

(19)



(11)

EP 3 371 806 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
29.09.2021 Bulletin 2021/39

(51) Int Cl.:
E06B 5/20 (2006.01) E06B 3/66 (2006.01)
G10K 11/178 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16809474.6**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2016/052837

(22) Date de dépôt: **02.11.2016**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2017/077234 (11.05.2017 Gazette 2017/19)

(54) **FENÊTRE MULTI-VITRAGE INTÉGRANT UN DISPOSITIF DE RÉDUCTION ACTIVE DU BRUIT**

MEHRFACHVERGLASTE FENSTER MIT EINER AKTIVEN
GERÄUSCHUNTERDRÜCKUNGSVORRICHTUNG

MULTI-GLAZED WINDOW INCORPORATING AN ACTIVE NOISE REDUCTION DEVICE

(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

(30) Priorité: **02.11.2015 FR 1560492**

(43) Date de publication de la demande:
12.09.2018 Bulletin 2018/37

(73) Titulaires:
• **Technofirst**
13400 Aubagne (FR)
• **Carme, Christian**
83270 Saint-Cyr-sur-Mer (FR)

(72) Inventeur: **CARME, Christian**
13010 Marseille (FR)

(74) Mandataire: **Roman, Alexis et al**
SPE Roman-Andre
35 rue Paradis
B.P. 30064
13484 Marseille (FR)

(56) Documents cités:
EP-A1- 0 710 946 CN-U- 201 620 733
JP-A- 2006 215 510

EP 3 371 806 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**Domaine technique de l'invention.**

- 5 **[0001]** L'invention a pour objet une fenêtre multi-vitrage intégrant un dispositif de réduction active du bruit.
[0002] Elle concerne le domaine technique des dispositifs permettant d'améliorer l'isolation phonique d'une fenêtre.

État de la technique.

- 10 **[0003]** Le document brevet US 6.285.773 (Carme) divulgue un système antibruit actif, comprenant un ou plusieurs haut-parleurs linéaires disposés en bordure d'un double vitrage, dans la lame d'air entre les deux vitres et/ou à l'intérieur d'un profilé d'encadrement de ce double vitrage. Dans ce système antibruit, le haut-parleur permet de réaliser un système électro-acoustique pratiquement invisible, et ne nuisant ni au confort visuel, ni à la transmission lumineuse du vitrage, le système proposé permettant d'améliorer l'isolation phonique d'un double vitrage notamment dans les basses fréquences.
- 15 **[0004]** Le haut-parleur décrit dans le brevet Carme, comprend une membrane vibrante disposée entre deux vitres adjacentes de manière à vibrer et générer un contre-bruit dans la lame d'air. Cette membrane est associée à un actionneur adapté pour induire un mouvement vibratoire à ladite membrane. Une électronique de contrôle permet de contrôler l'actionneur en fonction des signaux acoustiques captés par au moins un microphone de contrôle porté par l'encadrement de la fenêtre. Le brevet Carme ne s'attarde toutefois pas sur la position que doit avoir le microphone de contrôle pour optimiser la filtration du bruit.
- 20 **[0005]** Le document brevet EP 0.710.946 (CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT) concerne également une fenêtre multi-vitrage intégrant un dispositif actif de réduction du bruit. Dans ce document, il est enseigné de positionner des microphones de contrôle au milieu de la lame d'air, à égales distances des deux vitres, dans le plan médian longitudinal de la fenêtre. Les résultats obtenus en termes d'atténuation du bruit ne sont toutefois pas optimaux. En outre, l'atténuation n'est efficace que dans une bande étroite de fréquences correspondantes aux basses fréquences.
- 25 **[0006]** Le document brevet CN 201.620.733 (XINMIN) divulgue également un système antibruit actif comprenant un haut-parleur disposé dans un triple vitrage, dans la lame d'air séparant deux vitres. Le haut-parleur et le microphone de contrôle sont dans un même plan.
- 30 **[0007]** L'invention vise à remédier à cet état des choses. En particulier, un objectif de l'invention est d'améliorer l'atténuation du bruit dans une fenêtre multi-vitrage du type connue de l'art antérieur précité.
- [0008]** Un autre objectif de l'invention est d'obtenir une atténuation du bruit dans une large bande de fréquences.

Divulcation de l'invention.

- 35 **[0009]** La solution proposée par l'invention est une fenêtre multi-vitrage formée par un encadrement réalisé par des profilés supportant au moins deux vitres séparées par une lame d'air, ladite fenêtre présentant un plan médian longitudinal et intégrant un dispositif de réduction active d'un bruit provenant d'une source de bruit, lequel dispositif comprend :
- 40 - au moins un haut-parleur qui se présente comme un corps creux en forme de parallélépipède rectangle allongé et dont une face est constituée au moins partiellement par une membrane vibrante disposée entre les deux vitres adjacentes de manière à vibrer et générer un contre-bruit dans la lame d'air,
- un actionneur associé à la membrane, lequel actionneur est adapté pour induire un mouvement vibratoire à ladite membrane,
- 45 - au moins un microphone de contrôle porté par l'encadrement, lequel microphone est installé dans la lame d'air pour capter les signaux acoustiques dans ladite lame d'air,
- une électronique de contrôle adaptée pour contrôler l'actionneur en fonction des signaux acoustiques captés par le microphone de contrôle.
- 50 **[0010]** Cette fenêtre est remarquable en ce que :
- le corps creux forme un des profilés de l'encadrement,
- la membrane est disposée au milieu des deux vitres, de manière symétrique par rapport au plan médian longitudinal de la fenêtre,
- 55 - le microphone de contrôle est décalé du plan médian longitudinal de la fenêtre de sorte qu'il est plus près de la vitre qui est la plus éloignée de la source de bruit que de l'autre vitre.

[0011] Grâce à cette position du microphone de contrôle, la demanderesse a pu constater de manière surprenante

que l'atténuation du bruit était efficace et stable, dans une bande de fréquences plus large que celle indiquée dans le document brevet EP 0.710.946 précité.

[0012] D'autres caractéristiques avantageuses de l'invention sont listées ci-dessous. Chacune de ces caractéristiques peut être considérée seule ou en combinaison avec les caractéristiques remarquables définies ci-dessus, et faire l'objet, le cas échéant, d'une ou plusieurs demandes de brevets divisionnaires :

- Le microphone de contrôle peut être installé sur le profilé formé par le corps creux du haut parleur, ledit microphone de contrôle étant adjacent à la membrane.
- Dans une variante de réalisation, le microphone de contrôle est installé sur un profilé qui est distant du profilé formé par le corps creux du haut parleur.
- Le microphone de contrôle est avantageusement orienté dans une direction qui est perpendiculaire à la direction de propagation, dans la lame d'air, des signaux acoustiques provenant de la source de bruit.
- L'électronique de contrôle comprend avantageusement un moyen de filtrage par rétroaction possédant une entrée reliée au microphone de contrôle et une sortie reliée à l'actionneur.
- Préférentiellement, au moins un microphone de référence est porté par l'encadrement, lequel microphone de référence est installé à l'extérieur de la lame d'air, au niveau de la vitre qui est la plus proche de la source de bruit ; l'électronique de contrôle comprend dans ce cas un moyen de filtrage par anticipation, possédant une entrée reliée au microphone de référence et une sortie reliée à l'actionneur.
- Le microphone de contrôle et le microphone de référence peuvent être portés par le même profilé ou portés chacun par un profilé distinct.
- Le microphone de référence est avantageusement orienté dans une direction qui est parallèle à la direction de propagation des signaux acoustiques provenant de la source de bruit.
- Préférentiellement, l'électronique de contrôle comprend un moyen sommateur possédant une première entrée, une seconde entrée et une sortie reliée à l'actionneur ; le moyen de filtrage par rétroaction comprend une entrée reliée au microphone de contrôle et une sortie reliée à la première entrée du moyen sommateur ; et le moyen de filtrage par anticipation comprend une entrée reliée au microphone de référence et une sortie reliée à la seconde entrée du moyen sommateur.
- Le moyen de filtrage par anticipation peut être du type adaptatif et comprendre : - une première entrée reliée au microphone de contrôle ; et une seconde entrée reliée au microphone de référence.
- Le moyen de filtrage par anticipation peut également être du type non adaptatif.
- Le haut parleur peut être un haut-parleur linéaire ou un haut-parleur circulaire.

Description des figures.

[0013] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description d'un mode de réalisation préféré qui va suivre, en référence aux dessins annexés, réalisés à titre d'exemples indicatifs et non limitatifs et sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique de face d'une fenêtre multi-vitrage avec un dispositif de réduction active du bruit comprenant un haut-parleur linéaire,
- la figure 2 est une vue schématique en coupe selon A-A de la fenêtre de la figure 1, selon un premier mode de réalisation,
- la figure 3 est une vue schématique en coupe selon A-A de la fenêtre de la figure 1, selon un deuxième mode de réalisation,
- la figure 4 est une vue schématique en coupe selon A-A de la fenêtre de la figure 1, selon un troisième mode de réalisation,
- la figure 5 est une vue schématique en coupe selon A-A de la fenêtre de la figure 1, selon un quatrième mode de réalisation,
- la figure 6 est une vue schématique de face d'une fenêtre multi-vitrage avec un dispositif de réduction active du bruit comprenant plusieurs haut-parleurs circulaires,
- la figure 7 est un graphique montrant l'atténuation acoustique susceptible d'être procurée par une fenêtre conforme à l'invention.

