte à générer un son de qualité améliorée par rapport aux dispositifs acoustiques de même type.

[0008] Le but énoncé ci-dessus est atteint par un dispositif acoustique comportant une surface destinée à être mise en vibration afin de générer un son et un ou plusieurs actionneurs de sorte à mettre en vibration ladite surface, des moyens de commande du ou

des actionneur(s), comprenant des moyens de calcul des signaux de commande mettant en œuvre une opération de filtrage inverse, et envoyant des signaux de commande à l'actionneur ou aux actionneurs. Le filtrage inverse permet de traiter localement les distorsions acoustiques qui peuvent détériorer la qualité du son.

- [0009] Grâce à l'invention, il est possible de commander le ou les actionneurs pour maîtriser la génération ou non de vibrations dans différentes zones de la plaque.
- [0010] Par exemple, dans des zones qui vont produire des vibrations déphasées par rapport aux vibrations déterminées pour produire le son souhaité, le ou les actionneurs sont commandés pour annuler les vibrations en ces zones grâce au filtrage inverse.
- [0011] Selon un autre exemple, dans les zones qui sont considérées comme susceptibles d'être le lieu de vibrations pouvant détériorer la qualité du son souhaité, par exemple des zones de fixation ou des zones présentant des géométries très complexes, le ou les actionneurs sont être commandés pour annuler les vibrations en ces zones grâce au filtrage inverse.
- [0012] En d'autres termes, on réalise un contrôle actif du champ des vibrations de la surface en commandant un ou des actionneurs qui est ou sont utilisé(s), pour certains à la fois pour produire des vibrations destinées à générer le son souhaité et pour annuler des vibrations susceptibles de détériorer la qualité du son souhaité.
- [0013] L'invention n'empêche pas la transmission ou la propagation des ondes dans l'ensemble de la surface mais annule, grâce aux actionneurs les vibrations en certains points de la plaque.
- [0014] L'invention permet donc de compenser la réverbération des ondes et leur propagation qui entraînent un phénomène d'interférence, c'est-à-dire une pollution de la vibration souhaitée en un point donné par le signal envoyé à un autre actionneur en un autre point de la surface. L'usage de ce filtre inverse permet donc d'obtenir, sur différentes zones de la plaque, une vibration corrigée des effets de dispersion et de réverbérations.
- [0015] L'invention permet également d'utiliser tout type de surface plane, en trois dimensions, par exemple complexe, pour générer un son en tenant compte des particularités de cette surface, telles que sa configuration, les zones subissant des contraintes spécifiques,... la plaque du dispositif peut par exemple être une plaque de verre, une plaque en plastique, une plaque à fonction esthétique, une plaque formant une cloison et comprenant des éléments de rigidification, une plaque en contact avec des éléments qui modifient les vibrations de la plaque...
- [0016] De manière très avantageuse, le dispositif selon l'invention peut être utilisé pour générer un son spatialisé, dit en trois dimensions, en générant plusieurs sources sonores sur la même surface.
- [0017] Les zones pour lesquelles on maîtrise les vibrations peuvent être à l'aplomb des actionneurs ou non.

- [0018] Les actionneurs sont par exemple des actionneurs piézoélectriques, avantageusement amplifiés mécaniquement, des actionneurs électromagnétiques, en particulier électrodynamiques...
- [0019] La présente invention a alors pour objet un dispositif acoustique comportant une structure comprenant une surface apte à être mise en vibration en au moins une zone contrôlée de sorte à émettre un son, et au moins un actionneur apte à provoquer une déformation à la surface au niveau de la zone contrôlée de sorte à la mettre en vibration, des moyens de contrôle dudit au moins un actionneur configurés pour envoyer des signaux de contrôle audit actionneur, comprenant des moyens de calcul desdits signaux de contrôle, lesdits moyens de calcul mettant en œuvre une opération de filtrage inverse, de sorte à émettre, à partir d'un son à générer, des signaux de contrôle audit au moins un actionneur, de sorte à mettre ladite au moins une zone contrôlée en vibration et à émettre le son donné, et compensant au moins partiellement la distorsion, la réverbération et la propagation des ondes.
- [0020] Dans un exemple avantageux, le dispositif comporte plusieurs actionneurs répartis sur la surface de sorte à pouvoir générer le son donnée et maîtriser les vibrations dans plusieurs zones contrôlées de la surface.
- [0021] Par exemple, le ou les actionneurs sont disposés à l'aplomb de la ou desdites zones contrôlées.
- [0022] Par exemple au moins une partie des zones contrôlées sont distantes du ou des actionneurs dans le plan de la surface et la distance entre chaque actionneur et la zone contrôlée qu'il contrôle, dans une direction contenue dans la surface, est inférieure ou égale à la plus grande distance parmi la dimension du capteur dans une direction contenue dans la surface ou à la longueur d'onde des vibrations générées par l'actionneur.
- [0023] Le ou les actionneurs peuvent être un ou des actionneurs piézoélectriques ou un ou des actionneurs électromagnétiques, avantageusement électrodynamiques.
- [0024] Les moyens de contrôle sont par exemple tels qu'ils génèrent des signaux pour qu'au moins une partie des actionneurs émettent le son donné simultanément ou successivement.
- [0025] La présente invention a également pour objet un système acoustique comportant au moins un dispositif selon l'invention, et au moins un élément et des zones d'interaction mécanique entre la surface de la structure et l'élément, ladite structure comportant des zones contrôlées recouvrant les zones d'interaction et les moyens de calcul générant des signaux de contrôle tels que lesdites zones contrôlées ont des vibrations réduites ou ne sont pas mises en vibration.
- [0026] La présente invention a alors pour objet un procédé de fonctionnement d'un dispositif acoustique en vue de générer un son donné, ledit dispositif comportant une

structure comprenant une surface apte à être mise en vibration en au moins une zone contrôlée de sorte à émettre un son donné, et au moins un actionneur apte à provoquer une déformation à la surface au niveau de la zone contrôlée d'interaction de sorte à la mettre en vibration et à émettre le son donné, comportant :

- la génération d'un signal de contrôle par une opération de filtrage inverse à partir du son donné à générer,
- l'application du signal de contrôle audit au moins actionneur.

