



(11) **EP 4 040 810 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
09.10.2024 Bulletin 2024/41

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H04S 7/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **22155464.5**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H04S 7/301; H04R 2499/13

(22) Date de dépôt: **07.02.2022**

(54) **PROCÉDÉ POUR LE RÉGLAGE AUTOMATISÉ DE PARAMÈTRES DE TRAITEMENTS
NUMÉRIQUES APPLIQUÉS À DES SIGNAUX AVANT DIFFUSION PAR DES HAUT-PARLEURS
ET DISPOSITIF POUR LA MISE EN OEUVRE D'UN TEL PROCÉDÉ**

VERFAHREN ZUR AUTOMATISIERTEN EINSTELLUNG VON PARAMETERN FÜR DIE DIGITALE
VERARBEITUNG, DIE AUF SIGNALE VOR DER AUSSTRAHLUNG ÜBER LAUTSPRECHER
ANGEWENDET WERDEN, UND VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG EINES SOLCHEN
VERFAHRENS

METHOD FOR AUTOMATED ADJUSTMENT OF PARAMETERS FOR DIGITAL PROCESSING
APPLIED TO SIGNALS BEFORE BROADCASTING BY LOUDSPEAKERS AND DEVICE FOR
IMPLEMENTING SUCH A METHOD

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **09.02.2021 FR 2101220**

(43) Date de publication de la demande:
10.08.2022 Bulletin 2022/32

(73) Titulaire: **Arkamys
92300 Levallois-Perret (FR)**

(72) Inventeurs:
• **POUGET, Maël
46110 VAYRAC (FR)**
• **ROSSI FERRARI, Guillaume
92700 COLOMBES (FR)**

(74) Mandataire: **Ipside
6, Impasse Michel Labrousse
31100 Toulouse (FR)**

(56) Documents cités:
**EP-A1- 2 257 083 US-A1- 2005 053 246
US-A1- 2012 224 701**

EP 4 040 810 B1

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

Description**Domaine technique**

- 5 **[0001]** La présente invention se rapporte au domaine du traitement du signal sonore.
[0002] Plus particulièrement, la présente invention concerne un procédé pour le réglage automatisé de paramètres de traitements du signal appliqués à des signaux diffusés au moyen de haut-parleurs situés dans un environnement donné et un dispositif pour la mise en oeuvre d'un tel procédé.
 10 **[0003]** L'invention trouve une application particulière dans le domaine de l'automobile, et en particulier dans la définition d'une ambiance sonore dans un habitacle d'un véhicule.

Technique antérieure

- 15 **[0004]** Généralement, des paramètres de filtres à appliquer aux haut-parleurs d'un véhicule pour obtenir une ambiance sonore donnée dans une voiture sont ajustés manuellement par un opérateur, l'ambiance sonore étant évaluée « à l'oreille » par l'opérateur qui ajuste les paramètres en fonction de ce qu'il perçoit.
[0005] Il est connu de l'art antérieur un procédé et un système d'égalisation acoustique automatisé. Le brevet européen EP 3 111 667 et le document US2012224701 divulguent un procédé permettant de fournir une égalisation d'un signal en déterminant des paramètres de filtres à appliquer en entrée des haut-parleurs permettant de réduire l'écart entre
 20 l'amplitude d'une réponse fréquentielle de l'environnement des haut-parleurs et une réponse fréquentielle cible.

Exposé de l'invention

- 25 **[0006]** La présente invention concerne un procédé pour le réglage automatisé de paramètres de traitements numériques selon la revendication 1.
[0007] Un avantage de la présente invention est qu'elle permet un réglage plus complet et plus précis des paramètres de traitements numériques par rapport à l'art antérieur.
[0008] Dans un mode de mise en oeuvre, l'étape d'égalisation, appliquée à un sous-ensemble d'au moins un haut-parleur, comporte les sous-étapes suivantes :
 30 - une sous-étape d'application d'un filtre shelf au cours de laquelle il est déterminé un filtre shelf à appliquer à l'au moins un haut-parleur pour minimiser un écart entre la courbe de réponse fréquentielle déterminée lors de l'étape de détermination d'un ensemble de réponses fréquentielles et la réponse fréquentielle cible ;
 35 - une sous-étape d'ajustement de courbe au cours de laquelle des paramètres de filtres réjecteurs de bande sont déterminés pour minimiser un écart entre la courbe de réponse fréquentielle déterminée lors de la sous-étape d'application d'un filtre shelf et la réponse fréquentielle cible ;
 - une sous-étape d'optimisation au cours de laquelle les filtres réjecteurs sont triés au moyen de critères appliqués aux paramètres desdits filtres ;
 40 - une sous-étape de vérification au cours de laquelle la réponse fréquentielle de l'environnement est mesurée en appliquant au sous-ensemble de l'au moins un haut-parleur les filtres shelf, réjecteurs de bande déterminés au cours des sous-étapes précédentes, et au cours de laquelle la réponse fréquentielle mesurée est comparée à la réponse fréquentielle attendue théoriquement après la sous-étape d'optimisation.
[0009] Dans un mode de mise en oeuvre, le nombre de filtres réjecteurs de bande utilisés lors de la sous-étape
 45 d'ajustement de courbe est au moins égal au nombre de maxima locaux de la courbe de réponse fréquentielle obtenue à l'issue de la sous-étape d'application d'un filtre shelf.
[0010] Dans un mode de mise en oeuvre, les filtres réjecteurs de bande sont supprimés au cours de la sous-étape d'optimisation s'ils présentent un gain supérieur à un gain maximal seuil G_{th_max} et un facteur de qualité inférieur à un facteur de qualité minimal seuil Q_{th_min} .
 50 **[0011]** Dans un mode de mise en oeuvre, l'au moins un retard est déterminé au moyen de M mesures réalisées en un point de référence ou dans un voisinage dudit point de référence comme étant la fraction entière $(k \times \tau_{max})/M$ permettant de maximiser l'énergie sur une bande de fréquences donnée au préalable, avec k entier compris entre 1 et M, et τ_{max} désignant un retard maximal.
[0012] Dans un mode de mise en oeuvre, la bande de fréquences considérée comprend la bande de fréquences
 55 [70Hz ; 120Hz].
[0013] Dans un mode de mise en oeuvre, lors de l'étape de détermination d'un ensemble de réponses fréquentielles, lesdites réponses fréquentielles sont déterminées au moyen d'au moins un ensemble d'au moins un microphone, lesdites réponses étant moyennées sur chacun des ensembles de microphones.

[0014] L'invention concerne également un dispositif pour le réglage automatisé de paramètres de traitements numériques selon la revendication 8.

Brève description des dessins

[0015]

[Fig. 1] représente un habitacle de véhicule comprenant des haut-parleurs et dans lequel des microphones sont positionnés au niveau du siège conducteur et au niveau du siège arrière pour réaliser un ensemble de mesures de réponses fréquentielles.

[Fig. 2] représente un diagramme schématique du procédé selon l'invention.

[Fig. 3A] représente les spectres fréquentiels d'une réponse fréquentielle cible et de deux réponses fréquentielles mesurées dans le véhicule.

[Fig. 3B] représente les spectres fréquentiels d'une réponse fréquentielle mesurée et de cette même réponse fréquentielle à laquelle est appliqué un filtre de type « shelf ».

[Fig. 3C] représente les spectres fréquentiels d'une réponse fréquentielle mesurée à laquelle est appliqué un filtre de type « shelf » et de cette même réponse fréquentielle après application des filtres de type réjecteur de bande.

[Fig. 3D] représente les spectres fréquentiels d'une réponse fréquentielle théorique obtenue après application des filtres de type « shelf » et réjecteur de bande et une réponse fréquentielle mesurée dans l'habitacle du véhicule avec application des filtres déterminés au moyen du procédé selon l'invention.

[Fig. 4] représente la réponse fréquentielle cible et la réponse fréquentielle cible secondaire.

Description détaillée

[0016] L'invention concerne un procédé 100 pour le réglage automatisé de paramètres de filtres appliqués à des haut-parleurs situés dans un environnement donné.

[0017] A titre illustratif, comme illustré sur la figure 1, l'environnement considéré dans la suite de la description est un habitacle de véhicule 1. Cet exemple n'est pas limitatif de l'invention qui peut être mise en oeuvre dans d'autres types d'environnement, par exemple une salle de spectacle.

[0018] Il est considéré ici un ensemble de quatre haut-parleurs, dont deux haut-parleurs avant HP1, HP2 disposés dans des portières avant gauche et droite du véhicule 1, et deux haut-parleurs HP3, HP4 disposés au niveau des portes arrière gauche et droite dudit véhicule. L'homme du métier comprendra que l'invention peut s'appliquer à un nombre différent de haut-parleurs.

[0019] En référence à la figure 2, une première étape du procédé 100 consiste à déterminer un ensemble de réponses fréquentielles 110 de l'habitacle du véhicule.

