



(11)

EP 2 945 399 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
18.11.2015 Bulletin 2015/47

(51) Int Cl.:
H04R 1/10 (2006.01) H04R 5/033 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **15166492.7**

(22) Date de dépôt: **06.05.2015**

(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
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
MA

(72) Inventeurs:
• **Hua, Phong**
75011 PARIS (FR)
• **Hoang Co Thuy, Vu**
75012 PARIS (FR)
• **Guiu, Pierre**
75010 PARIS (FR)
• **Pochon, Benoit**
75010 PARIS (FR)

(30) Priorité: **16.05.2014 FR 1454406**

(71) Demandeur: **Parrot**
75010 Paris (FR)

(74) Mandataire: **Dupuis-Latour, Dominique**
Bardehle Pagenberg
10, boulevard Haussmann
75009 Paris (FR)

(54) **CASQUE AUDIO À CONTRÔLE ACTIF DE BRUIT ANC AVEC PRÉVENTION DES EFFETS D'UNE SATURATION DU SIGNAL MICROPHONIQUE FEEDBACK**

(57) Le casque comporte un contrôle actif de bruit, avec un microphone ANC interne (28) placé à l'intérieur de la cavité acoustique (22) et délivrant un signal comportant une composante de bruit acoustique. Un processeur numérique de signal DSP (50) comprend une branche ANC *feedback* (54) appliquant une fonction de transfert de filtrage (54, H_{FB2}) au signal délivré par le microphone ANC, et des moyens de mixage (46) du signal de la branche *feedback* avec un signal audio à reproduire (M). Le casque comprend un capteur de mouvement (64) monté sur l'un des écouteurs. Le DSP comprend des

moyens (68) pour analyser concurremment i) le signal délivré par le microphone interne (28) et ii) le signal délivré par le capteur de mouvement (64), et vérifier si des caractéristiques courantes de ces signaux vérifient ou non une batterie de critères prédéterminés. En amont du filtre ANC *feedback* (54), un filtre anti-saturation (70, H_{FB1}) est sélectivement commuté en fonction du résultat de cette vérification. Le filtrage d'une branche d'égalisation (58, H_{EQ2}) du signal à reproduire (M) est également modifié par un filtre anti-saturation similaire (72, H_{EQ1}).

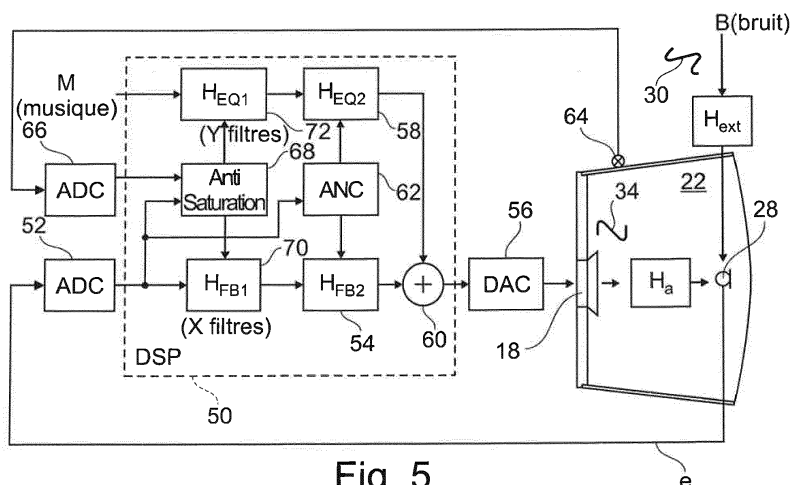


Fig. 5

Description

[0001] L'invention concerne un casque audio comprenant un système de "contrôle actif de bruit".

[0002] Un tel casque peut être utilisé pour l'écoute d'une source audio (musique par exemple) provenant d'un appareil tel qu'un lecteur MP3, radio, *smart-phone*, etc. auquel il est relié par une liaison filaire ou bien par une liaison sans fil, notamment une liaison de type *Bluetooth* (marque déposée du Bluetooth SIG).

[0003] S'il est pourvu d'un ensemble microphonique apte à capter la voix du porteur du casque, il est également possible d'utiliser ce casque pour des fonctions de communication telles que des fonctions de téléphonie "mains libres", en complément de l'écoute de la source audio. Le transducteur du casque reproduit alors la voix du locuteur distant avec lequel le porteur du casque est en conversation.

[0004] Le casque comprend généralement deux écouteurs réunis par un arceau. Chaque écouteur comprend une coque fermée logeant un transducteur de reproduction sonore (ci-après simplement désigné "transducteur") et destinée à être appliquée autour de l'oreille de l'utilisateur avec interposition d'un coussinet circumaural isolant l'oreille de l'environnement sonore extérieur.

[0005] Il existe également des écouteurs de type dit "intra-auriculaire" avec un élément à placer dans le conduit auditif, ne comportant donc pas de coussin entourant ou recouvrant l'oreille. Dans la suite, on fera principalement référence à des écouteurs de type "casque" avec un transducteur logé dans une coque entourant l'oreille (casque "circum-aural") ou en appui sur celle-ci (casque "supra-aural"), mais cet exemple ne doit pas être considéré comme limitatif, l'invention pouvant être aussi bien appliquée, comme on le comprendra, à des écouteurs intra-auriculaires.

[0006] Lorsque le casque est utilisé dans un environnement bruyant (métro, rue passante, train, avion, etc.) le porteur est partiellement protégé du bruit par les écouteurs du casque, qui l'isolent grâce à la coque fermée et au coussinet circumaural.

[0007] Toutefois, cette protection purement passive n'est que partielle, une partie des sons, notamment dans la partie basse du spectre de fréquences, pouvant être transmis jusqu'à l'oreille au travers de la coque des écouteurs, ou encore via la boîte crânienne du porteur.

[0008] C'est pour cette raison qu'ont été développées des techniques dites de "contrôle actif de bruit" ou ANC (*Active Noise Control*), dont le principe consiste à capter la composante de bruit incidente et à superposer, temporellement et spatialement, à cette composante de bruit une onde acoustique qui est idéalement la copie inversée de l'onde de pression de la composante de bruit. Il s'agit de créer de cette manière une interférence destructive avec la composante de bruit et réduire, idéalement neutraliser, les variations de pression de l'onde acoustique parasite.

[0009] Le EP 2 597 889 A1 (Parrot) décrit un tel casque, muni d'un système ANC combinant des filtrages de type *feedback*, en boucle fermée, et *feed-forward*, en boucle ouverte. La voie de filtrage *feedback* se base sur un signal recueilli par un microphone disposé à l'intérieur de la cavité acoustique délimitée par la coque de l'écouteur, le coussinet circumaural et le transducteur. En d'autres termes, ce microphone est disposé à proximité de l'oreille de l'utilisateur, et reçoit principalement le signal produit par le transducteur et le signal de bruit résiduel, non neutralisé, encore perceptible dans la cavité avant. Le signal de ce microphone, duquel est soustrait le signal audio de la source musicale à reproduire par le transducteur, constitue un signal d'erreur pour la boucle de rétroaction du système ANC. La voie de filtrage *feedforward* utilise le signal capté par le microphone externe recueillant le bruit parasite régnant dans l'environnement immédiat du porteur du casque. Enfin, une troisième voie de filtrage traite le signal audio issu de la source musicale à reproduire. Les signaux de sortie des trois voies de filtrage sont combinés et appliqués au transducteur pour reproduire le signal de la source musicale associé à un signal de suppression du bruit environnant.

[0010] Le EP 2 518 724 A1 (Parrot) décrit un appareil du type micro/casque combinés, utilisable notamment pour des fonctions de téléphonie "mains libres". Le casque est pourvu d'un capteur physiologique appliqué contre la joue ou la tempe du porteur du casque et recueillant des vibrations vocales qui présentent la caractéristique d'être, par nature, très peu corrompues par le bruit environnant. Le capteur physiologique peut être en particulier un accéléromètre placé sur la face intérieure de la peau du coussinet de l'écouteur du casque, de manière à venir s'appliquer contre la joue ou la tempe de l'utilisateur avec un couplage le plus étroit possible. Le signal ainsi recueilli permet, après filtrage et combinaison avec des signaux captés par des microphones extérieurs conventionnels, de délivrer au système de communication un signal de parole du locuteur proche (le porteur du casque) dont l'intelligibilité aura été grandement améliorée. Un autre avantage de ce capteur est la possibilité d'utiliser le signal qu'il délivre pour calculer une fréquence de coupure d'un filtre dynamique.