[0027] Dans le cas d'un dispositif comportant plusieurs zones contrôlées et plusieurs actionneurs, le procédé peut comporter les étapes :

- génération de signaux de contrôle par une opération de filtrage inverse à partir du son donné à générer,
- application des signaux de contrôle à tout ou partie des actionneurs.

[0028] Le procédé de fonctionnement peut comporter, préalablement à la génération des signaux de contrôle, pour chaque fréquence dans la gamme de fréquence de fonctionnement,

la détermination parmi les zones contrôlées de la ou des zones contrôlées vibrant en phase avec une zone contrôlée de référence et de la ou des zones contrôlées vibrant en opposition de phase par rapport à la zone contrôlée de référence,

l'intégration dans l'opération de filtrage inverse de générer des signaux de contrôle à l'actionneur ou aux actionneurs de sorte à amplifier les vibrations de la ou des zones contrôlées vibrant en phase, et à réduire les vibrations dans les zones vibrant en opposition de phase.

[0029] Dans un mode avantageux, les vibrations dans les zones vibrant en opposition de phase sont annulées.

[0030] Dans le cas où plusieurs zones contrôlées sont destinées à être mises en vibration pour générer un son, les signaux de commande peuvent être tels que lesdites zones sont mises en vibration pour générer ledit son donné successivement.

[0031] Dans le cas où la structure comporte des zones d'interaction mécaniques avec au moins un élément extérieur, ledit procédé peut comporter l'étape d'intégration dans l'opération de filtrage inverse de génération des signaux de contrôle à l'actionneur ou aux actionneurs de sorte à réduire les vibrations dans les zones vibrant en opposition de phase.

[0032] Dans le cas où la structure comporte au moins un élément de mesure pour détecter un changement de la vibration de la plaque, le procédé peut permettre une adaptation des fonctions de transfert.

Brève description des dessins

[0033] La présente invention sera mieux comprise sur la base de la description qui va suivre

et des dessins en annexe sur lesquels:

[0034] [Fig.1A] est une représentation schématique d'une vue de dessus d'un exemple de dispositif acoustique mettant en œuvre plusieurs actionneurs,

[0035] [Fig.1B] est une vue en coupe du dispositif de la [Fig.1A] selon le plan A-A,

[0036] [Fig.2] est une vue de côté représenté schématiquement d'une plaque mise en vibration par des actionneurs qui ne sont pas commandés par des signaux obtenus par filtrage inverse,

[0037] [Fig.3] est une vue de côté représenté schématiquement d'une plaque mise en vibration par des actionneurs qui sont commandés par des signaux obtenus par filtrage inverse,

[0038] [Fig.4] est une représentation schématique d'une vue de dessus d'un autre exemple de dispositif acoustique dont la structure comporte des raidisseurs,

[0039] [Fig.5] est une représentation schématique d'une vue de dessus d'un exemple de dispositif acoustique mettant en œuvre plusieurs actionneurs, dans lequel les zones contrôlées ne sont pas à l'aplomb des actionneurs,

[0040] [Fig.6] est une représentation schématique d'une vue de dessus d'un exemple de système acoustique dans lequel le dispositif acoustique est en interaction mécanique avec un élément.

[0041] **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

[0042] Sur les figures 1A et 1B, on peut voir un exemple de dispositif acoustique représenté schématiquement comportant une structure acoustique 1, des actionneurs A1, A2, A3, A4, A5 en contact avec une face de la structure acoustique afin de pouvoir la mettre en vibration. L'interface tactile comporte également des moyens de contrôle 6 de chacun des actionneurs comprenant des moyens de calcul 8 de signaux de commande.

[0043] Dans la présente demande on entend par « structure acoustique » toute structure comportant une surface apte à être mise en vibrations sous l'action d'un ou plusieurs actionneurs et à émettre un son audible, par exemple pour l'être humain à générer des vibrations de fréquences comprises par exemple entre 20 Hz et 20 kHz. La structure acoustique. La surface peut être souple ou rigide et présenter une forme en deux dimensions, par exemple une plaque, ou une forme en trois dimensions par exemple un cylindre ou une sphère.

[0044] Le matériau peut être un matériau souple ou rigide, composite ou non. La surface peut être réalisée par exemple en plastique, métal, verre, céramique.

[0045] Les dimensions de la structure peuvent être très variables, par exemple entre quelques centimètres et plusieurs mètres. Les épaisseurs de la structure peuvent aller de moins d'un millimètre à une dizaine de millimètres selon les matériaux employés. Par exemple la structure acoustique peut former une cloison au sein d'un bâtiment, une surface à l'intérieur d'un véhicule, un écran d'un téléphone, d'une tablette, d'un té-

l'éviseur ou la paroi d'un meuble

- [0046] Dans les exemples décrits ci-dessus, la structure acoustique est sous forme de plaque plane et sera désignée par « plaque ».
- [0047] Les actionneurs sont tels qu'ils sont aptes, lorsqu'ils sont activés, à exercer un effort sur la plaque dans une direction hors-plan, i.e. orthogonale au plan de la plaque, suffisant pour mettre au moins une partie de la plaque en vibration. Le plan de la plaque est le plan s'étendant parallèlement à sa plus grande surface. Les actionneurs sont aptes à exercer un effort vers le haut et/ou le bas dans la représentation de la [Fig.1A].
- [0048] La surface du ou des actionneurs est par exemple comprise entre 1 cm² et quelques cm².
- [0049] Les actionneurs sont par exemple des actionneurs piézoélectriques, par exemple comprenant une pastille en céramique piézoélectrique, tel que le PZT (Titano-Zirconate de Plomb) ou l'AlN (Nitrure d'Aluminium) fixés sur la plaque, par exemple par collage ou par dépôt en couches minces.
- [0050] De manière avantageuse, les actionneurs piézoélectriques comportent des moyens d'amplification du déplacement généré par l'excitation du matériau piézoélectrique. Par exemple, les moyens d'amplification sont de type à un levier, de type elliptique également appelés « amplificateur moonie » ou de type circulaire également appelés « amplificateur cymbal ».
- [0051] Dans un autre exemple, les actionneurs sont des actionneurs électromagnétiques de type exciteur électrodynamique. Ils mettent en œuvre une bobine mobile connectée à une masse pour mettre en vibration une surface par effet inertiel. Le signal de commande est envoyé dans les bobines.
- [0052] Plusieurs modes d'intégration des actionneurs sont envisageables en fonction du type d'actionneur. A titre d'exemple, plusieurs modes d'intégration sont décrits sans être limitatifs.
- [0053] Selon un premier mode d'intégration dit « inertiel », une extrémité de l'actionneur est fixée à la surface à exciter et une masse est fixée à l'autre extrémité de l'actionneur. La masse n'est alors qu'en contact avec l'actionneur.
- [0054] Selon un deuxième mode d'intégration dit « réactif », une extrémité de l'actionneur est fixée à la surface à exciter et l'autre extrémité de l'actionneur est fixée au bâti solide.
- [0055] Selon un troisième mode d'intégration, l'actionneur est solidarisé directement à la surface, par exemple par collage et déforme la surface, par exemple lorsque l'actionneur est une pastille piézoélectrique.
- [0056] De préférence, les actionneurs sont placés sur les zones les moins encastrées afin de maximiser le mouvement et donc la vibration.
- [0057] Les moyens de calcul 8 mettent en œuvre une opération de filtrage inverse pour dé-