Modes préférés de réalisation de l'invention.

[0014] La présente invention concerne une fenêtre multi-vitrage, qui se caractérise par une conception particulière du dispositif de réduction active du bruit qu'elle intègre.

[0015] La fenêtre en elle-même est du type connu. Sur la figure 1, elle se compose d'un encadrement 19, ou châssis,

formé de profilés 19a, 19b, 19c, 19d encadrant un panneau vitré 4. L'encadrement 19 est préférentiellement de forme rectangulaire ou carrée, mais peut être polygonal, avoir un ou plusieurs bords incurvés, etc. Sur la figure 2, le panneau 4 est formé par deux vitres adjacentes V1 et V2 séparées par une lame d'air L.

[0016] Le dispositif de réduction du bruit est utilisé pour un contrôle actif du bruit. Il génère dans la lame d'air un niveau sonore équivalent au niveau sonore ambiant à contrôler, notamment un bruit provenant d'une source de bruit S.

[0017] Un dispositif de réduction active du bruit peut se présenter sous la forme d'un actionneur piézo-électrique ou d'un haut-parleur. On utilise préférentiellement un haut-parleur linéaire du type décrit dans le document brevet US 6.285.773 (Carme) précité, et auquel l'homme du métier pourra se référer le cas échéant. Ce type de haut-parleur linéaire peut en effet être facilement logé dans un volume réduit et notamment dans un espace étroit, tout en possédant un rendement comparable à celui d'un haut-parleur classique à membranes coniques. La forme géométrique et la disposition particulière des éléments constitutifs du haut-parleur linéaire offrent un rendement très satisfaisant. En particulier, compte tenu de la longueur importante de la membrane, celle-ci déplace une grande masse d'air lors de sa vibration, ce qui permet de disposer d'un bon rendement dans les basses fréquences. Le haut-parleur linéaire permet en outre de générer une onde sonore dont la phase est homogène sur toute la largeur du vitrage.

[0018] La figure 6 illustre une variante de réalisation non couverte par l'invention où le haut-parleur linéaire est remplacé par plusieurs haut-parleurs circulaires installés côte-à-côte dans le profilé 19a. On peut par exemple utiliser des haut-parleurs ASCA commercialisés par la demanderesse. L'utilisation d'un haut-parleur linéaire permet toutefois de réduire le nombre de haut-parleur pour obtenir une réduction de bruit équivalente.

[0019] On utilise dans la suite de la description le terme générique de haut-parleur, que ce dernier soit un haut-parleur en tant que tel ou un actionneur piézo-électrique.

[0020] Le dispositif de réduction du bruit peut comprendre un seul haut-parleur linéaire HP disposé sur un seul des côtés 19a de l'encadrement 19, ou plusieurs haut-parleurs disposés respectivement sur les différents côtés 19a, 19b, 19c, 19d dudit encadrement. Le choix du nombre de haut-parleurs HP et de leur agencement dans l'encadrement 19 dépend du champ sonore à atténuer, par superposition, des bruits se propageant dans la lame d'air L, pour augmenter l'isolation phonique du double vitrage.

[0021] La figure 2 donne une représentation schématique d'un haut-parleur linéaire, qui se présente extérieurement comme un corps creux 1 en forme de parallélépipède rectangle allongé, possédant par exemple une longueur de 50 cm à 2 m, une largeur de 2 cm à 4 cm et une profondeur de 2 cm à 4 cm. Le corps 1 peut être réalisé en aluminium, en acier, en plastique, ou en tout autre matériau convenant à l'homme du métier et forme avantageusement un des profilés de l'encadrement 19. Sur la figure 2, le corps 1 forme le profilé horizontal 19a qui est situé en bas de l'encadrement 19.

[0022] Au moins une face du haut-parleur HP est constituée au moins partiellement par une membrane 7 vibrante disposée entre les deux vitres adjacentes V1, V2 de manière à vibrer et générer un contre-bruit dans la lame d'air L. Cette membrane 7 est plane et pour le cas d'un haut-parleur linéaire, elle est allongée. Elle s'étend préférentiellement sur toute la longueur du corps 1. La membrane 7 est disposée au milieu des deux vitres V1, V2 de manière symétrique par rapport au plan médian longitudinal P de la fenêtre.

[0023] Un actionneur 11 est associé à la membrane 7. Cet actionneur 11 est adapté pour induire un mouvement vibratoire à la membrane 7. Il peut s'agir d'un actionneur piezoélectrique ou de manière plus classique un actionneur utilisant un agencement d'aimants et de bobine excitée électriquement pour provoquer la vibration de la membrane 7 qui génère le contre-bruit.

[0024] Au moins un microphone de contrôle 21, ou microphone d'erreur, est porté par l'encadrement 19. Sur la figure 2, ce microphone 21 est installé dans la lame d'air L pour capter les signaux acoustiques se propageant dans cette dernière. A titre d'exemple on peut utiliser un microphone de contrôle 21 de la marque PUI Audio portant la référence POM-2246L-C33-Ret fabriqué par la société PUI Audio.

[0025] Le microphone 21 envoie un signal représentatif du bruit dans la lame d'air L à une électronique de contrôle 23. Dès lors, l'électronique de contrôle 23 émet un signal de commande à l'actionneur 11 en fonction des signaux acoustiques captés par le microphone 21. Ce dispositif de réduction active du bruit permet d'augmenter l'isolation phonique du double vitrage.

[0026] Conformément à l'invention, et comme illustré sur la figure 2, le microphone de contrôle 21 est installé dans la lame d'air L, décalé du plan médian longitudinal P, de sorte qu'il soit plus près de la vitre V2 qui est la plus éloignée de la source de bruit S que de l'autre vitre V1. Par exemple si la source de bruit S est le bruit ambiant régnant à l'extérieur d'une pièce, d'un local ou d'une cabine, (par exemple le bruit de véhicules circulant dans une rue ou sur une route, le bruit d'un moteur d'avion, ...), la vitre V1 est celle qui est située à l'extérieur de la pièce, du local ou de la cabine, et la vitre V2 est celle qui est installée à l'intérieur de la pièce, du local ou de la cabine. Si la source de bruit S est le bruit ambiant régnant à l'intérieur d'une pièce, d'un local ou d'une cabine (par exemple la musique d'une discothèque), la vitre V1 est celle qui est située à l'intérieur de la pièce, du local ou de la cabine, et la vitre V2 est celle qui est installée à l'extérieur de la pièce, du local ou de la cabine.

[0027] Grâce à cette position du microphone de contrôle 21, la demanderesse a pu constater de manière surprenante que l'atténuation du bruit était efficace et stable, dans une bande de fréquences plus large que celle indiquée dans

document brevet EP 0.710.946 précité. Ce phénomène est explicité ci-après en référence à la figure 7.

[0028] De bons résultats sont obtenus lorsque le microphone de contrôle 21 est orienté dans une direction qui est perpendiculaire à la direction de propagation, dans la lame d'air L, des signaux acoustiques provenant de la source de bruit S. Le microphone de contrôle 21 est ainsi orienté dans une direction qui est parallèle à la direction de déplacement de la membrane 7, c'est-à-dire parallèle au plan médian longitudinal P de la fenêtre. Dans cette disposition, il apparaît que le microphone de contrôle 21 recueille de manière satisfaisante le signal acoustique résiduel qui est utilisé comme signal d'erreur dans le filtrage par rétroaction décrit ci-après dans la description. Ce signal acoustique résiduel est une combinaison du bruit résiduel atteignant la vitre V2 et d'un contre-bruit généré par le haut-parleur HP qui est idéalement la copie inversée du bruit à supprimer issu de la source S.

[0029] Sur la figure 2, le microphone de contrôle 21 est installé sur le profilé 19a formé par le corps creux 1 du haut parleur HP. Plus particulièrement, le microphone de contrôle 21 est adjacent à la membrane 7. Cette configuration simplifie la conception du dispositif de réduction active du bruit dans la mesure où tous ses éléments constitutifs sont regroupés dans un seul et même profilé 19a.

[0030] Le microphone de contrôle 21 peut toutefois être installé sur un profilé 19b qui est distant du profilé 19a formé par le corps creux 1 du haut parleur HP, comme cela est schématisé sur la figure 3. Sur cette figure, le microphone de contrôle 21 est agencé sur un profilé horizontal 19b qui est à l'opposé du profilé horizontal 19a formé par le corps creux 1 du haut parleur HP. Bien entendu, le microphone de contrôle 21 peut être installé sur l'un des profilés verticaux 19c ou 19d, alors que le corps creux 1 du haut parleur HP forme l'un des profilés horizontaux 19a ou 19b, et inversement.

[0031] Sur les figures 2 et 3, l'électronique de contrôle 23 comprend un moyen de filtrage par rétroaction FB (en anglais « FEEDBACK ») de type non adaptatif possédant une entrée FBe reliée au microphone de contrôle 21 et une sortie FBs reliée à l'actionneur 11.

