

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 155 352

21 N° d'enregistrement national : 23 12381

51 Int Cl⁸ : G 10 K 11/16 (2024.01), H 04 R 1/02, 5/00, 3/00

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 13.11.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 16.05.25 Bulletin 25/20.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : DEVIALET Société anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : GARNELL Emil et HOANG CO THUY Vu.

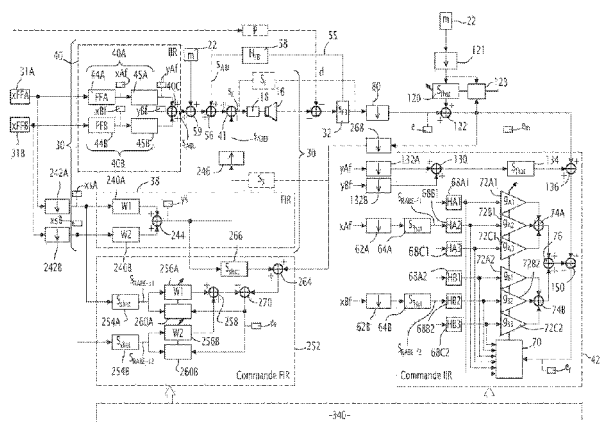
73 Titulaire(s) : DEVIALET Société anonyme.

74 Mandataire(s) : Lavoix.

54 Casque audio à réducteur de bruit.

57 Casque audio à réducteur de bruit
Casque audio (10) comporte :
- un transducteur électro-acoustique (16);
- au moins une chaîne de traitement antibruit comportant :
- un microphone externe (31A, 31B) et un microphone interne (32);
- un filtre (30) de traitement antibruit du signal issu du microphone externe (31A, 31B) pour produire un signal antibruit externe (sE), lequel filtre (30) de traitement antibruit comporte :
- montés entre le microphone externe (31A, 31B) et la sortie délivrant le signal antibruit externe (sE) :
- au moins un filtre à réponse impulsionnelle finie (FIR) (38) ; et au moins un filtre récursif (IIR) (40),
- une unité (252) de mise à jour du chaque filtre à réponse impulsionnelle finie (FIR) (38) ; et
- une unité (42) de mise à jour des filtres récursifs (IIR) en fonction d'au moins un signal de consigne antibruit externe pour le filtre récursif (sRABE-f1, sRABE-f2) issu du microphone externe (31A, 31B) et d'un signal d'erreur brut (em) issu du microphone interne (32).

Figure pour l'abrégié : 2



FR 3 155 352 - A1



Description

Titre de l'invention : Casque audio à réducteur de bruit

- [0001] La présente invention concerne un casque audio, du type comportant :
- [0002] - un transducteur électro-acoustique placé dans une cavité de restitution sonore ;
- [0003] - au moins une chaîne de traitement antibruit comportant :
- [0004] - au moins un microphone externe de capture du son ambiant extérieur à la cavité ;
- [0005] - un microphone interne de capture du son interne dans la cavité ;
- [0006] - un filtre de traitement antibruit du ou de chaque signal issu du ou de chaque microphone externe pour produire un signal antibruit externe, lequel filtre de traitement antibruit comporte :
- [0007] - montés entre le ou chaque microphone externe et la sortie délivrant le signal antibruit externe :
- [0008] - au moins un filtre à réponse impulsionnelle finie ; et
- [0009] - - au moins un filtre récursif,
- [0010] - une unité de mise à jour du ou de chaque filtre à réponse impulsionnelle finie en fonction d'au moins un signal de consigne antibruit externe pour le filtre à réponse impulsionnelle finie issu du ou de chaque microphone externe et d'un premier signal d'erreur brut issu du microphone interne ;
- [0011] - des moyens d'amplification pour l'excitation du transducteur électro-acoustique à partir au moins du signal antibruit externe.
- [0012] Dans les chaînes de traitement antibruit utilisant le signal du microphone externe de capture du son ambiant extérieur à la cavité, la qualité du traitement antibruit dépend beaucoup de l'isolation de la cavité de restitution sonore, et notamment de l'étanchéité assurée entre l'oreille et la structure mécanique du casque délimitant la cavité.
- [0013] Pour tenir compte des éventuelles fuites résultant de la mise en place du casque, il est connu que le filtre de traitement antibruit soit adaptatif, de sorte que la chaîne de traitement soit modifiée au cours du temps.
- [0014] À cet effet, il est connu d'utiliser des filtres à réponse impulsionnelle finie, connus sous l'acronyme FIR pour *Finite Impulse Response* en anglais, dont l'adaptation est facile. Toutefois, ces filtres sont difficilement implémentables dans un processus à faible latence comme dans le cas d'un système antibruit, la conséquence étant, des performances d'annulation de bruit réduites.
- [0015] Il est connu dans ce contexte d'utiliser, en plus, des filtres FIR adaptatifs, des filtres récursifs ou filtres à réponse impulsionnelle infinie connus sous l'acronyme IIR pour *Infinite Impulse Response* en anglais.
- [0016] La mise en œuvre de tels filtres est décrite par exemple dans le document US 2015/0243271. Dans le mode de réalisation de la [Fig.5], outre le filtre FIR

adaptatif, un filtre IIR est mis en œuvre. Le filtre IIR mis en œuvre est choisi dans une table prédéterminée, visible sur la [Fig.3], en fonction du niveau de fuite mesuré dans le casque.

[0017] Même si cet agencement permet d'utiliser un filtre FIR de longueur réduite, la réduction du bruit n'est pas optimale notamment lorsque des fuites acoustiques existent entre l'intérieur du casque et le monde environnant.

[0018] L'invention a pour but de proposer un casque audio disposant d'un algorithme de traitement antibruit qui permette de compenser les fuites acoustiques et qui est compatible avec des ressources de processeur limitées et à plus forte latence.

[0019] À cet effet, l'invention a pour objet un casque audio du type précité, caractérisé en ce qu'il comporte une unité de mise à jour des filtres récursifs en fonction d'au moins un signal de consigne antibruit externe pour le filtre récursif issu du ou de chaque microphone externe et d'un deuxième signal d'erreur brut issu du microphone interne.

[0020] Suivant des modes particuliers de réalisation, le casque audio comporte l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- les premier et deuxième signaux d'erreur brut sont identiques ;
- il comporte une entrée pour un signal audio à reproduire connecté en entrée des moyens d'amplification, en ce qu'il comporte des moyens de calcul d'un signal d'erreur brut pour que le signal d'erreur brut comprenne une combinaison du signal fourni par le microphone externe et du signal audio à reproduire multiplié par un filtre d'estimation d'un chemin secondaire du filtre à réponse impulsionnelle finie corrigé d'une boucle de retour du chemin secondaire si elle existe ;
- le filtre récursif comporte :

[0021] - une banque de filtres comportant, montés en parallèle, au moins un filtre élémentaire récursif variable comportant chacun au moins un filtre récursif élémentaire associé chacun en série avec un amplificateur élémentaire à gain variable ; et

[0022] - l'unité de mise à jour des filtres récursifs est propre à commander le gain de chaque amplificateur élémentaire en fonction d'un signal de consigne antibruit externe pour le filtre récursif issu du ou de chaque microphone externe et du second signal d'erreur brut issu du microphone interne ;

- le filtre récursif comporte, pour le ou chaque microphone externe, un filtre principal de traitement antibruit en boucle ouverte relié en entrée au microphone externe associé et dont la sortie est reliée, à l'entrée du ou chaque filtre élémentaire récursif variable ;
- les filtres récursifs élémentaires sont des filtres dont la réponse en fréquence diminue pour les fréquences supérieures à 8000 Hz ;
- il comporte en outre une boucle de rétroaction pour ajouter au signal antibruit