terminer les signaux de contrôle des actionneurs. Les moyens de calcul mettent en œuvre également un algorithme de synthèse des vibrations déterminant le signal souhaité en une zone, en fonction de la vibration souhaitée dans cette zone. Ce type d'algorithme est bien connu de l'homme du métier et ne sera pas décrit en détail. Le contrôleur 8 est relié à l'actionneur ou aux actionneurs pour lui ou leur transmettre les signaux de commande.

- [0058] Selon un exemple de réalisation, tous les actionneurs participent à la génération du son. Les actionneurs participant à la génération du son sont désignés actionneurs principaux. Dans un autre exemple de réalisation un ou plusieurs actionneurs participent à la génération du son, et un ou plusieurs autres actionneurs servent à réduire, voire supprimer des vibrations susceptibles de détériorer la qualité du son émis par la structure, ces actionneurs sont désignés actionneurs correcteurs.
- [0059] De préférence, l'actionneur principal ou les actionneurs principaux sont disposés sur des zones de la plaque permettant d'actionner une section maximale de cette plaque afin de générer un déplacement maximal et donc des fréquences plus basses.
- [0060] Sur la [Fig.1A], plusieurs actionneurs sont répartis sous la surface de la plaque et sont reliés au contrôleur 8.
- [0061] Dans cet exemple, tous les actionneurs peuvent être des actionneurs principaux et permettent de mettre en vibration toute la surface de la structure et donc d'offrir un son de forte intensité. Par exemple tous les actionneurs sont des actionneurs principaux.
- [0062] De manière avantageuse, le dispositif de la [Fig.1A] comporte également un capteur C pour mesurer le changement des vibrations de la plaque dû par rapport son état initial. Le changement peut être dû la dilatation du matériau de la plaque suite à un changement de température ou à un changement d'encastrement ou à l'application d'une pression sur la plaque. Ces phénomènes peuvent modifier les fonctions de transfert qui seront décrites ci-dessous. Les informations fournies par le capteur permettent avantageusement d'adapter les fonctions de transfert aux nouvelles caractéristiques de la plaque.
- [0063] Le capteur est par exemple un capteur de température, de contrainte, de vibration. Dans le cas où le dispositif comporte des actionneurs piézoélectriques, ils peuvent également servir de capteurs, par exemple de capteurs de contrainte et/ou de vibration. Dans le cas d'actionneurs électrostatiques, un ou des capteurs peuvent être mis en œuvre.
- [0064] Nous allons décrire un exemple de fonctionnement d'un dispositif acoustique avec un contrôleur mettant en œuvre des moyens de calcul 10 appliquant une opération de filtrage inverse, et avec un contrôleur, dans lequel les moyens de calcul n'appliquent pas l'opération de filtrage inverse.
- [0065] On souhaite émettre un son donné, i.e. mettre en vibration tout ou partie de la plaque

à une certaine fréquence.

[0066] Sur la [Fig.2], on peut voir une vue de côté, qui est représentée schématiquement, d'un dispositif acoustique avec un contrôleur dans lequel les moyens de calcul n'appliquant l'opération de filtrage inverse dans un état excité afin d'émettre un son.

[0067] Le dispositif comporte trois actionneurs A1', A2', A3' et les zones Z1', Z2', Z3' mises en vibration de la plaque sont celles directement au droit des actionneurs A1', A2', A3'.

[0068] Lorsqu'on souhaite émettre un son, le contrôleur détermine le signal de commande à envoyer à chacun des actionneurs, tous les actionneurs sont excités pour qu'ils mettent en vibration la plaque.

[0069] On constate que toutes les zones Z1', Z2', Z3' ne vibrent pas de la même manière. Si on considère que la zone Z1' vibre de la manière souhaitée pour générer le son souhaité, la zone Z2' vibre en phase avec la zone Z1', mais la zone Z3' vibre en opposition de phase avec la zone Z1'. Cette différence de phase résulte par exemple de contraintes spécifiques appliquées à la zone Z3', par exemple par des moyens de fixation, ou du fait d'une différence structurelle de la plaque, par exemple une variation d'épaisseur ou de rigidité ou du fait de l'effet fréquentiel de la plaque, qui peut apparaître plus particulièrement à haute fréquence.

[0070] Les vibrations en phase de la zone Z2' peuvent être bénéfiques à la génération du son souhaitée. En revanche, les vibrations en opposition de phase de la zone Z3' détériorent le son émis par la zone Z1'.

[0071] Sur la [Fig.3], on peut voir une vue de côté, représentée schématiquement, le dispositif acoustique de la [Fig.1A] dont les actionneurs sont commandés avec le contrôleur 8 mettant en œuvre des moyens de calcul appliquant l'opération de filtrage inverse dans un état excité afin d'émettre un son.

[0072] On observe que les zones Z1 et Z2 vibrent en phase, et que la zone Z3 ne vibre pas.

[0073] Dans cet exemple, grâce à l'invention et à la l'opération de filtrage inverse, les signaux émis sont tels que la zone Z3 ne vibre pas et donc ne participe pas à détériorer la qualité du son.