[0020] On entend par « réponse fréquentielle » la réponse en fréquence de l'habitacle du véhicule à un signal temporel de type sinus glissant (« *sine sweep* » en terminologie anglo-saxonne). Dans l'exemple illustré, la réponse fréquentielle est déterminée au moyen d'un ensemble de quatre microphones 2A disposés au niveau du siège conducteur de l'habitacle, ou au moyen d'un ensemble de quatre microphones 2B disposés à l'arrière, au niveau d'un siège passager. L'ensemble de microphones utilisé (avant ou arrière) dépend des haut-parleurs utilisés, comme il sera compris par la suite. Les mesures obtenus au niveau des microphones d'un ensemble de microphones (avant ou arrière) sont moyennées pour obtenir une réponse fréquentielle moyenne sur ledit ensemble. Un tel moyennage permet ainsi de lisser les mesures et diminuer l'impact de potentielles erreurs et ou incertitudes de mesure. L'homme du métier comprendra qu'un nombre quelconque de microphones peut être utilisé. Une première réponse fréquentielle RF1 est déterminée au moyen d'un moyennage des mesures issues des quatre microphones en diffusant le signal de type sinus glissant dans les deux haut-parleurs HP1, HP2 situés à l'avant, les deux haut-parleurs situés à l'arrière étant inactifs. Pour mesurer la première réponse fréquentielle RF1, l'ensemble des microphones placés à l'avant est utilisé.

[0021] Une seconde réponse fréquentielle RF2 est ensuite déterminée au moyen d'un moyennage des mesures issues des quatre microphones en diffusant le signal de type sinus glissant dans les deux haut-parleurs HP3, HP4 situés à l'arrière, les deux haut-parleurs situés à l'avant étant inactifs. Pour mesurer la première réponse fréquentielle RF2, l'ensemble des microphones placés à l'arrière est utilisé.

[0022] Il est ainsi déterminé à l'issue de l'étape de détermination d'un ensemble de réponses fréquentielles 110 un ensemble de deux réponses fréquentielles RF1, RF2 comme illustré sur la figure 3A.

[0023] Il est ensuite réalisé lors d'une seconde étape du procédé 100, une première égalisation 120. L'objectif de cette étape est de déterminer un ensemble de filtres Hi à appliquer aux signaux diffusés par les haut-parleurs HP1, HP2, HP3, HP4 du véhicule pour se rapprocher au mieux d'une réponse fréquentielle cible RF,c, laquelle est une réponse fréquentielle définie préalablement au procédé, par exemple dans un ensemble de spécifications.

[0024] Par souci de simplification, on ne considère par la suite que la détermination de filtres à appliquer aux haut-

parleurs avant HP1, HP2, étant entendu que la détermination des filtres à appliquer aux haut-parleurs arrière HP3, HP4 est similaire.

[0025] L'étape d'égalisation 120 est donc appliquée avec uniquement les haut-parleurs avant HP1, HP2 (respectivement arrière HP3, HP4) en marche pour la détermination des filtres à appliquer aux haut-parleurs avant HP1, HP2 (respectivement arrière HP3, HP4).

[0026] Pour la détermination des filtres à appliquer aux haut-parleurs avant HP1, HP2, il est considéré la première réponse fréquentielle RF1.

[0027] Pour la détermination des filtres à appliquer aux haut-parleurs arrière HP3, HP4, il est considéré la seconde réponse fréquentielle RF2.

[0028] L'étape d'égalisation 120 comporte une première sous-étape d'application d'un filtre Hshelf de type « shelf » 121, ou filtre à plateau. La nature du filtre Hshelf dépend des balances tonales de la première réponse fréquentielle RF1 (respectivement de la seconde réponse fréquentielle RF2) et de la réponse fréquentielle cible RF,c. Ainsi, le filtre Hshelf pourra être de type « high-shelf » ou « low-shelf » suivant la balance tonale de ces courbes.

[0029] On entend par « balance tonale » l'allure de la courbe d'amplitude en fonction de la fréquence.

[0030] Dans tous les cas, le filtre shelf Hshelf utilisé permet de minimiser un écart entre la réponse fréquentielle RF1 (respectivement réponse fréquentielle RF2) et la réponse fréquentielle cible RF,c. Cet écart pourra par exemple être caractérisé par deux paramètres : une distance entre les courbes calculée via la moyenne quadratique de la différence entre les deux courbes, et un indice de régularité correspondant à la dérivée de la différence entre lesdites courbes.

[0031] Par exemple, un filtre low-shelf peut être privilégié si un écart entre la réponse fréquentielle RF1 (respectivement réponse fréquentielle RF2) et la réponse fréquentielle cible RF,c est plus important dans les basses fréquences que dans les hautes fréquences. Dans le cas contraire, un filtre de type high-shelf peut être privilégié.

[0032] On obtient, à l'issue de cette sous-étape d'application du filtre shelf 121 :

- un ensemble de paramètres Pshelf comprenant par exemple les fréquences du pôle et du zéro du filtre shelf ;
- une réponse fréquentielle RF1,sh modifiée, comme illustré sur la figure 3B.

[0033] L'étape d'égalisation 120 comporte ensuite une seconde sous-étape d'ajustement de courbe 122 au cours de laquelle des filtres réjecteurs de bande Hnotch (« notch filter » en terminologie anglo-saxonne) sont déterminés.

[0034] Dans un mode de mise en oeuvre du procédé de l'invention, il y a au moins autant de filtres réjecteurs de bande Hnotch que de maxima locaux sur la courbe de réponse fréquentielle RF1,sh telle qu'obtenue à l'issue de la sous-étape d'application du filtre shelf 121, chaque filtre réjecteur de bande Hnotch ayant pour effet de diminuer l'amplitude de la réponse fréquentielle sur une bande de fréquences autour d'une fréquence centrale fc.

[0035] Il convient de noter que des filtres passe-bande pourraient être également déterminés lors de cette étape. Toutefois, leur utilisation est évitée afin d'éviter l'amplification du bruit inclus dans le signal diffusé.

[0036] Chaque fréquence associée à un maximum local appartient donc à une bande de fréquences ciblée par l'un des filtres réjecteurs de bande Hnotch.

[0037] On obtient, à l'issue de cette sous-étape d'ajustement de courbe 122 :

- un ensemble de paramètres Pnotch des filtres réjecteurs de bande Hnotch permettant de minimiser un écart entre la réponse fréquentielle RF1,sh obtenue suite à la sous-étape précédente et la réponse fréquentielle cible RF,c. Comme mentionné précédemment, cet écart pourra par exemple être caractérisé par deux paramètres : une distance entre les courbes calculée via la moyenne quadratique de la différence entre les deux courbes, et un indice de régularité correspondant à la dérivée de la différence entre lesdites courbes ;
- une réponse fréquentielle RF1,n modifiée, comme illustré sur la figure 3C.

[0038] Les paramètres Pnotch comprennent par exemple des facteurs de qualité Qnotch, des gains Gnotch, des fréquences centrales fc.

[0039] L'étape d'égalisation 120 comporte ensuite une sous-étape d'optimisation 123. Les paramètres des filtres obtenus lors de la sous-étape d'ajustement de courbe 122 peuvent être tels que la présence de certains filtres réjecteurs de bande Hnotch s'avère en réalité peu utile, voire nuit à l'obtention d'un résultat optimal.

[0040] Au cours de la sous-étape d'optimisation 123, les filtres réjecteurs sont triés au moyen de critères appliqués aux paramètres desdits filtres.

[0041] Dans un mode de mise en oeuvre, ces critères sont prédéfinis en amont, mais ils peuvent également être fixés par un opérateur à ce stade du procédé et peuvent éventuellement être définis de manière dynamique.

[0042] A titre d'exemple non limitatif, les filtres peuvent être supprimés s'ils présentent un couple gain / facteur de qualité défavorable, c'est-à-dire un gain important supérieur à un gain maximal seuil G_th_max et un facteur de qualité peu élevé, inférieur à un facteur de qualité minimal seuil Q_th_min. En effet, pour un gain important associé à un faible facteur de qualité, les filtres risquent d'agir de manière conséquente sur une ou plusieurs bandes de fréquences déjà

contrôlées par un ou plusieurs autres filtres. A titre d'exemple non limitatif, le gain maximal seuil G_{th_max} est par exemple de 7 dB, et le facteur de qualité minimal seuil Q_{th_min} égal à 2. Ces valeurs seuils dépendent de la qualité recherchée lors de l'étape d'égalisation 120.

[0043] Si des filtres ont été supprimés à l'issue de cette sous-étape d'optimisation 123, on procède à nouveau à la sous-étape d'ajustement de courbe 122, les paramètres des filtres non supprimés sont alors tous réajustés. Il est ensuite à nouveau procédé à la sous-étape d'optimisation 123, jusqu'à ce qu'il soit considéré que tous les filtres utilisés sont bien pertinents en regard des critères mis en place lors de ladite sous-étape d'optimisation. Les sous-étapes d'ajustement de courbe 122 et d'optimisation 123 sont donc mises en oeuvre autant de fois que nécessaire jusqu'à ce que les filtres définissent un ensemble pertinent répondant aux critères mentionnés plus haut.

[0044] Bien entendu, si des filtres passe-bandes ont été mis en oeuvre précédemment, certains pourront également être supprimés si nécessaire, sur la base de critères similaires.

[0045] Le caractère conditionnel du retour à la sous-étape d'ajustement de courbe 122 est symbolisé sur la figure 2 par une flèche en trait interrompu reliant la sous-étape d'optimisation 123 à la sous-étape d'ajustement de courbe 122.

[0046] Dans un mode de mise en oeuvre, les paramètres P_{shelf} déterminés lors de la sous-étape d'application d'un filtre shelf 121 sont également testés pour s'assurer de l'intérêt du filtre shelf H_{shelf} déterminé. Dans ce cas, la sous-étape 121 est également susceptible d'être à nouveau mise en oeuvre.

[0047] Il est envisageable que les mesures réalisées lors de l'étape de détermination des réponses fréquentielles 110 du véhicule soient faussées, du fait de la présence d'un signal de bruit survenu lors des mesures.

[0048] Le signal de bruit peut être de sources variées. Il peut s'agir d'un signal continu ou ponctuel, et peut être intérieur ou extérieur au véhicule. Il peut s'agir par exemple d'une soufflerie, d'un claquement de portes, ou de non-linéarités faisant apparaître des harmoniques, par exemple une vibration d'éléments intérieurs au véhicule telle qu'une vibration des portes ou d'éléments mobiles des haut-parleurs.

[0049] Un tel signal de bruit modifie l'amplitude de certaines fréquences dans la mesure de la réponse fréquentielle déterminée à l'étape de détermination d'un ensemble de réponses fréquentielles 110. Les sous-étapes d'application d'un filtre shelf 121, d'ajustement de courbe 122 et d'optimisation 123 se basant sur la réponse fréquentielle mesurée, le signal de bruit est donc pris en compte lors de la détermination des filtres.

[0050] En présence d'un signal de bruit, la détermination des filtres est donc susceptible d'être faussée, puisque :

- si le signal de bruit est ponctuel, les filtres vont agir en intégrant ce signal de bruit qui a disparu après la mesure ;
- en présence d'un signal continu ou de non-linéarités, les actions des filtres sur les fréquences liées au bruit seront limitées voire nulles, car les composantes fréquentielles concernées sont soit indépendantes de l'acoustique du véhicule, soit des harmoniques générées par une fondamentale de fréquence inférieure.

[0051] Il est donc procédé à une sous-étape de vérification 124 au cours de laquelle de nouvelles mesures de réponses fréquentielles sont réalisées selon le même principe qu'à l'étape 110 de détermination des réponses fréquentielles, en filtrant toutefois les signaux avec les filtres déterminés au cours des sous-étapes précédentes 121, 122, 123 de l'étape d'égalisation 120. Pour les haut-parleurs avant, les mesures seront réalisées en utilisant les filtres déterminés à partir de la première réponse fréquentielle RF1. Pour les haut-parleurs arrière, les mesures sont réalisées en utilisant les filtres déterminés à partir de la seconde réponse fréquentielle RF2.

[0052] En référence à la figure 3D, il est ainsi obtenu, en moyennant les signaux obtenus sur l'ensemble des microphones placés à l'avant 2A (respectivement à l'arrière 2B), une courbe mesurée de réponse fréquentielle $RF1_{n,m}$, qui est comparée avec la courbe $RF1_{n}$ théorique déduite des paramètres déterminés au cours des sous-étapes précédentes et de la première réponse fréquentielle $RF1$ mesurée au cours de l'étape de détermination d'un ensemble de réponses fréquentielles 110. Dans le cas où des écarts importants sont constatés entre les deux courbes, les sous-étapes d'application d'un filtre shelf 121, d'ajustement de courbe 122 et d'optimisation 123 sont à nouveau mises en oeuvre avec la courbe de réponse fréquentielle $RF1_{n,m}$ nouvellement mesurée afin de compenser les erreurs.

[0053] Le caractère conditionnel d'une nouvelle mise en oeuvre de ces sous-étapes est symbolisé sur la figure 2 par une flèche en trait interrompu reliant la sous-étape de vérification 124 à la sous-étape d'application d'un filtre shelf 121.

[0054] L'importance des écarts d'amplitude entre courbes mesurée et théorique pourra être appréciée au moyen de critères prédéfinis, par exemple un écart peut être considéré comme important s'il est supérieur ou égal à 3dB. Ces critères peuvent aussi être variables en fonction de la fréquence.

[0055] Avantagusement, la nouvelle courbe mesurée de réponse fréquentielle $RF1_{m}$, est comparée la réponse fréquentielle $RF1$ mesurée au cours de l'étape 110 de détermination des réponses fréquentielles, afin d'identifier des potentielles fréquences ou bandes de fréquences pas ou peu atténuées malgré l'action des filtres ; ces potentielles fréquences ou bandes de fréquences sont révélatrices d'un signal de bruit sur lequel il n'est pas possible d'agir par le biais des filtres (non-linéarités ou bruit extérieur par exemple). Si de telles fréquences sont identifiées, elles seront ignorées lors d'une nouvelle mise en oeuvre potentielle des sous-étapes d'application d'un filtre shelf 121, d'ajustement de courbe 122 et d'optimisation 123.

[0056] Comme précisé plus haut, l'étape d'égalisation 120 est appliquée séparément aux haut-parleurs avant HP1, HP2 et aux haut-parleurs arrière HP3, HP4, la première réponse fréquentielle RF1 étant considérée dans le premier cas, et la seconde réponse fréquentielle RF2 étant considérée dans le second cas.

[0057] Dans le mode de mise en oeuvre illustré, le procédé 100 comporte une troisième étape de déphasage 130 des haut-parleurs arrière HP3, HP4.

[0058] Du fait des distances différentes de chacun des haut-parleurs au siège conducteur (pris comme point de référence dans l'exemple de mise en oeuvre du procédé décrit ici), il apparaît des déphasages entre les signaux diffusés par chacun des haut-parleurs lorsque les signaux diffusés parviennent au niveau du siège conducteur. Un inconvénient de ces déphasages est qu'il y a un risque d'obtenir ainsi des interférences destructives entre les signaux, entraînant un faible niveau de signal utile reçu par le conducteur, lequel niveau de signal utile risque d'être insuffisant pour masquer un signal de type bruit.

[0059] Afin d'éviter cela, lors de l'étape de déphasage 130, il est appliqué un retard (« delay » en terminologie anglo-saxonne) aux signaux diffusés par les haut-parleurs arrière HP3, HP4 et il est mesuré un niveau de signal reçu au niveau du siège conducteur, au moyen d'un ou plusieurs microphones.

[0060] Dans un mode préféré de mise en oeuvre, M mesures sont réalisées pour un ensemble T discret de retards τ compris dans un intervalle $[0 ; \tau_{\max}]$, avec par exemple

$$T = \left\{ k \frac{\tau_{\max}}{M} ; k \in \llbracket 1; M \rrbracket \right\}$$

Où $\llbracket 1; M \rrbracket$ désigne l'ensemble des nombres entiers compris entre 1 et M.

[0062] Le retard maximal $\tau_{\max}$ ne doit pas être trop important afin que le conducteur ne perçoive pas une sensation d'écho du fait d'un retard trop important qui serait appliqué aux haut-parleurs arrière. Il peut par exemple correspondre au temps nécessaire au son pour parcourir une distance de 1 mètre dans l'air, c'est-à-dire être égal à $1/V_s$, où V_s désigne la vitesse du son dans l'air.

[0063] Il est retenu à l'issue de cette étape de déphasage 130 un retard τ permettant de maximiser l'énergie sur une bande de fréquences donnée au préalable et fixée par des spécifications. Par exemple, cette bande de fréquences pourra correspondre à la bande de fréquences $[70 ; 120\text{Hz}]$.

[0064] Dans un mode de mise en oeuvre alternatif, il est retenu un retard différent pour chacun des haut-parleurs arrière afin de tenir compte de l'emplacement respectif des deux haut-parleurs arrière vis-à-vis du siège conducteur.

[0065] Au cours d'une étape 140 ultérieure du mode de mise en oeuvre du procédé 100 illustré, il est appliqué un gain G aux signaux diffusés par les haut-parleurs placés à l'avant, afin de donner l'impression au conducteur que la « scène sonore », ou provenance du son, est à l'avant.

[0066] Pour cela, deux mesures sont réalisées lors de l'étape 140 d'application d'un gain.

[0067] Une première mesure est réalisée à l'avant, au moyen de l'ensemble de microphones disposé à l'avant, et avec pour seuls haut-parleurs actifs les haut-parleurs disposés à l'avant. Les signaux mesurés sur les quatre microphones sont moyennés. Le signal utilisé pour la mesure est par exemple un signal temporel de type sinus glissant.

[0068] Une seconde mesure est réalisée à l'arrière, au moyen de l'ensemble de microphones disposé à l'arrière, et avec pour seuls haut-parleurs actifs les haut-parleurs disposés à l'arrière. Les signaux mesurés sur les quatre microphones sont moyennés. Le signal utilisé pour la mesure est par exemple un signal temporel de type sinus glissant.

[0069] Une différence de niveaux mesurés entre les signaux moyennés avant et arrière obtenus est ensuite déterminée, par exemple en calculant une différence de niveaux d'intensité acoustique entre les signaux moyennés.

[0070] Le gain G est ensuite appliqué en fonction de la différence constatée, afin de se rapprocher d'un écart cible qui peut être par exemple de 2 dB. Dans cet exemple, si une différence de niveaux de 1 dB est observée, il est ainsi appliqué un gain de 1 dB aux signaux diffusés dans les haut-parleurs avant afin d'obtenir une différence de niveaux de 2 dB.

[0071] Bien entendu, la valeur de l'écart cible peut être différente de 2 dB.

[0072] De même le protocole de mesure mis en oeuvre lors de cette étape 140 d'application d'un gain peut être différent, par exemple, il peut être envisagé de réaliser ces deux mêmes mesures en n'activant, dans chacun des cas, que les haut-parleurs arrières.

[0073] Également, il est envisageable d'appliquer le gain G à d'autres haut-parleurs, en particulier pour déplacer la scène sonore, par exemple ledit gain peut être appliqué aux haut-parleurs placés à l'arrière pour une impression de scène sonore à l'arrière du véhicule.

[0074] Il est également envisageable d'appliquer un ensemble de gains différents en fonction des haut-parleurs.

[0075] Au cours d'une étape ultérieure du procédé 100, il est appliqué une seconde égalisation 150. L'objectif de cette seconde égalisation est d'évaluer la qualité du signal obtenu avec l'ensemble des haut-parleurs allumés, et d'intervenir d'un point de vue fréquentiel sur un ou plusieurs signaux issus respectivement d'un ou plusieurs haut-parleurs.

[0076] Dans la mesure où l'égalisation privilégie ici les filtres réjecteurs, dans un mode préféré de mise en oeuvre de

l'invention, l'égalisation est appliquée aux haut-parleurs auxquels aucun gain n'a été appliqué lors de l'étape 140. Dans l'exemple d'une scène sonore à l'avant, l'égalisation est donc appliquée aux haut-parleurs arrière, afin de conserver l'impression de « scène sonore » à l'avant du véhicule établie lors de l'étape précédente. En effet, dans le cas où seuls des filtres réjecteurs sont mis en oeuvre, réaliser l'égalisation sur les haut-parleurs avant irait en effet dans le sens d'une

réduction de l'écart entre les niveaux à l'avant et à l'arrière, et donc aurait tendance à diminuer l'impression de scène sonore à l'avant. Il est toutefois possible de réaliser cette égalisation sur d'autres haut-parleurs, notamment si des filtres passe-bandes sont utilisés.

[0077] Pour cela, en référence à la figure 4, il est défini une réponse fréquentielle cible secondaire RF,c' qui présente sensiblement un profil similaire à celui de la réponse fréquentielle cible RF,c, mais pour laquelle une amplitude plus faible est recherchée dans les basses fréquences. Cette amplitude plus faible dans les basses fréquences permet de compenser d'une part les basses fréquences amplifiées ou apparues lors de l'étape de déphasage 130, ainsi que celles amplifiées par superposition de l'ensemble des haut-parleurs. La réponse fréquentielle cible secondaire RF,c' présente par exemple une bande de fréquences allant de 20Hz à 200Hz atténuées de G décibels par rapport à la réponse fréquentielle cible RF,c, G étant le gain appliqué lors de l'étape précédente. Bien entendu, la bande de fréquences atténuée et ou l'atténuation peuvent être différentes.

[0078] La réponse fréquentielle cible secondaire RF,c' est adaptée pour tenir compte de l'effet de superposition des haut-parleurs et des étapes 130 et 140 de déphasage et d'application de gain sur le spectre fréquentiel, et pour compenser les fréquences amplifiées, en particulier dans les basses fréquences. En particulier, la réponse fréquentielle cible secondaire RF,c' vise à limiter l'énergie apportée par les haut-parleurs arrière par rapport aux haut-parleurs avant (lesquels sont privilégiés pour une scène sonore à l'avant, mais le principe est le même pour une scène sonore placée à l'arrière).

[0079] La détermination de la réponse fréquentielle cible secondaire RF,c' est réalisée en diffusant dans l'ensemble des quatre haut-parleurs HP1, HP2, HP3, HP4 un signal de type sinus glissant, les paramètres de filtres, retard et gain déterminés précédemment étant appliqués aux haut-parleurs, et en mesurant une réponse fréquentielle RF au moyen des quatre microphones avant 2A disposés au niveau du siège conducteur. La réponse fréquentielle RF ainsi obtenue est comparée à la réponse fréquentielle cible RF,c.

[0080] La réponse fréquentielle cible secondaire RF,c' peut par exemple être définie selon la relation :

$$[Math\ 3] \quad RF, c'(f) = \begin{cases} 2RF, c(f) - RF(f) & \text{si } RF(f) - RF, c(f) \geq S \\ RF, c(f) & \text{sinon} \end{cases}$$

où f désigne la fréquence, RF la réponse fréquentielle mesurée par les microphones, et S une valeur seuil strictement positive, exprimée en décibels. Dans un mode de mise en oeuvre, S est égal à 1dB.

[0081] En d'autres termes, si l'énergie apportée par les haut-parleurs arrière est trop marquée par rapport à l'énergie apportée par les haut-parleurs avant seuls, la réponse fréquentielle cible est adaptée pour limiter la contribution des haut-parleurs arrière aux fréquences considérées.

[0082] Une fois définie la réponse fréquentielle cible secondaire RF,c', l'étape d'égalisation 120 est appliquée à nouveau pour définir de nouveaux paramètres de filtre, mais uniquement pour régler des paramètres de filtres des haut-parleurs arrière, et avec la réponse fréquentielle cible secondaire RF,c'. Cette nouvelle application de l'étape d'égalisation se base donc sur une nouvelle mesure de réponse fréquentielle, au niveau des microphones arrière 2B, avec pour seuls haut-parleurs actifs les haut-parleurs arrière.

[0083] La raison pour laquelle cette étape n'est appliquée qu'aux haut-parleurs arrière est pour conserver l'impression de scène sonore à l'avant. Bien entendu, si cette contrainte n'est pas retenue, l'étape d'égalisation 120 peut ici être appliquée également aux seuls haut-parleurs avant ou à tout autre sous-ensemble de haut-parleurs.

[0084] Au cours de l'étape de seconde égalisation 150, l'étape d'égalisation est ainsi mise en oeuvre dans des conditions différentes en termes de haut-parleurs actifs et d'objectif de réponse fréquentielle.

[0085] A l'issue du procédé, il est ainsi obtenu un ensemble de paramètres de traitement du signal, incluant des paramètres de filtre tels que facteur de qualité, gain, fréquences centrales, un ou plusieurs retards, un gain à appliquer aux signaux diffusés dans les haut-parleurs disposés dans l'habitacle du véhicule, afin d'obtenir une réponse fréquentielle de l'habitacle du véhicule minimisant un écart avec une réponse fréquentielle cible définie par exemple dans une spécification. Cet écart pourra par exemple être caractérisé par deux paramètres : une distance entre les courbes calculée via la moyenne quadratique de la différence entre les deux courbes, et un indice de régularité correspondant à la dérivée de la différence entre lesdites courbes.

[0086] La détermination de l'ensemble des paramètres de traitement du signal se fait de manière automatique, dès lors que :

- la réponse fréquentielle cible RF,c et la réponse fréquentielle cible secondaire RF,c' ont été spécifiées ;
- les critères utilisés lors de la sous-étape d'optimisation 123 ont été définis.

[0087] Dans un mode de mise en oeuvre, la réponse fréquentielle cible RF,c et les critères utilisés lors de la sous-étape d'optimisation 123 sont définis préalablement à la mise en oeuvre du procédé.

[0088] Dans un mode de mise en oeuvre alternatif, ces éléments sont définis au fur et à mesure de l'avancement du procédé, par un opérateur.

[0089] Bien entendu, bien que l'avant du véhicule soit privilégié au cours du procédé décrit ici, l'homme du métier comprendra que le procédé pourra être aussi bien mis en oeuvre pour déplacer la « scène sonore » à l'arrière du véhicule ou sur les côtés.

[0090] En particulier, au lieu de prendre comme référence le siège conducteur, il est possible de prendre comme référence un siège passager, ou n'importe quel point à l'intérieur de l'habitacle du véhicule.

[0091] Dans le mode de mise en oeuvre décrit plus haut, les haut-parleurs avant et arrière étaient considérés séparément. L'homme du métier comprendra que, lors de la mise en oeuvre du procédé, d'autres combinaisons de haut-parleurs pourraient être considérées.

[0092] A titre d'exemple, lors de l'étape de détermination d'un ensemble de réponses fréquentielles 110, il pourrait par exemple être établi un ensemble de quatre réponses fréquentielles en activant les haut-parleurs les uns après les autres. Dans un autre mode de mise en oeuvre, le haut-parleur avant gauche pourrait être considéré seul et les autres haut-parleurs être considérés ensemble. Dans un autre mode de mise en oeuvre, les haut-parleurs gauches pourraient être considérés séparément des haut-parleurs droits, la scène sonore privilégiée étant le côté gauche de l'habitacle.

[0093] Également, deux réponses fréquentielles cibles secondaires distinctes pourraient être considérées lors de l'étape de seconde égalisation 150, pour procéder à une nouvelle égalisation des haut-parleurs avant et arrière.

Revendications

1. Procédé pour le réglage automatisé de paramètres de traitements numériques destinés à être appliqués à des signaux numériques avant diffusion par des haut-parleurs (HP1, HP2, HP3, HP4) placés dans un environnement, ledit procédé comportant les étapes suivantes :

- une étape de détermination d'un ensemble de réponses fréquentielles (110) de l'environnement, chacune des réponses fréquentielles (RF1, RF2) étant déterminée en activant un sous-ensemble des haut-parleurs d'au moins un haut-parleur ;

- une étape d'égalisation (120) appliquée pour chaque sous-ensemble d'au moins un haut-parleur, au cours de laquelle des paramètres de filtres à appliquer à l'au moins un haut-parleur de chaque sous-ensemble sont déterminés de sorte à minimiser un écart entre une réponse fréquentielle cible (RF,c) prédéterminée et la réponse fréquentielle (RF1, RF2) associée au sous-ensemble d'au moins un haut-parleur déterminée lors de l'étape de détermination d'un ensemble de réponses fréquentielles (110) ; le dit procédé étant **caractérisé en ce qu'il** comporte :

- une étape de seconde égalisation (150) appliquée à au moins un sous-ensemble des haut-parleurs d'au moins un haut-parleur, pour déterminer des paramètres de filtres à appliquer audit au moins un haut-parleur de sorte à atténuer sur un ensemble de fréquences à corriger la réponse fréquentielle de l'environnement obtenue lorsque tous les haut-parleurs sont actifs ; **en ce qu'il** comporte par ailleurs :

- une étape de déphasage (130) au cours de laquelle au moins un retard τ est appliqué à au moins un sous-ensemble des haut-parleurs d'au moins un haut-parleur ;

- une étape d'application d'un gain (140) à au moins un sous-ensemble des haut-parleurs d'au moins un haut-parleur ;

en ce que, au cours de l'étape de seconde égalisation (150), une courbe de réponse fréquentielle cible secondaire RF,c' est déterminée comme suit :

$$[\text{Math 4}] \quad RF, c'(f) = \begin{cases} 2RF, c(f) - RF(f) & \text{si } RF(f) - RF, c(f) \geq S \\ RF, c(f) & \text{sinon} \end{cases}$$

où f désigne la fréquence, RF la réponse fréquentielle mesurée avec tous les haut-parleurs actifs, les paramètres de filtres déterminés à l'étape d'égalisation (120), ainsi que l'au moins un retard τ et le gain déterminés aux étapes de déphasage (130) et d'application d'un gain (140) étant appliqués à des signaux de type sinus glissant diffusés par les haut-parleurs, et S désignant une valeur seuil positive ;

et **en ce que**, au cours de la seconde égalisation, l'étape d'égalisation (120) est appliquée à nouveau à au

moins un sous-ensemble des haut-parleurs d'au moins un haut-parleur, pour déterminer des nouveaux paramètres de filtres à appliquer à l'au moins un haut-parleur dudit au moins un sous-ensemble, de sorte à minimiser un écart entre la courbe de réponse fréquentielle cible secondaire et une réponse fréquentielle associée audit au moins un sous-ensemble d'au moins un haut-parleur.

2. Procédé selon la revendication 1 **caractérisé en ce que** l'étape d'égalisation (120), appliquée à un sous-ensemble d'au moins un haut-parleur, comporte les sous-étapes suivantes :

- une sous-étape d'application d'un filtre shelf (121) au cours de laquelle il est déterminé un filtre shelf à appliquer à l'au moins un haut-parleur pour minimiser un écart entre la courbe de réponse fréquentielle déterminée lors de l'étape de détermination d'un ensemble de réponses fréquentielles (110) et la réponse fréquentielle cible (RF,c) ;
- une sous-étape d'ajustement de courbe (122) au cours de laquelle des paramètres de filtres réjecteurs de bande sont déterminés pour minimiser un écart entre la courbe de réponse fréquentielle déterminée lors de la sous-étape d'application d'un filtre shelf (121) et la réponse fréquentielle cible (RF,c) ;
- une sous-étape d'optimisation (123) au cours de laquelle les filtres réjecteurs sont triés au moyen de critères appliqués aux paramètres desdits filtres ;
- une sous-étape de vérification (124) au cours de laquelle la réponse fréquentielle de l'environnement est mesurée en appliquant au sous-ensemble de l'au moins un haut-parleur les filtres shelf, réjecteurs de bande déterminés au cours des sous-étapes précédentes, et au cours de laquelle la réponse fréquentielle mesurée est comparée à la réponse fréquentielle attendue théoriquement après la sous-étape d'optimisation (123).

3. Procédé selon la revendication 2 **caractérisé en ce que** le nombre de filtres réjecteurs de bande utilisés lors de la sous-étape d'ajustement de courbe (122) est au moins égal au nombre de maxima locaux de la courbe de réponse fréquentielle obtenue à l'issue de la sous-étape d'application d'un filtre shelf (121).

4. Procédé selon la revendication 2 ou la revendication 3 **caractérisé en ce que** les filtres réjecteurs de bande sont supprimés au cours de la sous-étape d'optimisation (123) s'ils présentent un gain supérieur à un gain maximal seuil G_{th_max} et un facteur de qualité inférieur à un facteur de qualité minimal seuil Q_{th_min} .

5. Procédé selon la revendication 1 **caractérisé en ce que** l'au moins un retard est déterminé au moyen de M mesures réalisées en un point de référence ou dans un voisinage dudit point de référence comme étant la fraction entière $(k \times \tau_{max})/M$ permettant de maximiser l'énergie sur une bande de fréquences donnée au préalable, avec k entier compris entre 1 et M, et τ_{max} désignant un retard maximal.

6. Procédé selon la revendication 5 **caractérisé en ce que** la bande de fréquences considérée comprend la bande de fréquences [70Hz ; 120Hz].

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes **caractérisé en ce que**, lors de l'étape de détermination d'un ensemble de réponses fréquentielles (110), lesdites réponses fréquentielles sont déterminées au moyen d'au moins un ensemble d'au moins un microphone, lesdites réponses étant moyennées sur chacun des ensembles de microphones.

8. Dispositif pour le réglage automatisé de paramètres de traitements numériques destinés à être appliqués à des signaux numériques avant diffusion par des haut-parleurs placés dans un environnement, ledit dispositif comportant

- des moyens pour déterminer un ensemble de réponses fréquentielles de l'environnement, chacune des réponses fréquentielles étant déterminée en activant un sous-ensemble des haut-parleurs d'au moins un haut-parleur ;
- des moyens pour déterminer, pour chaque sous-ensemble d'au moins un haut-parleur considéré, des paramètres de filtres à appliquer à l'au moins un haut-parleur de sorte à minimiser un écart entre une réponse fréquentielle cible prédéterminée et la réponse fréquentielle associée au sous-ensemble d'au moins un haut-parleur ; ledit dispositif étant **caractérisé en ce qu'il** comporte:
- des moyens de déphasage configurés pour appliquer au moins un retard τ à au moins un sous-ensemble des haut-parleurs d'au moins un haut-parleur ;
- des moyens d'application d'un gain à au moins un sous-ensemble des haut-parleurs d'au moins un haut-parleur **en ce qu'il** comporte des moyens pour déterminer une courbe de réponse fréquentielle cible secondaire RF,c' comme suit :

$$[\text{Math 4}] RF, c'(f) = \begin{cases} 2RF, c(f) - RF(f) & \text{si } RF(f) - RF, c(f) \geq S \\ RF, c(f) & \text{sinon} \end{cases}$$

où f désigne la fréquence, RF la réponse fréquentielle mesurée avec tous les haut-parleurs actifs, les paramètres de filtres déterminés, ainsi que le retard τ et le gain déterminés étant appliqués à des signaux de type sinus glissant diffusés par les haut-parleurs, et S désignant une valeur seuil positive ;
et **en ce qu'il** comporte des moyens pour appliquer à nouveau une égalisation à au moins un sous-ensemble des haut-parleurs d'au moins un haut-parleur, pour déterminer des nouveaux paramètres de filtres à appliquer à l'au moins un haut-parleur dudit au moins un sous-ensemble, de sorte à minimiser un écart entre la courbe de réponse fréquentielle cible secondaire et une réponse fréquentielle associée audit au moins un sous-ensemble d'au moins un haut-parleur.

Patentansprüche

1. Verfahren zur automatisierten Einstellung von Parametern digitaler Verarbeitungen, die dazu bestimmt sind, auf digitale Signale vor Ausstrahlung durch Lautsprecher (HP1, HP2, HP3, HP4) angewendet zu werden, die in einer Umgebung platziert sind, wobei das Verfahren die folgenden Schritte beinhaltet:

- einen Schritt zum Bestimmen einer Menge von Frequenzgängen (110) der Umgebung, wobei jeder der Frequenzgänge (RF1, RF2) durch Aktivieren einer Teilmenge der Lautsprecher von mindestens einem Lautsprecher bestimmt wird;
- einen Schritt zum Entzerren (120), der für jede Teilmenge von mindestens einem Lautsprecher angewendet wird, im Laufe dessen Parameter von Filtern, die auf den mindestens einen Lautsprecher einer jeden Teilmenge anzuwenden sind, derart bestimmt werden, um eine Abweichung zwischen einem vorbestimmten Zielfrequenzgang (RF,c) und dem Frequenzgang (RF1, RF2) zu minimieren, welcher der Teilmenge von mindestens einem Lautsprecher zugeordnet ist, der im Schritt zum Bestimmen einer Menge von Frequenzgängen (110) bestimmt wird; wobei das Verfahren **dadurch gekennzeichnet ist, dass** es beinhaltet:
- einen Schritt zum zweiten Entzerren (150), der auf mindestens eine Teilmenge der Lautsprecher von mindestens einem Lautsprecher angewendet wird, um Parameter von Filtern, die auf den mindestens einen Lautsprecher derart anzuwenden sind, um auf einer Menge von zu korrigierenden Frequenzen den Frequenzgang der Umgebung abzuschwächen, der erhalten wird, wenn alle Lautsprecher aktiv sind; dadurch, dass es weiter beinhaltet:
- einen Schritt zur Phasenverschiebung (130), im Laufe dessen mindestens eine Verzögerung τ auf mindestens eine Teilmenge der Lautsprecher von mindestens einem Lautsprecher angewendet wird;
- einen Schritt zum Anwenden einer Verstärkung (140) auf mindestens eine Teilmenge der Lautsprecher von mindestens einem Lautsprecher;

dadurch, dass im Laufe des Schrittes zum zweiten Entzerren (150) eine sekundäre Zielfrequenzgangkurve RF, c' wie folgt bestimmt wird:

$$[\text{Math 4}] RF, c'(f) = \begin{cases} 2RF, c(f) - RF(f) & \text{wenn } RF(f) - RF, c(f) \geq S \\ \text{ansonsten } RF, c(f) \end{cases}$$

wobei f die Frequenz, RF den Frequenzgang, der mit allen aktiven Lautsprechern gemessen wird, wobei die im Schritt zum Entzerren (120) bestimmten Parameter von Filtern, sowie die mindestens eine Verzögerung τ und die Verstärkung, die in den Schritten zum Entzerren (130) und zum Anwenden einer Verstärkung (140) bestimmt werden, auf Signale vom Typ eines gleitenden Sinus angewendet werden, die von den Lautsprechern ausgestrahlt werden, und S einen positiven Grenzwert bezeichnen;
und dadurch, dass im Laufe des zweiten Entzerrens der Schritt zum Entzerren (120) erneut auf mindestens eine Teilmenge der Lautsprecher von mindestens einem Lautsprecher angewendet wird, um neue Parameter von Filtern zu bestimmen, die auf den mindestens einen Lautsprecher der mindestens einen Teilmenge derart anzuwenden sind, um eine Abweichung zwischen der sekundären Zielfrequenzgangkurve und einem Frequenzgang, welcher der mindestens einen Teilmenge von mindestens einem Lautsprecher zugeordnet ist, zu minimieren.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt zum Entzerren (120), der auf eine Teil-

menge von mindestens einem Lautsprecher angewendet wird, die folgenden Teilschritte beinhaltet:

- einen Teilschritt zum Anwenden eines Shelf-Filters (121), im Laufe dessen ein Shelf-Filter bestimmt wird, der auf den mindestens einen Lautsprecher anzuwenden ist, um eine Abweichung zwischen der Frequenzgangkurve, die im Schritt zum Bestimmen einer Menge von Frequenzgängen (110) bestimmt wird, und dem Zielfrequenzgang (RF,c) zu minimieren;
- einen Teilschritt zum Anpassen einer Kurve (122), im Laufe dessen Parameter von Bandsperrfiltern bestimmt werden, um eine Abweichung zwischen der Frequenzgangkurve, die beim Teilschritt zum Anwenden eines Shelf-Filters (121) bestimmt wird, und dem Zielfrequenzgang (RF,c) zu minimieren;
- einen Teilschritt zum Optimieren (123), im Laufe dessen die Sperrfilter anhand von Kriterien sortiert werden, die auf die Parameter der Filter angewendet werden;
- einen Teilschritt zum Überprüfen (124), im Laufe dessen der Frequenzgang der Umgebung durch Anwenden auf die Teilmenge von dem mindestens einen Lautsprecher der Shelf-, Bandsperrfilter gemessen wird, die im Laufe der vorstehenden Teilschritte bestimmt werden, und im Laufe dessen der gemessene Frequenzgang mit dem Frequenzgang, der theoretisch nach dem Teilschritt zum Optimieren (123) erwartet wird, verglichen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anzahl an verwendeten Bandsperrfiltern beim Teilschritt zum Anpassen einer Kurve (122) mindestens gleich der Anzahl an lokalen Maximalwerten der Frequenzgangkurve ist, die am Ende des Teilschritts zum Anwenden eines Shelf-Filters (121) erhalten wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bandsperrfilter im Laufe des Teilschritts zum Optimieren (123) gelöscht werden, wenn sie eine größere Verstärkung als eine maximale Schwellenverstärkung G_{th_max} und einen Qualitätsfaktor kleiner als ein minimaler Schwellenqualitätsfaktor Q_{th_min} aufweisen.

5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine Verzögerung anhand von M Messungen, die an einem Bezugspunkt oder in einer Umgebung des Bezugspunktes durchgeführt werden, als ganzer Bruchteil $(k \times \tau_{max})/M$ bestimmt wird, der es ermöglicht, die Energie auf einem zuvor gegebenen Frequenzband zu maximieren, mit k als ganzer Zahl zwischen 1 und M, und τ_{max} , die eine maximale Verzögerung bezeichnet.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das betrachtete Frequenzband das Frequenzband [70 Hz; 120 Hz] umfasst.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Schritt zum Bestimmen einer Menge von Frequenzgängen (110) die Frequenzgänge anhand mindestens einer Menge von mindestens einem Mikrofon bestimmt werden, wobei die Gänge an jeder der Mengen von Mikrofonen gemittelt werden.

8. Vorrichtung zur automatisierten Einstellung von Parametern digitaler Verarbeitungen, die dazu bestimmt sind, auf digitale Signale vor Ausstrahlung durch Lautsprecher angewendet zu werden, die in einer Umgebung platziert sind, wobei die Vorrichtung beinhaltet

- Mittel zum Bestimmen einer Menge von Frequenzgängen der Umgebung, wobei jeder der Frequenzgänge durch Aktivieren einer Teilmenge der Lautsprecher von mindestens einem Lautsprecher bestimmt wird;
 - Mittel zum Bestimmen für jede Teilmenge von mindestens einem betrachteten Lautsprecher der Parameter von Filtern, die auf den mindestens einen Lautsprecher derart anzuwenden sind, um eine Abweichung zwischen einem vorbestimmten Zielfrequenzgang und dem Frequenzgang zu minimieren, welcher der Teilmenge mindestens eines Lautsprechers zugeordnet ist; wobei die Vorrichtung **dadurch gekennzeichnet ist, dass** sie beinhaltet:
 - Mittel zur Phasenverschiebung, die zum Anwenden mindestens einer Verzögerung τ auf mindestens eine Teilmenge der Lautsprecher von mindestens einem Lautsprecher konfiguriert sind;
 - Mittel zum Anwenden einer Verstärkung auf mindestens eine Teilmenge der Lautsprecher von mindestens einem Lautsprecher,
- dadurch, dass sie Mittel zum Bestimmen einer sekundären Zielfrequenzgangkurve RF,c' wie folgt beinhaltet:

$$[Math\ 4] \quad RF,c'(f) = \begin{cases} 2RF,c(f) - RF(f) & \text{wenn } RF(f) - RF,c(f) \geq S \\ \text{ansonsten } RF,c(f) & \end{cases}$$

wobei f die Frequenz, RF den Frequenzgang, der mit allen aktiven Lautsprechern gemessen wird, wobei die bestimmten Parameter von Filtern, sowie die bestimmte Verzögerung τ und Verstärkung auf Signale vom Typ eines gleitenden Sinus angewendet werden, die von den Lautsprechern ausgestrahlt werden, und S einen positiven Grenzwert bezeichnen;

und dadurch, dass sie Mittel zum erneuten Anwenden einer Entzerrung auf mindestens eine Teilmenge der Lautsprecher von mindestens einem Lautsprecher beinhaltet, um neue Parameter von Filtern zu bestimmen, die auf den mindestens einen Lautsprecher der mindestens einen Teilmenge derart anzuwenden sind, um eine Abweichung zwischen der sekundären Zielfrequenzgangkurve und einem Frequenzgang, welcher der mindestens einen Teilmenge von mindestens einem Lautsprecher zugeordnet ist, zu minimieren.

Claims

1. A method for automated setting of digital processing parameters intended to be applied to digital signals before broadcast by loudspeakers (HP1, HP2, HP3, HP4) placed in an environment, said method including the following steps:

- a step of determining a set of frequency responses (110) of the environment, each of the frequency responses ($RF1$, $RF2$) being determined by activating a subset of the loudspeakers of at least one loudspeaker;

- an equalization step (120) applied for each subset of at least one loudspeaker, during which filter parameters to be applied to the at least one loudspeaker of each subset are determined so as to minimize a deviation between a predetermined target frequency response (RF, c) and the frequency response ($RF1$, $RF2$) associated to the subset of at least one loudspeaker determined during the step of determining a set of frequency responses (110); said method being **characterized in that** it includes:

- a second equalization step (150) applied to at least one subset of the loudspeakers of at least one loudspeaker, to determine filter parameters to be applied to said at least one loudspeaker so as to attenuate over a set of frequencies to be corrected the frequency response of the environment obtained when all loudspeakers are active;

in that it further includes:

- a phase-shifting step (130) during which at least one delay τ is applied to at least one subset of the loudspeakers of at least one loudspeaker;
- a step (140) of applying a gain to at least one subset of the loudspeakers of at least one loudspeaker;

in that, during the second equalization step (150), a secondary target frequency response curve RF, c' is determined as follows:

$$[Math\ 4] \quad RF, c'(f) = \begin{cases} 2RF, c(f) - RF(f) & \text{if } RF(f) - RF, c(f) \geq S \\ RF, c(f) & \text{otherwise} \end{cases}$$

where f refers to the frequency, RF the frequency response measured with all loudspeakers being active, the filter parameters determined in the equalization step (120), as well as the at least one delay τ and the gain determined in the phase-shifting (130) and gain application (140) steps being applied to sine sweep type signals broadcast by the loudspeakers, and S referring to a positive threshold value;

and **in that**, during the second equalization, the equalization step (120) is applied again to at least one subset of the loudspeakers of at least one loudspeaker, to determine new filter parameters to be applied to the at least one loudspeaker of said at least one subset, so as to minimize a deviation between the secondary target frequency response curve and a frequency response associated to said at least one subset of at least one loudspeaker.

2. The method according to claim 1, **characterized in that** the equalization step (120), applied to a subset of at least one loudspeaker, includes the following sub-steps:

- a sub-step of applying a shelf filter (121) during which is determined a shelf filter to be applied to the at least one loudspeaker to minimize a deviation between the frequency response curve determined during the step of determining a set of frequency responses (110) and the target frequency response (RF, c);
- a curve adjustment sub-step (122) during which parameters of band-reject filters are determined to minimize

a deviation between the frequency response curve determined during the sub-step of applying a shelf filter (121) and the target frequency response (RF,c);

- an optimization sub-step (123) during which the reject filters are sorted by means of criteria applied to the parameters of said filters;

- a verification step (124) during which the frequency response of the environment is measured by applying to the subset of the at least one loudspeaker the band-reject shelf filters (121) determined during the previous sub-steps, and during which the measured frequency response is compared with the frequency response theoretically expected after the optimization sub-step (123).

3. The method according to claim 2, **characterized in that** the number of band-reject filters used during the curve adjustment sub-step (122) is at least equal to the number of local maxima of the frequency response curve obtained upon completion of the sub-step of applying a shelf filter (121) .

4. The method according to claim 2 or claim 3 **characterized in that** the band-reject filters are suppressed during the optimization sub-step (123) if they have a gain higher than a threshold maximum gain G_th_max and a quality factor lower than a threshold minimum quality factor Q_th_min.

5. The method according to claim 1 **characterized in that** the at least one delay is determined by means of M measurements carried out at a reference point or in a vicinity of said reference point as being the whole fraction $(k \times \pi_{max})/M$ allowing maximizing energy over a frequency band determined beforehand, with k an integer comprised between 1 and M, and π_{max} referring to a maximum delay.

6. The method according to claim 5, **characterized in that** the considered frequency band comprises the frequency band [70 Hz; 120 Hz].

7. The method according to any one of the preceding claims, **characterized in that**, during the step of determining a set of frequency responses (110), said frequency responses are determined by means of at least one set of at least one microphone, said responses being averaged over each of the sets of microphones.

8. A device for automated setting of digital processing parameters intended to be applied to digital signals before broadcast by loudspeakers placed in an environment, said device including:

- means for determining a set of frequency responses of the environment, each of the frequency responses being determined by activating a subset of the loudspeakers of at least one loudspeaker; and

- means for determining, for each considered subset of at least one loudspeaker, filter parameters to be applied to the at least one loudspeaker so as to minimize a deviation between a predetermined target frequency response and the frequency response associated to the subset of at least one loudspeaker;

said device being **characterized in that** it includes:

- phase-shifting means configured to apply at least one delay τ to at least one subset of the loudspeakers of at least one loudspeaker;

- means for applying a gain to at least one subset of the loudspeakers of at least one loudspeaker;

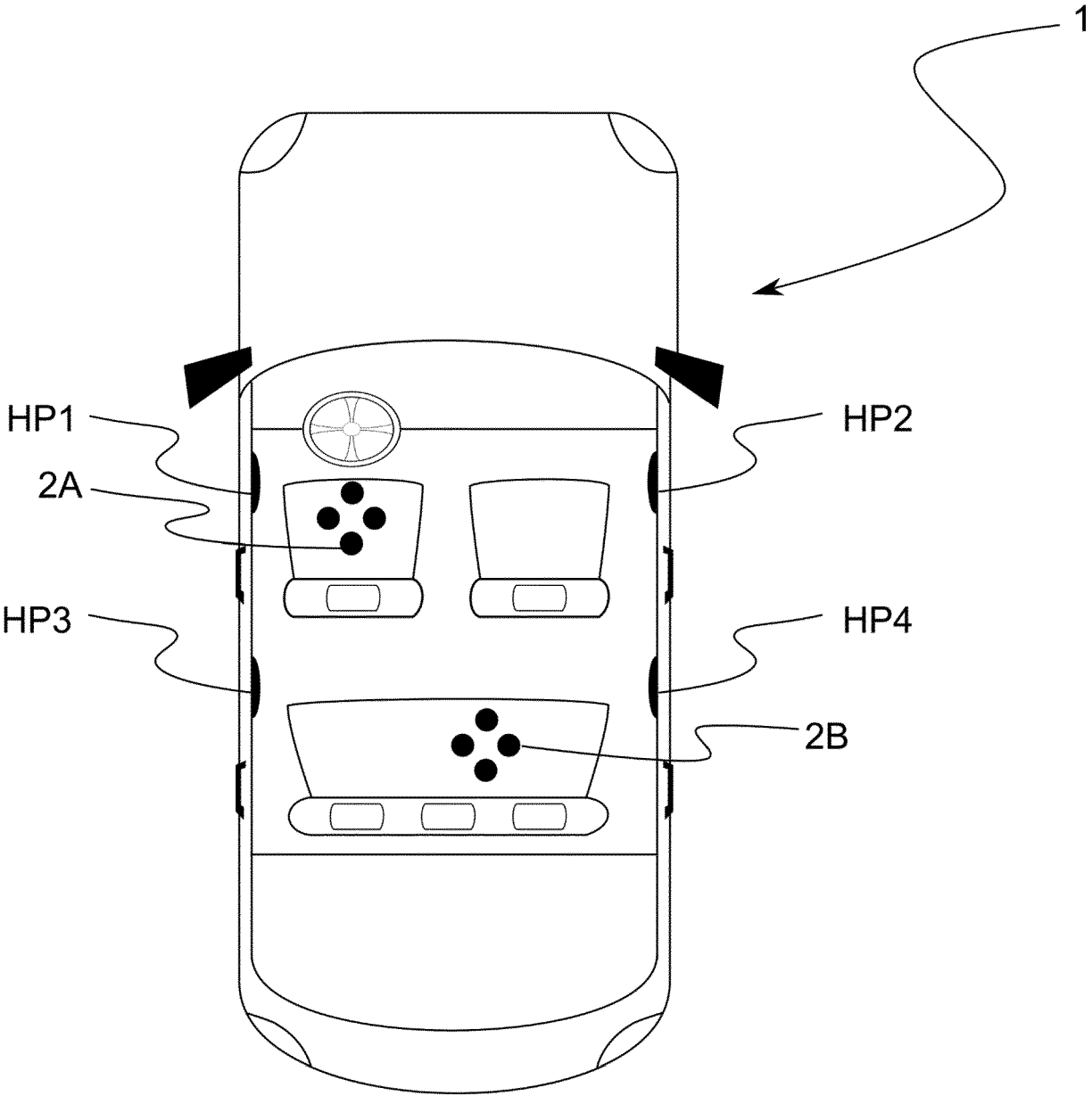
in that it includes means for determining a secondary target frequency response curve RF,c' as follows:

$$[Math\ 4] \quad RF, c'(f) = \begin{cases} 2RF, c(f) - RF(f) & \text{if } RF(f) - RF, c(f) \geq S \\ RF, c(f) & \text{otherwise} \end{cases}$$

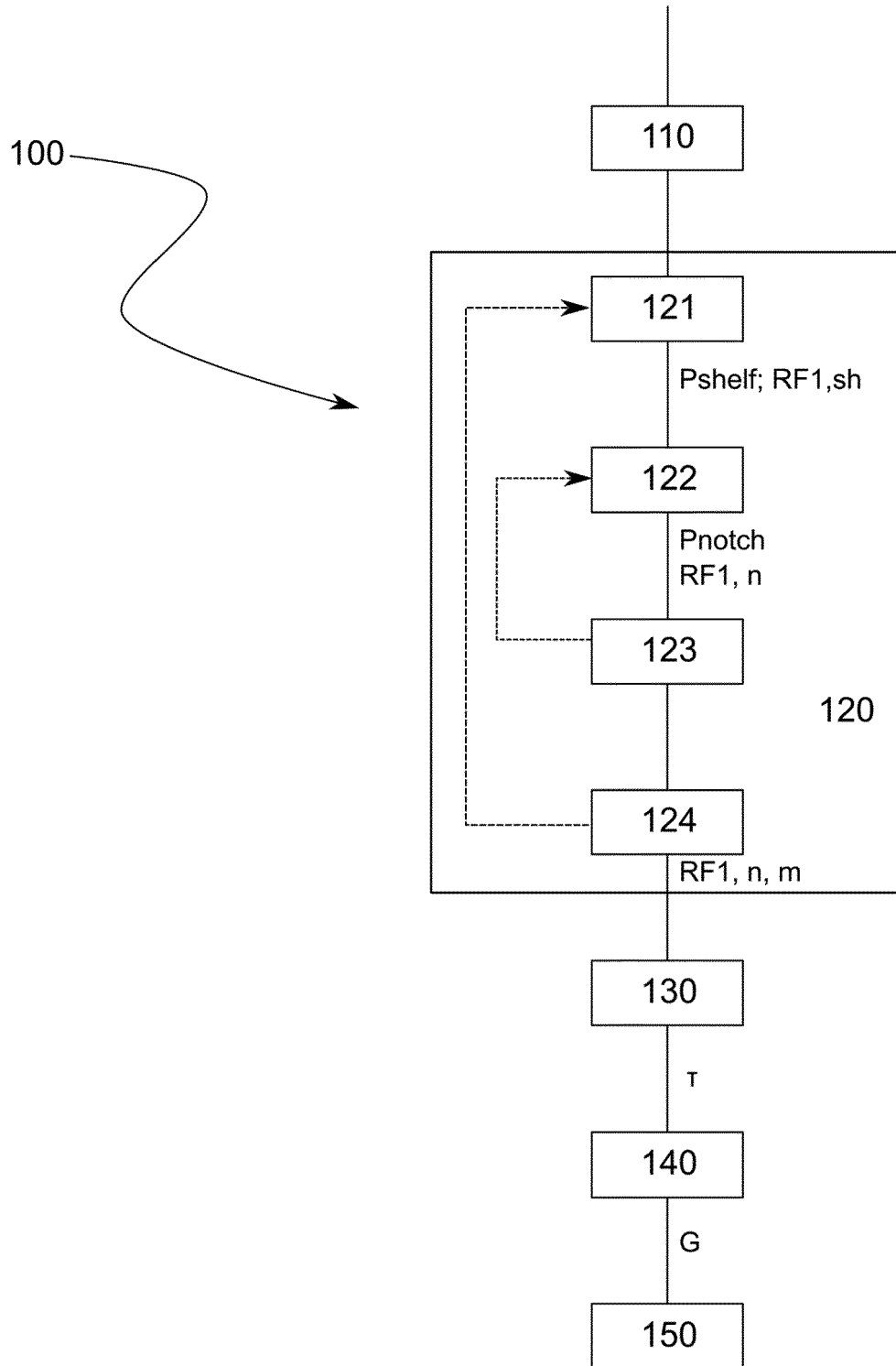
where f refers to the frequency, RF the frequency response measured with all loudspeakers being active, the determined filter parameters, as well as the determined delay τ and gain being applied to sine sweep type signals broadcast by the loudspeakers, and S referring to a positive threshold value;

and **in that** it includes means for applying again an equalization to at least one subset of the loudspeakers of at least one loudspeaker, to determine new filter parameters to be applied to the at least one loudspeaker of said at least one subset, so as to minimize a deviation between the secondary target frequency response curve and a frequency response associated to said at least one subset of at least one loudspeaker.

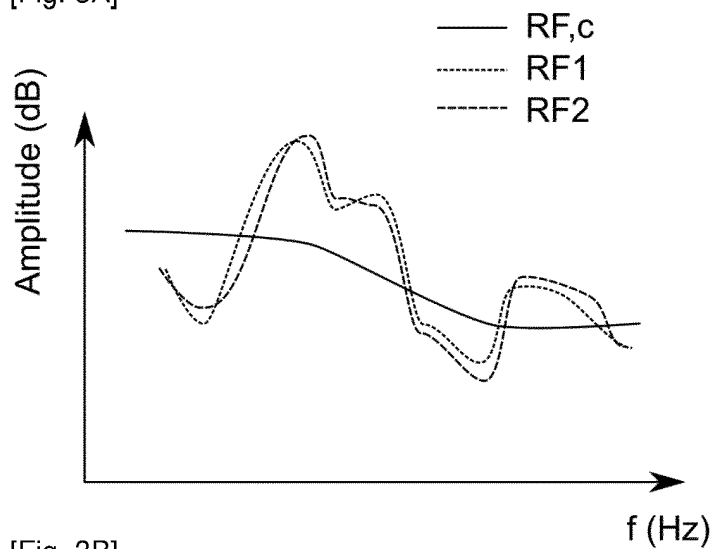
[Fig. 1]



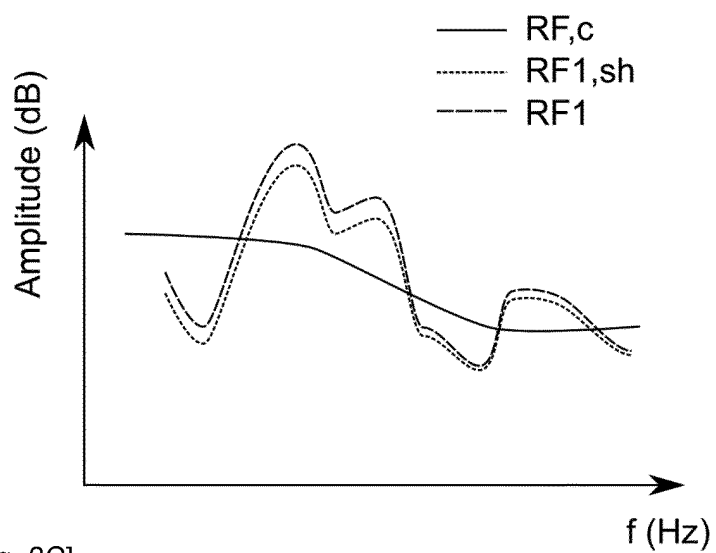
[Fig. 2]



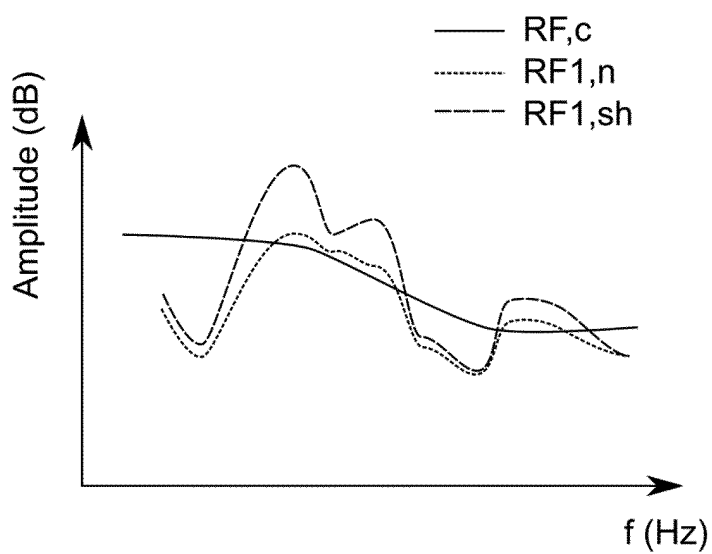
[Fig. 3A]



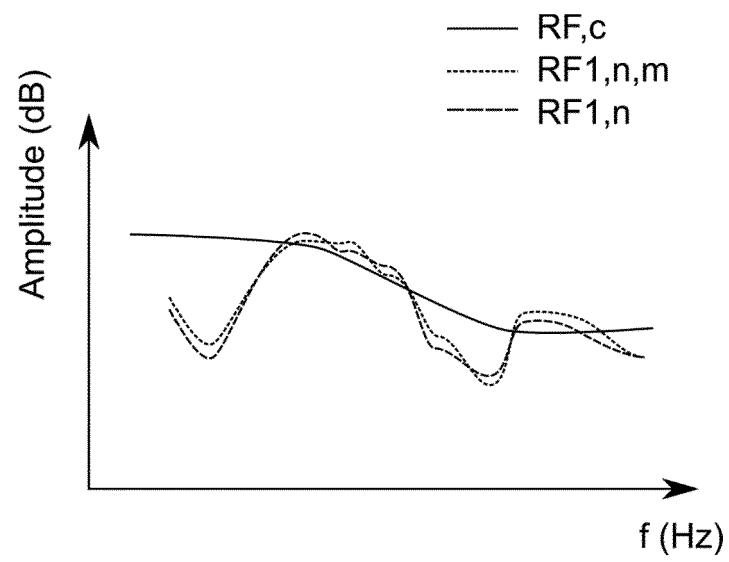
[Fig. 3B]



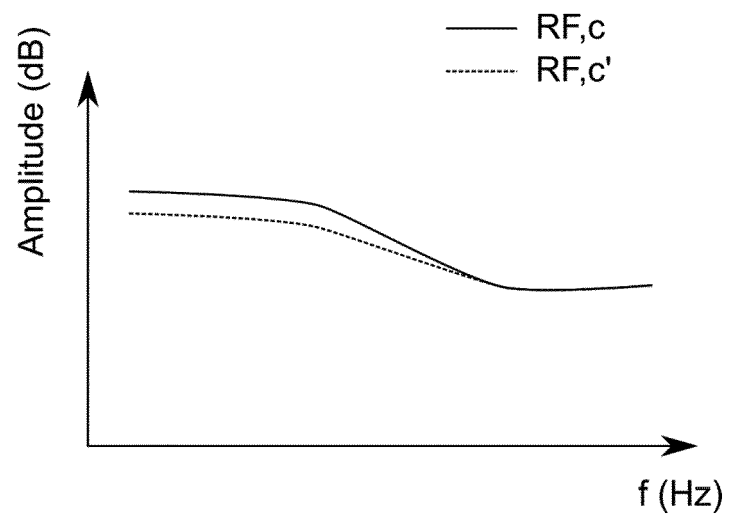
[Fig. 3C]



[Fig. 3D]



[Fig. 4]



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 3111667 A [0005]
- US 2012224701 A [0005]