[0011] Le WO 2010/129219 A1 (EP 2 425 421 A0) décrit un autre appareil, comprenant un système ANC de type adaptatif, c'est-à-dire utilisant des filtres dont la fonction de transfert est modifiée dynamiquement, en continu, par un algorithme d'analyse en temps réel du signal. Un microphone externe placé sur la coque des écouteurs du casque recueille les bruits ambiants, dont le niveau est analysé pour ajuster la fonction de transfert du filtre *feedback* de manière à s'adapter au bruit régnant dans l'environnement extérieur du casque.

[0012] Les systèmes ANC existants sont sujets à un phénomène apparaissant lorsque la cavité acoustique interne de l'écouteur subit des compressions et décompressions brusques, inaudibles mais dont l'amplitude est si importante

que la membrane du microphone s'écrase brusquement et produit un signal électrique dépassant sa limite nominale.

[0013] Ce phénomène se produit notamment lors de la manipulation du casque, ou lorsque l'utilisateur marche lourdement ou court. Les mouvements du casque créent alors des surpressions et dépressions excessives dans la cavité avant, ce qui se traduit par un fort pic électrique dans les basses fréquences. Le signal excessif capté par le microphone crée dans le filtre ANC *feedback* une saturation conduisant à un signal audible ou "plop" produit en sortie par le transducteur et désagréable pour l'utilisateur.

[0014] Ce phénomène peut même apparaître dans des conditions normales de marche, où des résonances de bruit de pas dans des basses fréquences au-dessous de 100 Hz se font entendre et sont parfois gênantes. Le filtre ANC *feedback* peut atténuer ces résonances de bruit de pas en amplifiant le signal du microphone interne mais, lorsque les pas deviennent plus forts, le niveau électrique du signal microphonique peut dépasser les limites de son fonctionnement normal et entraîner, ici encore, une saturation du filtre ANC et du transducteur.

[0015] Cette saturation peut intervenir à plusieurs endroits de la chaîne de traitement du signal : dépassement électrique de la dynamique d'entrée du convertisseur analogique/numérique, dépassement de la valeur maximale numérique dans le processeur numérique de signal DSP, ou encore saturation en sortie si le signal reproduit par le transducteur dépasse la valeur maximale pouvant être produite par le convertisseur numérique/analogique, chacun de ces phénomènes pouvant provoquer un "plop" désagréable.

[0016] Le but de l'invention est de proposer une nouvelle technique de réduction de bruit ANC permettant de pallier ces phénomènes :

- en compensant les phénomènes pneumatiques de surpression/dépression dans la cavité acoustique de l'écouteur, notamment du fait des mouvements de pas de l'utilisateur du casque ;
- sans dégradation des performances antibruit du système ANC, c'est-à-dire que le bruit résiduel perçu par l'utilisateur sera toujours réduit au mieux, avec notamment i) une forte atténuation des basses fréquences et ii) une grande largeur de bande de fréquence de suppression ;
- le tout, sans que le signal audio issu de la source musicale (ou la voix du locuteur distant, dans une application de téléphonie) ne soit distordu, et sans que le spectre de ce signal ne soit amputé par le traitement ANC - bien que le signal de neutralisation du bruit et le signal audio à reproduire soient amplifiés par le même canal et reproduits par le même transducteur.

[0017] Un autre but de l'invention est de mettre en oeuvre une technologie numérique (et non analogique comme dans le EP 2 597 889 A1 précité) pour un tel système ANC, implémentable notamment au sein d'un processeur numérique de signal (DSP).

[0018] Pour atteindre ces buts, l'invention propose un casque audio tel que divulgué par le EP 2 518 724 A1 précité. Un tel casque comprend :

- deux écouteurs comportant chacun un transducteur de reproduction sonore d'un signal audio à reproduire, ce transducteur étant logé dans une cavité acoustique d'oreille ;
- au moins un microphone apte à délivrer un signal capté comportant une composante de bruit acoustique ;
- un capteur de mouvement monté sur au moins l'un des écouteurs et apte à délivrer un signal accélérométrique ; et
- un processeur numérique de signal, DSP, comprenant :

des moyens de mixage, recevant en entrée un signal provenant du microphone ainsi que ledit signal audio à reproduire, et délivrant en sortie un signal apte à piloter le transducteur ; et

des moyens de réduction de bruit, comprenant des moyens aptes à analyser concurremment i) le signal microphonique délivré par le microphone et ii) le signal accélérométrique délivré par le capteur de mouvement, et vérifier si des caractéristiques courantes de ces signaux microphonique et accélérométrique vérifient ou non une première batterie de critères prédéterminés.

[0019] De façon caractéristique de l'invention :

- le casque comprend un système de contrôle actif de bruit, ANC ;
- le microphone est un microphone ANC interne placé à l'intérieur de la cavité acoustique ;
- le DSP comprend :

une branche *feedback* en boucle fermée comprenant un filtre ANC *feedback* apte à appliquer une fonction de transfert de filtrage au signal délivré par le microphone ANC interne ; et

• lesdits moyens de mixage, qui reçoivent en entrée le signal délivré par la branche *feedback* en sortie du filtre ANC *feedback* ainsi que ledit signal audio à reproduire, et délivrent en sortie ledit signal apte à piloter le

transducteur ; et

- le DSP comprend en outre des moyens de prévention des effets sur la branche *feedback* d'une saturation du signal délivré par le microphone interne, comprenant :

- lesdits moyens aptes à analyser concurremment i) le signal microphonique délivré par le microphone et ii) le signal accélérométrique délivré par le capteur de mouvement, et vérifier si des caractéristiques courantes de ces signaux microphonique et accélérométrique vérifient ou non une première batterie de critères prédéterminés ; et
- dans la branche *feedback* en amont du filtre ANC *feedback*, un filtre anti-saturation *feedback* sélectivement commutable en fonction du résultat de la vérification de la première batterie de critères.

[0020] Selon diverses caractéristiques subsidiaires avantageuses :

- le filtre anti-saturation *feedback* est l'un d'entre une pluralité de filtres préconfigurés sélectivement commutables, et le DSP comprend en outre des moyens aptes à sélectionner l'un des filtres anti-saturation préconfigurés en fonction du résultat de la vérification de la première batterie de critères ;
- le DSP comprend en outre : une branche d'égalisation, comprenant un filtre d'égalisation apte à appliquer une fonction de transfert d'égalisation au signal audio à reproduire avant application de celui-ci aux moyens de mixage ; et, dans la branche d'égalisation en amont du filtre d'égalisation, un filtre anti-saturation d'égalisation sélectivement commutable en même temps que le filtre anti-saturation *feedback* ;
- le filtre anti-saturation d'égalisation est l'un d'entre une pluralité de filtres préconfigurés d'égalisation sélectivement commutables, et le DSP comprend en outre des moyens aptes à sélectionner l'un des filtres préconfigurés d'égalisation en fonction du résultat de la vérification de la première batterie de critères ;
- les caractéristiques courantes du signal accélérométrique comprennent une valeur d'énergie du signal accélérométrique, et les critères prédéterminés comprennent un seuil auquel est comparée ladite valeur d'énergie. Il peut notamment s'agir de valeurs d'énergie dans une pluralité de bandes de fréquences respectives, les critères prédéterminés comprenant une série de seuils respectifs auxquels sont comparées ces valeurs d'énergie si la valeur d'énergie du signal accélérométrique dépasse le seuil ;
- le filtre ANC *feedback* est l'un d'entre une pluralité de filtres ANC *feed-back* préconfigurés, sélectivement commutables, et le DSP comprend en outre : des moyens d'analyse du signal délivré par le microphone interne, aptes à vérifier si des caractéristiques courantes du signal délivré par le microphone interne vérifient ou non une seconde batterie de critères prédéterminés ; et des moyens de sélection, aptes à sélectionner l'un des filtres ANC *feedback* préconfigurés en fonction du résultat de la vérification de la seconde batterie de critères ;
- le DSP comprend en outre une branche d'égalisation, comprenant un filtre d'égalisation apte à appliquer une fonction de transfert d'égalisation au signal audio à reproduire avant application de celui-ci aux moyens de mixage. Le filtre d'égalisation est l'un d'entre une pluralité de filtres d'égalisation préconfigurés, sélectivement commutables, et les moyens de sélection sont également aptes à sélectionner l'un des filtres d'égalisation préconfigurés, en fonction du filtre ANC *feedback* courant sélectionné.