[0074] De manière général, si tous les actionneurs sont commandés directement pour exciter les différentes zones de la plaque à la fréquence du son à émettre sans tenir compte des spécificités de chacune des zones, le son obtenu est de qualité médiocre.

[0075] Selon l'invention les moyens de calcul, en appliquant l'opération de filtrage inverse, tiennent compte des spécificités des différentes surfaces (forme, point de fixation, ...) pour calculer les signaux de sorte que les vibrations des zones participent positivement à la génération du son souhaité, ce qui permet ainsi d'obtenir un son de qualité améliorée, nettoyé des vibrations susceptibles de le détériorer.

[0076] Nous allons décrire l'opération de filtrage inverse. Une telle opération est par

exemple décrite dans l'article « *Optimal focusing by spatio-temporal inverse filter. I. Basic principles* » M.Tanter et al., *The Journal of the Acoustical Society of America* 110, 37 (2001) appliquée au traitement d'image en imagerie médicale.

- [0077] Un actionneur m (possédant une réponse linéaire) apte à mettre en vibration la plaque par un signal s_m , produit à la position j un déplacement noté $u_j(t)$ défini par :

[Math 1]

$$u_j(t) = s_m * h_{jm} \text{ Avec :}$$

- [0078] * le produit de convolution

- [0079] h_{jm} la matrice h des réponses impulsionnelles entre le point de contrôle j et l'actionneur piézoélectrique m

- [0080] Ce qui donne dans le domaine fréquentiel :

[Math 2]

$$U_j(\omega) = S_m(\omega) \cdot H_{jm}(\omega)$$

Avec :

- [0081] H_{jm} la fonction de transfert entre le point de contrôle j et l'actionneur piézoélectrique m .

- [0082] La vitesse angulaire $\omega = 2\pi f$.

- [0083] Lorsque plusieurs éléments piézoélectriques sont activés, le déplacement est l'addition de toutes les contributions individuelles :

[Math 3]

$$U_j(\omega) = \sum_m S_m(\omega) \cdot H_{jm}(\omega)$$

Si maintenant on considère N éléments piézoélectrique et N points de contrôles sur la surface de la plaque, l'équation peut s'écrire sous forme matricielle :

[Math 4]

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & \dots & H_{1N} \\ H_{21} & H_{22} & \dots & H_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{N1} & H_{N2} & \dots & H_{NN} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_N \end{bmatrix}$$

Le déplacement u_j au centre d'un actionneur i n'est donc pas proportionnel au signal qui lui est appliqué, mais est filtré par la réponse de l'actionneur collé à la plaque et dépend, via les termes H_{jm} , des signaux envoyés aux autres actionneurs qui produisent des ondes se propageant dans toute la plaque.

- [0084] La méthode du filtre inverse consiste à inverser la matrice $H(\omega)$ pour chaque fréquence. Cette matrice sera utilisée pour construire le signal $S(\omega)$, qui produira le déplacement $V(\omega)$ souhaité au point de contrôle, grâce à l'équation suivante :

[Math 5]

$$S(\omega) = H(\omega)^{-1} \cdot V(\omega)$$

Pour finir, le filtrage s'effectue dans le domaine temporel, grâce au produit de convolution entre le déplacement $v_m(t)$ et $h_{jm}^{-1}(t)$ la transformée de Fourier inverse de H_{jm}^{-1} .

[Math 6]

$$s_j(t) = \sum_m v_m * h_{jm}^{-1}$$

Le signal $s_j(t)$ sera envoyé aux différents actionneurs pour obtenir le déplacement v voulu sur les différents points de contrôles.

- [0085] En inversant la matrice, on compense l'ensemble des effets, avant génération des signaux de contrôle pour obtenir le déplacement souhaité malgré les distorsions, les réverbérations et les propagations des ondes.
- [0086] Ce filtre est temporel dans la mesure où il opère une transformation sur l'amplitude et la phase à toutes les fréquences, et spatial puisqu'il prend en compte les signaux émis par l'ensemble des actionneurs.
- [0087] Nous allons maintenant expliquer comment peut être déterminée la matrice H_{ω} .
- [0088] Tout d'abord on réalise une base de données du comportement de chacune des zones de la plaque que l'on souhaite mettre en vibration, afin de connaître le comportement de ces zones aux différentes fréquences auxquelles elles peuvent être mises en vibration. Pour cela on envoie des signaux de commande aux actionneurs pour qu'ils mettent en vibration les différentes zones en faisant varier la fréquence de vibration sur toute la gamme de fréquence du son que l'on est susceptible de vouloir produire avec la plaque.
- [0089] Par exemple, on choisit un des actionneurs, par exemple l'actionneur A, et la zone associée Z1, comme référence, et on compare le comportement des autres zones par rapport au comportement de la zone Z1. Par exemple on utilise un vibromètre laser pour mesurer le déplacement des différentes zones. Ainsi on détermine si les différentes zones vibrent en phase ou en opposition de phase avec la zone Z1. En variante, on utilise les actionneurs pour mesurer le déplacement des différentes zones, par exemple dans le cas d'actionneurs piézoélectriques on mesure la variation de courant due à la déformation des pastilles en matériau piézoélectrique.
- [0090] Les comportements des zones peuvent varier en fonction de la fréquence, une zone vibrant en phase avec la zone de référence à une première fréquence peut varier en opposition de phase à une deuxième fréquence.
- [0091] De préférence, pour chaque fréquence on décide pour les zones vibrant en opposition

de phase par rapport à la zone Z1, qu'elles ne vibreront pas. Les signaux seront établis de sorte que finalement ces zones ne vibrent pas.

[0092] En variante il peut être décidé d'appliquer des signaux de sorte qu'elles vibrent en phase, cependant cette commande est plus complexe.

[0093] Concernant les zones vibrant en phase généralement on conserve leurs vibrations qui vont s'ajouter de manière bénéfique aux vibrations de la zone Z1. On peut prévoir de générer des signaux de commande de sorte à amplifier les vibrations dans le cas où celles-ci seraient d'amplitudes plus faibles que celle des vibrations de Z1.

[0094] En outre il est tenu compte de l'effet des vibrations d'une zone sur l'autre afin de compenser les effets de propagation.