[0032] La technique d'atténuation active par rétroaction est fondée sur une boucle de contre-réaction agencée pour engendrer une atténuation active des ondes sonores se propageant dans la lame d'air L. Le signal mesuré par le microphone de contrôle 21 est injecté à l'actionneur 11 à travers le moyen de filtrage par rétroaction FB qui corrige ledit signal pour tenter d'annuler son énergie. Cette technique rétroactive permet d'obtenir une atténuation acoustique avec un certain gain, sans engendrer d'instabilité dans une bande de fréquences de traitement. Le plus souvent, cette bande de fréquences de traitement correspond à des basses fréquences, par exemple en ondes sonores à la bande de fréquences allant de 0 à 400 Hz et plus particulièrement de 70 Hz à 400 Hz.

[0033] L'électronique de contrôle 23 comprend avantageusement : - des moyens de pré-amplification comprenant une entrée reliée au microphone de contrôle 21 et une sortie reliée à l'entrée FBe du moyen de filtrage par rétroaction FB ; - et des moyens d'amplification comprenant une entrée reliée à la sortie FBs du moyen de filtrage par rétroaction FB, et une sortie reliée à l'actionneur 11.

[0034] Cette électronique de contrôle 23 constitue ici une boucle de contre-réaction agencée pour engendrer une atténuation acoustique active sans engendrer d'instabilité dans une bande de fréquences choisie. Par exemple, la bande de fréquences dans laquelle le moyen de filtrage par rétroaction est efficace sans engendrer d'instabilité au sens de Nyquist, est de l'ordre de 0 à 600 Hz pour des ondes sonores et plus particulièrement de 70 Hz à 600 Hz.

[0035] En pratique, le moyen de filtrage par rétroaction FB comprend une pluralité de filtres analogiques actifs d'ordre supérieur ou égal à 1, agencés pour engendrer une fonction de transfert permettant d'éviter des instabilités dans la bande de fréquence 0-600 Hz et plus particulièrement dans la bande 70-600 Hz au sens de Nyquist, et la fonction de transfert du moyen de filtrage FB est déterminée de telle sorte que la phase de ladite fonction de transfert ne passe pas par la valeur 0 dans cette bande.

[0036] Cependant, un effet de pompage apparaît au-delà de 600 Hz qui se traduit par une augmentation du niveau de bruit par rapport à l'action des moyens d'atténuation passive seule, c'est-à-dire le panneau 4 seul. Ce phénomène est tout à fait connu de l'homme du métier, et constitue une non-linéarité (dégradations des performances) par rapport aux résultats attendus de l'observation du système en boucle ouverte.

[0037] Pour remédier à cela, il est avantageux de combiner l'atténuation active par rétroaction à une atténuation active par anticipation. Sur la figure 4, l'électronique de contrôle 23 comprend à cet effet un moyen de filtrage par anticipation FF (en anglais « FEEDFORWARD »), possédant une entrée FFe reliée à un microphone de référence 22 et une sortie FFs reliée à l'actionneur 11.

[0038] A titre d'exemple on peut utiliser un microphone de référence 22 de la marque PUI Audio portant la référence POM-2246L-C33-Ret fabriqué par la société PUI Audio.

[0039] Dans cette technique d'atténuation active par anticipation, un champ acoustique de référence, en amont de la propagation du champ acoustique dans la lame d'air L, est détecté par le microphone de référence 22, puis traité par le moyen de filtrage FF afin de déterminer la commande à appliquer à l'actionneur 11.

[0040] Pour optimiser le traitement des signaux, on prévoit : - des moyens de pré-amplification comprenant une entrée reliée au microphone de référence 22 et une sortie reliée à l'entrée FFe du moyen de filtrage par anticipation FF ; - et des moyens d'amplification comprenant une entrée reliée à la sortie FFs du moyen de filtrage par anticipation FF, et une sortie reliée à l'actionneur 11.

[0041] Sur la figure 4, l'électronique de contrôle 23 comprend un moyen sommateur 24 possédant : - une première entrée 24e1 reliée à la sortie FBs du moyen de filtrage par rétroaction FB ; - une seconde entrée 24e2 reliée à la sortie FFs du moyen de filtrage par anticipation FF ; - et une sortie 24s reliée à l'actionneur 11. Le signal de sortie du moyen sommateur 24 qui est appliqué à l'actionneur 11 est ainsi une combinaison linéaire des signaux issus des voies de filtrage par rétroaction et par anticipation. On prévoit avantageusement des moyens d'amplification comprenant une

entrée reliée à la sortie 24s du moyen sommateur 24, et une sortie reliée à l'actionneur 11.

[0042] La technique par anticipation est articulée autour du moyen de filtrage par anticipation FF de type non adaptatif ou adaptatif. Comparé à un filtrage non adaptatif, le filtrage adaptatif est plus efficace sur le plan de l'atténuation du bruit, mais nécessite une puissance de calcul plus importante et un coût de réalisation plus élevé.

[0043] Dans le cas où le moyen de filtrage par anticipation FF est du type non adaptatif, sa fonction de transfert est une fonction fixe qui est prééglée et qui ne varie pas.

[0044] Avec un moyen de filtrage par anticipation FF adaptatif, la fonction de transfert est modifiée dynamiquement, en continu, par un algorithme d'analyse en temps réel du signal acoustique provenant de la source S. Les coefficients du moyen de filtrage par anticipation FF sont adaptés en temps réel selon un algorithme choisi de façon à minimiser l'énergie des vibrations captées par le microphone de contrôle 21 en fonction de l'énergie des vibrations de référence captées par le microphone de référence 22.

[0045] Ce filtrage adaptatif est schématisé sur la figure 5 où le moyen de filtrage par anticipation FF comprend : une première entrée FFe1 reliée au microphone de contrôle 21 ; et une seconde entrée FFe2 reliée au microphone de référence 22. En pratique, le moyen de filtrage par anticipation FF comprend des filtres à réponse impulsionnelle finie de type adaptatif. Les coefficients de ces filtres sont réactualisés en temps réel par un algorithme de minimisation qui prend en compte les signaux captés par le microphone de contrôle 21. Par exemple, l'algorithme de minimisation est du type des moindres carrés moyens, appelé encore LMS pour "LEAST MEAN SQUARES" ou plus avantageusement du type des moindres carrés moyens avec référence filtrée, appelé encore FXLMS pour « Filtered-X Least Mean Squares ».

[0046] Dans une étape préalable d'initialisation, la fonction de transfert du chemin dit secondaire entre le haut-parleur HP et le microphone de contrôle 21 est mesurée, échantillonnée et sauvegardée dans la mémoire d'un processeur de l'électronique de contrôle 23. Cette fonction de transfert ainsi préalablement mesurée va servir ensuite dans la phase de calibration pour l'adaptation des éléments de filtrage par anticipation. Cette étape est réalisée d'une manière connue de l'homme du métier.

[0047] L'atténuation active de type "hybride" obtenue selon l'invention résulte d'une combinaison des moyens de filtrage par anticipation et par rétroaction dans laquelle le filtrage par anticipation est greffé sur le filtrage par rétroaction ou réciproquement. Cela permet de linéariser l'atténuation rétroactive dans toute une bande de fréquences plus large que la bande de fréquences (0-600 Hz et plus particulièrement 70-600 Hz) traitée directement par le moyen de filtrage par rétroaction FB, d'accélérer la convergence de l'algorithme de minimisation, et d'améliorer la robustesse du moyen de filtrage par anticipation FF. On améliore ainsi le gain d'atténuation active dans une bande élargie qui peut aller jusqu'à 4000 Hz, par suppression de l'effet de pompage mentionné précédemment.

[0048] Sur les figures 4 et 5, le microphone de référence 22 est porté par l'encadrement 19. Contrairement au microphone de contrôle 21, il est installé à l'extérieur de la lame d'air L, au niveau de la vitre V1 qui est la plus proche de la source de bruit S. Le microphone de référence 22 peut ainsi capter de manière optimale la copie du bruit à supprimer issu de la source S et transmettre ce signal à l'électronique de contrôle 23.

[0049] De bons résultats sont obtenus lorsque le microphone de référence 22 est orienté dans une direction qui est parallèle à la direction de propagation des signaux acoustiques provenant de la source de bruit S. Le microphone de référence 22 est ainsi orienté dans une direction qui est perpendiculaire à la direction de déplacement de la membrane 7, c'est-à-dire perpendiculaire au plan médian longitudinal P de la fenêtre. Dans cette disposition, il apparaît que le microphone de référence 22 recueille de manière satisfaisante le signal acoustique provenant de la source de bruit S, sans être perturbé par le contre-bruit généré par le haut-parleur HP.

[0050] Pour simplifier la conception du dispositif de réduction du bruit, le microphone de référence 22 et le microphone de contrôle 21 sont portés par le même profilé 19a. On peut toutefois prévoir que le microphone de contrôle 21 et le microphone de référence 22 soient portés chacun par un profilé distinct. Le microphone de référence 22 peut par exemple être agencé sur un profilé horizontal 19b qui est à l'opposé du profilé horizontal 19a formé par le corps creux 1 du haut-parleur HP et le microphone de contrôle 21. Il peut également être installé sur l'un des profilés verticaux 19c ou 19d, alors que le haut-parleur HP et le microphone de contrôle 21 sont installés sur l'un des profilés horizontaux 19a ou 19b, et inversement.

