

(19)



(11)

EP 3 979 663 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
17.07.2024 Bulletin 2024/29

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H04R 1/10 (2006.01) G10K 11/178 (2006.01)
H04R 3/04 (2006.01) H04R 25/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **21200269.5**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H04R 1/1083; G10K 11/17827; G10K 11/17853;
G10K 11/17881; H04R 1/1008; H04R 3/04;
G10K 2210/1081; H04R 25/453; H04R 2460/01

(22) Date de dépôt: **30.09.2021**

(54) **CASQUE AUDIO À RÉDUCTION DE BRUIT**

KOPFHÖRER MIT GERÄUSCHREDUZIERUNG
AUDIO HEADSET WITH NOISE-REDUCTION

(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

(72) Inventeur: **HOANG CO THUY, Vu**
75012 PARIS (FR)

(30) Priorité: **01.10.2020 FR 2010064**

(74) Mandataire: **Lavoix**
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(43) Date de publication de la demande:
06.04.2022 Bulletin 2022/14

(56) Documents cités:
EP-A1- 2 830 324 EP-A2- 1 923 864
US-A1- 2009 080 670 US-A1- 2010 274 369

(73) Titulaire: **Devialot**
75001 Paris (FR)

EP 3 979 663 B1

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

Description

[0001] La présente invention concerne un casque audio à réduction de bruit, du type comportant :

- 5 - un transducteur électro-acoustique placé dans une cavité de restitution sonore ;
- au moins une chaîne de traitement anti-bruit comportant :
 - un microphone de capture du son ambiant ;
- 10 - un filtre de traitement anti-bruit du signal issu du microphone pour produire un signal anti-bruit ;
- des moyens d'application du signal anti-bruit pour l'excitation du transducteur électro-acoustique.

[0002] Le casque audio à réduction de bruit comporte au moins un microphone placé soit à l'intérieur de la cavité entre le transducteur électro-acoustique et le canal auditif, soit à l'extérieur de cette cavité. Idéalement, un tel casque
15 comporte des microphones placés dans les deux positions.

[0003] Pour assurer la création d'un signal anti-bruit reproduit par le transducteur, les signaux issus des deux microphones sont traités par des filtres numériques qui peuvent être la combinaison d'un ou de plusieurs filtres.

[0004] Les casques à microphone interne présentent généralement des bonnes performances en terme de niveau de réduction du bruit, couramment de l'ordre de 20 à 30 dB, mais dans une gamme de fréquence limitée, typiquement
20 de 50 à 1 000 Hz, du fait de l'instabilité de la boucle de contre-réaction formée par le microphone interne et son filtre recevant directement les signaux émis par le transducteur électro-acoustique. Cette instabilité peut provoquer un larsen et les filtres ont donc une plage d'action déduite pour éviter ce phénomène.

[0005] Les casques à microphone externe n'ont pas cette restriction en termes d'instabilité en ce sens qu'il n'y a qu'un signal très atténué de l'ordre de 50 dB venant du transducteur électro-acoustique capté par le microphone externe, lequel ne crée pas de larsen. Ils fournissent généralement des atténuations jusqu'à seulement 10 dB, puisque le microphone privilégie une direction de captation du bruit externe venant vers l'oreille.

[0006] Les casques anti-bruit à microphone externe peuvent, de manière théorique, atténuer des bruits qui se situent sur une fréquence supérieure à 1 kHz, mais la performance est très dépendante de la direction de la source de bruit, en particulier pour les fréquences élevées.

[0007] Les filtres utilisés en sortie des microphones externes ou internes sont conçus pour chercher à s'affranchir des problèmes précédemment évoqués, à savoir le larsen pour les microphones internes et les performances réduites dues à la forte directivité des mesures dans le cas du microphone externe.

[0008] Ces filtres sont couramment définis de manière empirique pour moduler le gain en fonction de la fréquence.

[0009] L'état de l'art pertinent est brièvement décrit dans les publications US2010274369 A1, EP1923864 A2, US2009/080670 A1 et EP2830324 A1.

[0010] L'invention a pour but de proposer une solution à ce problème de larsen pour les microphones intérieurs, et de difficulté des construire un filtre performant compte tenu de la directivité pour les microphones externe tout en permettant d'élargir les plages de fréquence satisfaisant du réducteur de bruit.

[0011] A cet effet, l'invention a pour objet un casque audio à réduction de bruit comme définit dans la revendication indépendante. Des aspects optionnels sont définis dans les revendications dépendantes.

[0012] 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 :

- [Fig. 1] La figure 1 est une vue schématique d'un casque audio à réduction de bruit selon l'invention ;
- 45 - [Fig. 2] La figure 2 est une courbe illustrant, en fonction de la fréquence, les gains de l'inverse de la fonction de transfert du chemin secondaire traité, du filtre de stabilisation et de la combinaison de la fonction de transfert du chemin secondaire traité et du filtre de stabilisation ;
- [Fig. 3] La figure 3 est une courbe illustrant les phases des mêmes quantités que la figure 2 en fonction de la fréquence.

[0013] Sur la figure 1 est illustré schématiquement un casque audio à réduction de bruit 10.

[0014] Il comporte une cavité 12 de restitution sonore à l'intérieur de laquelle est schématisée une oreille 14 du porteur du casque.

[0015] Comme connu en soi, cette cavité comporte un transducteur électro-acoustique 16 disposé en regard du conduit auditif de l'oreille. Cette cavité 12 est formée par exemple par une coquille recouvrant l'essentiel de l'oreille dans le cas
55 d'un casque audio extérieur ou prend la forme d'un boîtier anatomique pouvant être introduit dans l'entrée du conduit auditif dans le cas d'un écouteur intra-auriculaire.

[0016] 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 20.

[0017] Le casque comporte une entrée 22 pour un signal musical à reproduire reliée à l'entrée du convertisseur numérique/analogique 20 au travers d'un filtre d'égalisation 24.

[0018] Afin d'assurer le traitement anti-bruit, le casque 10 comporte une chaîne de traitement anti-bruit interne 30 comportant un microphone interne 31 disposé à l'intérieur de la cavité 12 en regard du transducteur électro-acoustique 16.

[0019] Le microphone externe 31 est propre à capter le son produit par le transducteur 16 et le bruit externe au niveau de l'enveloppe extérieure de la cavité 12, noté s_{bext} , filtré par la cavité 12 dont la fonction de transfert est notée HPA.

[0020] Le chemin formé entre le transducteur 16 et le tympan de l'utilisateur est appelé « chemin secondaire » et sa fonction de transfert est notée Ha.

[0021] La fonction de transfert entre le point de mesure du microphone interne 31 et le tympan est notée H_{mici-t} . Ainsi la fonction de transfert entre le transducteur 16 et le point de mesure du microphone 31 est égale à H_a/H_{mici-t} .

[0022] Dans la pratique, la distance entre le microphone interne 31 et le tympan étant très petite, H_{mici-t} est sensiblement égal à 1. En conséquence, il est considéré dans la pratique et dans la suite du document que la fonction de transfert du chemin secondaire et la fonction de transfert entre le transducteur 16 et le point de mesure du microphone interne 31 sont toutes deux égales à Ha.

[0023] Le microphone 31 est relié, dans la chaîne 30, à un filtre 34 de traitement interne du signal propre à fournir un signal anti-bruit, avec interposition d'un convertisseur analogique/numérique 32.

[0024] La sortie du filtre de traitement interne 34 est reliée à l'amplificateur 18 au travers d'un sommateur 38 disposé en amont du convertisseur numérique/analogique 20. Ce sommateur assure l'addition des signaux égalisés issus de l'entrée 22 et les signaux anti-bruit issus de la chaîne de traitement interne 30.

[0025] De même, le casque 10 comporte une chaîne de traitement anti-bruit externe 40 comportant un microphone externe 41 installé à l'extérieur de la cavité 12.

[0026] Le microphone externe 41 est propre à capter le bruit externe s_{bext} affecté d'une fonction de transfert H_{bext} . H_{bext} est la fonction de transfert entre la surface externe de la cavité 12 où s'applique le bruit externe s_{bext} et le microphone externe 41, comme illustré sur la figure 1.

[0027] Dans la chaîne de traitement externe 40, le microphone externe 41 est relié au travers d'un convertisseur analogique/numérique 42 à un filtre de traitement externe 44 dont la sortie est reliée au sommateur 38.

[0028] Le sommateur 38 assure ainsi un acheminement vers l'amplificateur 18, au travers du convertisseur analogique/numérique 20, des signaux anti-bruit produits en sortie des filtres 34 et 44 et du signal musical à reproduire égalisé issu de l'entrée 22.

[0029] Les filtres et égaliseurs décrits ici sont des filtres numériques mis en oeuvre dans un processeur de signaux numériques (DSP en anglais).

[0030] Suivant les modes particuliers de réalisation, le casque 10 comporte les deux chaînes de traitement anti-bruit interne 30 et externe 40 ou soit la chaîne de traitement anti-bruit interne 30, soit la chaîne de traitement anti-bruit externe 40 est supprimée et seul l'un des deux micros et filtres associés est conservé.

[0031] Quel que soit le mode de réalisation et selon l'invention, les filtres de traitement anti-bruit externe 34 et interne 44 quand ils existent ont une fonction de transfert formée chacune du produit de :

- l'inverse de la fonction de transfert du chemin secondaire traité, et
- une fonction de transfert d'annulation du bruit.

[0032] La fonction de transfert du chemin secondaire traité est la fonction de transfert du chemin secondaire affecté des fonctions de transfert des différents composants assurant le traitement jusqu'au transducteur 16, à l'exception du filtre de traitement interne 34 ou externe 44 suivant le cas. Ici, il s'agit notamment des fonctions de transfert du microphone 31 ou 41 suivant le cas, du convertisseur analogique/numérique 32 ou 42 suivant le cas et du convertisseur numérique/analogique 20. L'amplificateur 18 est supposé unitaire et si tel n'est pas le cas, sa fonction de transfert est intégrée également dans la fonction de transfert du chemin secondaire traité.

[0033] L'inverse de la fonction de transfert du chemin secondaire traité est appliquée par un filtre de stabilisation noté respectivement 34A et 44A pour les filtres 34 et 44. Ces filtres 34A, 34B ont une fonction de transfert de stabilisation notée H_{FBcorr} et H_{FFcorr} respectivement.

[0034] Chaque filtre de stabilisation 34A, 44A est suivi, en sortie, respectivement dans le filtre de traitement 34, 44, par un filtre d'annulation du bruit 34B, 44B dont la fonction de transfert est notée respectivement H_{FB2} , H_{FF2} .

[0035] Les filtres numériques 34A, 44A et 34B, 44B utilisés sont par exemple des filtres à réponse impulsionnelle infinie (IIR) ou des filtres à réponse impulsionnelle finie (FIR).

[0036] La construction et la nature des filtres 34 et 44 va maintenant être décrite.

[0037] On note s , le bruit résiduel reçu par le tympan du porteur du casque, supposé correspondre au son capté par le microphone interne 31.

[0038] On note HPA la fonction de transfert s/b_{ext} en l'absence de dispositif de réduction active de bruit, autrement dit, il s'agit de l'atténuation passive de la cavité, s_{bext} étant le bruit ambiant sur l'enveloppe externe de cette cavité.

EP 3 979 663 B1

[0039] Cette fonction de transfert HPA est généralement proche d'un filtre passe-bas, ce qui signifie que la structure formant la cavité réduit principalement les hautes fréquences.

[0040] Le bruit résiduel s s'exprime, dans le domaine de Laplace, par l'expression suivante :

$$s(p) = 1 / (1 - \text{PlantFB} * \text{HFB} * \exp(-pT_{\text{FB}}) * \exp(-pD_{\text{FB}})) * (\text{HPA} + \text{PlantFF} * \text{HFF} * \exp(-pT_{\text{FB}}) * \exp(-pD_{\text{FF}}) * \text{Hbext}) * \text{bext} \quad [\text{Math 1}]$$

[0041] Où:

p : une variable complexe

HFB : fonction de transfert du filtre 34

HFF : fonction de transfert du filtre 44

HPA : fonction de transfert de l'atténuation passive de la structure du casque délimitant la cavité 12

Hbext : fonction de transfert entre la surface externe de la cavité 12 où s'applique le bruit externe bext et le microphone externe 41

PlantFB = Gadci*Gdac*Hmici*Ha est la fonction de transfert du chemin secondaire traité pris au travers de la chaîne de traitement anti-bruit interne 30

PlantFF = Gadce*Gdac*Hmice*Ha est la fonction de transfert du chemin secondaire traité pris au travers de la chaîne de traitement anti-bruit externe 40

Où :

Gadci et Gadce : gains des convertisseurs analogique/numérique 32 et 42 pour les microphones interne 31 et externe 41 respectivement

Gdac : gain de sortie du convertisseur numérique/analogique 20

Hmici : fonction de transfert du microphone interne 31

Hmice : fonction de transfert du microphone externe 41

Ha : fonction de transfert entre le transducteur 16 et le tympan supposé correspondre au point de mesure du microphone interne 31

[0042] Ha dépend des caractéristiques du transducteur, ainsi que de l'architecture acoustique autour de lui, et notamment des chambres en avant et en arrière du transducteur lorsqu'il s'agit d'un haut-parleur.

[0043] Ha représente la fonction de transfert du chemin secondaire, c'est-à-dire la fonction de transfert entre le transducteur 16 et le point de positionnement du microphone interne 31 ou le tympan sans prise en compte des retards.

Dans la modélisation, le temps de propagation de l'onde acoustique a été isolé dans un terme spécifique $\exp(-pT_{\text{FB}})$. Ainsi, la fonction de transfert complète Hareal s'exprime en tenant compte de ce retard par Hareal = Ha* $\exp(-pT_{\text{FB}})$.

T_{FB} : temps de propagation de l'onde acoustique sur la distance d_{FB} entre le transducteur 16 et le microphone interne 31, $T_{\text{FB}} = d_{\text{FB}} / c$, où c est la vitesse du son (342 m/s)

D_{FB} : délai de traitement entre l'entrée et la sortie du processeur de signaux numériques pour la chaîne de traitement anti-bruit interne 30

D_{FF} : délai de traitement entre l'entrée et la sortie du processeur de signaux numériques pour la chaîne de traitement anti-bruit externe 40

[0044] On considère maintenant un premier mode de réalisation dans lequel la chaîne de traitement anti-bruit externe 40 est supprimée.

[0045] Dans ce cas, le bruit résiduel s s'exprime au niveau du tympan sous la forme :

$$s(p) = 1 / (1 - \text{PlantFB} * \text{HFB} * \exp(-pT_{\text{FB}}) * \exp(-pD_{\text{FB}})) * (\text{HPA}) * \text{bext} \quad [\text{Math 2}]$$

[0046] Il est mesuré et traité depuis le microphone interne 31 seul.)

[0047] Comme le filtre 34 est formé de deux parties, à savoir un filtre d'annulation du bruit 34B ayant une fonction de transfert notée HFB2 et le filtre de stabilisation 34A de fonction de transfert HFBcorr, on a : HFB = HFBcorr * HFB2

[0048] Selon l'invention, la fonction de transfert HFBcorr est prise sensiblement égale à l'inverse de la fonction de transfert du chemin secondaire traité PlantFB, ie :

[Math 3]

$$\text{HFBcorr} * \text{PlantFB} \approx 1$$

5 **[0049]** Le filtre de stabilisation 34A est alors construit pour appliquer sensiblement cette fonction de transfert HFBcorr $\approx \text{PlantFB}^{-1}$.

10 **[0050]** Pour construire le filtre 34A, on procède d'abord, sur un casque complet mais sans programmation du filtre de traitement interne 34 dans le processeur de signaux numériques (DSP en anglais), à la mesure de la fonction de transfert PlantFB du chemin secondaire traité par mise en oeuvre d'une excitation du transducteur 16 par une fonction sinus de fréquence variable sur tout la gamme audio et mesure du signal obtenu par une oreille artificielle 14, ce qui permet de déterminer la valeur de Ha. Les valeurs des autres termes sont connues, celles-ci étant les fonctions de transfert de composants du commerce bénéficiant d'une documentation.

[0051] On calcul ensuite numériquement l'inverse PlantFB^{-1} de cette fonction de transfert.

15 **[0052]** La fonction de transfert PlantFB n'intégrant pas les retards $\exp(-pT_{\text{FB}})$ et $\exp(-pD_{\text{FB}})$, celle-ci est inversible et son inverse étant causale peut être réalisé par un filtre dans un système temps réel. C'est pourquoi les retards ne sont pas pris en compte dans la fonction de transfert du chemin secondaire traité. Sans cela, les termes constituant des retards seraient inversibles mais ne permettraient pas la construction d'un filtre mettant en oeuvre son inverse dans un système temps réel, ce filtre devant être alors anti-causal.

20 **[0053]** On construit alors un filtre de stabilisation 34A, de fonction de transfert HFBcorr reproduisant aussi fidèlement que possible la fonction de transfert PlantFB^{-1} .

25 **[0054]** Dans la pratique, le filtre de stabilisation 34A est construit de sorte que sa fonction de transfert est sensiblement égale à l'inverse de la fonction de transfert du chemin secondaire, sur toute la gamme audio, et notamment de 5 Hz à 50 Hz et de 1 kHz à 10 kHz, à une erreur près sur le gain de 5 dB, avantageusement de 1 dB, et avec un déphasage de +45 à -45° sur la phase corrigée de la phase linéaire due au retard pur résultant de la propagation dans l'air et du retard dû au processeur.

[0055] Le filtre est programmé et mis en oeuvre dans le processeur de signaux numériques (DSP en anglais). Il est avantageusement réalisé par une combinaison de plusieurs filtres cascades.

30 **[0056]** L'action du filtre de stabilisation 34A s'applique sur toute la gamme de fréquences autorisée par la fréquence d'échantillonnage (F_s) du processeur de signaux numériques (DSP en anglais). A titre d'exemple, si $F_s = 384$ kHz, la gamme de correction du filtre 34A est de 0 Hz à 192 kHz.

35 **[0057]** La seconde partie du filtre 34, constituée du filtre d'annulation du bruit 34B de fonction de transfert HFB2, est conçue pour que la stabilité soit assurée pour toutes les fréquences, tout en appliquant un gain le plus élevé possible dans la bande audio et notamment supérieur à 20 dB pour fournir des performances d'annulation du bruit maximales. Le filtre 34B est formé avantageusement d'un filtre proportionnel intégral (PI) ou d'un filtre étagé connu sous les termes de shelving filter en anglais.

[0058] Comme le bruit résiduel de la chaîne de traitement anti-bruit interne 30 avec seulement le microphone interne 31 est :

40
$$s(p) = 1 / (1 - \text{PlantFB} * \text{HFB} * \exp(-pT_{\text{FB}}) * \exp(-pD_{\text{FB}})) * (\text{HPA}) * \text{bext} \quad [\text{Math 2}]$$

[0059] En incorporant [Math 3] dans [Math 2], on obtient :

45
$$s(p) \approx 1 / (1 - \text{HFB2} * \exp(-pT_{\text{FB}}) * \exp(-pD_{\text{FB}})) * (\text{HPA}) * \text{bext}.$$

[0060] On comprend que la phase du dénominateur est seulement dépendant d'un pur retard, qui est la somme du temps T_{FB} de propagation physique de l'onde acoustique et du temps D_{FB} de traitement du processeur de signaux numériques (DSP en anglais), et de la phase du filtre d'annulation de bruit HFB2 repoussant dans la bande de fréquences, une annulation du dénominateur, ce qui est à l'origine du larsen. Celui-ci est ainsi évité, même si l'anti-bruit a un gain élevé sur une large gamme de fréquence.

[0061] Le résultat est représenté sur les figures 2 et 3.

[0062] Sur ces figures, l'inverse de la fonction de transfert PlantFB^{-1} est représenté en trait fin continu. Il est l'inverse mathématique exact de la fonction de transfert PlantFB mesurée expérimentalement sur le casque.

55 **[0063]** La fonction de transfert HFBcorr réelle du filtre de stabilisation 34A mis en oeuvre est représentée en trait pointillé. Ces deux courbes sont très proches comme expliqué précédemment.

[0064] Ainsi, la différence égale à $\text{PlantFB} * \text{HFBcorr}$ représentée en trait continu gras correspond à une fonction de transfert pratiquement plate en terme de gain (figure 2) et de phase (figure 3), la différence de phase aux hautes

EP 3 979 663 B1

fréquences étant due principalement aux purs retards du système, lorsque l'on considère :

$$D_{FB} = 11 \mu s$$

5

$$T_{FB} \sim 6 \mu s$$

[0065] On considère maintenant un deuxième mode de réalisation dans lequel la chaîne de traitement anti-bruit interne 30 est supprimée et seule la chaîne de traitement anti-bruit externe 40 est présente.

10

[0066] Dans ce cas, le bruit résiduel s s'exprime au niveau du tympan sous la forme :

$$s(p) = (HPA + PlantFF * HFF * \exp(-pT_{FB}) * \exp(-pD_{FF}) * H_{bext}) * b_{ext}$$

15

[0067] Il est mesuré et traité depuis le seul microphone externe 41.

[0068] De manière analogue pour la chaîne de traitement anti-bruit externe 40, le filtre d'annulation du bruit 44B ayant une fonction de transfert notée HFF2 et le filtre de stabilisation 44A de fonction de transfert HFFcorr, on a : $HFF = HFF_{corr} * HFF2$

20

[0069] Selon l'invention, la fonction de transfert HFFcorr est prise sensiblement égale à l'inverse de PlantFF, de sorte que :

[Math 5]

25

$$FF_{corr} * PlantFF \sim 1 \text{ ie } HFF_{corr} \sim PlantFF^{-1}.$$

[0070] Dans ce cas, le chemin secondaire traité est donné par :

30

$$PlantFF = Gadce * Gdac * H_{mice} * H_a$$

[0071] Pour construire le filtre 44A, on procède d'abord, sur un casque complet en l'absence du filtre de traitement interne 44, à la mesure de la fonction de transfert PlantFF du chemin secondaire traité en soumettant le transducteur 16 à une fréquence variable balayant la gamme audio et mesure du signal obtenu par une oreille artificielle 14

35

[0072] On calcul ensuite numériquement l'inverse $PlantFF^{-1}$ de cette fonction de transfert.

[0073] Dans la pratique, le filtre de stabilisation 44A est construit de sorte que, comme dans le mode de réalisation précédent sa fonction de transfert est sensiblement égale à l'inverse de la fonction de transfert du chemin secondaire, de 5 Hz à 50 Hz et de 1 kHz à 10 kHz, et avantageusement sur toute la gamme audio, à une erreur près sur le gain de 5 dB, avantageusement de 1 dB, et avec un déphasage de +45 à -45° sur la phase sans tenir compte de la phase linéaire due au retard pur résultant de la propagation dans l'air et du retard dû au processeur.

40

[0074] Le bruit résiduel est pour la seule chaîne de traitement anti-bruit externe 40 avec seulement le microphone externe 41 s'écrit sous la forme :

45

$$s(p) = (HPA + PlantFF * HFF * \exp(-pT_{FB}) * \exp(-pD_{FF}) * H_{bext}) * b_{ext} \quad [\text{Math 4}]$$

[0075] En incorporant [Math 5] dans [Math 4], on obtient :

50

$$s(p) = (HPA + HFF2 * \exp(-pT_{FB}) * \exp(-pD_{FF}) * H_{bext}) * b_{ext}$$

[0076] Cette forme permet de définir le filtre HFF2 sans avoir à prendre en compte de contraintes sur les autres éléments du système, ceux-ci étant réduits dans l'expression ci-dessus à un simple retard $\exp(-pT_{FF}) * \exp(-pD_{FF})$.

[0077] Le filtre 44 de fonction de transfert optimale notée HFFopt correspondant à l'annulation du bruit résiduel exprimé par [Math 4] est :

55

$$HFF_{opt} = - (HPA / H_{bext}) / (PlantFF) * \exp(-pT_{FB}) * \exp(-pD_{FF})$$

[0078] Le filtre d'annulation du bruit 44B est choisi de sorte que sa fonction de transfert soit égale à $HFF2 = - HPA / Hbext$, de sorte qu'ainsi le bruit résiduel est :

$$s(p) = HPA * (1 - \exp(-pT_{FB}) * \exp(-pD_{FF})) * bext$$

[0079] Les délais T_{FB} et D_{FF} étant petits, le produit des deux exponentielles $-\exp(-pT_{FB}) * \exp(-pD_{FF})$ est proche de 1 sur une large gamme de fréquence, de sorte que $(1 - \exp(-pT_{FB}) * \exp(-pD_{FF}))$ est très proche de zéro, ce qui correspond à une très forte atténuation du bruit sur une large gamme de fréquence.

[0080] On considère maintenant un troisième mode de réalisation dans lequel à la fois la chaîne de traitement anti-bruit interne 30 et la chaîne de traitement anti-bruit externe 40 sont présentes.

[0081] Le bruit résiduel s s'exprime, dans le domaine de Laplace, par l'expression :

$$s(p) = 1 / (1 - Plant_{FB} * HFB * \exp(-pT_{FB}) * \exp(-pD_{FB})) * (HPA + Plant_{FF} * HFF * \exp(-pT_{FB}) * \exp(-pD_{FF})) * Hbext * bext \quad [\text{Math 1}]$$

[0082] Dans ce cas, et comme précédemment les fonctions de transfert des filtres de traitement 34 et 44 s'expriment sous la forme :

$$HFB = HFB_{corr} * HFB2 \text{ avec } HFB_{corr} \text{ construite telle que } HFB_{corr} * Plant_{FB} \approx 1 \text{ et}$$

$$HFF = HFF_{corr} * HFF2 \text{ avec } HFF_{corr} \text{ construite telle que } HFF_{corr} * Plant_{FF} \approx 1$$

Le bruit résiduel s s'écrit alors :

$$s(p) = 1 / (1 - HFB2 * \exp(-pT_{FB}) * \exp(-pD_{FB})) * (HPA + HFF2 * \exp(-pT_{FB}) * \exp(-pD_{FF})) * Hbext * bext \quad [\text{Math 6}]$$

et avantageusement en choisissant

$HFF2 = - HPA / Hbext$ comme expliqué précédemment, on a :

$$s(p) = 1 / (1 - HFB2 * \exp(-pT_{FB}) * \exp(-pD_{FB})) * HPA * (1 - \exp(-pT_{FB}) * \exp(-pD_{FF})) * bext$$

[0083] Dans ce mode de réalisation, les avantages des deux modes de réalisation précédents sont combinés.

Revendications

1. Casque audio à réduction de bruit (10) comportant :

- un transducteur électro-acoustique (16) placé dans une cavité de restitution sonore (12) ;
- au moins une chaîne de traitement anti-bruit (30, 40) comportant :
 - un microphone (31, 41) de capture du son ambiant ;
 - un filtre de traitement anti-bruit (34, 44) d'un signal issu du microphone (31, 41) pour produire un signal anti-bruit ;
- des moyens (18, 20) d'application du signal anti-bruit pour l'excitation du transducteur électro-acoustique (16), dans lequel, pour la ou chaque chaîne de traitement anti-bruit (30, 40), le filtre de traitement anti-bruit (34, 44) comporte en série :
 - un filtre de stabilisation (34A, 44A) dont la fonction de transfert est égale à l'inverse (HFB_{corr} , HFF_{corr}) de la fonction de transfert d'un chemin secondaire traité ($Plant_{FB}$, $Plant_{FF}$), et

EP 3 979 663 B1

- un filtre d'annulation de bruit (34B, 44B) dont la fonction de transfert est une fonction de transfert d'annulation du bruit (HFB2, HFF2),

le chemin secondaire étant formé entre le transducteur électro-acoustique (16) et le tympan de l'utilisateur, et la fonction de transfert du chemin secondaire traité (Plant FB, Plant FF) étant la fonction de transfert prédéterminée du chemin secondaire affecté des fonctions de transfert de tous les composants assurant le traitement du microphone (31, 41) jusqu'au transducteur (16) dans la chaîne de traitement anti-bruit (30, 40), à l'exception du filtre de traitement anti-bruit (34, 44),

où le casque comporte une chaîne de traitement anti-bruit externe (40) parmi la au moins une chaîne de traitement anti-bruit (30, 40) ayant le microphone de capture du son ambiant (41), ce microphone étant un microphone externe (41) placé hors de la cavité de restitution sonore (12) ; et

dans la chaîne de traitement anti-bruit externe (40), la fonction de transfert d'annulation du bruit (HFF2) est égale à l'opposé du quotient de la fonction prédéterminée de transfert correspondant à l'atténuation passive de la cavité (12) par la fonction prédéterminée de transfert entre l'enveloppe externe de la cavité (12) et le microphone externe (41).

2. Casque audio à réduction de bruit (10) selon la revendication 1, où le filtre de stabilisation (34A, 44A) est construit de sorte que sa fonction de transfert (HFBcorr, HFFcorr) est égale à l'inverse de la fonction de transfert du chemin secondaire traité (Plant FB, Plant FF), de 5 Hz à 50 Hz et de 1 kHz à 10 kHz, à une erreur près sur le gain de 5 dB et avec un déphasage de +45 à -45° sur la phase corrigée de la phase linéaire due au retard pur résultant de la propagation dans l'air et au retard dû au traitement.

3. Casque audio à réduction de bruit (10) selon la revendication 1 ou 2, où le casque comporte, une chaîne de traitement anti-bruit interne (30) parmi la au moins une chaîne de traitement anti-bruit (30, 40) ayant un microphone interne (31) placé dans la cavité de restitution sonore (12).

4. Casque audio à réduction de bruit (10) selon la revendication 3, où, dans la chaîne de traitement anti-bruit interne (30), la fonction de transfert d'annulation du bruit (HFB2) a un gain supérieur à 20 dB sur toute la gamme audio.

5. Casque audio à réduction de bruit (10) selon la revendication 3 ou 4, où, dans la chaîne de traitement anti-bruit interne (30), le filtre de stabilisation (32A) est un filtre proportionnel intégrale ou un filtre étagé.

Patentansprüche

1. Kopfhörer mit Rauschunterdrückung (10) bestehend aus:

- einem elektroakustischen Wandler (16), der in einem Schallwiedergabehohlraum (12) angeordnet ist;
- mindestens einer Behandlungskette zur Rauschunterdrückung (30, 40) mit:

- einem Mikrofon (31, 41) zum Erfassen von Umgebungsgeräuschen;
- einem Filter zur Rauschunterdrückung (34, 44) eines Signals aus dem Mikrofon (31, 41), um ein Rauschunterdrückungssignal zu erzeugen;

- Mittel (18, 20) zur Anwendung der Rauschunterdrückung zur Anregung des elektroakustischen Wandlers (16), wobei für die oder jede Behandlungskette zur Rauschunterdrückung (30, 40) der Filter zur Rauschunterdrückung (34, 44) in Reihe umfasst:

- einen Stabilisierungsfilter (34A, 44A), dessen Übertragungsfunktion gleich dem Kehrwert (HFBcorr, HFFcorr) der Übertragungsfunktion eines verarbeiteten sekundären Pfades (Plant FB, Plant FF) ist, und
- einen Rauschunterdrückungsfilter (34B, 44B), dessen Übertragungsfunktion eine Rauschunterdrückungsübertragungsfunktion (HFB2, HFF2) ist,

wobei der sekundäre Pfad zwischen dem elektroakustischen Wandler (16) und dem Trommelfell des Benutzers gebildet wird, und

die Übertragungsfunktion des verarbeiteten sekundären Pfades (Plant FB, Plant FF) die vorbestimmte Übertragungsfunktion des sekundären Pfades ist, der die Übertragungsfunktionen aller Komponenten zugeordnet sind, die das Mikrofon (31, 41) bis zum Wandler (16) in der Behandlungskette zur Rauschunterdrückung (30, 40)

verarbeiten, mit Ausnahme des Filters zur Rauschunterdrückung (34, 44),
wobei der Kopfhörer

eine externe Behandlungskette zur Rauschunterdrückung (40) aus der mindestens einen Behandlungskette zur Rauschunterdrückung (30, 40) mit dem Mikrofon zum Erfassen von Umgebungsgeräuschen (41) umfasst,
wobei das Mikrofon ein externes Mikrofon (41) ist, das außerhalb des Schallwiedergabehohlraums (12) angeordnet ist; und

in der externen Behandlungskette zur Rauschunterdrückung (40) ist die Rauschunterdrückungsübertragungsfunktion (HFF2) gleich dem Gegenteil des Quotienten aus der vorbestimmten Übertragungsfunktion, die der passiven Dämpfung des Hohlraums (12) entspricht, durch die vorbestimmte Übertragungsfunktion zwischen der Außenhülle des Hohlraums (12) und dem externen Mikrofon (41).

2. Kopfhörer mit Rauschunterdrückung (10) nach Anspruch 1, wobei der Stabilisierungsfiler (34A, 44A) so konstruiert ist, dass seine Übertragungsfunktion (HFBcorr, HFFcorr) gleich dem Kehrwert der Übertragungsfunktion des verarbeiteten sekundären Pfads (Plant FB, Plant FF) ist, von 5 Hz bis 50 Hz und von 1 kHz bis 10 kHz, mit einem Verstärkungsfehler von 5 dB und einer Phasenverschiebung von +45 bis -45° gegenüber der linear korrigierten Phase aufgrund der reinen Verzögerung, die aus der Ausbreitung in der Luft resultiert, und der Verzögerung aufgrund der Verarbeitung.
3. Kopfhörer mit Rauschunterdrückung (10) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Kopfhörer eine interne Behandlungskette zur Rauschunterdrückung (30) umfasst, wobei die mindestens eine Behandlungskette zur Rauschunterdrückung (30, 40) ein internes Mikrofon (31) aufweist, das in dem Schallwiedergabehohlraum (12) angeordnet ist.
4. Kopfhörer mit Rauschunterdrückung (10) nach Anspruch 3, wobei in der internen Behandlungskette zur Rauschunterdrückung (30) die Rauschunterdrückungs-Transferfunktion (HFB2) eine Verstärkung von mehr als 20 dB über den gesamten Audiobereich aufweist.
5. Kopfhörer mit Rauschunterdrückung (10) nach Anspruch 3 oder 4, wobei in der internen Behandlungskette zur Rauschunterdrückung (30) der Stabilisierungsfiler (32A) ein Integralproportionalfilter oder ein Stufenfilter ist.

Claims

1. Noise-cancelling headphones (10) comprising:

- an electro-acoustic transducer (16) placed in a sound reproduction cavity (12);
- at least one noise-canceling processing chain (30, 40) comprising:

- a microphone (31, 41) to capture ambient sound;
- a noise-canceling filter (34, 44) to process the signal from the microphone (31, 41) to produce a noise-canceling signal;

- means (18, 20) for applying the noise-canceling signal to drive the electro-acoustic transducer (16), wherein, for the or each noise-canceling processing chain (30, 40), the noise cancelling processing filter (34, 44) comprises in series:

- a stabilisation filter (34A, 44A) whose transfer function is equal to the inverse (HFBcorr, HFFcorr) of the transfer function of a processed secondary path (Plant FB, Plant FF), and
- a noise cancellation filter (34B, 44B) whose transfer function is a noise cancellation transfer function (HFB2, HFF2),

the secondary path being formed between the electro-acoustic transducer (16) and the user's eardrum, and the transfer function of the processed secondary path (Plant FB, Plant FF) being the predetermined transfer function of the secondary path combined with the transfer functions of all the components providing processing from the microphone (31, 41) up to the transducer (16) in the noise-cancellation processing chain (30, 40), except for the noise-canceling processing filter (34, 44), wherein the headphones comprises an external noise-cancellation processing chain (40) among said at least one noise-canceling processing chain (30, 40) having the microphone (41) to capture ambient sound, this microphone being an external microphone (41) placed in the sound reproduction cavity (12); and

EP 3 979 663 B1

in the external noise-cancellation processing chain (40), the noise cancellation transfer function (HFF2) is equal to the opposite of the quotient of the predetermined transfer function corresponding to the passive attenuation of the cavity (12) and the predetermined transfer function between the outer envelope of the cavity (12) and the external microphone (41).

- 5
2. Noise-canceling headphones (10) according to claim 1, wherein the stabilisation filter (34A, 44A) is constructed so that its transfer function (HFBcorr, HFFcorr) is equal to the inverse of the transfer function of the processed secondary path (Plant FB, Plant FF), from 5 Hz to 50 Hz and from 1 kHz to 10 kHz, to within 5 dB of gain and with a phase shift of +45 to -45° on the corrected phase of the linear phase due to the pure delay resulting from propagation in air and from the delay due to the processor.
- 10
3. Noise-canceling headphones (10) according to claim 1 or 2, wherein the headphones comprises an internal noise-canceling processing chain (30) among said at least one noise-canceling processing chain (30, 40) having an internal microphone (31) placed in the sound reproduction cavity (12).
- 15
4. Noise canceling headphones (10) according to claim 3, wherein that, in the internal noise cancelling processing chain (30), the noise cancelling transfer function (HFB2) has a gain greater than 20 dB over the entire audio range.
- 20
5. Noise-canceling headphones (10) according to claim 3 or 4, wherein in the internal noise-processing chain (30), the stabilisation filter (32A) is a proportional integral filter or a shelving filter.
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

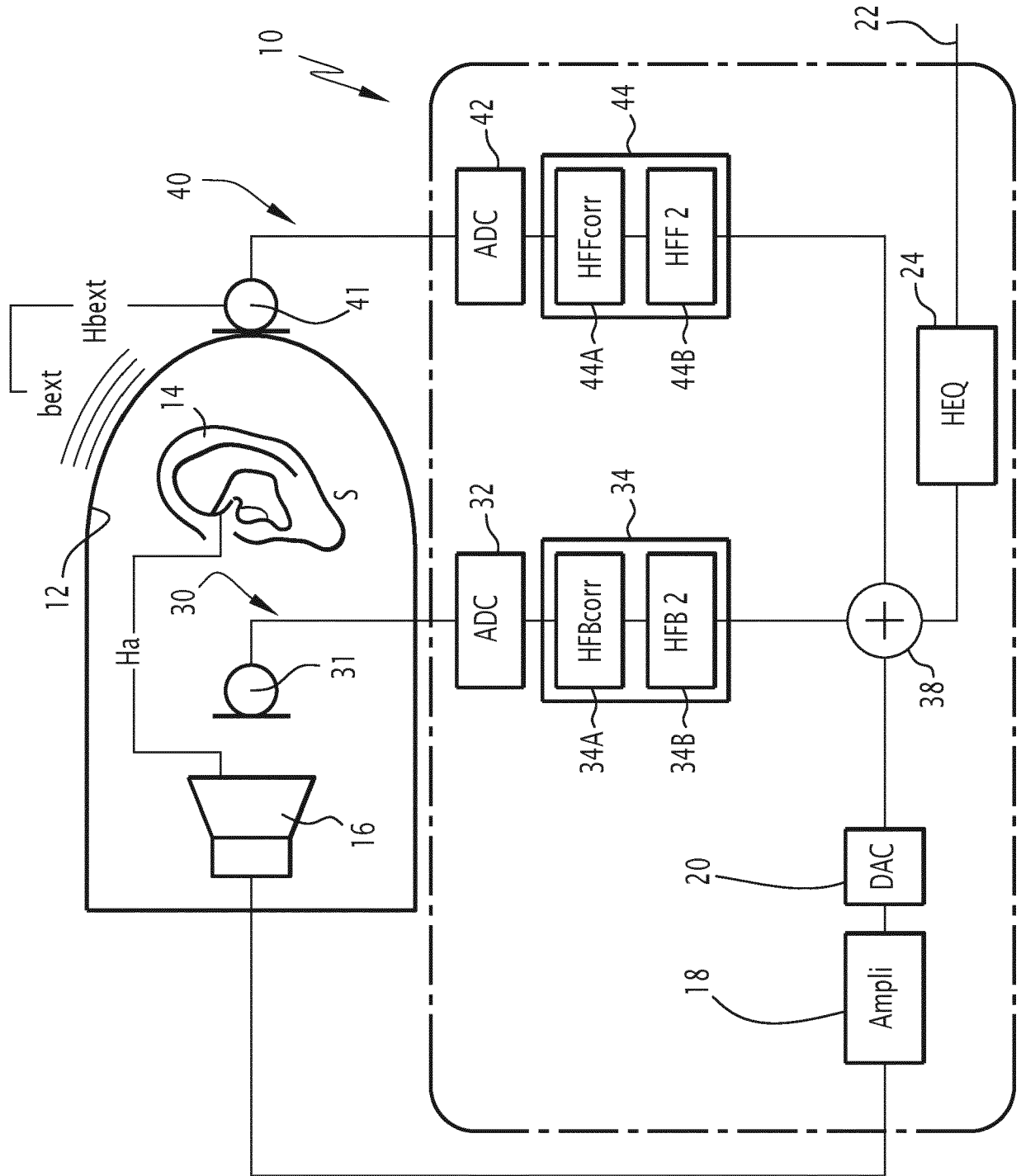


FIG.1

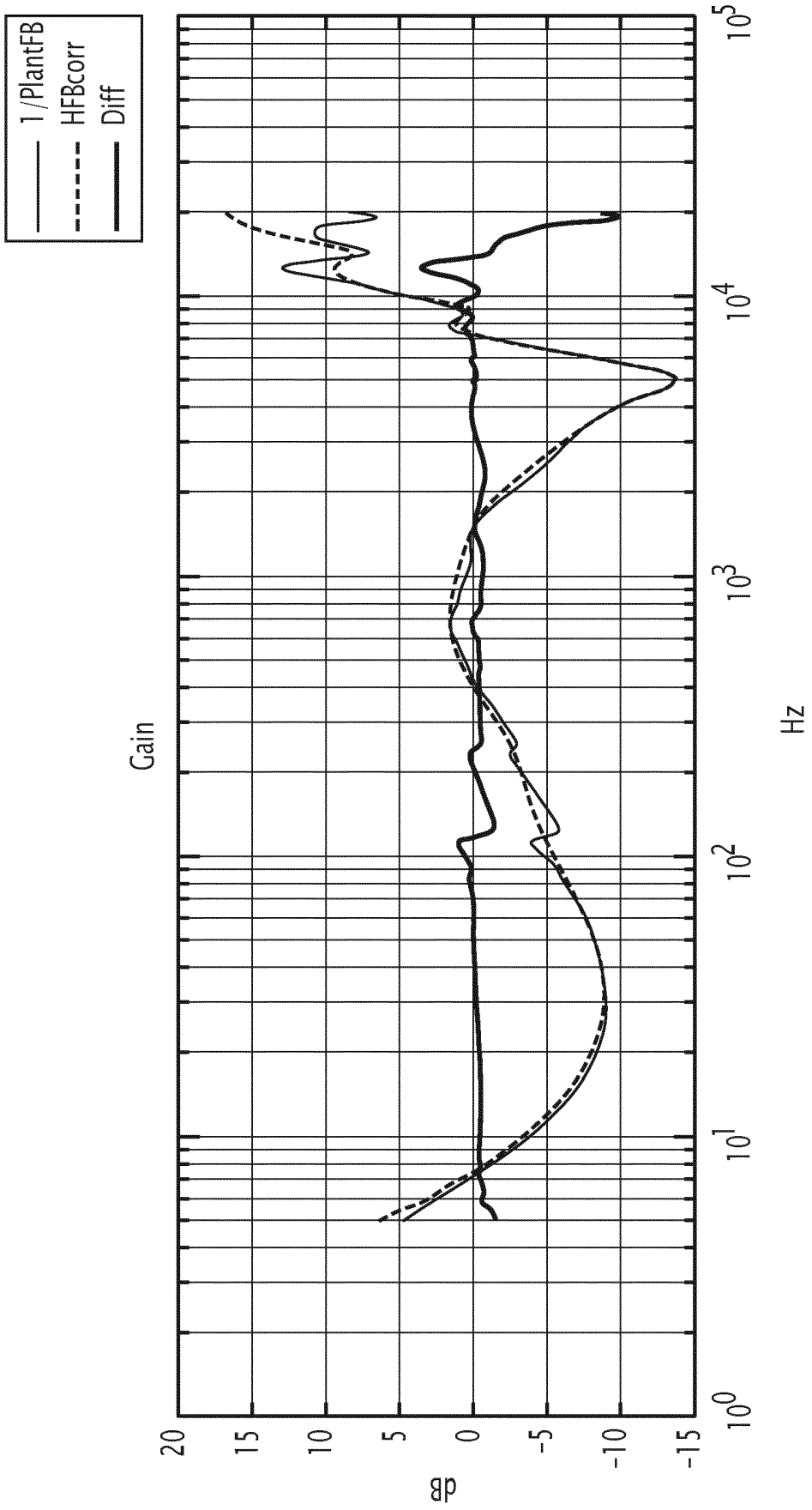


FIG.2

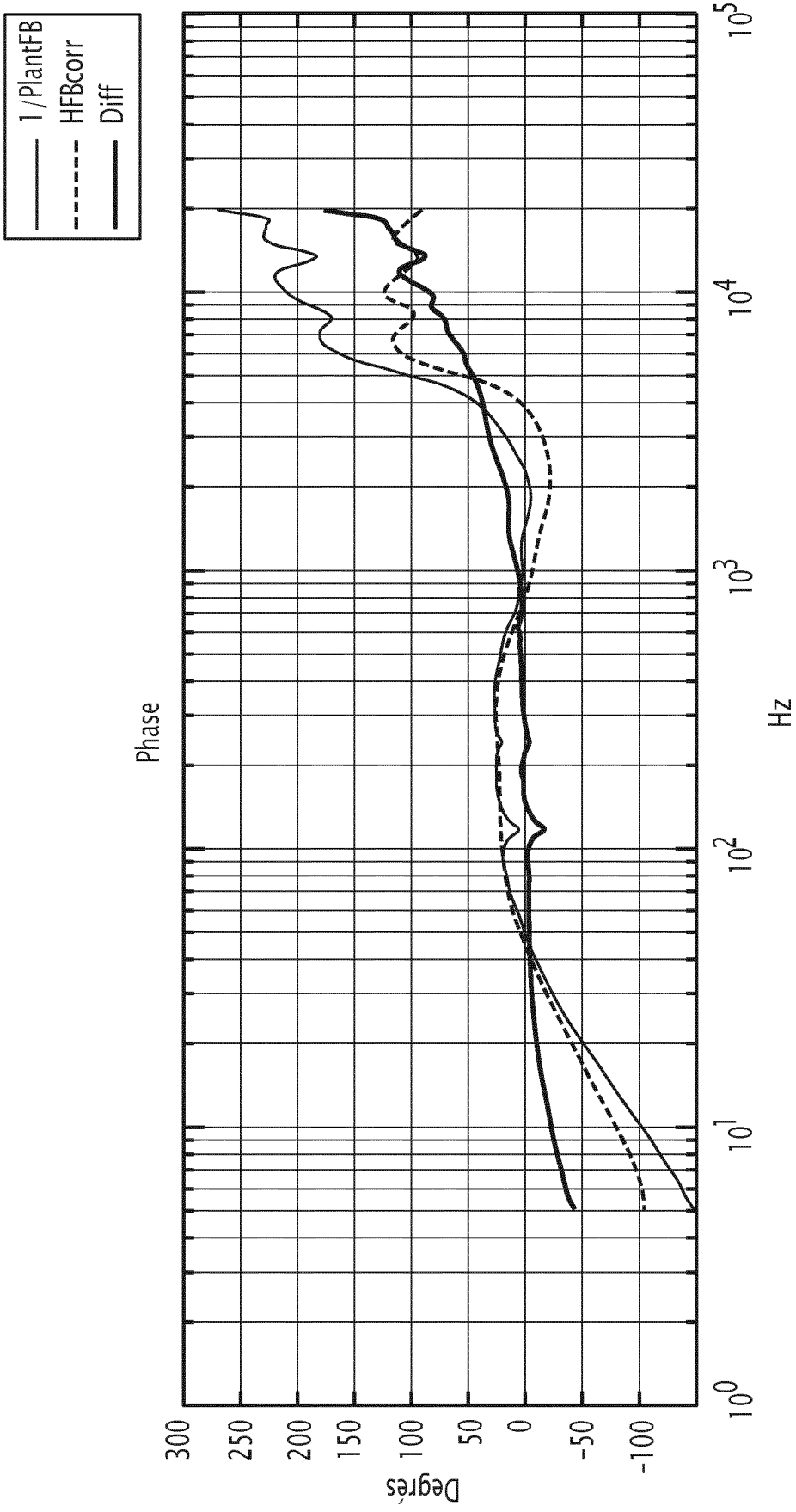


FIG.3

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- US 2010274369 A1 [0009]
- EP 1923864 A2 [0009]
- US 2009080670 A1 [0009]
- EP 2830324 A1 [0009]