[0095] Par ailleurs, on détermine les zones singulières de la plaque, par exemple les zones de fixation, les zones ayant de géométrie complexe dont les vibrations sont difficiles à maîtriser. De préférence, on décide également que ces zones ne vibreront pas. Les signaux seront donc établis de sorte que finalement ces zones ne vibrent pas. Certaines zones, que l'on décide de ne pas faire vibrer pour certaines fréquences, peuvent être commandées à d'autres fréquences pour participer positivement à l'émission du son.

[0096] A partir de toutes ces informations, on établit les fonctions de réponse en fréquence $H_{ij}(\omega)$ liant chaque actionneur q à chaque zone de contrôle. Les fonctions peuvent être calculées, obtenues à partir d'une base de données de réponses ou interpolées à partir d'une base réduite de réponses.

[0097] La matrice $H(\omega)$ est ensuite assemblée à partir des fonctions $H_{ij}(\omega)$.

[0098] On réalise ensuite l'inversion ou la pseudo-inversion, car la matrice peut ne pas être carrée, de la matrice $H(\omega)$ pour chaque fréquence de la bande passante.

[0099] On calcule ensuite les signaux de pilotage des actionneurs pour obtenir les vibrations souhaitées en utilisant la matrice inverse $H(\omega)^{-1}$.

[0100] Enfin les signaux $s_q(t)$ sont émis pour tout ou partie des actionneurs.

[0101] Les moyens de calcul appliquant l'opération de filtrage inverse génèrent des signaux $s_q(t)$ aux différents actionneurs. Par exemple, en considérant le dispositif de la [Fig.1A], dans la cas où il a été décidé de ne pas faire vibrer la zone Z3, le signal envoyé à l'actionneur A3 peut être tel qu'il mettent en vibration la zone Z3, mais il en résulte en tenant compte des effets de propagation que la zone Z3 ne vibre pas.

[0102] Ou dans le cas de la zone Z2 vibrant en phase, le signal peut être tel qu'il amplifie les vibrations de la zone Z2 qui vont s'ajouter aux vibrations de la zone Z1.

[0103] Concernant la zone Z1, le signal envoyé à l'actionneur A1 prend en compte les vibrations des autres actionneurs pour limiter les effets sur les vibrations de la zone Z1 et pour agir si nécessaire sur les autres zones par exemple sur la zone Z3 pour annuler les vibrations dans cette zone.

[0104] Le filtrage inverse génère des signaux de commande interdépendants et chaque ac-

tionneur a des effets sur sa zone associée et sur les zones associées aux autres actionneurs.

- [0105] Cette interdépendance permet d'améliorer sensiblement la qualité du son émis et ceci même avec des structures de forme très particulières.
- [0106] Le mode de fonctionnement des moyens de contrôle est le suivant, en considérant une interface à Q actionneurs et avec P zones susceptibles d'être mises en vibration pour produire un son.
- [0107] Tout d'abord le son à produire est choisi, i.e. et donc la fréquence des vibrations à générer. La matrice H_ω est alors sélectionnée.
- [0108] Lors d'une étape suivante, on effectue un filtrage des vibrations souhaitées par la matrice inverse H_ω^{-1} pour obtenir les signaux de pilotage des actionneurs.
- [0109] Lors d'une étape suivante, les signaux $s_q(t)$ de commande de Q actionneurs sont émis et envoyés aux actionneurs. Une ou des zones vont effectivement participer positivement à la génération du son, i.e. les zones qui vont effectivement vibrer, et éventuellement une ou des autres zones ne vont pas vibrer.
- [0110] En variante, l'interface comporte un seul actionneur.
- [0111] Dans un autre exemple, chaque actionneur n'est pas à l'aplomb d'un point de contrôle, par exemple le nombre d'actionneurs et le nombre de points de contrôle sont différents et/ou les actionneurs ne sont volontairement pas à l'aplomb des zones de contrôle.
- [0112] Dans le cas où le nombre de points de contrôle et le nombre d'actionneurs sont différents, le filtrage est mis en œuvre de la même façon, avec la distinction que la matrice $H(\omega)$ n'est pas carrée puisque le nombre de points de contrôle est alors différent du nombre d'actionneurs. La matrice $H(\omega)^{-1}$ est alors une pseudo-inverse de la matrice $H(\omega)$.
- [0113] Les points de contrôle potentiels sont situés dans le champ proche des actionneurs. Par exemple, les points de contrôle potentiels sont situés à une distance au plus égale à la dimension des actionneurs dans le plan de la plaque ou à la longueur d'onde des vibrations contrôlées, la plus grande distance étant considérée. Cet exemple de réalisation est particulièrement adapté à un fonctionnement à moyenne et haute fréquence, par exemple de 200 Hz.
- [0114] Sur la [Fig.4], on peut voir un exemple de dispositif acoustique dans lequel la structure comporte une plaque et des renforts mécaniques 10 ou raidisseurs. Dans cet exemple, parmi les actionneurs on choisit un actionneur principal A1, qui est disposé à l'intersection des raidisseurs 10 et des actionneurs correcteurs A2, A3, A4, A5 sont disposés entre les raidisseurs 10. La matrice H_ω prend en compte la présence des raidisseurs. Dans cet exemple, les points de contrôle sont à l'aplomb des actionneurs.