[0051] La figure 7 est un graphique montrant l'atténuation acoustique susceptible d'être procurée par une fenêtre conforme à l'invention. Les mesures ont été faites sur une fenêtre à double vitrage du type 4-12-4 (vitre en verre ; lame d'air ; épaisseur du verre = 4 mm ; épaisseur de la lame d'air = 12 mm). Les courbes correspondent aux valeurs d'atténuation acoustique en dB (ordonnées) en fonction de la fréquence en Hz (abscisses). Le tableau 1 ci-dessous renseigne les différents cas de figures.

Tableau 1

N°courbe	Représentation graphique	Cas de figures	Type de filtration acoustique
1	-	Double vitrage seul sans dispositif de réduction du bruit	Sans filtration acoustique
2	-----	Double vitrage avec dispositif de réduction du bruit. Microphone de contrôle 21 installé au milieu de la lame d'air. Pas de microphone de référence 22.	FEEDBACK seul
3	-----	Double vitrage avec dispositif de réduction du bruit. Microphone de contrôle 21 installé près de la vitre V2. Pas de microphone de référence 22.	FEEDBACK seul (figure 2)
4	-----	Double vitrage avec dispositif de réduction du bruit. Microphone de contrôle 21 installé près de la vitre V2. Microphone de référence 22 installé.	FEEDBACK + FEEDFORWARD non adaptatif (figure 4)
5	-----	Double vitrage avec dispositif de réduction du bruit. Microphone de contrôle 21 installé près de la vitre V2. Microphone de référence 22 installé.	FEEDBACK + FEEDFORWARD adaptatif (figure 5)

[0052] En analysant la courbe n°1, on remarque que l'isolation acoustique que procure le double vitrage est relativement mauvaise. L'atténuation acoustique est faible dans les basses et moyennes fréquences (150 Hz à 400 Hz, correspondant par exemple à un bruit de trafic routier lent) avec un repli maximal au niveau de la fréquence de résonance F_r (environ 250 Hz). Cette fréquence de résonance dépend de la masse des vitres V1, V2, de leur épaisseur et de la nature des éléments (matériaux et lame d'air/gaz) constituant le panneau 4. Au-delà de cette fréquence de résonance F_r , l'isolation acoustique augmente de façon linéaire jusqu'au la fréquence critique F_c des vitres simples V1 et V2 qui composent le panneau 4 (environ 3000 Hz pour un verre de 4 mm d'épaisseur).

[0053] Cela s'explique par le fait que le double vitrage se comporte comme un système acoustique du type Masse/Ressort/Masse. La lame d'air L jouant le rôle de ressort, son épaisseur est généralement trop faible pour créer un ressort suffisamment souple et le système fait entrer les vitres V1 et V2 en résonance.

[0054] La courbe n°2 correspond au cas où le double vitrage intègre le dispositif de réduction du bruit. Seul est prévu un filtrage par rétroaction FEEDBACK. Le microphone de contrôle 21 est installé au milieu de la lame d'air L, comme cela est préconisé par le document brevet EP 0.710.946 précité. On constate une amélioration de l'isolation acoustique d'environ 8 dB dans la gamme des basses fréquences voisines de la fréquence de résonance F_r , sur une bande d'environ 200 Hz-350 Hz. On observe également une diminution de l'isolation acoustique par rapport à l'isolation acoustique que procure le double vitrage seul (effet de pompage au-delà de 650 Hz).

[0055] La courbe n°3 correspond au cas où le double vitrage intègre le dispositif de réduction du bruit, le microphone de contrôle 21 étant maintenant installé au plus près de la vitre V2 qui est la plus éloignée de la source de bruit S. Seul est prévu un filtrage par rétroaction FEEDBACK. Comme sur la courbe n°2, on constate une amélioration de l'isolation acoustique d'environ 8 dB dans la gamme des basses fréquences voisines de la fréquence de résonance F_r . On améliore toutefois l'isolation acoustique dans une bande plus élargie d'environ 150 Hz-375 Hz.

[0056] La courbe n°4 correspond au cas où le double vitrage intègre le dispositif de réduction du bruit. Un filtrage par rétroaction FEEDBACK et un filtrage par anticipation FEEDFORWARD non adaptatif sont prévus. Le microphone de contrôle 21 est installé au plus près de la vitre V2. On constate une amélioration de l'isolation acoustique d'environ 8 dB dans la gamme des basses fréquences voisines de la fréquence de résonance F_r , sur une bande d'environ 150 Hz-375 Hz (comme sur la courbe n°3). On observe également une amélioration de l'isolation acoustique d'environ 5 dB dans la gamme des hautes fréquences voisines de la fréquence critique F_c , laquelle amélioration est due au filtrage par anticipation.

[0057] La courbe n°5 correspond au cas où le double vitrage intègre le dispositif de réduction du bruit. Un filtrage par rétroaction FEEDBACK et un filtrage par anticipation FEEDFORWARD adaptatif sont prévus. Le microphone de contrôle 21 est installé au plus près de la vitre V2. On constate une amélioration de l'isolation acoustique d'environ 10 dB dans la gamme des basses fréquences voisines de la fréquence de résonance F_r , sur une bande plus large d'environ 125 Hz-400 Hz. On observe également une amélioration de l'isolation acoustique d'environ 8 dB dans la gamme des hautes fréquences voisines de la fréquence critique F_c . L'atténuation est donc ici globalement plus efficace en comparaison de la courbe 4. La combinaison des filtres par anticipation adaptative et par rétroaction permet d'améliorer le com-

portement respectif desdits filtrages.

[0058] L'agencement des différents éléments et/ou moyens de l'invention, dans les modes de réalisation décrits ci-dessus, ne doit pas être compris comme exigeant un tel agencement dans toutes les implémentations. En tout état de cause, on comprendra que diverses modifications peuvent être apportées à ces éléments et/ou moyens, sans s'écarter de l'esprit et de la portée de l'invention. En particulier :

- La fenêtre peut comporter plus de deux vitres, notamment trois vitres.
- Plusieurs microphones de contrôle 21 ou de référence 22 peuvent être reliés à l'électronique de contrôle 23, ces microphones étant préférentiellement installés sur chacun des profilés 19a, 19b, 19c, 19d de l'encadrement 19 ; dans ce cas, l'algorithme de contrôle gère chaque voie avec pour objectif de minimiser le niveau de pression sur chacun des microphones d'erreur, à partir des informations collectées sur les multiples microphones de référence.
- Le filtre par rétroaction FEEDBACK peut être adaptatif, en utilisant par exemple un algorithme de type IMC-FXLMS pour « Internal Model Control Filtered-X Least Mean Squares ».
- Concernant les algorithmes de contrôle en mode FEEDBACK etou FEEDFORWARD, le traitement peut être soit analogique soit numérique.
- Hors cadre de la présente invention, le filtre par anticipation FEEDFORWARD peut être utilisé seul, sans filtre par rétroaction FEEDBACK.

Revendications

1. Fenêtre multi-vitrage formée par un encadrement (19) réalisé par des profilés (19a, 19b, 19c, 19d) supportant au moins deux vitres (V1, V2) séparées par une lame d'air (L), ladite fenêtre présentant un plan médian longitudinal (P) et intégrant un dispositif de réduction active d'un bruit provenant d'une source de bruit (S), lequel dispositif comprend :

- au moins un haut-parleur (HP) qui se présente comme un corps creux (1) en forme de parallélépipède rectangle allongé et dont une face est constituée au moins partiellement par une membrane (7) vibrante disposée entre les deux vitres adjacentes (V1, V2) de manière à vibrer et générer un contre-bruit dans la lame d'air (L), le corps creux (1) formant un des profilés (19a) de l'encadrement (19) et la membrane (7) étant disposée au milieu des deux vitres (V1, V2), de manière symétrique par rapport au plan médian longitudinal (P) de la fenêtre,
- un actionneur (11) associé à la membrane (7), lequel actionneur (11) est adapté pour induire un mouvement vibratoire à ladite membrane,
- au moins un microphone de contrôle (21) porté par l'encadrement (19), lequel microphone est installé dans la lame d'air (L) pour capter les signaux acoustiques dans ladite lame d'air (L),
- une électronique de contrôle (23) adaptée pour contrôler l'actionneur (11) en fonction des signaux acoustiques captés par le microphone de contrôle (21), **se caractérisant par le fait que :**

- le microphone de contrôle (21) est décalé du plan médian longitudinal (P) de la fenêtre de sorte qu'il est plus près de la vitre (V2) qui est la plus éloignée de la source de bruit (S) que de l'autre vitre (V1).

2. Fenêtre selon la revendication 1, dans laquelle le microphone de contrôle (21) est installé sur le profilé (19a) formé par le corps creux (1) du haut parleur (HP), ledit microphone de contrôle (21) étant adjacent à la membrane (7).
3. Fenêtre selon la revendication 1, dans laquelle le microphone de contrôle (21) est installé sur un profilé (19b) qui est distant du profilé (19a) formé par le corps creux (1) du haut parleur (HP).
4. Fenêtre selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle le microphone de contrôle (21) est orienté dans une direction qui est perpendiculaire à la direction de propagation, dans la lame d'air (L), des signaux acoustiques provenant de la source de bruit (S).
5. Fenêtre selon l'une des revendications 1 à 4, dans laquelle l'électronique de contrôle (23) comprend un moyen de filtrage par rétroaction (FB) possédant une entrée (FBe) reliée au microphone de contrôle (21) et une sortie (FBs) reliée à l'actionneur (11).
6. Fenêtre selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle :

- au moins un microphone de référence (22) est porté par l'encadrement (19), lequel microphone de référence

(22) est installé à l'extérieur de la lame d'air (L), au niveau de la vitre (V1) qui est la plus proche de la source de bruit (S),

- l'électronique de contrôle (23) comprend un moyen de filtrage par anticipation (FF), possédant une entrée (FFe) reliée au microphone de référence (22) et une sortie (FFs) reliée à l'actionneur (11).

7. Fenêtre selon la revendication 6, dans laquelle le microphone de contrôle (21) et le microphone de référence (22) sont portés par le même profilé (19a).

8. Fenêtre selon la revendication 6, dans laquelle le microphone de contrôle (21) et le microphone de référence (22) sont portés chacun par un profilé distinct (19a, 19b).

9. Fenêtre selon l'une des revendications 6 à 8, dans laquelle le microphone de référence (22) est orienté dans une direction qui est parallèle à la direction de propagation des signaux acoustiques provenant de la source de bruit (S).

10. Fenêtre selon l'une des revendications 6 à 9 prise en combinaison avec la revendication 5, dans laquelle :

- l'électronique de contrôle (23) comprend un moyen sommateur (24) possédant une première entrée (24e1), une seconde entrée (24e2) et une sortie (24s) reliée à l'actionneur (11),

- le moyen de filtrage par rétroaction (FB) comprend une entrée (FBe) reliée au microphone de contrôle (21) et une sortie (FBs) reliée à la première entrée (24e1) du moyen sommateur (24),

- le moyen de filtrage par anticipation (FF) comprend une entrée (FFe) reliée au microphone de référence (22) et une sortie (FFs) reliée à la seconde entrée (24e2) du moyen sommateur (24).

11. Fenêtre selon l'une des revendications 6 à 10, dans laquelle le moyen de filtrage par anticipation (FF) est du type adaptatif et comprend :

- une première entrée (FFe1) reliée au microphone de contrôle (21),

- une seconde entrée (FFe2) reliée au microphone de référence (22).

12. Fenêtre selon l'une des revendications 6 à 10, dans laquelle le moyen de filtrage par anticipation (FF) est du type non adaptatif.

13. Fenêtre selon l'une des revendications 1 à 12, dans laquelle le haut parleur (HP) est un haut-parleur linéaire.

Patentansprüche

1. Mehrfach verglastes Fenster, gebildet durch einen durch Formteile (19a, 19b, 19c, 19d), die mindestens zwei durch eine Luftschicht (L) getrennte Scheiben (V1, V2) halten, gebildeten Rahmen (19), wobei das Fenster in Längsrichtung eine Mittelebene (P) vorweist und eine aktive Verringerungsvorrichtung eines Geräuschs, das aus einer Geräuschquelle (S) stammt, einbindet, wobei die Vorrichtung umfasst:

- mindestens einen Lautsprecher (HP), der als ein Hohlkörper (1) in Form eines rechteckigen, länglichen Parallelepipeds vorliegt, von dem eine Fläche mindestens teilweise aus einer schwingenden Membran (7) besteht, die zwischen den zwei benachbarten Scheiben (V1, V2) auf eine Weise angebracht ist, um zu schwingen und ein Gegengeräusch in der Luftschicht (L) zu erzeugen, wobei der Hohlkörper (1) eins der Formteile (19a) des Rahmens (19) bildet und die Membran (7) in der Mitte der zwei Scheiben (V1, V2) bezüglich der Mittelebene (P) in Längsrichtung des Fensters auf symmetrische Weise angebracht ist,

- ein mit der Membran (7) assoziiertes Betätigungselement (11), wobei das Betätigungselement (11) zum Induzieren einer Schwingungsbewegung der Membran angepasst ist,

- mindestens ein durch den Rahmen (19) getragenes Steuermikrofon (21), wobei das Mikrofon in der Luftschicht (L) installiert ist, um die akustischen Signale in der Luftschicht (L) zu erfassen,

- eine Steuerelektronik (23), angepasst zum Steuern des Betätigungselements (11) als Funktion der durch das Steuermikrofon (21) erfassten akustischen Signale, **gekennzeichnet durch den Umstand, dass:**

- das Steuermikrofon (21) derart von der Mittelebene (P) in Längsrichtung des Fensters versetzt ist, dass es sich näher an der Scheibe (V2) befindet, die die am weitesten entfernte von der Geräuschquelle (S) ist, als an der anderen Scheibe (V1).

2. Fenster nach Anspruch 1, wobei das Steuermikrofon (21) auf dem durch den Hohlkörper (1) des Lautsprechers (HP) gebildeten Formteil (19a) installiert ist, wobei das Steuermikrofon (21) der Membran (7) benachbart ist.
3. Fenster nach Anspruch 1, wobei das Steuermikrofon (21) auf einem Formteil (19b) installiert ist, das von dem durch den Hohlkörper (1) des Lautsprechers (HP) gebildeten Formteil (19a) distanziert vorliegt.
4. Fenster nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Steuermikrofon (21) in eine Richtung orientiert ist, die zu der Ausbreitungsrichtung der akustischen Signale in der Luftschicht (L), die aus der Geräuschquelle (S) stammen, senkrecht ist.
5. Fenster nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Steuerelektronik (23) ein Filtermittel durch Rückkopplung (FB) umfasst, das einen mit dem Steuermikrofon (21) verbundenen Eingang (FBe) und einen mit dem Betätigungselement (11) verbundenen Ausgang (FBs) besitzt.
6. Fenster nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei:
 - mindestens ein Referenzmikrofon (22) durch den Rahmen (19) gehalten wird, wobei das Referenzmikrofon (22) an der Außenseite der Luftschicht (L) auf Höhe der Scheibe (V1) installiert ist, die der Geräuschquelle (S) am nächsten ist,
 - die Steuerelektronik (23) ein Filtermittel durch Antizipation (FF) umfasst, das einen mit dem Referenzmikrofon (22) verbundenen Eingang (FFe) und einen mit dem Betätigungselement (11) verbundenen Ausgang (FFs) besitzt.
7. Fenster nach Anspruch 6, wobei das Steuermikrofon (21) und das Referenzmikrofon (22) durch das gleiche Formteil (19a) gehalten werden.
8. Fenster nach Anspruch 6, wobei das Steuermikrofon (21) und das Referenzmikrofon (22) jeweils durch ein unterschiedliches Formteil (19a, 19b) gehalten werden.
9. Fenster nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei das Referenzmikrofon (22) in eine Richtung orientiert ist, die zu der Ausbreitungsrichtung der akustischen Signale, die aus der Geräuschquelle (S) stammen, parallel ist.
10. Fenster nach einem der Ansprüche 6 oder 9, genommen in Kombination mit Anspruch 5, wobei:
 - die Steuerelektronik (23) ein Summierungsmittel (24) umfasst, das einen ersten Eingang (24e1), einen zweiten Eingang (24e2) und einen mit dem Betätigungselement (11) verbundenen Ausgang (24s) besitzt,
 - das Filtermittel durch Rückkopplung (FB) einen mit dem Steuermikrofon (21) verbundenen Eingang (FBe) und einen mit dem ersten Eingang (24e1) des Summierungsmittels (24) verbundenen Ausgang (FBs) umfasst,
 - das Filtermittel durch Antizipation (FF) einen mit dem Referenzmikrofon (22) verbundenen Eingang (FFe) und einen mit dem zweiten Eingang (24e2) des Summierungsmittels (24) verbundenen Ausgang (FFs) umfasst.
11. Fenster nach einem der Ansprüche 6 bis 10, wobei das Filtermittel durch Antizipation (FF) von adaptiver Art ist und umfasst:
 - einen ersten mit dem Steuermikrofon (21) verbundenen Eingang (FFe1),
 - einen zweiten mit dem Referenzmikrofon (22) verbundenen Eingang (FFe2).
12. Fenster nach einem der Ansprüche 6 bis 10, wobei das Filtermittel durch Antizipation (FF) von nicht-adaptiver Art ist.
13. Fenster nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei der Lautsprecher (HP) ein linearer Lautsprecher ist.

Claims

1. Multi-glazed window formed by a frame (19) produced from profiles (19a, 19b, 19c, 19d) supporting at least two glass panes (V1, V2) separated by an air layer (L), said window having a longitudinal median plane (P) and incorporating an active noise reduction device for a noise coming from a noise source (S), which device comprises:

- at least one loudspeaker (HP) which is in the form of a hollow body (1) in the form of an elongated rectangle parallelepiped and one face of which is constituted at least partially by a vibrating membrane (7) arranged between the two adjacent glass panes (V1, V2) in such a way as to vibrate and generate a counter-noise in the air layer (L), the hollow body (1) forming one of the profiles (19a) of the frame (19), and the membrane (7) being arranged in the middle of the two glass panes (V1, V2), symmetrically with respect to the longitudinal median plane (P) of the window,
- an actuator (11) associated with the membrane (7), which actuator (11) is capable of inducing a vibratory movement of said membrane,
- at least one control microphone (21) carried by the frame (19), said microphone being installed in the air layer (L) in order to sense the acoustic signals in said air layer (L),
- a control electronics (23) suitable for controlling the actuator (11) according to the acoustic signals sensed by the control microphone (21),

characterized by the fact that:

- the control microphone (21) is offset from the longitudinal median plane (P) of the window in such a way that it is closer to the glass pane (V2) which is the further from the noise source (S) than the other glass pane (V1).
2. Window according to claim 1, wherein the control microphone (21) is installed on the profile (19a) formed by the hollow body (1) of the loudspeaker (HP), said control microphone (21) being adjacent to the membrane (7).
 3. Window according to claim 1, wherein the control microphone (21) is installed on a profile (19b) which is distant from the profile (19a) formed by the hollow body (1) of the loudspeaker (HP).
 4. Window according to one of claims 1 to 3, wherein the control microphone (21) is oriented in a direction that is perpendicular to the direction of propagation, in the air layer (L), of the acoustic signals coming from the noise source (S).
 5. Window according to one of claims 1 to 4, wherein the control electronics (23) comprises a means of filtering via feedback (FB) having an input (FBe) connected to the control microphone (21) and an output (FBs) connected to the actuator (11).
 6. Window according to one of claims 1 to 5, wherein:
 - at least one reference microphone (22) is carried by the frame (19), which reference microphone (22) is installed inside the air layer (L), at the glass pane (V1) that is the closest to the noise source (S),
 - the control electronics (23) comprise a means of filtering via feedforward (FF), having an input (FFe) connected to the reference microphone (22) and an output (FFs) connected to the actuator (11).
 7. Window according to claim 6, wherein the control microphone (21) and the reference microphone (22) are carried by the same profile (19a).
 8. Window according to claim 6, wherein the control microphone (21) and the reference microphone (22) are each carried by a separate profile (19a, 19b).
 9. Window according to one of claims 6 to 8, wherein the reference microphone (22) is oriented in a direction that is parallel to the direction of propagation of the acoustic signals coming from the noise source (S).
 10. Window according to one of claims 6 to 9 taken in combination with claim 5, wherein:
 - the control electronics (23) comprises a summing means (24) having a first input (24e1), a second input (24e2) and an output (24s) connected to the actuator (11),
 - the means of filtering via feedback (FB) comprises an input (FBe) connected to the control microphone (21) and an output (FBs) connected to the first input (24e1) of the summing means (24),
 - the means of filtering via feedforward (FF) comprises an input (FFe) connected to the reference microphone (22) and an output (FFs) connected to the second input (24e2) of the summing means (24).
 11. Window according to one of claims 6 à 10, wherein the means of filtering via feedforward (FF) is of the adaptive

type and comprises:

- a first input (FFe1) connected to the control microphone (21),
- a second input (FFe2) connected to the reference microphone (22).

- 5
- 12.** Window according to one of claims 6 à 10, wherein the means of filtering via feedforward (FF) is of the non-adaptive type.
- 13.** Window according to one of claims 1 to 12, wherein the loudspeaker (HP) is a linear loudspeaker.
- 10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

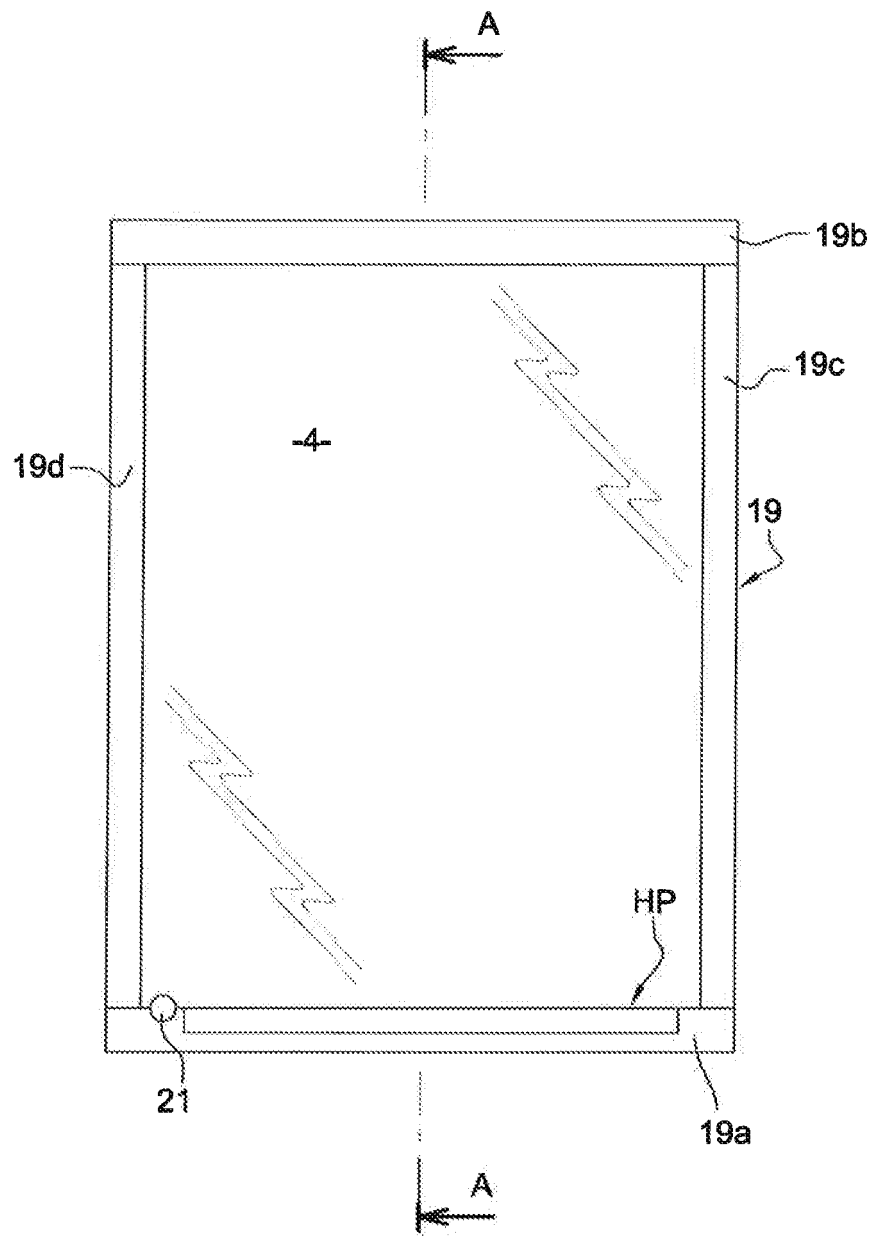
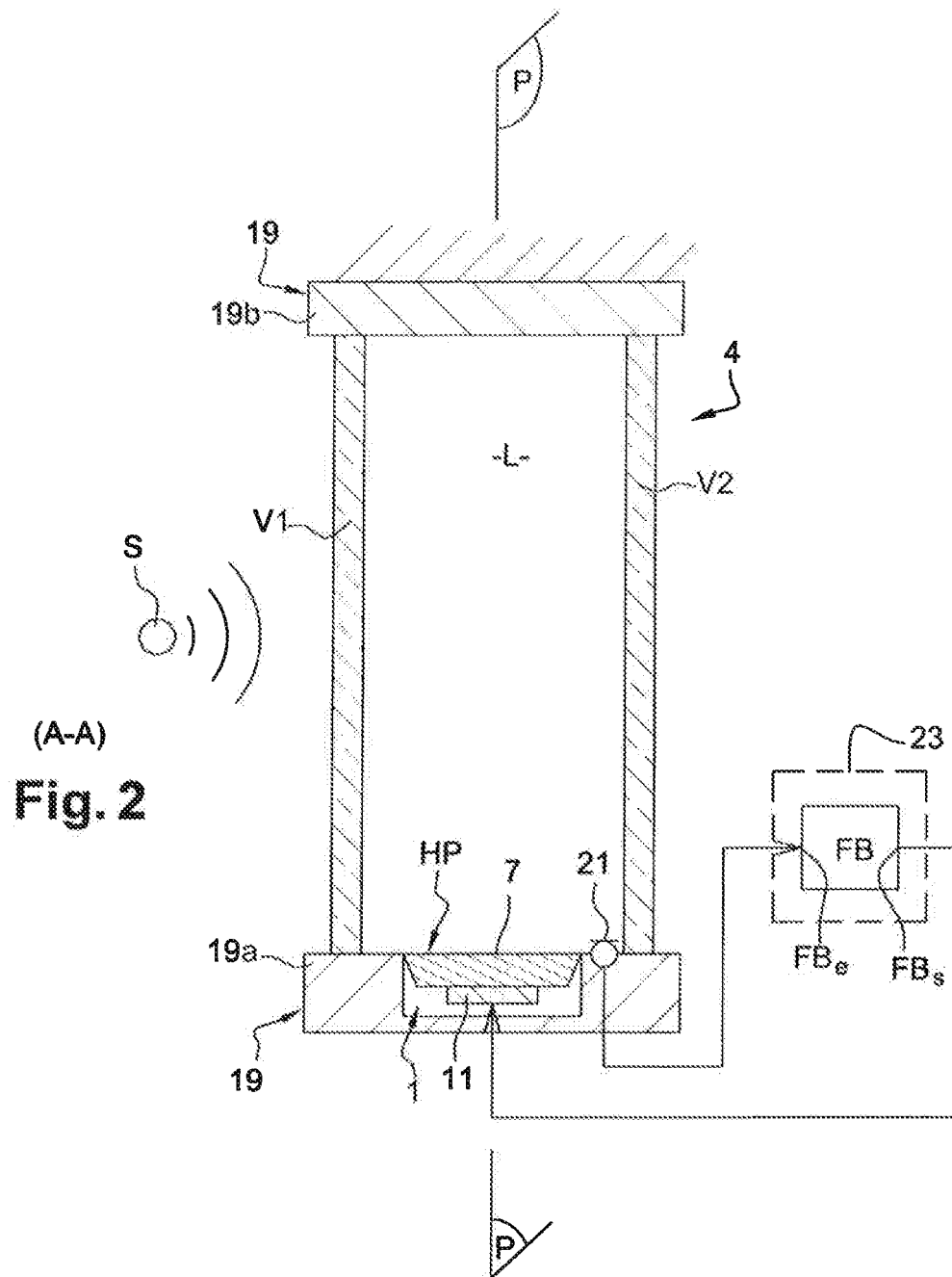


Fig. 1



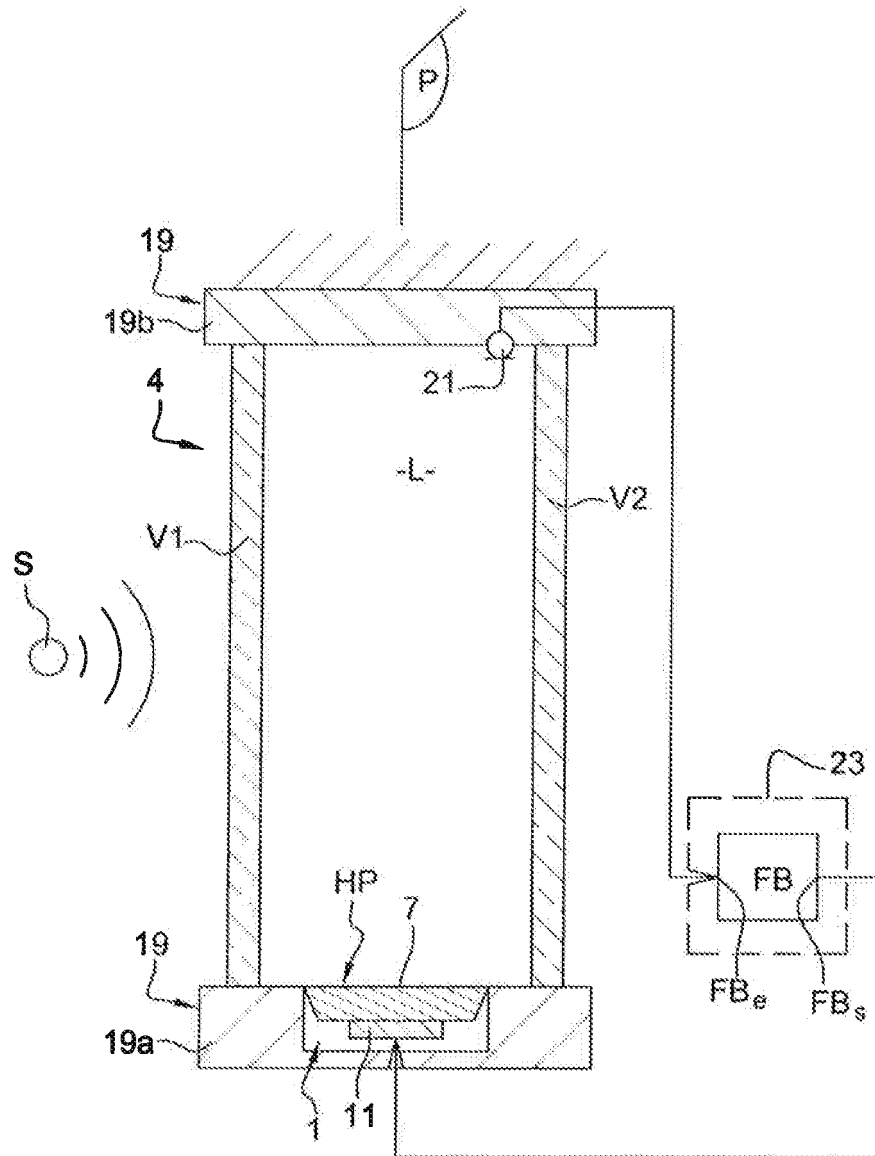


Fig. 3

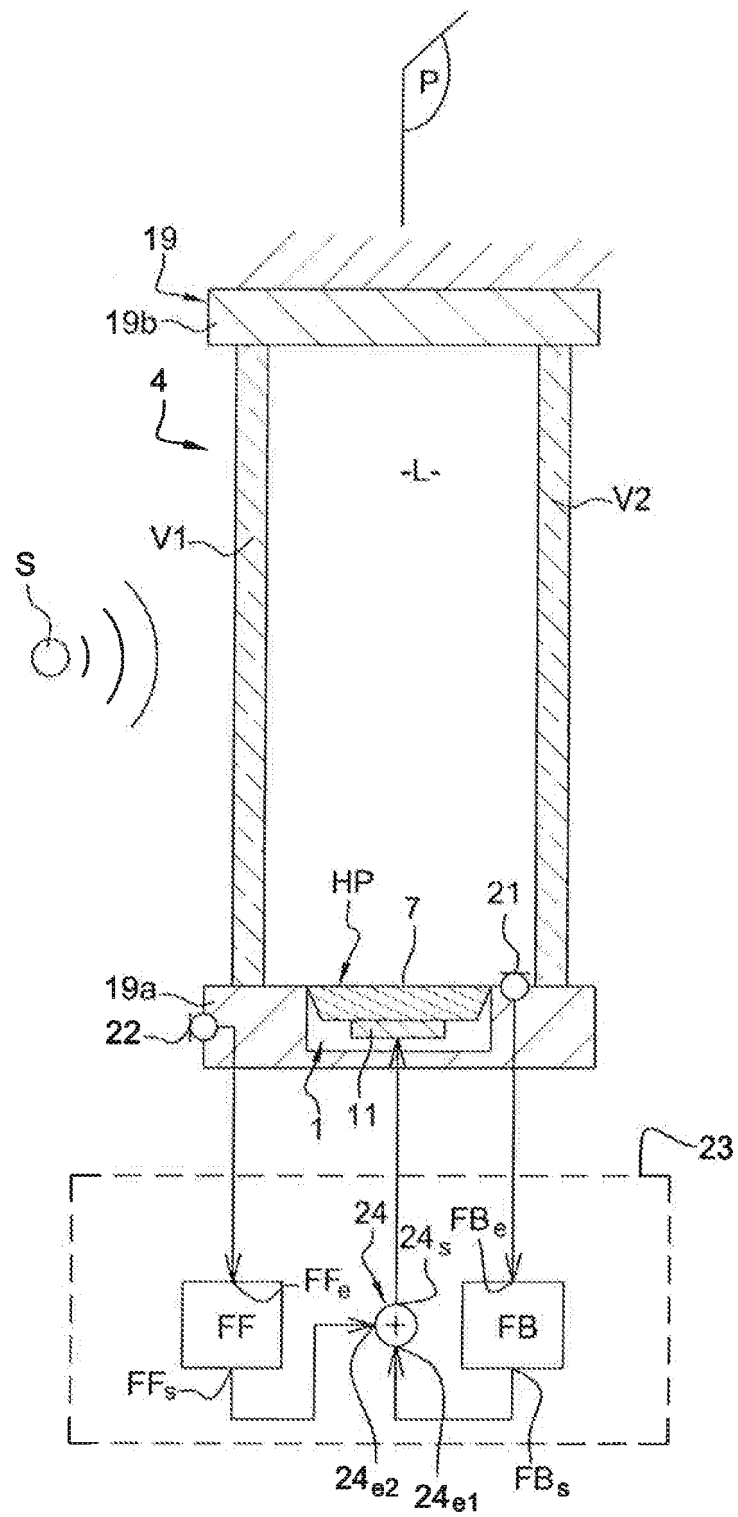


Fig. 4

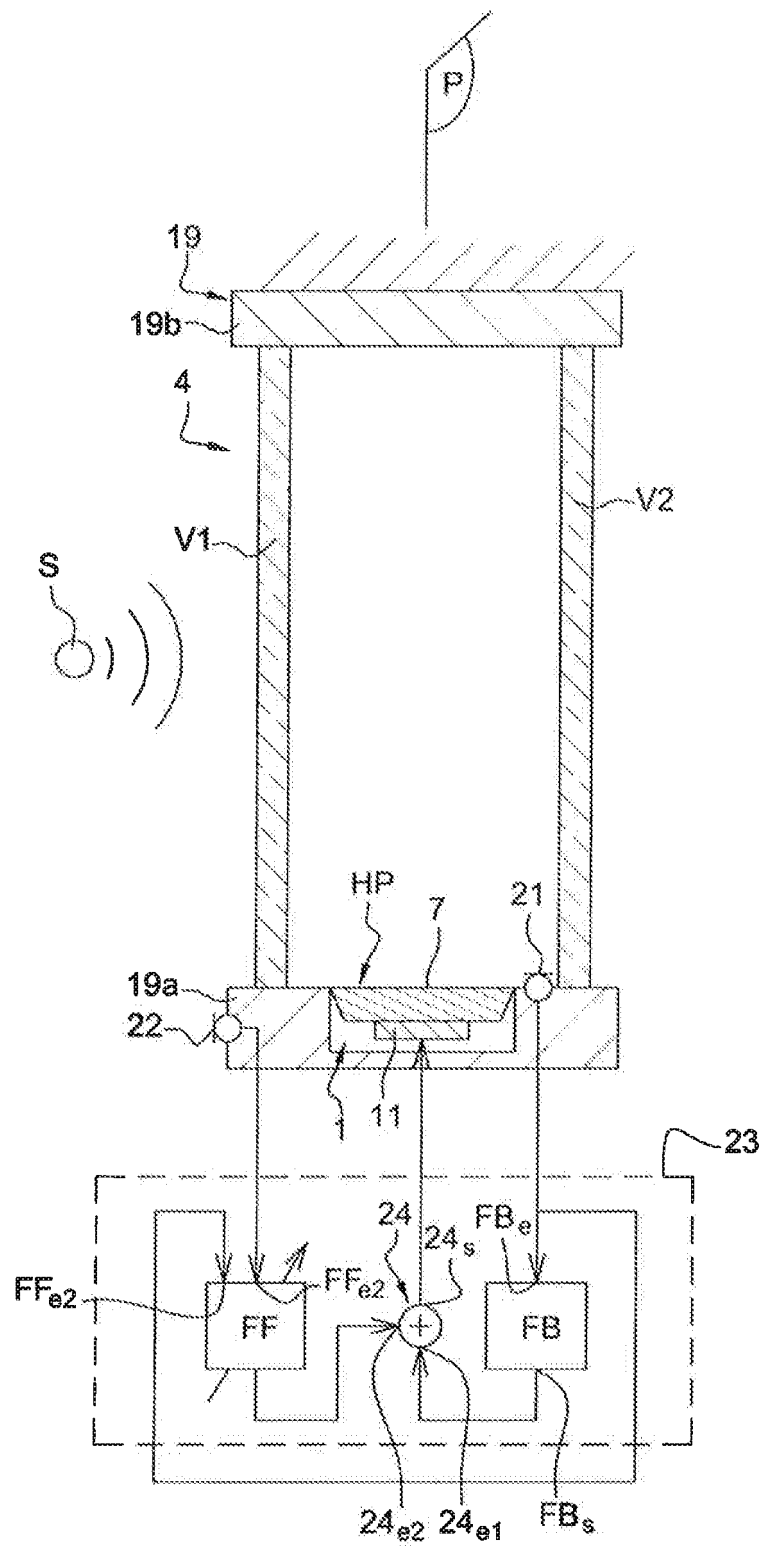


Fig. 5

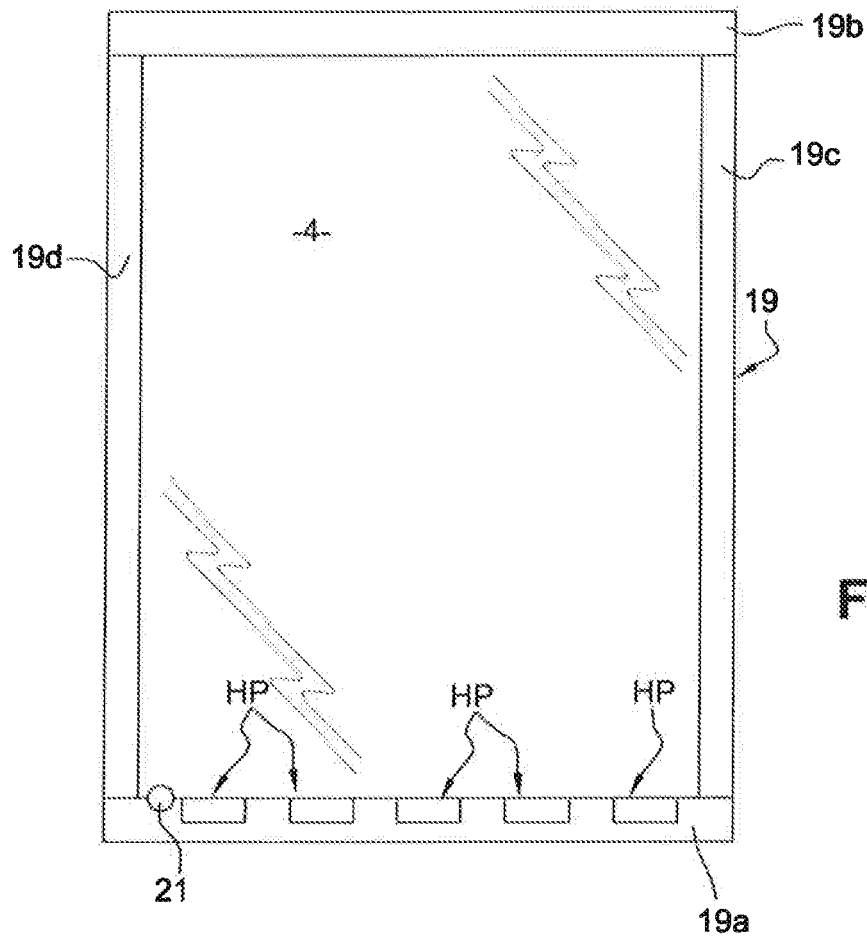


Fig. 6

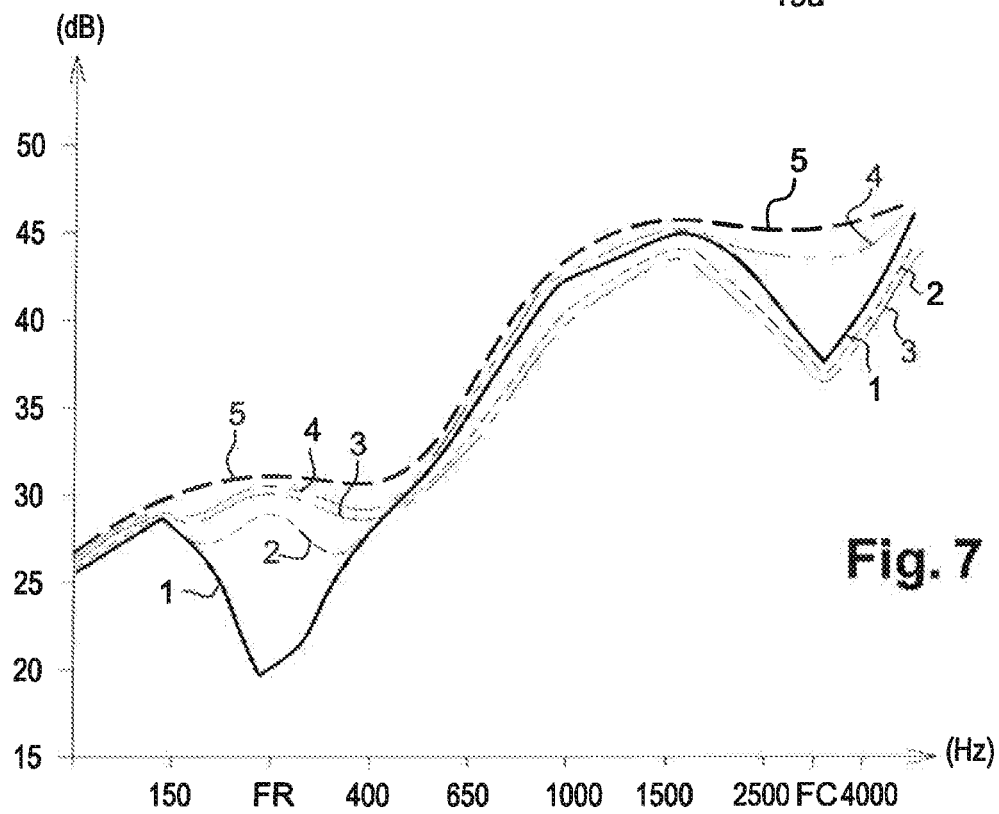


Fig. 7

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

- US 6285773 B [0003] [0017]
- EP 0710946 A [0005] [0011] [0027] [0054]
- CN 201620733 [0006]