- externe, en entrée des moyens d'amplification, un signal antibruit interne égal au signal fourni par le microphone interne multiplié par un filtre de traitement antibruit en boucle fermée ;
- il comporte des moyens de calcul du signal de consigne antibruit externe pour le filtre à réponse impulsionnelle finie connecté en sortie du ou de chaque microphone externe comportant un filtre d'estimation d'un chemin secondaire du filtre récursif ;
 - il comporte des moyens de calcul du signal de consigne antibruit externe pour le filtre récursif connecté en sortie du ou de chaque microphone externe comportant un filtre d'estimation d'un chemin secondaire du filtre à réponse impulsionnelle finie ;
 - au moins le filtre à réponse impulsionnelle finie et des unités de mise à jour comporte, en entrée, des moyens de sous-échantillonnage afin de réduire la puissance de calcul nécessaire ;
 - au moins une des unités de mise à jour est propre à mettre en œuvre un algorithme des moindres carrés récursifs ;
 - au moins une des unités de mise à jour est propre à mettre en œuvre un algorithme des moindres carrés moyens ; et
 - les unités de mise à jour comportent des moyens de simulation et d'optimisation du filtre à réponse impulsionnelle finie et du filtre récursif et des moyens de transfert des caractéristiques du filtre à réponse impulsionnelle finie et du filtre récursif simulés vers le filtre à réponse impulsionnelle finie et le filtre récursif ;
 - au moins un filtre à réponse impulsionnelle finie et les au moins un filtre récursif sont montés en parallèle.

[0023] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins sur lesquels :

[0024] - [Fig.1] la [Fig.1] est une vue schématique d'un casque audio selon l'invention placé sur une oreille;

[0025] - [Fig.2] la [Fig.2] est un schéma du casque audio illustrant le traitement du signal dans le casque;

[0026] - [Fig.3] la [Fig.3] est un schéma d'un filtre IIR mis en œuvre dans le casque de la [Fig.1] ;

[0027] - [Fig.4] la [Fig.4] est une combinaison des courbes caractéristiques de l'amplitude et de la phase en fonction de la fréquence de filtres IIR mis en œuvre dans le casque ;

[0028] - [Fig.5] la [Fig.5] est une combinaison des courbes caractéristiques de l'amplitude et de la phase en fonction de la fréquence de la fonction de transfert S_{fhat} du chemin secondaire et de la chaîne de traitement antibruit ; et

- [0029] - [Fig.6] la [Fig.6] est une courbe en amplitude de la fonction de transfert d'un filtre de compensation.
- [0030] Sur la [Fig.1] est schématisée une oreille 8 recouverte par l'une des deux demi-coques d'un casque audio 10. Dans l'exemple considéré, ce casque audio comporte deux demi-coques, une pour chacune des oreilles, reliées par un arceau 11. Seule l'une sera décrite ici.
- [0031] Chaque demi-coque comporte une enveloppe 12 en forme de dôme délimitant une cavité 14 de restitution sonore enveloppant l'oreille lorsque le casque est porté. L'enveloppe 12 reçoit comme connu en soi les composants électroniques du casque.
- [0032] Un transducteur électroacoustique 16 porté par l'enveloppe 12 est disposé dans cette cavité en regard du conduit auditif de l'oreille. Ce transducteur est propre à émettre un signal antibruit dans la cavité 14 ainsi éventuellement qu'à assurer la reproduction d'un signal sonore tel que de la musique ou de la voix.
- [0033] En variante, la cavité 14 est délimitée par un embout souple introduit dans le canal de l'oreille. Chaque demi-coque du casque forme alors une oreillette. Elles sont alors non liées l'une à l'autre. Le casque est alors formé de deux écouteurs intra-auriculaires.
- [0034] Le transducteur 16 est relié pour son excitation à un amplificateur 18 supposé de gain unitaire recevant un signal numérique à reproduire au travers d'un convertisseur numérique-analogique non représenté.
- [0035] Le casque comporte une entrée 22 pour un signal musical à reproduire. Cette entrée 22 est formée par exemple d'un récepteur Bluetooth ou wifi propre à recevoir un signal sonore numérique.
- [0036] Le casque comporte un filtre 30 de traitement antibruit dont la sortie est reliée à l'amplificateur 18.
- [0037] En outre, le casque comporte deux microphones externes 31A, 31B propres à capter le son ambiant extérieur à la cavité 14. En variante, il comporte un unique microphone externe ou plus de deux microphones externes.
- [0038] Les microphones 31A, 31B sont fixés sur la face externe de l'enveloppe 12 et sont espacés l'un de l'autre pour capter les bruits venant de différentes directions.
- [0039] Le casque comporte en outre un microphone interne 32 disposé dans la cavité 14 pour la capture du son interne dans la cavité. Le microphone 32 interne est disposé dans l'axe d'émission du transducteur 16.
- [0040] Les microphones 31A, 31B et 32 sont reliés au filtre de traitement antibruit 30.
- [0041] Un accéléromètre 34 est prévu dans le boîtier de l'oreillette, cet accéléromètre étant lui aussi relié au filtre de traitement antibruit 30.
- [0042] Sur la [Fig.2], les éléments du casque illustrés sur la [Fig.1] portent le même numéro de référence. Ainsi, on retrouve les deux microphones externes 31A, 31B, le microphone interne 32 et le transducteur 16 relié à l'amplificateur 18.

- [0043] Le filtre de traitement antibruit 30 comporte deux chaînes de traitement antibruit externe, en boucle ouverte, 38, 40 montées en parallèle entre les microphones externes 31A, 31B et l'amplificateur 18.
- [0044] L'une des chaînes 38 comprend un ensemble de filtres à réponse impulsionnelle finie, connus sous l'acronyme FIR pour *Finite Impulse Response* en anglais, fournissant un signal antibruit externe fini noté S_{ABEF} .
- [0045] L'autre chaîne 40 comporte un ensemble de filtres à réponse impulsionnelle infinie connus sous l'acronyme IIR pour *Infinite Impulse Response* en anglais désignés par récursifs dans la suite. Ils fournissent un signal antibruit externe infini noté S_{ABEI} .
- [0046] Les sorties des deux chaînes sont reliées par un sommateur 41 en sortie duquel est obtenu un signal antibruit externe noté S_E appliqué à l'amplificateur 18. Le signal antibruit externe S_E comporte d'autres signaux décrits par la suite.
- [0047] Le chemin secondaire entre la sortie des filtres à réponse impulsionnelle finie (FIR) et le microphone interne 32 est désigné par S_s sur la [Fig.2] alors que le chemin secondaire entre la sortie des filtres récursifs IIR et le microphone interne 32 est désigné par S_f sur cette même figure.
- [0048] De même, le chemin primaire depuis les microphones externes 31A, 31B jusqu'au microphone interne 32 est désigné par la lettre P, il correspond à l'atténuation passive du casque.
- [0049] Les chemins primaire et secondaire sont représentés en pointillé, puisqu'ils ne correspondent pas à une partie du circuit électronique mais s'inscrivent dans la chaîne de traitement du signal représentée ici.
- [0050] La chaîne de traitement antibruit externe 40 comporte un filtre récursif 40A, 40B en sortie de chaque microphone externe respectivement 31A, 31B. Les sorties des filtres récursifs sont reliées par un sommateur 40C en sortie duquel est obtenu le signal antibruit externe infini S_{ABEI} .
- [0051] Les microphones 31A, 31B sont propres à fournir des signaux noté x_{FFA} , x_{FFB} respectivement représentatifs de la pression acoustique mesurée.
- [0052] Les filtres récursifs IIR 40A et 40B ont des structures identiques.
- [0053] Chaque filtre 40A, 40B comporte un ensemble de filtres antibruit dont certains sont associés à un amplificateur de gain variable. Le filtre 30 comporte une unité 42 de mise à jour du gain de chaque amplificateur élémentaire à gain variable.
- [0054] Chaque filtre 40A, 40B comporte d'abord, après le microphone, un filtre principal en boucle ouverte statique 44A, 44B dont la fonction de transfert est notée FFA, FFB respectivement et dont le signal de sortie est noté x_{Af} , x_{Bf} respectivement.
- [0055] En sortie du filtre principal 44A, 44B est prévue une banque de filtres élémentaires variables IIR 45A, 45B dont l'une 45A est représentée plus en détail sur la [Fig.3].
- [0056] La banque 45A comporte des filtres élémentaires IIR parallèles 48A1, 48B1, 48C1