- [0115] L'actionneur A1 est choisi comme actionneur principal car, du fait de son positionnement sur les raidisseurs, il est apte à provoquer la mise en vibration d'au moins une grande partie de la plaque, de qui permet de générer un son de forte intensité. Les actionneurs A2 à A5 réduisent voire supprime les effets par exemple des encastrements des raidisseurs. L'actionneur A1 est dimensionné pour mettre en vibration la plaque malgré la présence des raidisseurs.
- [0116] En variante, les actionneurs principaux sont les actionneurs A2 à A5, l'excitation d'un actionneur dans chaque zone délimitée par les raidisseurs permet d'utiliser toute la plaque pour générer le son, et l'actionneur A1 est utilisé comme actionneur correcteur pour réduire, voire supprimer des vibrations résultant des raidisseurs et pouvant détériorer le son.
- [0117] Sur la [Fig.5], est schématisé un exemple de dispositif acoustique dans lequel tous les zones Z1'', Z2'', Z4'' sont distantes des actionneurs A1'', A2'', A4'' dans le plan de la plaque. Les zones Z3'' et Z5'' sont à l'aplomb des actionneurs A3'' et A5''. Les actionneurs A1'' à A5'' sont par exemple tous des actionneurs principaux.
- [0118] On peut alors avantageusement spatialiser le son en parallèle ou en série, permettant par exemple de simuler un son venant de loin. La spatialisation du son met en œuvre classiquement un grand nombre de haut-parleurs de type classique alignés et commandés par des signaux atténués et retardés issus d'un même signal source filtré. Les vibrations s'additionnent pour générer un même son.
- [0119] Avec le dispositif selon l'invention on peut reproduire des haut-parleurs alignés et les commander pour réaliser une spatialisation du son, de manière simplifiée.
- [0120] Selon un autre mode de fonctionnement, une seule partie des zones de la plaque est excitée pour émettre un son, et en commandant les actionneurs de sorte à se déplacer les zones émettant un son, on peut déplacer la source du son et générer un son se déplaçant et ainsi former un dispositif acoustique type home cinéma.
- [0121] Sur la [Fig.6], on peut voir un exemple de dispositif acoustique dont la plaque est en interaction avec un élément mécanique 14. Le dispositif comporte un actionneur principal A1 située au centre de la plaque et des actionneurs correcteurs A2, A3, A4 répartis autour de l'actionneur A1, les actionneurs A2 et A3 étant au niveau des zones Z2, Z3 de la plaque en interaction mécanique avec l'élément mécanique 14, pour réduire ou annuler les vibrations au niveau de ces zones et éviter des vibrations pouvant détériorer le son généré avec l'actionneur principal A1. Par exemple, ce dispositif peut être intégré à une portière de véhicule automobile, l'élément mécanique étant par exemple la tôle de la carrosserie et les zones d'interaction Z2, Z3 sont des points de fixation. Les actionneurs A2 et A3 peuvent être situés à distance des zones en interaction mécanique avec l'élément mécanique à une distance au plus égal à la dimension des actionneurs dans le plan ou de la longueur d'onde des vibrations

contrôlées.

- [0122] Il sera compris que les différents exemples de dispositif acoustique peuvent être combinés.
- [0123] A titre d'exemple, sur une surface rectangulaire simple de dimensions inférieures au format A4, le nombre d'actionneurs peut aller d'un actionneur jusqu'à typiquement quatre ou cinq actionneurs. Pour les surfaces plus grandes un nombre plus important peut être mis en œuvre pour efficacement exciter la surface en tant que haut-parleur. Dans le cas des fixations mal maîtrisées, avantageusement un actionneur est placé proche de chaque fixation afin de pouvoir contrôler/annuler la vibration à cet endroit.
- [0124] La taille de l'actionneur dépend du spectre acoustique visé par le haut-parleur surfacique. Un excitateur de un diamètre 25 mm et d'épaisseur 10 mm a une puissance de 1 W et excite davantage des fréquences allant de 500 Hz jusqu'à 20 kHz. Un excitateur de diamètre 50 mm et d'épaisseur 20 mm a une puissance de 10 W et excite des fréquences à partir de 100 Hz.
- [0125] Les dimensions des capteurs sont choisies en fonction de la nature et du matériau de la surface. Les excitateurs électrodynamiques de la marque TECTONIC® peuvent être utilisés dans les dispositifs acoustiques selon l'invention. Pour les actionneurs piézo-électriques, les pastilles piézoélectriques, qui ont typiquement un diamètre de l'ordre de 20mm et une épaisseur de l'ordre de 0,5mm, excitent davantage les fréquences hautes, par exemple supérieures à 500Hz. Les actionneurs piézoélectriques amplifiés peuvent exciter des fréquences plus basses. Les actionneurs de la gamme APA® fabriquée par Cedrat Technologies ou la gamme PowerHap® fabriquée par TDK sont bien adaptés. Ces actionneurs produisent un déplacement allant jusqu'à une centaine de μm pour des forces allant jusqu'à une centaine de Newton.
- [0126] Par exemple on peut envisager de réaliser une cloison formant dispositif acoustique pour équiper une salle de projection, la cloison comportant des montants de rigidification et des points de fixation.
- [0127] La présente invention est particulièrement adaptée à l'émission du son par des surfaces de forme complexe et/ou intégrés à des structures existantes, par exemple des cloisons, puisqu'elle permet de prendre en compte les contraintes pouvant modifier négativement le son.
- [0128] L'invention peut alors être utilisée dans le domaine de la domotique sous forme de cloison ou d'objets de décoration ayant avec fonction de haut-parleur, dans le domaine des transports, dans l'habitacle d'un véhicule automobile, dans l'aéronautique, dans le transport ferroviaire, le transport maritime...), dans le domaine de la télécommunication pour réaliser des haut-parleurs pour smartphone, pour tablette tactile, dans la réalisation d'enceintes Hi-fi.

Revendications

- [Revendication 1] Dispositif acoustique comportant une structure comprenant une surface (1) apte à être mise en vibration en au moins une zone contrôlée de sorte à émettre un son, et au moins un actionneur (A1) apte à provoquer une déformation à la surface au niveau de la zone contrôlée (Z1) de sorte à la mettre en vibration, des moyens de contrôle (6) dudit au moins un actionneur (A1) configurés pour envoyer des signaux de contrôle audit actionneur, comprenant des moyens de calcul (8) desdits signaux de contrôle, lesdits moyens de calcul mettant en œuvre une opération de filtrage inverse spatio-temporel, de sorte à émettre, à partir d'un son à générer, des signaux de contrôle audit au moins un actionneur, de sorte à mettre ladite au moins une zone contrôlée (Z1) en vibration et à émettre le son donné, et compensant au moins partiellement la distorsion, la réverbération et la propagation des ondes.
- [Revendication 2] Dispositif selon la revendication 1, comportant plusieurs actionneurs (A1, A2, A3, A4, A5) répartis sur la surface de sorte à pouvoir générer le son donnée et maîtriser les vibrations dans plusieurs zones contrôlées (Z1, Z2, Z3, Z4, Z5) de la surface (1).
- [Revendication 3] Dispositif selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le ou les actionneurs (A1, A2, A3, A4, A5) sont disposés à l'aplomb de la ou desdites zones contrôlées (Z1, Z2, Z3, Z4, Z5).
- [Revendication 4] Dispositif selon la revendication 1 ou 2, dans lequel au moins une partie des zones contrôlées sont distantes du ou des actionneurs dans le plan de la surface et dans lequel la distance entre chaque actionneur et la zone contrôlée qu'il contrôle, dans une direction contenue dans la surface, est inférieure ou égale à la plus grande distance parmi la dimension de l'actionneur dans une direction contenue dans la surface ou à la longueur d'onde des vibrations générées par l'actionneur.
- [Revendication 5] Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le ou les actionneurs sont des actionneurs piézoélectriques.
- [Revendication 6] Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le ou les actionneurs sont des actionneurs électromagnétiques, avantageusement électrodynamiques.
- [Revendication 7] Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel les moyens de contrôle sont tels qu'ils génèrent des signaux pour qu'au moins une partie des actionneurs émettent le son donné simultanément ou successivement.