[0021] On va maintenant décrire un exemple de mise en oeuvre de l'invention, en référence aux dessins annexés où les mêmes références désignent d'une figure à l'autre des éléments identiques ou fonctionnellement semblables.

La Figure 1 illustre de façon générale un casque audio reposant sur la tête d'un utilisateur.

La Figure 2 est une représentation schématique montrant les différents signaux acoustiques et électriques ainsi que les divers blocs fonctionnels impliqués dans le fonctionnement d'un casque audio à contrôle actif de bruit.

La Figure 3 est une coupe en élévation de l'un des écouteurs du casque selon l'invention, montrant la configuration des divers éléments mécaniques et organes électromécaniques de celui-ci.

La Figure 4 illustre un exemple de forme d'onde typique du signal électrique délivré avant amplification par le microphone interne d'un casque ANC, lors de deux sauts par le porteur du casque.

La Figure 5 illustre de façon schématique, sous forme de blocs fonctionnels, la manière dont est réalisé le traitement de débruitage selon l'invention.

La Figure 6 illustre plus précisément les éléments mettant en oeuvre la fonction d'analyse du signal microphonique et de sélection des filtres à appliquer aux signaux à délivrer au transducteur du casque.

La Figure 7 est un organigramme décrivant le fonctionnement de la machine à états de la fonction d'analyse et de sélection de la Figure 6.

La Figure 8 représente, en amplitude et en phase, les fonctions de transfert du filtre ANC avec et sans le filtrage anti-saturation selon l'invention, sélectionné de façon automatique en fonction des mouvements détectés.

La Figure 9 illustre des exemples d'atténuation obtenus dans les deux cas exemplifiés Figure 8.

[0022] Sur la Figure 1, on a représenté un casque audio posé sur la tête de son utilisateur. Ce casque comporte, de manière en elle-même classique, deux écouteurs 10, 10' réunis par un arceau de maintien 12. Chacun des écouteurs 10 comprend une coque extérieure 14 venant s'appliquer sur le contour de l'oreille de l'utilisateur, avec interposition entre la coque 14 et la périphérie de l'oreille d'un coussinet souple circumaural 16 destiné à assurer une étanchéité satisfaisante, du point de vue acoustique, entre la région de l'oreille et l'environnement sonore extérieur.

[0023] Comme on l'a indiqué en introduction, cet exemple de configuration de type "casque" avec un transducteur logé dans une coque entourant l'oreille ou en appui sur celle-ci ne doit pas être considéré comme limitatif, l'invention pouvant être aussi bien appliquée à des écouteurs intra-auriculaires comprenant un élément à placer dans le conduit auditif, donc des écouteurs dépourvus de coque et de coussin entourant ou recouvrant l'oreille.

[0024] La Figure 2 est une représentation schématique montrant les différents signaux acoustiques et électriques ainsi que les divers blocs fonctionnels impliqués dans le fonctionnement d'un casque audio à contrôle actif de bruit.

[0025] L'écouteur 10 enferme un transducteur de reproduction sonore 18, ci-après dénommé simplement "transducteur", porté par une cloison 20 définissant deux cavités, à savoir une cavité avant 22 du côté de l'oreille et une cavité arrière 24 du côté opposé.

[0026] La cavité avant 22 est définie par la cloison intérieure 20, la paroi 14 de l'écouteur, le coussinet 16 et la face externe de la tête de l'utilisateur dans la région de l'oreille. Cette cavité est une cavité fermée, à l'exception des inévitables fuites acoustiques dans la région de contact du coussinet 16. La cavité arrière 24 est une cavité fermée, à l'exception d'un événement acoustique 26 permettant d'obtenir un renforcement des fréquences basses dans la cavité avant 22 de l'écouteur.

[0027] Enfin, pour le contrôle actif du bruit, il est prévu un microphone interne 28 disposé au plus près du conduit auditif de l'oreille, pour capter le bruit résiduel présent dans la cavité interne 22, bruit qui sera perçu par l'utilisateur.

[0028] En faisant abstraction du signal audio de la source musicale reproduite par le transducteur (ou de la voix du locuteur distant, dans une application téléphonique), le signal acoustique capté par ce microphone interne 28 est une combinaison :

- du bruit résiduel 32 provenant de la transmission du bruit externe environnant 30 au travers de la coque 14 de l'écouteur, et
- d'une onde sonore 34 générée par le transducteur 18, qui est, idéalement selon le principe des interférences destructives, la copie inversée du bruit résiduel 32, c'est-à-dire du bruit à supprimer au point d'écoute.

[0029] La neutralisation du bruit par l'onde sonore 34 n'étant jamais parfaite, le microphone interne 28 recueille un signal résiduel qui est utilisé comme signal d'erreur et appliqué à une branche de filtrage *feedback* 36 en boucle fermée.

[0030] Éventuellement, un microphone externe 38 peut être placé sur la coque des écouteurs du casque, pour capter le bruit environnant à l'extérieur de l'écouteur, schématisé par l'onde 30. Le signal recueilli par ce microphone externe 38 est appliqué à un étage de filtrage *feedforward* 40 du système de contrôle actif du bruit. Les signaux issus de la branche *feedback* 36 et, si elle est présente, de la branche *feedforward* 40 sont combinés en 42 pour piloter le transducteur 18.

[0031] En outre, le transducteur 18 reçoit un signal audio à reproduire issu d'une source musicale (baladeur, radio, etc.), ou bien la voix du locuteur distant, dans une application de téléphonie. Comme ce signal subit les effets de la boucle fermée qui le distord, il devra être prétraité par une égalisation de manière à présenter la fonction de transfert désirée, déterminée par le gain de la boucle ouverte et la réponse cible sans contrôle actif.

[0032] Le casque peut éventuellement porter, comme illustré Figure 1, un autre microphone externe 44 destiné à des fonctions de communication, par exemple si le casque est pourvu de fonctions de téléphonie "mains libres". Ce microphone externe additionnel 44 est destiné à capter la voix du porteur du casque, il n'intervient pas dans le contrôle actif du bruit et, dans la suite, on ne considérera comme microphone externe éventuellement utilisé par le système ANC que le microphone 38 dédié au contrôle actif du bruit.

[0033] La Figure 3 illustre, en coupe, un exemple de réalisation des différents éléments mécaniques et électroacoustiques représentés schématiquement sur la Figure 2 pour l'un des écouteurs 10 (l'autre écouteur 10' étant réalisé identiquement). On y retrouve la cloison 20 divisant l'intérieur de la coque 14 en une cavité avant 22 et une cavité arrière 24 avec, montés sur cette cloison, le transducteur 18 et le microphone interne 28 porté par une grille 48 maintenant celui-ci à proximité du conduit auditif de l'utilisateur.

[0034] Le but de l'invention est de pallier le phénomène, exposé en introduction, résultant des surpressions/dépressions brusques dans la cavité avant 22 qui sont susceptibles de produire, notamment dans les basses fréquences en dessous de 100 Hz, des dépassements extrêmes de la valeur du signal délivré par le microphone interne 28.

[0035] Ainsi, la Figure 4 illustre un exemple de signal délivré par le microphone interne 28, en l'espèce un microphone à électret qui délivre un signal ne dépassant pas 100 mV pour une pression acoustique de 110 dB SPL (*Sound Pressure*

Leve/). Toutefois, comme illustré Figure 4, dans le cas de deux petits sauts successifs, on constate que cette valeur peut être très largement dépassée (dans l'exemple, elle atteint et dépasse 600 mV), ce qui peut produire après amplification des effets de saturation en plusieurs endroits de la chaîne de traitement.

[0036] L'idée de base de l'invention est de détecter en amont du filtre *feedback*, avec un très faible temps de latence, les situations susceptibles de produire de tels pics de signal, afin d'éviter tous les phénomènes de saturation lors des mouvements brusques du casque, notamment pendant que l'utilisateur marche ou court.

[0037] La Figure 5 illustre de façon schématique, sous forme de blocs fonctionnels, le système de contrôle actif du bruit ANC incorporant, selon l'invention, une fonction anti-saturation permettant de compenser ce phénomène.

[0038] Il s'agit d'un système ANC de type numérique, mis en oeuvre par un processeur numérique de signal DSP 50. On notera que, bien que ces schémas soient présentés sous forme de circuits interconnectés, la mise en oeuvre des différentes fonctions est essentiellement logicielle, cette représentation n'étant qu'illustrative.

[0039] On retrouve la branche *feedback* dont le principe a été décrit plus haut en référence à la Figure 2, après numérisation au moyen d'un convertisseur ADC 52 du signal d'erreur e capté par le microphone interne 28. Le signal d'erreur numérisé est traité par un filtre *feedback* 54, puis converti en analogique par le DAC 56 afin d'être restitué par le transducteur 18 dans la cavité de l'écouteur 10. Le signal reproduit est éventuellement combiné à un signal de musique M qui, après égalisation en 58, est combiné en 60 au signal d'annulation du bruit pour conversion par le DAC 56 et reproduction par le transducteur 18.

[0040] Les filtrages opérés par les blocs 54 (fonction de transfert *feedback* H_{FB2} sur le signal microphonique) et 58 (fonction de transfert H_{EQ2} d'égalisation de la musique M) peuvent être réalisés notamment de la manière décrite dans la demande FR 14 53284 du 11.04.2014, au nom de la Demanderesse, intitulée "Casque audio à contrôle actif de bruit ANC avec réduction du souffle électrique", qui propose de mettre en oeuvre une pluralité de configurations de filtre prédéterminées, sélectivement commutables en fonction du signal capté par le microphone interne 28, de manière à optimiser le compromis entre l'atténuation plus ou moins forte du bruit ambiant et celle d'un souffle électrique également plus ou moins fort, en fonction du niveau et du contenu spectral du signal restitué à l'utilisateur, tel que recueilli par le microphone 28 placé dans la cavité avant 22 de l'écouteur.

[0041] Cette technique particulière de filtrage anti-souffle n'est cependant aucunement limitative, et le système anti-saturation selon l'invention s'applique aussi bien à des filtrages *feedback* et d'égalisation opérés par d'autres techniques.

[0042] Dans l'exemple illustré, le contrôle actif de bruit ANC est contrôlé par un module ANC 62 qui analyse le signal e et adapte en conséquence les fonctions de transfert H_{FB2} de la branche *feedback* 54 et H_{EQ2} de la branche d'égalisation 58 du signal de musique.

[0043] Plus précisément, le signal e capté par le microphone interne 28 (que l'on suppose identique au signal capté par l'oreille de l'utilisateur du casque) est (dans la configuration de la Figure 5) donné par :

$$e = H_{ext}(1 - H_a * H_{FB2}) * B + H_a(1 - H_a * H_{FB2}) * H_{EQ2} * M$$

B étant le signal de bruit extérieur 30,

M étant le signal de musique entrant,

H_{ext} étant la fonction de transfert entre une source de bruit extérieure et le microphone interne 28,

H_{FB2} étant la fonction de transfert du filtre *feedback* 54,

H_{EQ2} étant la fonction de transfert du filtre d'égalisation 58, et

H_a étant la fonction de transfert entre le transducteur 18 et le microphone interne 28.

[0044] De cette équation, on remarque qu'un signal de musique joué est soumis à une fonction de transfert :

$$H_a(1 - H_a * H_{FB2}) * H_{EQ2}$$

de sorte que si le filtre H_{FB2} de la branche ANC *feedback* 54 est modifié, la perception de la musique par l'utilisateur s'en trouve également modifiée. Pour que la perception de la musique reste la même, l'algorithme de contrôle ANC 62 modifie le filtre H_{EQ2} de la branche 58 d'égalisation de la musique en même temps que celui de la branche ANC *feedback* 54 pour rééquilibrer les effets du filtrage, bien entendu si un signal de musique est présent.

[0045] De façon caractéristique de l'invention, conjointement au signal du microphone interne 28, le traitement de contrôle actif du bruit ANC fait intervenir un accéléromètre 64 monté sur le casque (Figures 2 et 5), dont le rôle sera de détecter avec une très faible latence les mouvements de l'écouteur susceptibles de produire des effets de saturation du signal capté par le microphone interne 28, typiquement des mouvements résultant des déplacements de l'utilisateur

pendant que celui-ci marche, court, saute... ou encore lorsque celui-ci manipule les écouteurs, par exemple pour réajuster leur position sur ses oreilles.

[0046] Le EP 2 518 724 A1 (Parrot) décrit un casque comprenant un accéléromètre intégré à un écouteur, mais dans ce document l'accéléromètre est utilisé comme capteur physiologique pour recueillir des composantes vocales non acoustiques transmises par conduction osseuse, donc non bruitées, d'un signal de parole émis par l'utilisateur, par exemple dans le cas où le casque est utilisé comme dispositif "mains libres" en combinaison avec un téléphone portable. Dans le cas de la présente invention, ce même accéléromètre peut être utilisé, mais avec un rôle différent, à savoir l'amélioration de la fonction ANC du casque, dans une configuration d'écoute (reproduction sonore) et non de parole (voix de l'utilisateur).

[0047] Le signal de l'accéléromètre 64, après numérisation au moyen d'un convertisseur ADC 66, est appliqué à un module "anti-saturation" 68 qui reçoit également le signal e recueilli par le microphone interne 28, après numérisation par le convertisseur ADC 52.

[0048] Les deux signaux, d'accélération et microphonique, sont analysés conjointement par le module anti-saturation 68, qui commande un filtre 70 (fonction de transfert H_{FB1}) placé dans la branche *feedback* en amont du filtrage *feedback* proprement dit (bloc 54, fonction de transfert H_{FB2}), et de même un filtre d'égalisation 72 (fonction de transfert H_{EQ1}) placé dans la branche d'égalisation en amont du filtre d'égalisation (bloc 58, fonction de transfert H_{EQ2}).

[0049] Très avantageusement, mais de façon non limitative, il est possible de prévoir, pour les blocs 70 et 72 définissant respectivement les fonctions de transfert des branches *feedback* et d'égalisation, une pluralité de configurations de filtrage prédéterminées, sélectivement commutables, avec un mécanisme de bascule intelligente entre ces différents filtres en fonction des signaux captés conjointement par l'accéléromètre 64 et le microphone interne 28.

[0050] Le module anti-saturation 68, à partir de ces signaux, définit celui des X filtres du bloc 70 de la branche *feedback* qu'il convient de sélectionner et, de même, celui des Y filtres du bloc 72 de la branche d'égalisation du signal de musique qu'il convient de sélectionner (Y pouvant être égal à X, mais pas nécessairement).

[0051] La sélection entre les X filtres de la fonction de transfert H_{FB1} du bloc 70 (ou des Y filtres de la fonction de transfert H_{EQ1} du bloc 72) se fait de la manière suivante.

[0052] Pour chacun des filtres, on interpole ses paramètres (fréquence centrale f_0 , facteur de *qualité* Q et gain G) et lors d'une transition les coefficients sont calculés par rapport à ces paramètres interpolés entre l'état initial et l'état final. Typiquement, il est possible d'utiliser un filtre à réponse impulsionnelle infinie (IIR), c'est-à-dire un type de filtre caractérisé par une réponse basée sur les valeurs du signal appliqué en entrée ainsi que les valeurs antérieures de la réponse que ce filtre a pu produire. On peut utiliser notamment un filtre IIR d'ordre 2, dit "biquad" dont la fonction de transfert donnant le signal de sortie y à l'instant n en fonction du signal d'entrée x aux instants n , $n-1$ et $n-2$ est donnée par :

$$y(n) = b_0 * x(n) + b_1 * x(n-1) + b_2 * x(n-2) - a_1 * y(n-1) - a_2 * y(n-2),$$

les coefficients α_1 , α_2 , b_0 , b_1 et b_2 de la fonction de transfert étant issus des paramètres f_0 , Q et G du filtre.

[0053] La Figure 6 illustre plus précisément les éléments mis en oeuvre par le module anti-saturation 68 pour l'analyse du signal et la sélection des filtres des blocs 70 et 72.

[0054] Le signal e numérisé recueilli par le microphone interne 28 est soumis à une décomposition fréquentielle par une batterie de filtres 74 afin de calculer en 76 l'énergie Rms_i de ce signal e dans chacune de ses N composantes fréquentielles. Par exemple, Rms_1 peut être la puissance du signal microphone en dessous de 100 Hz, Rms_2 la puissance du signal autour de 800 Hz, etc. ce qui permet via l'analyse spectrale de distinguer diverses situations significatives : par exemple, pour une utilisation du casque dans un environnement bruyant de type transport (avion, train), le rapport entre basses et hautes fréquences est bien plus important que dans un environnement plus calme tel que dans un bureau.

[0055] Les valeurs obtenues Rms_1 , Rms_2 ... Rms_N sont appliquées à une machine d'états 78, qui compare ces valeurs d'énergie à des seuils respectifs et détermine en fonction de ces comparaisons celui des X filtres du bloc 70 de la branche *feedback* et le cas échéant (si de la musique est présente) celui des Y filtres du bloc 72 de la branche d'égalisation qui doit être sélectionné.

[0056] La Figure 7 illustre plus précisément la manière dont opère cette machine d'états 78.

[0057] La puissance RMS_{acc} du signal de l'accéléromètre présent sur le casque est, éventuellement après préfiltrage, analysée en permanence. Si cette puissance dépasse un seuil prédéterminé *Seuil_a* (test 80) alors la machine d'états considère que le casque subit un mouvement susceptible d'entraîner une saturation du contrôle ANC et déclenche un processus de contrôle anti-saturation, correspondant à la partie gauche de l'algorithme de la Figure 7.

[0058] Sur cet algorithme, les paramètres *Activité* et *Atténuation* sont des variables booléennes, tandis que les paramètres *Timer_1* et *Timer_2* sont des valeurs de comptage d'une temporisation qui est remise à zéro par une action "*Timer* = 0", la notation "*Timer*++" indiquant que l'algorithme laisse se poursuivre le déroulement de la temporisation.

[0059] En présence d'une accélération dépassant le seuil prescrit, la machine d'états analyse le signal du microphone

interne 28. Si la puissance RMS_1 (puissance du signal microphonique dans une certaine plage de fréquences) dépasse un seuil prédéterminé $Seuil_1$ (test 82), alors la machine d'états modifie la fonction de transfert H_{FB1} de la branche *feedback*, par exemple en sélectionnant l'un des X filtres qui a pour effet de diminuer l'atténuation ANC dans les basses fréquences, et modifie également la fonction de transfert H_{EQ1} de la branche d'égalisation pour garder la même perception de la musique (bloc 84).

[0060] Dans le cas contraire, la puissance RMS_2 du signal microphonique dans une autre bande de fréquence est testée de la même façon (bloc 82') par rapport à un second seuil $Seuil_2$ (avec $Seuil_2 < Seuil_1$). Si $RMS_2 > Seuil_2$, alors on applique également une modification des fonctions de transfert H_{FB1} et H_{EQ1} (bloc 84'), typiquement avec une atténuation de l'ANC *feedback* présente, mais moins importante que dans le cas précédent. On peut ainsi tester un certain nombre de seuils successifs (test 82'') de façon itérative avec des seuils progressivement plus bas, de manière à choisir, parmi les X filtres sélectionnables de la branche *feedback* H_{FB1} , celui qui optimisera le compromis entre l'atténuation du contrôle ANC et la protection contre la saturation de celui-ci (bloc 84'').

[0061] Si dans toutes les bandes la puissance du signal du microphone interne 28 est inférieure au seuil le plus bas, on considère qu'il n'y a pas de risque de saturation et, après expiration d'une temporisation de $X2$ secondes (test 86) la machine d'états désactive les modules anti-saturation 70 et 72 (bloc 88).

[0062] Dans l'hypothèse où, au test 80, l'analyse du signal de l'accéléromètre indique que celui-ci ne dépasse pas le seuil prescrit, si le traitement anti-saturation était actif (test 90), alors à l'expiration d'une temporisation de $X1$ secondes (test 92), ce contrôle est désactivé automatiquement par la machine d'états (bloc 94).

[0063] Le fait de désactiver le contrôle anti-saturation et de ne le "réveiller" qu'aux moments opportuns offre l'avantage d'une économie importante sur la consommation électrique du DSP 50, augmentant ainsi l'autonomie du casque.

[0064] Les Figures 8 et 9 illustrent deux exemples de fonctions de transfert H_{FB1} appliquées sur la branche *feedback* du contrôle ANC, sans (A) et avec (B) modification par le module anti-saturation 68 : la Figure 8 représente, en amplitude et en phase, la fonction de transfert H_{FB1} dans ces deux cas, tandis que la Figure 9 illustre les atténuations correspondantes obtenues. On constate que la détection d'une accélération déclenche une atténuation du gain de la branche ANC *feedback* de l'ordre de 12 à 15 dB à 40 Hz entre la courbe A (sans contrôle anti-saturation) et la courbe B (avec contrôle anti-saturation). La modification est essentiellement opérée dans les basses fréquences, au-dessous de 150 Hz, car c'est dans cette plage de fréquences que se situent les résonances de bruits de pas, etc. habituellement rencontrées en pratique. Le contrôle anti-saturation diminue, certes, les performances d'atténuation du contrôle ANC mais, en contrepartie, évite la production d'un "plop" très désagréable en sortie par le transducteur du fait de la saturation de la branche de contrôle ANC *feed-back*.

Revendications

1. Un casque audio, comprenant :

- deux écouteurs (10) comportant chacun un transducteur (18) de reproduction sonore d'un signal audio à reproduire, ce transducteur étant logé dans une cavité acoustique d'oreille (22) ;
- au moins un microphone apte à délivrer un signal capté comportant une composante de bruit acoustique ;
- un capteur de mouvement (64) monté sur au moins l'un des écouteurs et apte à délivrer un signal accélérométrique ; et
- un processeur numérique de signal, DSP, (50) comprenant :

des moyens de mixage (46), recevant en entrée un signal provenant du microphone ainsi que ledit signal audio à reproduire (S), et délivrant en sortie un signal apte à piloter le transducteur (18) ; et des moyens de réduction de bruit, comprenant des moyens (68) aptes à analyser concurrentement i) le signal microphonique délivré par le microphone et ii) le signal accélérométrique délivré par le capteur de mouvement (64), et vérifier si des caractéristiques courantes de ces signaux microphonique et accélérométrique vérifient ou non une première batterie de critères prédéterminés,

caractérisé en ce que :

- le casque comprend un système de contrôle actif de bruit, ANC ;
- le microphone est un microphone ANC interne (28) placé à l'intérieur de la cavité acoustique (22) ;
- le DSP (50) comprend :

une branche *feedback* en boucle fermée (36) comprenant un filtre ANC *feedback* (54) apte à appliquer une fonction de transfert de filtrage (H_{FB}) au signal délivré par le microphone ANC interne (28) ; et

- lesdits moyens de mixage (46), qui reçoivent en entrée le signal délivré par la branche *feedback* en sortie du filtre ANC *feedback* (54) ainsi que ledit signal audio à reproduire (S), et délivrent en sortie ledit signal apte à piloter le transducteur (18) ; et

5 - le DSP comprend en outre des moyens de prévention des effets sur la branche *feedback* d'une saturation du signal délivré par le microphone interne (28), comprenant :

10 • lesdits moyens (68) aptes à analyser concurremment i) le signal microphonique délivré par le microphone (28) et ii) le signal accélérométrique délivré par le capteur de mouvement (64), et vérifier si des caractéristiques courantes de ces signaux microphonique et accélérométrique vérifient ou non une première batterie de critères prédéterminés ; et

• dans la branche *feedback* en amont du filtre ANC *feedback* (54), un filtre anti-saturation *feedback* (70) sélectivement commutable en fonction du résultat de la vérification de la première batterie de critères.

15 2. Le casque audio de la revendication 1, dans lequel :

- le filtre anti-saturation *feedback* (70) est l'un d'entre une pluralité de filtres préconfigurés sélectivement commutables ; et
- le DSP (50) comprend en outre :

20 des moyens (68) aptes à sélectionner l'un des filtres anti-saturation préconfigurés en fonction du résultat de la vérification de la première batterie de critères.

25 3. Le casque audio de la revendication 1, dans lequel :

- le DSP (50) comprend en outre :

30 une branche d'égalisation, comprenant un filtre d'égalisation (58) apte à appliquer une fonction de transfert d'égalisation (H_{EQ}) au signal audio à reproduire (M) avant application de celui-ci aux moyens de mixage (60) ; et

dans la branche d'égalisation en amont du filtre d'égalisation (58), un filtre anti-saturation d'égalisation (72) sélectivement commutable en même temps que le filtre anti-saturation *feedback* (70).

35 4. Le casque audio de la revendication 1, dans lequel :

- le filtre anti-saturation d'égalisation (72) est l'un d'entre une pluralité de filtres préconfigurés d'égalisation sélectivement commutables ; et
- le DSP (50) comprend en outre :

40 • des moyens (68) aptes à sélectionner l'un des filtres préconfigurés d'égalisation en fonction du résultat de la vérification de la première batterie de critères.

45 5. Le casque audio de la revendication 1, dans lequel les caractéristiques courantes du signal accélérométrique comprennent une valeur d'énergie (Rms_{acc}) du signal accélérométrique, et les critères prédéterminés comprennent un seuil ($Seuil_a$) auquel est comparée ladite valeur d'énergie.

50 6. Le casque audio de la revendication 5, dans lequel les caractéristiques courantes du signal microphonique comprennent des valeurs d'énergie ($Rms1$, $Rms2$...) du signal microphonique dans une pluralité de bandes de fréquences respectives (Filtre1, Filtre2 ...), et les critères prédéterminés comprennent une série de seuils respectifs ($Seuil1$, $Seuil2$... $SeuilN$) auxquels sont comparées lesdites valeurs d'énergie du signal microphonique si la valeur d'énergie (Rms_{acc}) du signal accélérométrique dépasse ledit seuil ($Seuil_a$).

7. Le casque audio de la revendication 1, dans lequel :

55 - le filtre ANC *feedback* (54) est l'un d'entre une pluralité de filtres ANC *feedback* préconfigurés, sélectivement commutables ; et

- le DSP (50) comprend en outre :

des moyens (62) d'analyse du signal délivré par le microphone interne, aptes à vérifier si des caractéristiques courantes du signal délivré par le microphone interne vérifient ou non une seconde batterie de critères prédéterminés ; et
des moyens de sélection (62), aptes à sélectionner l'un des filtres ANC *feedback* préconfigurés en fonction du résultat de la vérification de la seconde batterie de critères.

8. Le casque audio de la revendication 7, dans lequel :

- le DSP (50) comprend en outre :

- une branche d'égalisation, comprenant un filtre d'égalisation (58) apte à appliquer une fonction de transfert d'égalisation (H_{EQ}) au signal audio à reproduire (M) avant application de celui-ci aux moyens de mixage (60) ;

- le filtre d'égalisation (58) est l'un d'entre une pluralité de filtres d'égalisation préconfigurés, sélectivement commutables ; et

- les moyens de sélection (62) sont également aptes à sélectionner l'un des filtres d'égalisation préconfigurés, en fonction du filtre ANC *feedback* courant sélectionné.

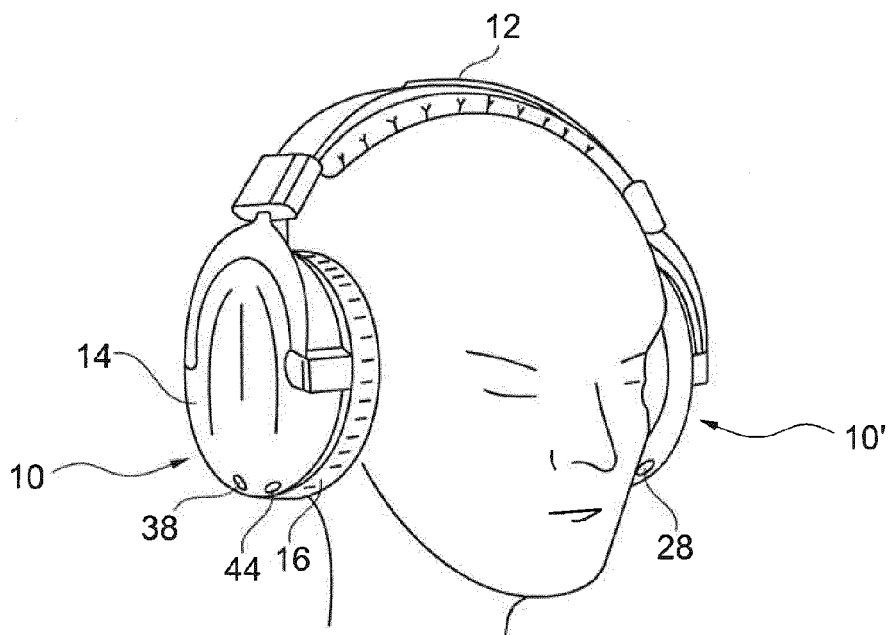


Fig. 1

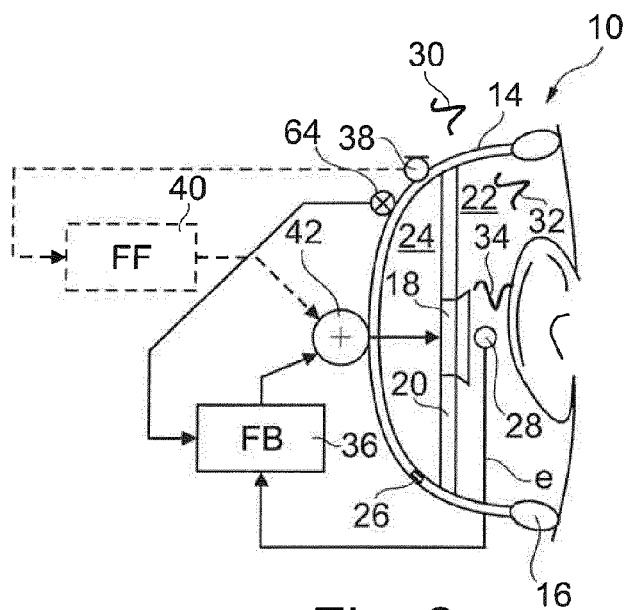


Fig. 2

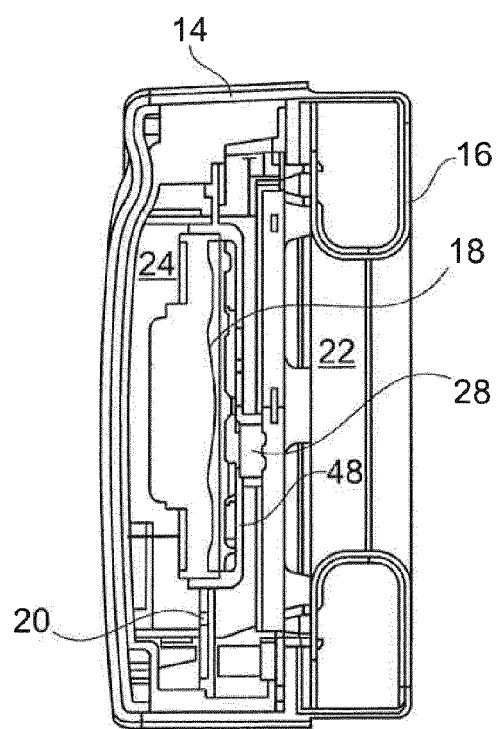


Fig. 3

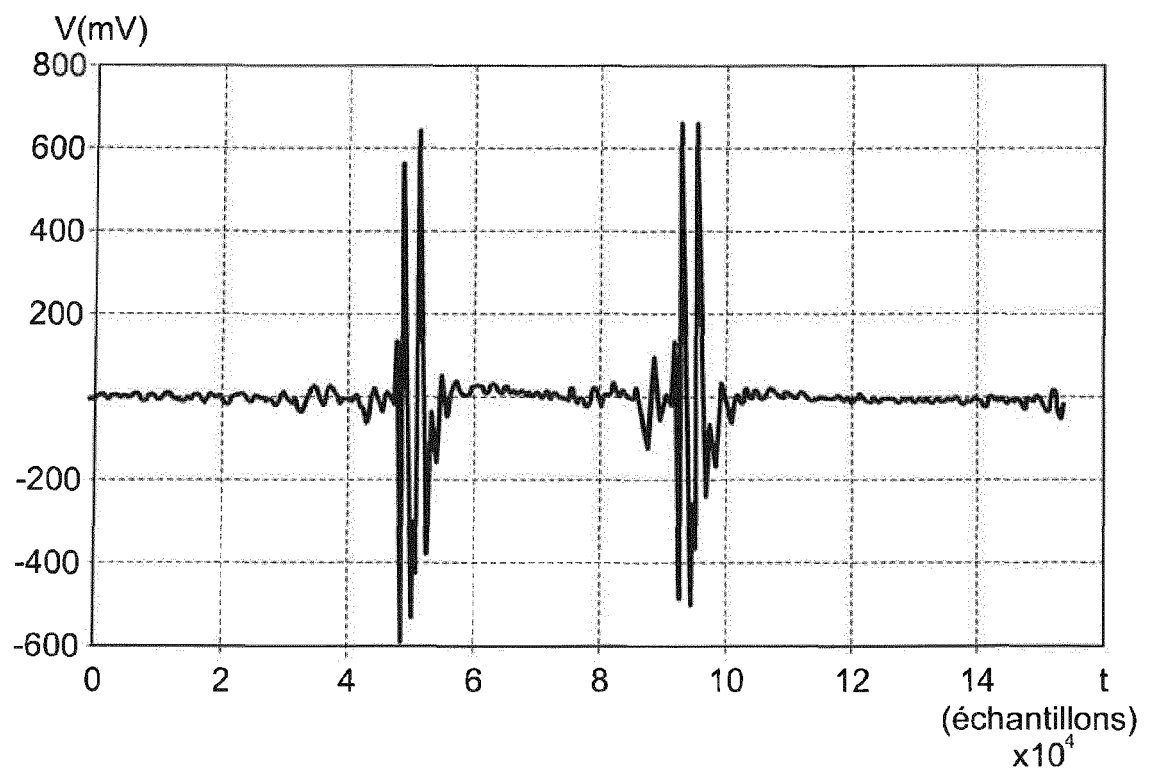
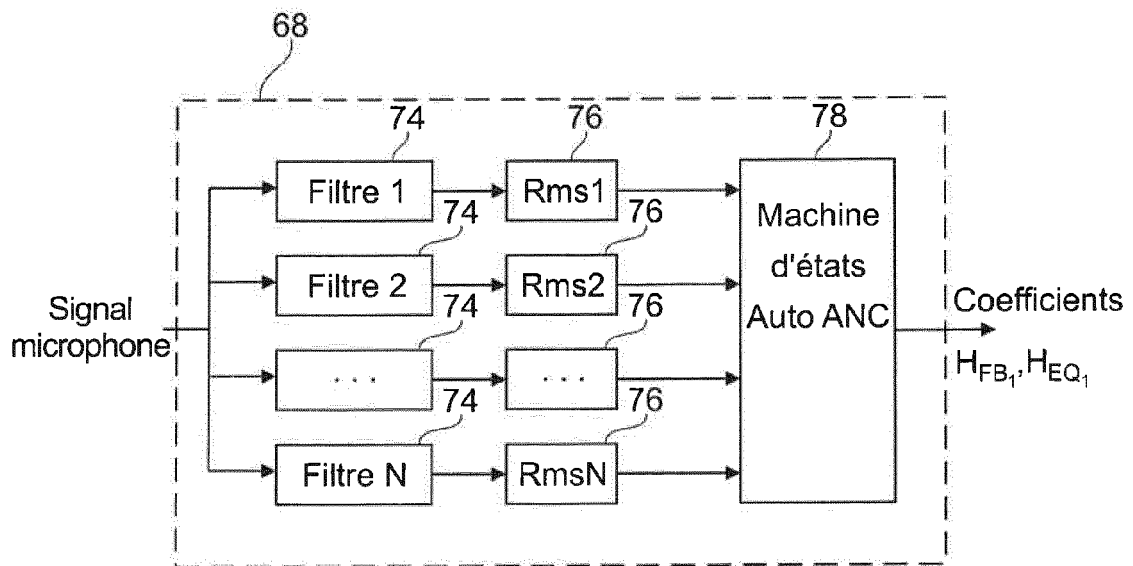
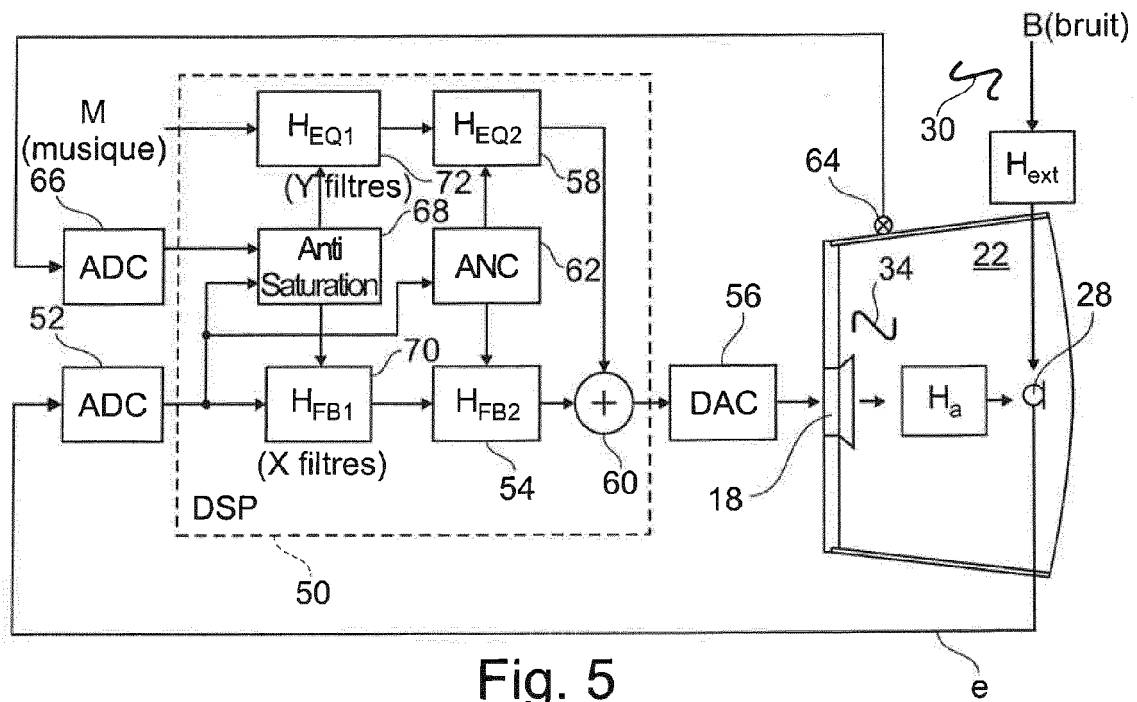


Fig. 4



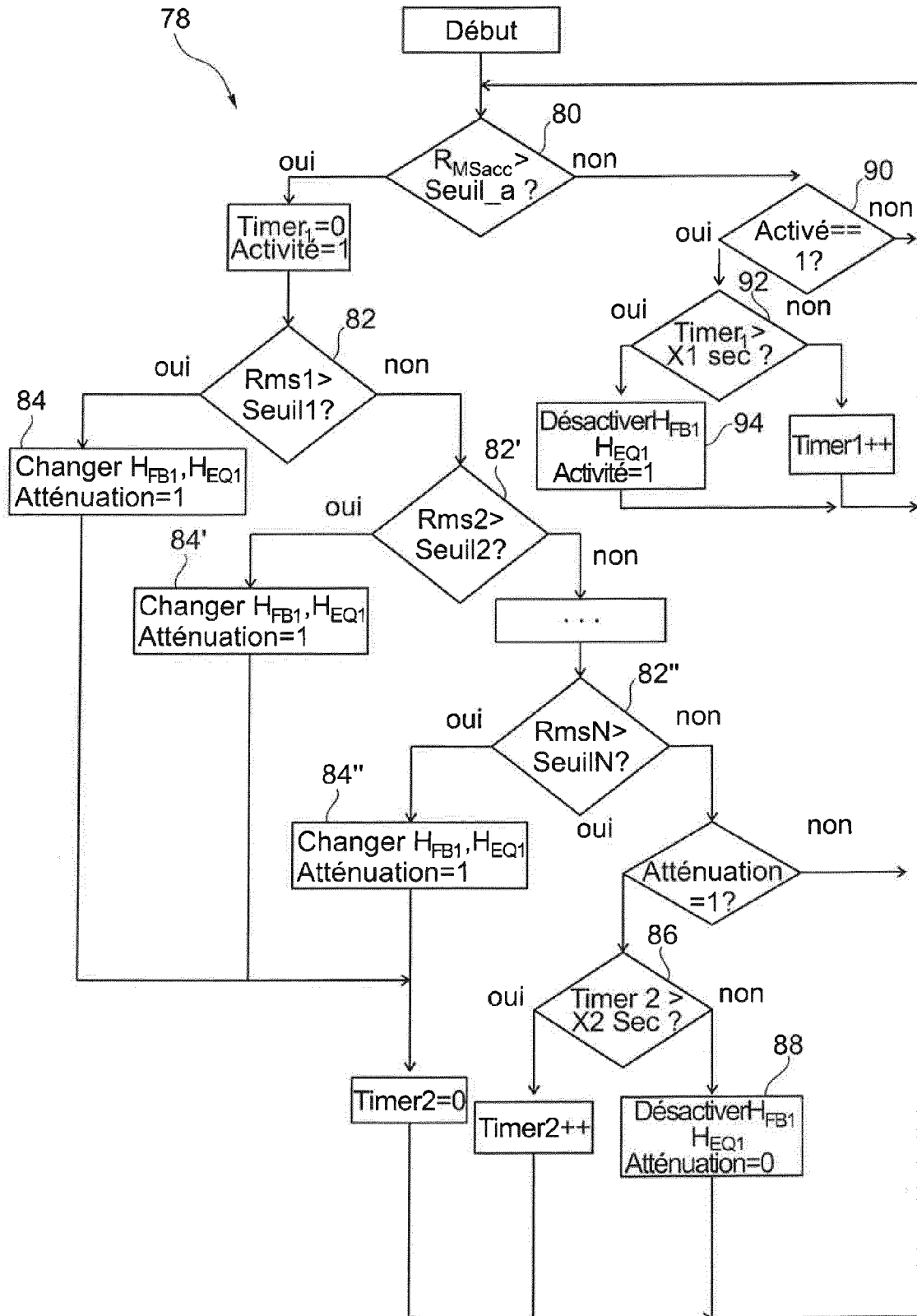


Fig. 7

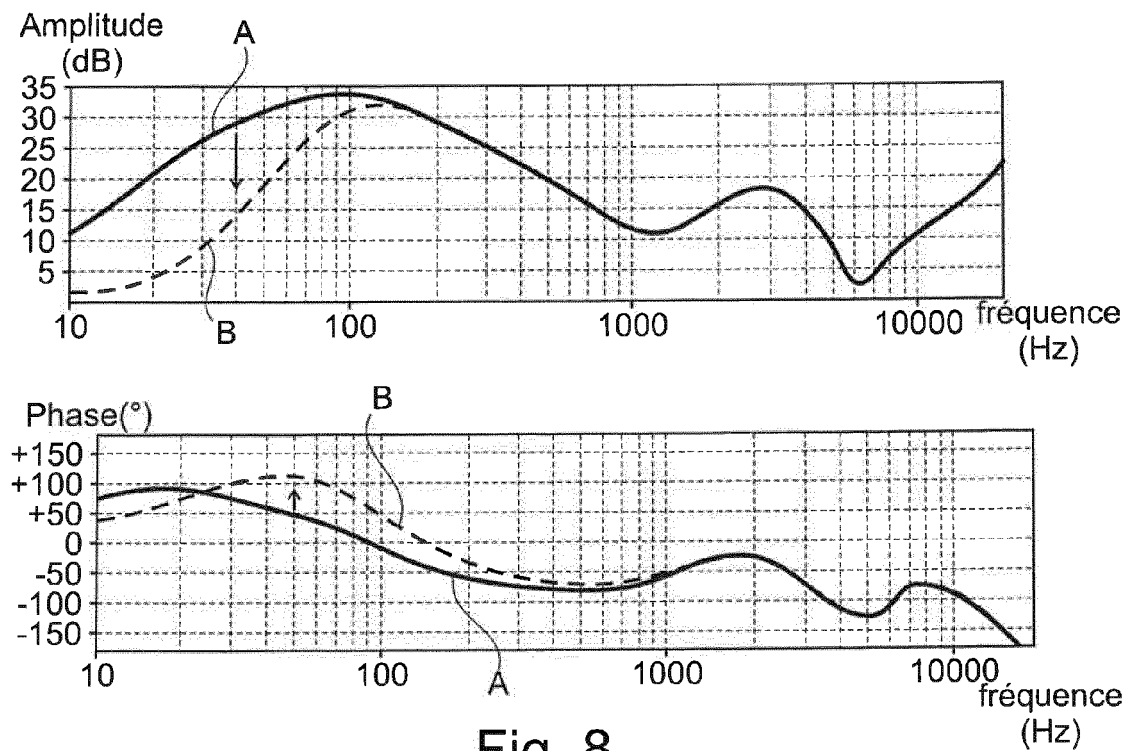


Fig. 8

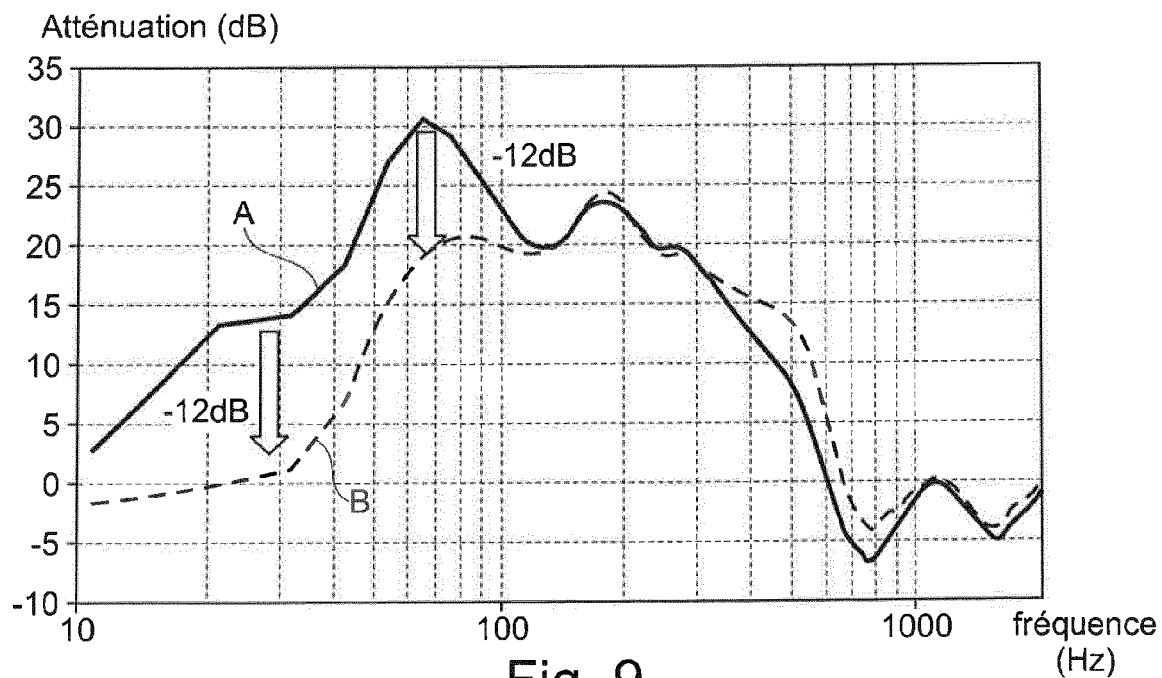


Fig. 9



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 15 16 6492

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	EP 2 518 724 A1 (PARROT [FR]) 31 octobre 2012 (2012-10-31) * page 4, alinéa 23 - page 5, alinéa 49 * * figures 1,2 *	1-8	INV. H04R1/10 H04R5/033
A	----- WO 00/21194 A1 (RESOUND CORP [US]) 13 avril 2000 (2000-04-13) * page 8, ligne 12 - page 13, ligne 2 * * figures 1-5 *	1-8	
A	----- WO 2011/157856 A2 (PHONAK AG [CH]; MUELDER HANS [CH]) 22 décembre 2011 (2011-12-22) * page 4, ligne 6 - page 8, ligne 18 * * figures 1-5 *	1-8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H04R
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 26 août 2015	Examineur Meiser, Jürgen
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03/82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 15 16 6492

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

26-08-2015

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2518724 A1	31-10-2012	CN 102761643 A	31-10-2012
		EP 2518724 A1	31-10-2012
		FR 2974655 A1	02-11-2012
		JP 2012231468 A	22-11-2012
		US 2012278070 A1	01-11-2012

WO 0021194 A1	13-04-2000	AU 6291599 A	26-04-2000
		WO 0021194 A1	13-04-2000

WO 2011157856 A2	22-12-2011	CN 103891307 A	25-06-2014
		EP 2769557 A2	27-08-2014
		US 2014241559 A1	28-08-2014
		WO 2011157856 A2	22-12-2011

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

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

- EP 2597889 A1, Parrot [0009] [0017]
- EP 2518724 A1, Parrot [0010] [0018] [0046]
- WO 2010129219 A1 [0011]
- EP 2425421 A0 [0011]
- FR 1453284 [0040]