de fonction de transfert HA1, HA2, HA3 respectivement par exemple au nombre de trois. La banque de filtres comporte un nombre de filtres égal ou supérieur à un.

- [0057] Chacun des filtres élémentaires est relié en entrée à la sortie du filtre principal 44A et sont reliés en série à un amplificateur à gain variable 50A1, 50B1, 50C1, de gain noté g_{A1} , g_{A2} , g_{A3} respectivement.
- [0058] Les amplificateurs 50A1, 50B1, 50C1 sont reliés à l'unité de mise à jour 42 pour recevoir une valeur de gain g_{A1} , g_{A2} , g_{A3} à appliquer.
- [0059] Les sorties des amplificateurs 50A1, 50B1, 50C1 sont reliées à un sommateur 52A.
- [0060] La structure de la banque 45B est identique à celle de la banque 45A et les éléments la constituant sont désignés par les mêmes numéros de référence en remplaçant A par B.
- [0061] Les signaux antibruit en sortie des banques 45A, 45B sont notés y_{Af} , y_{Bf} respectivement.
- [0062] Sur la [Fig.3], les filtres élémentaires IIR 48A1, 48B1, 48C1 sont tous des filtres dont la réponse en fréquence diminue en hautes fréquences, typiquement au-dessus de 8000 Hz pour un casque comportant une coquille recouvrant l'essentiel de l'oreille et au-dessus de 2000 Hz pour une oreillette. Ils présentent une caractéristique notée HA1, HA2, HA3 telle qu'illustrée sur la [Fig.4] dans le cas d'une oreillette.
- [0063] Sur cette figure, la caractéristique HA1 est représentée en pointillés courts, la caractéristique HA2 est représentée en pointillés longs et la caractéristique HA3 est représentée en trait continu.
- [0064] Ainsi dans l'exemple considéré, les fréquences de coupures sont respectivement de 100 Hz, 500 Hz et 1000 Hz pour les filtres élémentaires 48B1, 48C1 et 48A1.
- [0065] Les trois filtres élémentaires sont conçus pour agir dans différentes gammes de fréquences, de sorte que le gain total de la chaîne de traitement antibruit externe 40A ou 40B regroupant les filtres combinés assurant le traitement antibruit puisse moduler le filtre principal statique 44A, 44B sur l'ensemble de la plage de fréquences, potentiellement de manière différente selon les fréquences.
- [0066] Les filtres élémentaires sont conçus pour qu'une combinaison linéaire du filtre principal statique 44A et des filtres élémentaires 48A1, 48B1, 48C1 associé à leur gain modélise toutes les fonctions de transfert du filtre d'antibruit externe optimal qui dépend du chemin primaire P et du chemin secondaire S_f , qui peuvent varier pour les différentes conditions d'utilisation qui peuvent se produire.
- [0067] Le filtre formé de la chaîne de traitement antibruit externe 40A dépend du chemin secondaire S_f et du chemin primaire P. Aussi bien le chemin secondaire S_f que le chemin primaire P peuvent varier selon la mise en place du casque sur l'oreille, la forme du conduit auditif, le niveau de fuites, etc. Lors de la conception, pour chaque combinaison du chemin primaire P et du chemin secondaire S_f , on calcule le filtre optimal.

Les filtres élémentaires sont conçus pour que la différence entre chaque filtre optimal et le filtre principal 44A puisse être décrite avec les filtres élémentaires. Une boucle de rétroaction de correction antibruit interne 55 relie le microphone interne 32 fournissant un signal s_{FB} à la sortie du filtre antibruit 30 par l'intermédiaire d'un sommateur 56.

- [0068] Cette boucle comporte un filtre antibruit interne statique 58 dont la fonction de transfert est notée H_{FB} . Ce filtre, comme connu en soi, est choisi pour maximiser l'atténuation au tympan (en maximisant son amplitude) tout en faisant en sorte que la boucle de rétroaction reste stable. En sortie du filtre antibruit interne 58 est obtenu un signal antibruit interne noté s_{ABI}
- [0069] Ce filtre 58 est un filtre d'antibruit de type Feedback (boucle de rétroaction) qui permet d'augmenter l'atténuation perçue au tympan. En variante, la boucle de rétroaction de correction antibruit interne 55 n'existe pas.
- [0070] L'entrée 22 pour le signal audio m à reproduire est connectée par un sommateur 59 sur la branche principale en sortie du filtre de traitement antibruit 40 de sorte que le signal à reproduire m , le signal antibruit externe infini s_{ABEL} , et le signal antibruit interne s_{ABI} et le signal antibruit externe fini s_{ABEF} sont ajoutés pour former le signal d'excitation noté s_E appliqué au transducteur 16 après amplification par l'amplificateur 18.
- [0071] L'unité de mise à jour 42 reçoit, en entrée, pour chaque filtre 40A, 40B, le signal antibruit x_{Af} , x_{Bf} obtenu en sortie du filtre principal 44A, 44B. Ce signal est sous-échantillonné par un sous-échantillonneur 62A, 62B pour passer d'une fréquence d'échantillonnage par exemple de 384kHz à 8kHz ou toute autre valeur comprise entre 1 kHz et 348 kHz.
- [0072] Le signal ainsi sous-échantillonné est adressé dans un filtre 64A, 64B dont la fonction de transfert notée S_{fhat} est une estimation de la fonction de transfert S_f du chemin secondaire entre le signal antibruit externe s_E qui sort du sommateur 41 et le signal mesuré par le microphone interne 32.
- [0073] Cette fonction de transfert S_{fhat} est une estimation de la fonction de transfert du chemin secondaire S_f avec la boucle de rétroaction de correction antibruit interne 55.
- [0074] Elle est définie par $S_{fhat} = S_f / (1 - S_f H_{FB})$ où S_f est le chemin secondaire et H_{FB} est la fonction de transfert du filtre antibruit interne.
- [0075] Une estimation de S_{fhat} est obtenue en ajustant une série de circuits biquad sur l'expression ci-dessus en utilisant des fonctions de transfert mesurées au niveau des cavités acoustiques alors que le filtre antibruit interne statique 58 est actif.
- [0076] La [Fig.5] représente l'amplitude et la phase de la fonction de transfert.
- [0077] Sur la [Fig.5] sont représentées en pointillés courts la fonction de transfert du chemin secondaire avec le filtre antibruit en boucle fermée $S_f / (1 - S_f H_{FB})$ notée S_{target} et en pointillés longs, l'estimation de S_{fhat} retenue pour la mise en œuvre.

- [0078] Chaque signal obtenu en sortie du filtre 64A, 64B forme un signal de consigne antibruit externe pour le filtre récursif $S_{RABE-f1}$ et $S_{RABE-f2}$ respectivement. Chaque signal est adressé dans trois filtres 68A1, 68B1, 68C1, respectivement 68A2, 68B2, 68C2, identiques aux filtres 48A1, 48B1, 48C1, respectivement 48A2, 48B2, 48C2. Les signaux de consigne antibruit externe pour le filtre récursif ainsi filtrés sont adressés en entrée d'une unité de calcul de gain adaptatif 70.
- [0079] Pour chaque filtre 40A, 40B, les sorties des filtres 68A1, 68B1, 68C1, respectivement 68A2, 68B2, 68C2 sont reliées à des amplificateurs à gains variables 72A1, 72B1, 72C1, respectivement 72A2, 72B2, 72C2 identiques aux amplificateurs à gains variables 50A1, 50B1, 50C1, respectivement 50A2, 50B2, 50C2.
- [0080] Les sorties des amplificateurs à gain variable 72A1, 72B1, 72C1, respectivement 72A2, 72B2, 72C2 correspondant à un même filtre 40A, 40B sont sommées par un sommateur 74A, 74B respectivement dont les sorties sont elles-mêmes reliées à un sommateur 76.
- [0081] L'unité de calcul de gain adaptatif 70 reçoit également en entrée un signal d'erreur e_f issu du microphone interne 32.
- [0082] A cet effet, le microphone 32 est relié à un sous-échantillonneur 80 dont la sortie est reliée à l'unité de calcul 70.
- [0083] Avantagement, mais de manière optionnelle, un filtre de suppression d'écho 120 de fonction de transfert égale à S_{nat} reçoit en entrée le signal à reproduire m issu de l'entrée 22 après sous-échantillonnage dans un sous-échantillonneur 121. Sa sortie est connectée en sortie du microphone 32 par un sommateur 122 assurant la somme du signal interne s_{FB} sous-échantillonné noté e , et du signal à reproduire filtré par le filtre 120, laquelle somme est désignée par e_m et forme un signal d'erreur brut.
- [0084] Le signal d'erreur brut e_m est le signal d'erreur issu du microphone interne 32 sans le signal à reproduire issu de l'entrée 22 et faire un signal d'antibruit.
- [0085] Une unité de commande 123 adapte le filtre 120 en fonction du signal d'erreur brut e_m obtenu en sortie du sommateur 122 par mise en œuvre d'un algorithme des moindres carrés moyens connu sous l'acronyme LMS pour Least Mean Squares en anglais. En variante, un algorithme des moindres carrés récursifs connu sous l'acronyme RLS pour Recursive Least Squares en anglais est mis en œuvre.
- [0086] L'unité 70 reçoit un signal d'erreur e_f , qui est une estimation du signal s_{FB} issu du microphone interne 32 sous-échantillonné, de laquelle ont été retranchés le signal à reproduire m issu de l'entrée 22, et la correction actuellement assurée par les filtres IIR, 40A, 40B et à laquelle a été ajoutée la correction actuellement assurée par les filtres IIR telle que simulée dans l'unité 42.
- [0087] Pour annuler la correction actuelle des filtres IIR, 40A, 40B, les signaux yAf et yBf en sortie des filtres 40A, 40B sont sommés dans un sommateur 130 après avoir été

sous-échantillonnés dans des sous-échantillonneurs 132A, 132B. Les signaux sommés filtrés dans un filtre de gain égal à S_{fhat} sont sommés par un sommateur 136 recevant sur son autre entrée le signal issu du sommateur 122.

[0088] De même, la sortie du sommateur 76 est reliée à l'entrée négative d'un soustracteur 150 dont l'entrée positive est reliée à la sortie du sommateur 134 pour soustraire du signal d'erreur e_m , après suppression de la correction par les filtres IIR actuels, 40A, 40B, la correction simulée des filtres par l'unité 42. Le signal d'erreur final formé est e_f et il est adressé à l'unité 70.

[0089] L'unité 70 est reliée aux amplificateurs à gain variable 72A1, 72B1, 72C1, 72A2, 72B2, 72C2 pour assurer la fixation de leur gain par mise en œuvre d'un algorithme des moindres carrés moyens connu sous l'acronyme LMS pour *Least Mean Squares* en anglais.

[0090] Les équations pour la mise à jour des gains g_{A1} , g_{A2} , g_{A3} sont données ci-dessous :

$$[0091] \quad g_{A1} = g_{A1} + e_f \frac{\mu}{P_{x_{i1}} + P_{x_{min}}}$$

$$[0092] \quad g_{A2} = g_{A2} + e_f \frac{\mu}{P_{x_{i2}} + P_{x_{min}}}$$

$$[0093] \quad g_{A3} = g_{A3} + e_f \frac{\mu}{P_{x_{i3}} + P_{x_{min}}}$$

[0094] où μ est le pas de l'algorithme des moindres carrés moyens ;

[0095] x_i est le signal de consigne antibruit externe filtré par le filtre de caractéristique H_i ;

[0096] P_{x_i} est la puissance du signal x_i ;

[0097] $P_{x_{min}}$ est une constante fixée ; et

[0098] e_f est le signal d'erreur issu du sommateur 150.

[0099] En variante, et pour une convergence plus rapide, un algorithme des moindres carrés récursifs connu sous l'acronyme RLS pour *Recursive Least Square (RLS) algorithm* en anglais est mis en œuvre par l'unité 70.

[0100] La chaîne de traitement antibruit 38 comporte un filtre à réponse impulsionnelle finie (FIR) noté 240A, 240B pour, chaque microphone externe 31A, 31B respectivement. Les filtres de fonction de transfert W1, W2 reçoivent en entrée un signal x_{sA} , x_{sB} respectivement obtenus par sous-échantillonnages des signaux x_{FFA} , x_{FFB} par des sous-échantillonneurs 242A, 242B.

[0101] Les sorties des deux filtres 240A, 240B sont reliées par un sommateur 244 pour produire en sortie un signal antibruit externe fini sous-échantillonné y_s . Ce signal est adressé à un échantillonneur 246 pour former le signal antibruit externe fini s_{ABEF} , réinjecté par le sommateur 41.

[0102] Pour le réglage des filtres FIR 240A, 240B, le circuit comporte une unité de mise à jour 252 propre à prédéfinir la fonction de transfert W1, W2 avant d'assurer leur mise en œuvre par les filtres 240A, 240B.

[0103] Cette unité de mise à jour comporte une entrée pour chaque signal x_{sA} , x_{sB} ,

connectée en sortie des sous-échantillonneurs 242A, 242B.

- [0104] En entrée, ces signaux sont adressés dans un filtre 254A, 254B dont la fonction de transfert notée S_{shat} est une estimation de la fonction de transfert du chemin secondaire S_s qui est la fonction de transfert S_s du chemin secondaire prenant en compte également l'échantillonneur 246 et les sous-échantillonneurs 80 et 268.
- [0105] Chaque signal obtenu en sortie du filtre 254A, 254B forme un signal de consigne antibruit externe pour le filtre à réponse impulsionnelle finie $S_{RABE-s1}$ et $S_{RABE-s2}$ respectivement. L'unité de mise à jour 252 comporte deux filtres FIR variables 256A, 256B dont l'entrée est reliée à la sortie des filtres 254A, 254B respectivement et dont les sorties sont sommées par le sommateur 258.
- [0106] Une unité de commande 260A, 260B est associée à chaque filtre FIR variable 256A, 256B pour en modifier leurs paramètres.
- [0107] Chaque unité 260A, 260B reçoit le signal d'entrée du filtre 256A, 256B associé ainsi qu'un signal d'erreur e_s pour adapter le filtre par mise en œuvre d'un algorithme des moindres carrés moyens.
- [0108] Pour la formation du signal d'erreur e_s , la sortie du sommateur 244 fournissant le signal y_s est reliée à une première entrée du sommateur 264 au travers d'un filtre 266 ayant S_{shat} pour fonction de transfert. La sortie du sommateur 122 fournissant le signal e_m est reliée à l'autre entrée du sommateur 264 au travers d'un sous-échantillonneur 268.
- [0109] En sortie du sommateur 264 est obtenu le signal d'erreur e mesuré par le microphone interne 32, duquel ont été supprimés le signal m à reproduire et l'effet du signal antibruit généré par la chaîne de traitement antibruit 38 actuellement en cours estimé par le signal y_s filtré par la fonction de transfert S_{shat} .
- [0110] Le signal d'erreur e_s est obtenu par ajout au signal précédent du signal antibruit estimé dans l'unité de mise à jour 252 obtenu en sortie du sommateur 258.
- [0111] Ainsi, la sortie du sommateur 258 est reliée à l'entrée négative d'un soustracteur 270 dont l'entrée positive est reliée à la sortie du sommateur 264. Le signal e_s est obtenu en sortie du sommateur 70 dont la sortie est reliée en entrée de chaque unité de commande 260A, 260B.
- [0112] Par ailleurs, les microphones externes 31A, 31B, le micro interne 32 et l'accéléromètre 34 sont chacun reliés à une entrée d'une unité de contrôle de convergence 340 elle-même reliée à l'unité de calcul de gain adaptatif 70 et aux unités de commande 260A, 260B de modification des paramètres des filtres 256A, 256B pour stopper le calcul adaptatif des gains et paramètres en fonction des valeurs des énergies calculées.
- [0113] L'unité de convergence 340 est propre à calculer l'énergie du son ambiant extérieur capté par les microphones 31A et 31B dans la gamme de fréquence de 50 à 2000 hertz.

- [0114] De même, sur la même gamme de fréquence, elle est propre à calculer une énergie du son interne correspondant à l'énergie du signal capté par le microphone interne 32.
- [0115] Enfin, elle est propre à calculer l'énergie d'accélération correspondant à l'énergie du signal mesuré par l'accéléromètre 34 dans la bande de fréquence de 70 à 1500 hertz.
- [0116] À partir de ces énergies calculées, l'unité de contrôle de convergence 140 est propre à commander l'unité de calcul de gains 70 et des unités de commande 260A, 260B.
- [0117] A cet effet, l'énergie du son ambiant extérieur est comparée à un seuil. Si la valeur de l'énergie du son ambiant extérieur est inférieure à ce seuil pendant une durée prédéterminée, par exemple une seconde, traduisant ainsi que le son ambiant extérieur est faible, alors les gains g_{A1} , g_{A2} , g_{A3} et g_{B1} , g_{B2} , g_{B3} sont fixés à des valeurs de référence prédéterminées, sans tenir compte de l'algorithme d'évolution des gains mis en œuvre par l'unité 70 de calcul de gains adaptatifs. De même, dans ces conditions, les paramètres des filtres FIR sont fixés à des valeurs de référence.
- [0118] De même, si l'énergie du son interne est très supérieure à l'énergie du son ambiant extérieur, par exemple d'un rapport supérieur à 10, les gains g_{A1} , g_{A2} , g_{A3} et g_{B1} , g_{B2} , g_{B3} sont rétablis à des valeurs de références initiales de même que les paramètres des filtres FIR. Les algorithmes de définition des gains g_{A1} , g_{A2} , g_{A3} et g_{B1} , g_{B2} , g_{B3} dans l'unité de calcul 70 et de fixation des paramètres des filtres dans l'unité de commande 260A, 260B ne sont redémarrés que lorsque l'énergie du son interne n'est plus très supérieure à l'énergie du son ambiant extérieur.
- [0119] Enfin, si l'énergie d'accélération est supérieure à une valeur de seuil, traduisant ainsi des vibrations de la peau de l'utilisateur représentatives de paroles prononcées par l'utilisateur ou de vibrations parasites, les gains des différents filtres élémentaires IIR et les paramètres des filtres FIR sont bloqués figés aux valeurs actuelles et les algorithmes de définition des gains dans l'unité de calcul 70 et de fixation des paramètres des filtres dans l'unité de commande 260A, 260B sont stoppés jusqu'à ce que l'énergie d'accélération soit inférieure à la valeur de seuil prédéterminé.
- [0120] Lors du fonctionnement, et en dehors des phases de blocage par l'unité de contrôle de convergence 340, les unités de mise à jour 42 et 252 définissent les gains et les paramètres pour respectivement la chaîne de filtres IIR 40 et la chaîne de filtres FIR 38.
- [0121] Les gains et paramètres sont définis pour minimiser les erreurs e_f et e_s respectivement. Lorsque la minimisation des erreurs est satisfaisante, par exemple en comparant les erreurs e_f et e_s et en comprenant l'erreur e_s à la sortie du décimateur 268, les gains et/ou paramètres sont adressés aux chaînes de traitement 38 et 40 et mises en œuvre par celles-ci.
- [0122] On comprend que l'adaptation simultanée des filtres FIR et des filtres IIR en continue permet d'obtenir une bonne atténuation du bruit tant dans les basses fréquences que dans les hautes fréquences.

[0123] Le mode de réalisation décrit comporte deux microphones. En variante, il comporte un unique microphone.

Revendications

[Revendication 1]

Casque audio (10) comportant :

- un transducteur électro-acoustique (16) placé dans une cavité de restitution sonore (14) ;

- au moins une chaîne de traitement antibruit comportant :

- au moins un microphone externe (31A, 31B) de capture du son ambiant extérieur à la cavité (14) ;

- un microphone interne (32) de capture du son interne dans la cavité (14) ;

- un filtre (30) de traitement antibruit du ou de chaque signal issu du ou de chaque microphone externe (31A, 31B) pour produire un signal antibruit externe (s_E), lequel filtre (30) de traitement antibruit comporte :

- montés entre le ou chaque microphone externe (31A, 31B) et la sortie délivrant le signal antibruit externe (s_E) :

- au moins un filtre à réponse impulsionnelle finie (FIR) (38) ;
et
- au moins un filtre récursif (IIR) (40),

- une unité (252) de mise à jour du ou de chaque filtre à réponse impulsionnelle finie (FIR) (38) en fonction d'au moins un signal de consigne antibruit externe pour le filtre à réponse impulsionnelle finie ($s_{RABE-s1}$, $s_{RABE-s2}$) issu du ou de chaque microphone externe (31A, 31B) et d'un premier signal d'erreur brut (e_m) issu du microphone interne (32) ;

- des moyens d'amplification (18) pour l'excitation du transducteur électro-acoustique (16) à partir au moins du signal antibruit externe (s_E), caractérisé en ce qu'il comporte :

- une unité (42) de mise à jour des filtres récursifs (IIR) en fonction d'au moins un signal de consigne antibruit externe pour le filtre récursif ($s_{RABE-f1}$, $s_{RABE-f2}$) issu du ou de chaque microphone externe (31A, 31B) et d'un deuxième signal d'erreur brut (e_m) issu du microphone interne (32).

[Revendication 2]

Casque audio selon la revendication 1, caractérisé en ce que les premier et deuxième signaux d'erreur brut (e_m) sont identiques.

[Revendication 3]

Casque audio selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comporte une entrée (22) pour un signal audio (m) à reproduire connecté en entrée des moyens d'amplification (18), en ce qu'il comporte des moyens (122) de calcul d'un signal d'erreur brut (e_m) pour

que le signal d'erreur brut (e_m) comprenne une combinaison du signal fourni par le microphone externe (32) et du signal audio à reproduire (m) multiplié par un filtre (S_{fhat}) (120) d'estimation d'un chemin secondaire du filtre à réponse impulsionnelle finie (FIR) (38) corrigé d'une boucle (55) de retour du chemin secondaire si elle existe.

[Revendication 4]

Casque audio selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le filtre récursif (IIR) (40) comporte :

- une banque (45A, 45B) de filtres comportant, montés en parallèle, au moins un filtre élémentaire récursif variable (48A1, 48B1, 48C1) comportant chacun au moins un filtre récursif élémentaire (48A1, 48B1, 48C1) associé chacun en série avec un amplificateur élémentaire à gain variable (50A1, 50B1, 50C1) ; et
- l'unité (42) de mise à jour des filtres récursifs (IIR) est propre à commander le gain de chaque amplificateur élémentaire (50A1, 50B1, 50C1) en fonction d'un signal de consigne antibruit externe pour le filtre récursif ($S_{\text{RABE-f1}}$, $S_{\text{RABE-f2}}$) issu du ou de chaque microphone externe (31A, 31B) et du second signal d'erreur brut (e_m) issu du microphone interne (32).

[Revendication 5]

Casque audio selon la revendication 4, caractérisé en ce que le filtre récursif (40) comporte, pour le ou chaque microphone externe (31A, 31B), un filtre principal de traitement antibruit en boucle ouverte (44A, 44B) relié en entrée au microphone externe associé (31A, 31B) et dont la sortie est reliée, à l'entrée du ou chaque filtre élémentaire récursif variable (45A, 45B).

[Revendication 6]

Casque selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que les filtres récursifs élémentaires (48A, 48B, 48C) sont des filtres dont la réponse en fréquence diminue pour les fréquences supérieures à 8000 Hz.

[Revendication 7]

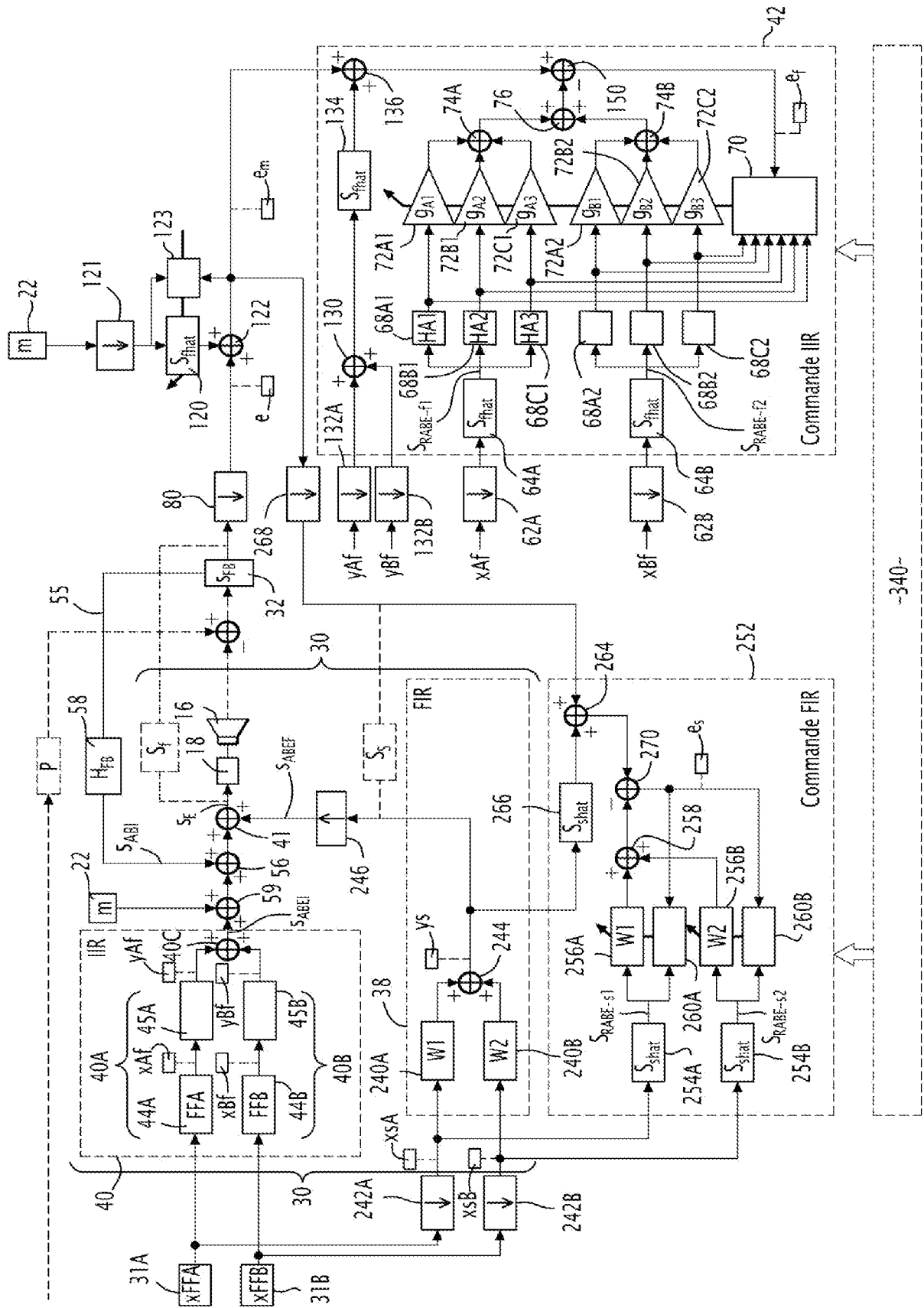
Casque audio selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une boucle (55) de rétroaction pour ajouter au signal antibruit externe (S_{ABEF}), en entrée des moyens d'amplification (18), un signal antibruit interne (S_{ABI}) égal au signal (e) fourni par le microphone interne (32) multiplié par un filtre de traitement antibruit en boucle fermée (58).

[Revendication 8]

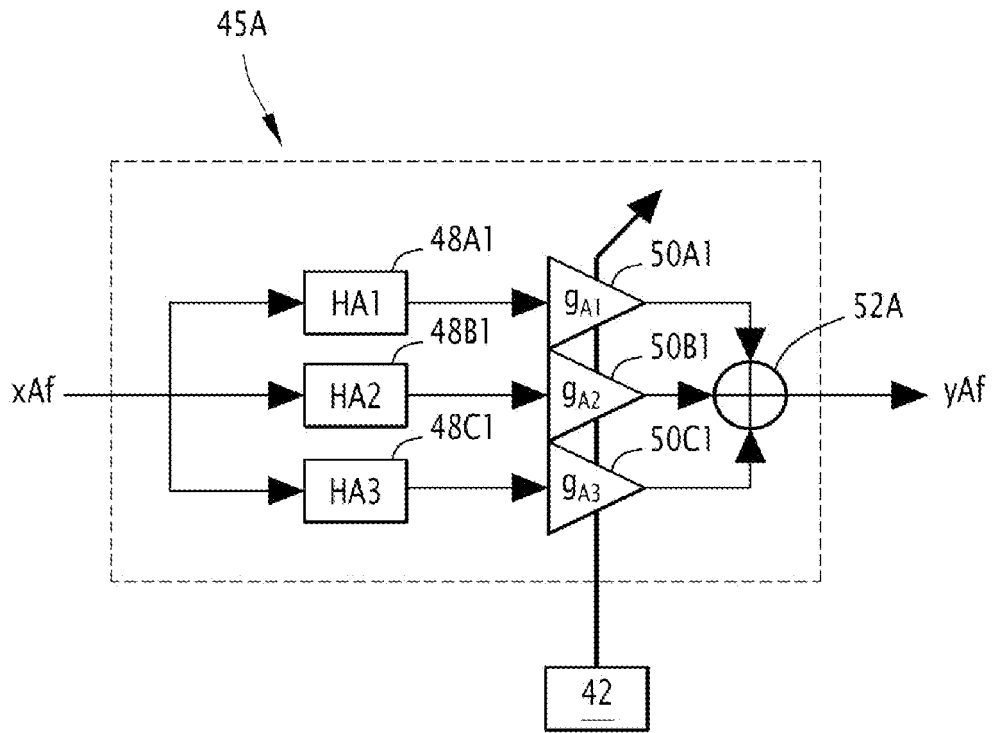
Casque audio selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de calcul du signal de consigne antibruit externe pour le filtre à réponse impulsionnelle finie ($S_{\text{RABE-s1}}$, $S_{\text{RABE-s2}}$) connecté en sortie du ou de chaque microphone externe (31A, 31B) comportant un filtre (S_{shat}) (254A, 254B) d'estimation d'un

- chemin secondaire du filtre récursif (IIR) (40).
- [Revendication 9] Casque audio selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de calcul du signal de consigne antibruit externe pour le filtre récursif ($S_{RABE-f1}$, $S_{RABE-f2}$) connecté en sortie du ou de chaque microphone externe (31A, 31B) comportant un filtre (S_{fhat}) (254A, 254B) d'estimation d'un chemin secondaire du filtre à réponse impulsionnelle finie (FIR) (38).
- [Revendication 10] Casque audio selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins le filtre à réponse impulsionnelle finie (FIR) 38 et des unités de mise à jour (42, 252) comporte, en entrée, des moyens de sous-échantillonnage (62A, 62B, 80, 132A, 132B, 242A, 242B, 268) afin de réduire la puissance de calcul nécessaire.
- [Revendication 11] Casque audio selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins une des unités de mise à jour (42, 252) est propre à mettre en œuvre un algorithme (RLS) des moindres carrés récursifs.
- [Revendication 12] Casque audio selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins une des unités de mise à jour (42, 252) est propre à mettre en œuvre un algorithme (LMS) des moindres carrés moyens.
- [Revendication 13] Casque audio selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les unités de mise à jour (42, 252) comportent des moyens (72A1, 72B1, 72C1, 72A2, 72B2, 72C2, 256A, 256B) de simulation et d'optimisation du filtre à réponse impulsionnelle finie (FIR) (38) et du filtre récursif (IIR) (40) et des moyens de transfert des caractéristiques du filtre à réponse impulsionnelle finie (FIR) (38) et du filtre récursif (IIR) simulés vers le filtre à réponse impulsionnelle finie (FIR) (38) et le filtre récursif (IIR) (40).
- [Revendication 14] Casque audio selon l'une quelconque des revendications, caractérisé en ce que les au moins un filtre à réponse impulsionnelle finie (FIR) (38) et les au moins un filtre récursif (IIR) (40) sont montés en parallèle.

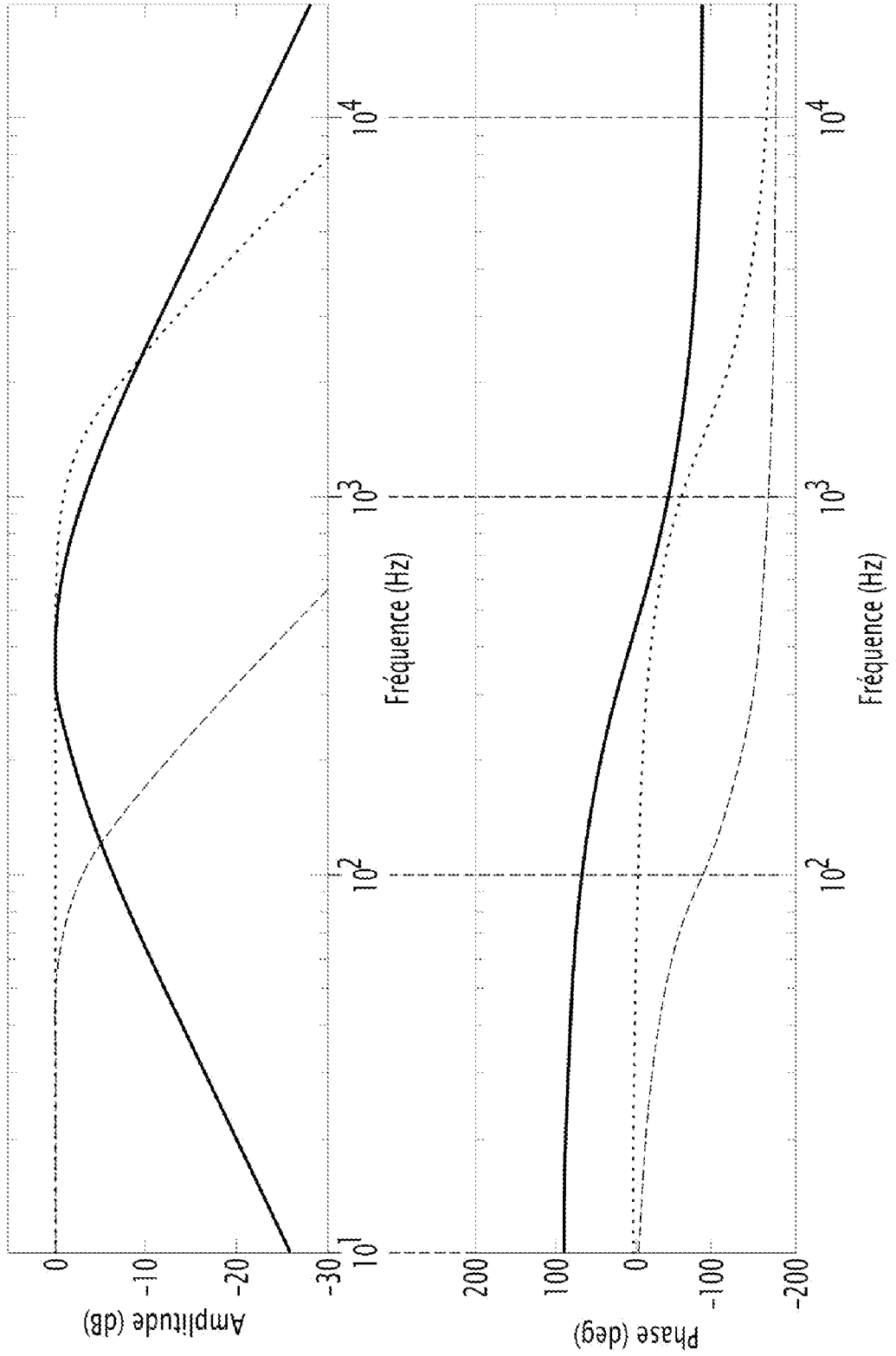
[Fig. 2]



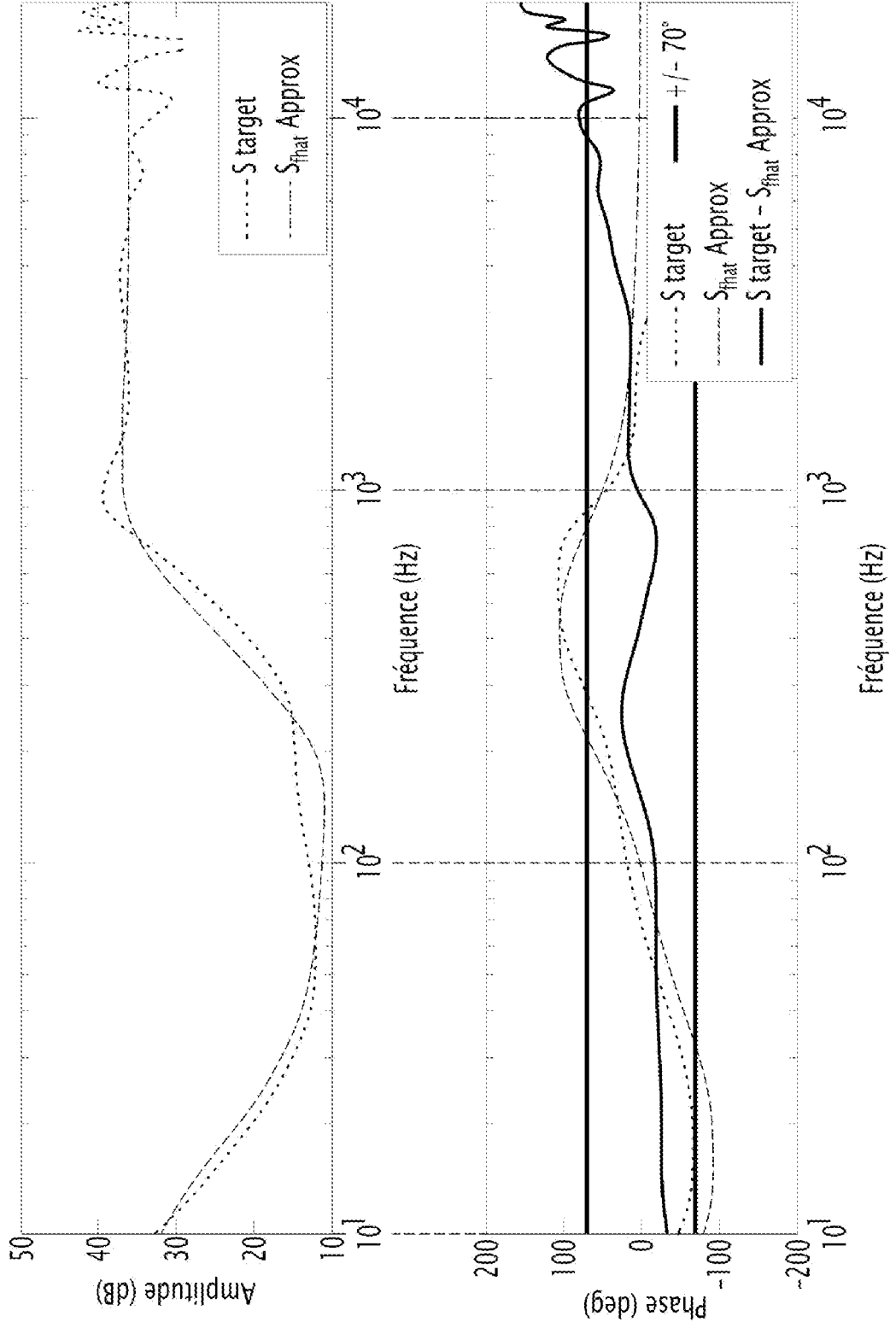
[Fig. 3]



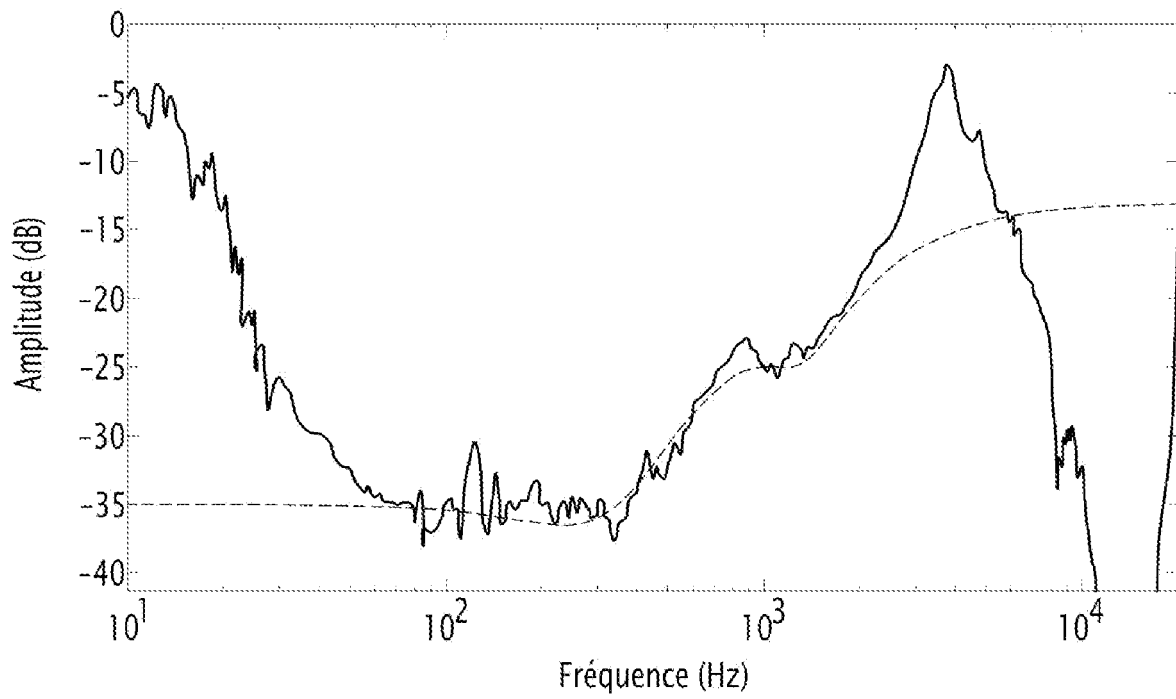
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 926729
FR 2312381

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	KUO S M ET AL: "ACTIVE NOISE CONTROL: A TUTORIAL REVIEW", PROCEEDINGS OF THE IEEE, IEEE. NEW YORK, US, vol. 87, no. 6, 1 juin 1999 (1999-06-01), pages 943-973, XP011044219, ISSN: 0018-9219, DOI: 10.1109/5.763310 *Sections I.A-B, II.D*; figures 1,8 -----	1-14	G10K 11/16 H04R 1/02 H04R 3/00 H04R 5/00
A	US 5 602 929 A (POPOVICH STEVEN R [US]) 11 février 1997 (1997-02-11) * colonne 5, lignes 5-39; figure 4 * -----	1-14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H04R G10K
A	US 2012/170766 A1 (ALVES ROGERIO GUEDES [US] ET AL) 5 juillet 2012 (2012-07-05) * alinéas [0069] - [0083]; figures 7,10 * -----	1-14	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
14 mai 2024		Bensa, Julien	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2312381 FA 926729**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **14-05-2024**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5602929	A	11-02-1997	AUCUN

US 2012170766	A1	05-07-2012	DE 102012200142 A1
			GB 2487125 A
			US 2012170766 A1
			US 2014198925 A1
			05-07-2012
			11-07-2012
			05-07-2012
			17-07-2014