- [Revendication 8] Système acoustique comportant au moins un dispositif selon l'une des revendication 1 à 7, et au moins un élément mécanique (14) et des zones d'interaction mécanique entre la surface de la structure et l'élément, ladite structure comportant des zones contrôlées recouvrant les zones d'interaction, et dans lequel les moyens de calcul génèrent des signaux de contrôle tels que lesdites zones contrôlées ont des vibrations réduites ou ne sont pas mises en vibration.
- [Revendication 9] Procédé de fonctionnement d'un dispositif acoustique en vue de générer un son donné, ledit dispositif comportant une structure comprenant une surface apte à être mise en vibration en au moins une zone contrôlée de sorte à émettre un son donné, et au moins un actionneur apte à provoquer une déformation à la surface au niveau de la zone contrôlée d'interaction de sorte à la mettre en vibration et à émettre le son donné, comportant les étapes :
- de génération d'un signal de contrôle par une opération de filtrage inverse spatio-temporel à partir du son donné à générer,
 - d'application du signal de contrôle audit au moins actionneur.
- [Revendication 10] Procédé de fonctionnement selon la revendication précédente, ledit dispositif comportant plusieurs zones contrôlées et plusieurs actionneurs, ledit procédé comportant les étapes :
- de génération de signaux de contrôle par une opération de filtrage inverse à partir du son donné à générer,
 - d'application des signaux de contrôle à tout ou partie des actionneurs.
- [Revendication 11] Procédé de fonctionnement selon la revendication 10, comportant, préalablement à la génération des signaux de contrôle, pour chaque fréquence dans la gamme de fréquence de fonctionnement, les étapes :
- de détermination parmi les zones contrôlées de la ou des zones contrôlées vibrant en phase avec une zone contrôlée de référence et de la ou des zones contrôlées vibrant en opposition de phase par rapport à la zone contrôlée de référence,
 - d'intégration dans l'opération de filtrage inverse de générer des signaux de contrôle à l'actionneur ou aux actionneurs, de sorte à amplifier les vibrations de la ou des zones contrôlées vibrant en phase, et à réduire les vibrations dans les zones vibrant en opposition de phase.
- [Revendication 12] Procédé de fonctionnement selon la revendication 11 comportant l'étape d'intégration dans l'opération de filtrage inverse, de générer des signaux de contrôle à l'actionneur ou aux actionneurs de sorte à annuler les vibrations dans les zones vibrant en opposition de phase.

- [Revendication 13] Procédé de fonctionnement selon l'une des revendications 10, 11 ou 12, dans lequel plusieurs zones contrôlées sont destinées à être mises en vibration pour générer un son et dans lequel les signaux de commande sont tels que lesdites zones sont mises en vibration pour générer ledit son donné successivement.
- [Revendication 14] Procédé de fonctionnement selon l'une des revendications 10 à 13, la structure comportant des zones d'interaction mécaniques avec au moins un élément mécanique (14) extérieur, ledit procédé comportant l'étape d'intégration dans l'opération de filtrage inverse de génération des signaux de contrôle à l'actionneur ou aux actionneurs de sorte à réduire les vibrations dans les zones vibrant en opposition de phase.
- [Revendication 15] Procédé de fonctionnement selon l'une des revendications 9 à 14, la structure comportant au moins un élément de mesure pour détecter un changement de la vibration de la plaque et permettre une adaptation des fonctions de transfert.

[Fig. 1A]

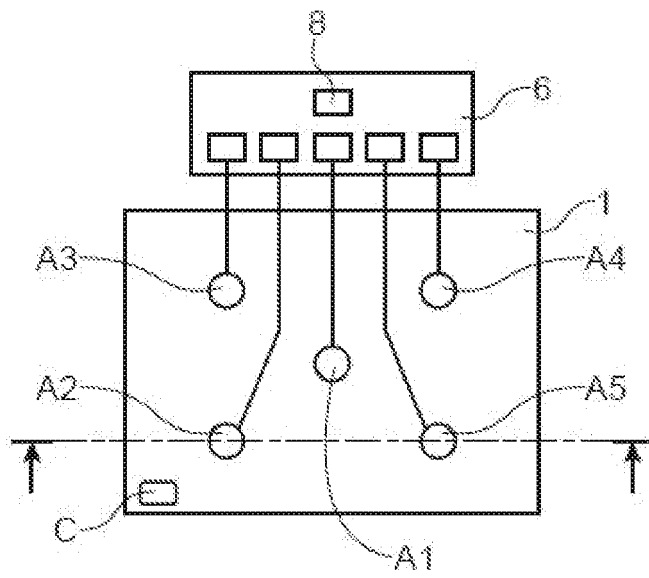


FIG. 1A

[Fig. 1B]

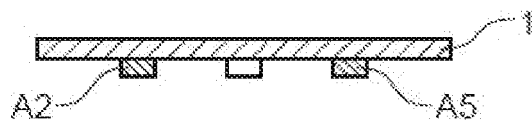


FIG. 1B

[Fig. 2]

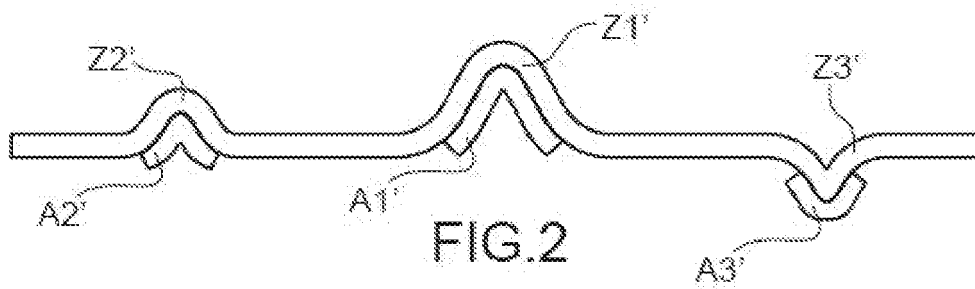


FIG. 2

[Fig. 3]

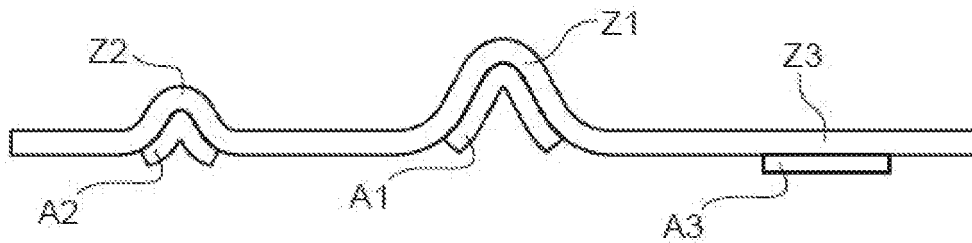
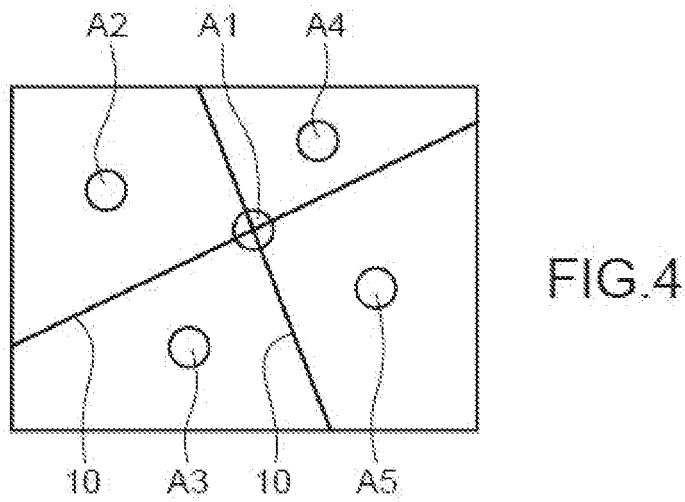
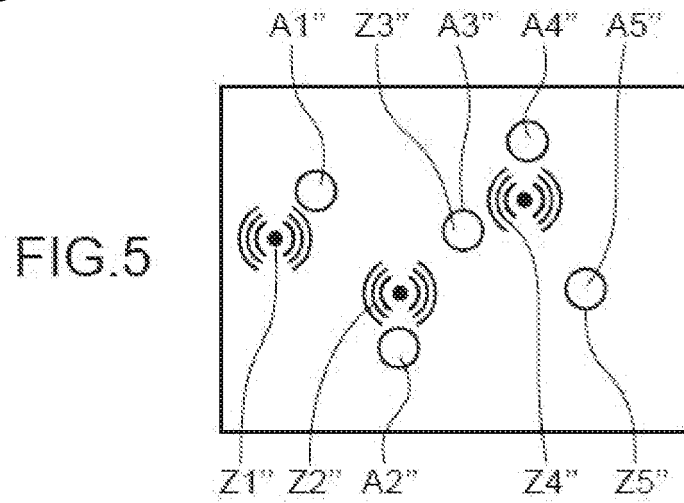


FIG. 3

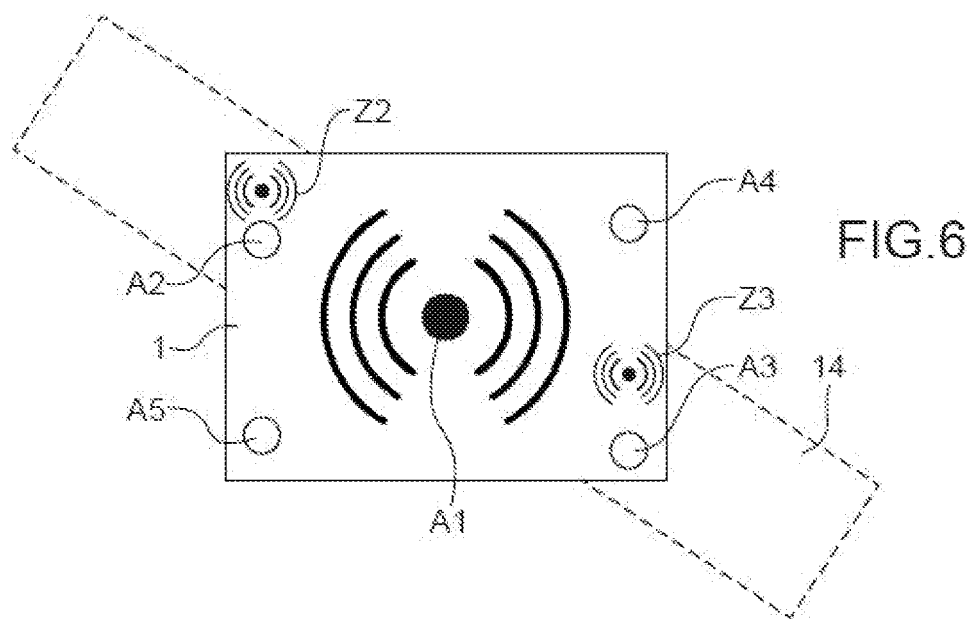
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

JP 2004 172700 A (ONKYO KK)
17 juin 2004 (2004-06-17)

WO 97/09842 A2 (VERITY GROUP PLC [GB];
AZIMA HENRY [GB] ET AL.)
13 mars 1997 (1997-03-13)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT