



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**15.04.2020 Bulletin 2020/16**

(51) Int Cl.:  
**H04R 3/00 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **19201631.9**

(22) Date de dépôt: **07.10.2019**

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

(71) Demandeur: **Devialet**  
**75001 Paris (FR)**

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

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

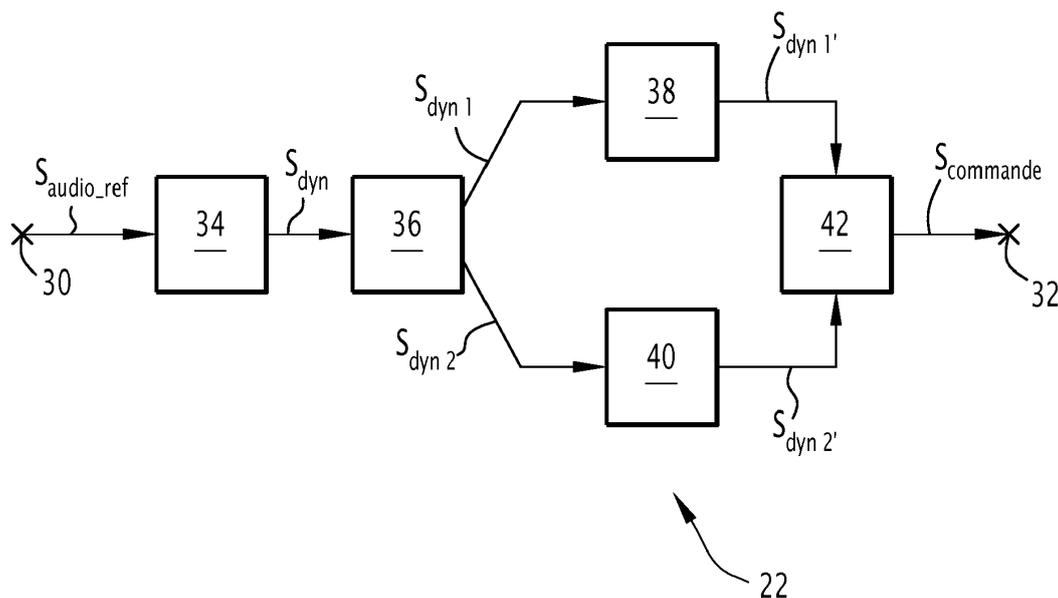
(30) Priorité: **08.10.2018 FR 1859277**

(54) **DISPOSITIF DE COMMANDE D'UN HAUT-PARLEUR ET INSTALLATION DE RESTITUTION SONORE ASSOCIÉE**

(57) La présente invention concerne un dispositif de commande (22) d'un haut-parleur dans une enceinte, le dispositif (22) comprenant :

- une unité (36) de duplication d'un signal dynamique désiré ( $S_{dyn}$ ) pour obtenir deux signaux dynamiques désirés ( $S_{dyn1}$ ,  $S_{dyn2}$ ) identiques,
- une première unité de traitement (38) configurée pour traiter le premier signal dynamique désiré ( $S_{dyn1}$ ) pour obtenir un premier signal traité ( $S_{dyn1'}$ ) dont les fréquences sont inférieures ou égales à une fréquence prédé-

- terminée,
- une deuxième unité de traitement (40) configurée pour traiter le deuxième signal dynamique désiré ( $S_{dyn2}$ ) pour obtenir un deuxième signal traité ( $S_{dyn2'}$ ) dont les fréquences sont strictement supérieures à la fréquence prédéterminée, et
- une unité de combinaison (42) du premier et du deuxième signal traité ( $S_{dyn1'}$ ,  $S_{dyn2'}$ ) pour obtenir un signal de commande ( $S_{commande}$ ) du haut-parleur.



**FIG.2**

## Description

**[0001]** La présente invention concerne un dispositif de commande d'un haut-parleur dans une enceinte. La présente invention concerne, également, une installation de restitution sonore comprenant un tel dispositif de commande.

**[0002]** Les haut-parleurs sont des dispositifs électromagnétiques qui convertissent un signal électrique en un signal acoustique.

**[0003]** Les haut-parleurs introduisent une distorsion non-linéaire susceptible d'affecter considérablement le signal acoustique obtenu. La distorsion provient de différents facteurs, notamment de la non-linéarité du circuit magnétique du haut-parleur et de certains éléments mécaniques du haut-parleur.

**[0004]** En outre, le courant circulant dans un haut-parleur peut amener la température des conducteurs du haut-parleur à une valeur susceptible de les détériorer. De plus, même sans conduire à la détérioration des conducteurs, l'augmentation de la température des conducteurs provoque une élévation de leur résistance ohmique. Cela entraîne un phénomène, appelé « compression thermique », qui consiste en une diminution du rendement du haut-parleur avec l'accroissement de la résistance.

**[0005]** Enfin, des déplacements trop importants de la membrane du haut-parleur suite à une alimentation inappropriée sont susceptibles d'endommager la membrane du haut-parleur.

**[0006]** Des solutions ont été proposées pour commander les haut-parleurs afin d'éliminer les distorsions du comportement du haut-parleur par une commande appropriée.

**[0007]** Cependant, de telles solutions peuvent encore être améliorées.

**[0008]** Il existe donc un besoin pour un dispositif de commande d'un haut-parleur dans une enceinte permettant de réduire la distorsion dans le signal restitué par le haut-parleur tout en améliorant la protection de la membrane du haut-parleur.

**[0009]** A cet effet, l'invention a pour objet un dispositif de commande d'un haut-parleur dans une enceinte, le haut-parleur comprenant une membrane, l'enceinte ayant une structure, le dispositif comprenant :

- une entrée pour un signal audio à reproduire,
- une sortie de fourniture d'un signal de commande du haut-parleur,
- une unité de détermination d'un signal dynamique désiré, représentatif d'une grandeur dynamique désirée de la membrane du haut-parleur, en fonction du signal audio à reproduire et de la structure de l'enceinte,
- une unité de duplication du signal dynamique désiré pour obtenir deux signaux dynamiques désirés identiques,
- une première unité de traitement configurée pour traiter le premier signal dynamique désiré pour obtenir un premier signal traité dont les fréquences sont inférieures ou égales à une fréquence prédéterminée,
- une deuxième unité de traitement configurée pour traiter le deuxième signal dynamique désiré pour obtenir un deuxième signal traité dont les fréquences sont strictement supérieures à la fréquence prédéterminée, et
- une unité de combinaison du premier et du deuxième signal traité pour obtenir le signal de commande du haut-parleur.

**[0010]** Suivant des modes particuliers de réalisation, le dispositif de commande comporte l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- la première unité de traitement comprend un limiteur d'excursion configuré pour :
  - déterminer un signal d'excursion, représentatif de l'excursion de la membrane du haut-parleur, en fonction du premier signal dynamique désiré,
  - déterminer l'excursion maximale du signal d'excursion, et
  - lorsque l'excursion maximale déterminée est strictement supérieure à une excursion maximale acceptable, appliquer un premier gain d'atténuation au signal d'excursion pour obtenir un signal d'excursion atténué,

le premier signal traité étant obtenu en fonction du signal d'excursion atténué.

- le haut-parleur comprend au moins une bobine, la première unité de traitement comprenant :

- un module de filtrage des fréquences du signal d'excursion atténué strictement supérieures à la fréquence prédéterminée pour obtenir un signal d'excursion filtré,
- un module de détermination d'un premier signal en intensité, représentatif de l'intensité du courant destiné à circuler dans la bobine du haut-parleur, en fonction du signal d'excursion filtré et d'une modélisation électromécanique du haut-parleur, et
- un limiteur en courant configuré pour fixer à une valeur d'intensité prédéterminée, toutes les valeurs du premier signal en intensité strictement supérieures à la valeur d'intensité prédéterminée et obtenir ainsi un premier signal en intensité atténué,

## EP 3 637 792 A1

le premier signal traité étant obtenu en fonction du premier signal en intensité atténué.

- la première unité de traitement comprend :

- un module de détermination d'un premier signal en tension, représentatif de la tension aux bornes du haut-parleur, en fonction du signal d'excursion filtré, de la modélisation électromécanique du haut-parleur et du premier signal en intensité atténué, et
- un limiteur en tension configuré pour fixer à une valeur de tension prédéterminée, toutes les valeurs du premier signal en tension strictement supérieures à la valeur de tension prédéterminée et obtenir ainsi un premier signal en tension atténué,

le premier signal traité étant obtenu en fonction du premier signal en tension atténué.

- la première unité de traitement comprend un module de filtrage additionnel configuré pour filtrer les fréquences du premier signal en tension atténué strictement supérieures à la fréquence prédéterminée, le premier signal traité étant obtenu en fonction du premier signal en tension atténué filtré par le module de filtrage additionnel.

- la deuxième unité de traitement comprend :

- un module de filtrage des fréquences du deuxième signal dynamique désiré inférieures ou égales à la fréquence prédéterminée pour obtenir un deuxième signal filtré,
- un module de détermination d'un deuxième signal en tension, représentatif de la tension aux bornes du haut-parleur, en fonction du deuxième signal filtré et d'une modélisation électromécanique du haut-parleur,

le deuxième signal traité étant obtenu en fonction du deuxième signal en tension.

- la deuxième unité de traitement comprend un limiteur en tension configuré pour :

- déterminer la tension maximale du deuxième signal en tension,
- lorsque la tension maximale déterminée est strictement supérieure à une tension maximale acceptable, appliquer un deuxième gain d'atténuation au deuxième signal en tension pour obtenir un deuxième signal en tension atténué,

le deuxième signal traité étant obtenu en fonction du deuxième signal en tension atténué.

- la deuxième unité de traitement comprend un module de filtrage additionnel configuré pour filtrer les fréquences du deuxième signal en tension atténué inférieures ou égales à la fréquence prédéterminée, le deuxième signal traité étant obtenu en fonction du deuxième signal en tension atténué filtré par le module de filtrage additionnel.

- la fréquence prédéterminée est comprise dans un intervalle de fréquences centré sur la fréquence de résonance du haut-parleur et s'étendant sur au plus 200 Hz.

**[0011]** La présente invention concerne, également, une installation de restitution sonore comprenant un haut-parleur dans une enceinte et un dispositif de commande du haut-parleur tel que décrit précédemment.

**[0012]** L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple uniquement et en référence aux dessins qui sont :

- Figure 1, une vue schématique d'une installation de restitution sonore comprenant un haut-parleur dans une enceinte et un dispositif de commande du haut-parleur,
- Figure 2, une vue schématique du dispositif de commande de la figure 1,
- Figure 3, une vue schématique d'une première unité de traitement du dispositif de commande de la figure 2, et
- Figure 4, une vue schématique d'une deuxième unité de traitement du dispositif de commande de la figure 2.

**[0013]** Une installation de restitution sonore 10 est illustrée par la figure 1.

**[0014]** L'installation 10 comporte, comme connu en soi, une source 12 de production d'un signal audio  $S_{\text{audio}}$ , tel qu'un lecteur de disque numérique relié à un haut-parleur 14 dans une enceinte, au travers d'un amplificateur en tension 16. Entre la source audio 12 et l'amplificateur 16 sont disposés, successivement en série, un modèle désiré 20 correspondant au modèle désiré de comportement de l'enceinte, et un dispositif de commande 22. Le modèle désiré 20 est un modèle linéaire ou un modèle non linéaire.

**[0015]** Suivant un mode particulier de réalisation, une boucle 23 de mesure d'une grandeur physique, telle que la température du circuit magnétique du haut-parleur 14 ou l'intensité circulant dans la bobine du haut-parleur 14, est prévue entre le haut-parleur 14 et le dispositif de commande 22.

**[0016]** Le modèle désiré 20 est indépendant du haut-parleur 14 utilisé dans l'installation et de la modélisation du haut-parleur 14.

[0017] Le modèle désiré 20 est, par exemple, une fonction du rapport de l'amplitude du signal souhaité, noté  $S_{\text{audio\_ref}}$ , sur l'amplitude  $S_{\text{audio}}$  du signal d'entrée issu de la source 12, exprimée en fonction de la fréquence.

[0018] Avantageusement, pour des fréquences inférieures à une fréquence  $f_{\text{min}}$ , un tel rapport est une fonction convergeant vers 0 lorsque la fréquence tend vers 0. Cela permet de limiter la reproduction des fréquences excessivement basses, et ainsi d'éviter des déplacements de la membrane du haut-parleur 14 hors des plages préconisées par le fabricant.

[0019] Il en est de même pour les fréquences élevées où le rapport tend vers 0 au-delà d'une fréquence  $f_{\text{max}}$  lorsque la fréquence du signal tend vers l'infini.

[0020] Suivant un autre mode de réalisation, le modèle désiré n'est pas spécifié et le modèle désiré est considéré comme étant unitaire.

[0021] Le dispositif de commande 22, dont un exemple de structure détaillée est illustrée par la figure 2, est disposé en entrée de l'amplificateur 16.

[0022] Le dispositif de commande 22 est propre à recevoir en entrée le signal audio  $S_{\text{audio\_ref}}$  à reproduire tel que défini en sortie du modèle désiré 20 et à fournir en sortie un signal de commande  $S_{\text{commande}}$  du haut-parleur 14, aussi appelé signal d'excitation. Dans un mode de réalisation préféré, le haut-parleur 14 est piloté en tension et le signal de commande  $S_{\text{commande}}$  est une tension.

[0023] Comme cela sera décrit dans la suite de la description, le signal de commande  $S_{\text{commande}}$  est adapté pour tenir compte de la non-linéarité du haut-parleur 14 et pour limiter les déplacements excessifs de la membrane du haut-parleur 14. De manière générale, le dispositif de commande 22 utilise le modèle de Thiele et Small du haut-parleur 14, afin d'obtenir une réponse en fréquence cible (par exemple plate).

[0024] Dans l'exemple illustré par la figure 2, le dispositif de commande 22 comprend une entrée 30 pour le signal  $S_{\text{audio\_ref}}$  à reproduire et une sortie 32 de fourniture du signal de commande  $S_{\text{commande}}$  du haut-parleur 14. Le dispositif de commande 22 comprend, également, une unité 34 de détermination d'un signal dynamique désiré  $S_{\text{dyn}}$ , une unité 36 de duplication du signal dynamique désiré  $S_{\text{dyn}}$ , une première unité de traitement 38, une deuxième unité de traitement 40 et une unité de combinaison 42.

[0025] L'unité de détermination 34 est configurée pour déterminer, à chaque instant, le signal dynamique désiré  $S_{\text{dyn}}$ , représentatif d'une grandeur dynamique désirée  $A_{\text{ref}}$  de la membrane du haut-parleur 14, en fonction du signal audio  $S_{\text{audio\_ref}}$  à reproduire et de la structure de l'enceinte. La structure de l'enceinte est définie en fonction des caractéristiques du type d'enceinte considérée (dimensions, paramètres électro-mécaniques). Par exemple, un premier type d'enceinte est une enceinte close (enceinte fermée). Un deuxième type d'enceinte est une enceinte à évent. Un troisième type d'enceinte est une enceinte comprenant un deuxième haut-parleur passif ayant une fonction de résonateur.

[0026] Pour cela, l'unité de détermination 34 est propre à appliquer un gain de conversion d'unité, dépendant de la tension crête de l'amplificateur 16 en sortie du dispositif de commande 22 et d'une atténuation variable entre 0 et 1 contrôlée par l'utilisateur. Cela assure le passage du signal audio à reproduire  $S_{\text{audio\_ref}}$  à un signal  $\gamma_0$ , image d'une grandeur physique à reproduire. Le signal  $\gamma_0$  est, par exemple, une accélération de l'air en regard du haut-parleur 14 ou encore une vitesse de l'air à déplacer par le haut-parleur 14.

[0027] L'unité de détermination 34 est propre à déterminer le signal dynamique désiré  $S_{\text{dyn}}$ , représentatif de la grandeur dynamique désirée  $A_{\text{ref}}$ , à chaque instant, en fonction d'une grandeur correspondante, ici le signal  $\gamma_0$ , pour le déplacement de l'air mis en mouvement par l'enceinte comportant le haut-parleur 14.

[0028] Ainsi, lorsque  $\gamma_0$  est l'accélération à reproduire pour la membrane du haut-parleur 14, la grandeur de référence  $A_{\text{ref}}$  est l'accélération à reproduire pour la membrane du haut-parleur 14 afin que le fonctionnement du haut-parleur 14 impose à l'air une accélération  $\gamma_0$ .

[0029] Par exemple, dans le cas d'une enceinte close dans laquelle le haut-parleur 14 est monté dans un boîtier clos, l'accélération de référence désirée pour la membrane  $A_{\text{ref}}$  est égale à l'accélération  $\gamma_0$  désirée pour l'air.

[0030] Dans le cas d'une enceinte à évent dans laquelle le haut-parleur est monté, l'accélération de référence désirée pour la membrane  $A_{\text{ref}}$  est, par exemple, obtenue par la relation suivante :

$$A_{\text{ref}} = \gamma_D = \gamma_0 + \frac{K_{m2}}{R_{m2}} v_0 + \frac{K_{m2}}{M_{m2}} x_0$$

Avec :

$R_{m2}$  : coefficient de fuites acoustiques de l'enceinte ;

$M_{m2}$  : inductance équivalente à la masse d'air dans l'évent ;

$K_{m2}$  : raideur de l'air dans l'enceinte.

$x_0$  : position de l'air total déplacé par la membrane et l'évent

$v_0 = \frac{dx_0}{dt}$  : vitesse de l'air total déplacé par la membrane et l'évent

5  $\gamma_0 = \frac{dv_0}{dt}$  : accélération de l'air total déplacé.

10 **[0031]** Dans ce cas, l'accélération de référence désirée pour la membrane  $A_{ref}$  est corrigée des grandeurs dynamiques structurelles  $x_0$ ,  $v_0$  de l'enceinte, ces dernières étant différentes des grandeurs dynamiques relatives à la membrane du haut-parleur.

**[0032]** Dans le cas d'une enceinte comportant un radiateur passif formé d'une membrane, l'accélération de référence de la membrane  $A_{ref}$  est, par exemple, donnée par :

15 
$$A_{ref} = \gamma_0 + \frac{K_{m2}}{R_{m2}} v_0 + \frac{K_{m2}}{M_{m2}} x_{0R}$$

Avec :

20 -  $x_{0R}$  donné par filtrage par un filtre passe-haut de  $x_0$  :

25 
$$x_{0R} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{R_{m3}}{M_{m2}} s + \frac{K_{m3}}{M_{m2}}} x_0$$

- $K_{m3}$  la constante de raideur mécanique de la membrane du radiateur passif.
- $R_{m3}$  la résistance de pertes mécaniques de la membrane du radiateur passif.

30 **[0033]** Optionnellement, l'unité de détermination 34 est propre à filtrer les fréquences du signal dynamique désiré  $S_{dyn}$  strictement inférieures à une fréquence  $f_{min}$  afin de limiter la reproduction des fréquences excessivement basses. Le filtrage est, par exemple, réalisé avec un ou plusieurs filtres passe-haut successifs.

**[0034]** L'unité de duplication 36 est configurée pour dupliquer, à chaque instant, le signal dynamique désiré  $S_{dyn}$  afin d'obtenir deux signaux dynamiques désirés  $S_{dyn1}$  et  $S_{dyn2}$  identiques.

35 **[0035]** La première unité de traitement 38 est configuré pour traiter, à chaque instant, le premier signal dynamique désiré  $S_{dyn1}$  pour obtenir un premier signal traité  $S_{dyn1}'$  dont les fréquences sont inférieures ou égales à une fréquence prédéterminée.

**[0036]** La fréquence prédéterminée est, par exemple, comprise dans un intervalle de fréquence centré sur la fréquence de résonance du haut-parleur 14 et s'étendant sur au plus 200 Hz. La fréquence de résonance du haut-parleur 14 est définie comme étant la fréquence de résonance de la membrane du haut-parleur 14.

40 **[0037]** Par exemple, la fréquence prédéterminée est inférieure ou égale à 200 Hz.

**[0038]** Dans l'exemple illustré par la figure 3, la première unité de traitement 38 comprend, disposés successivement en série, un limiteur d'excursion 50, un module de filtrage 54, un premier module de détermination 56, un limiteur en courant 58, un deuxième module de détermination 60, un limiteur en tension 62 et, optionnellement, une unité de filtrage additionnelle 64.

45 **[0039]** Le limiteur d'excursion 50 forme l'entrée de la première unité de traitement 38 et est configuré pour recevoir le premier signal dynamique désiré  $S_{dyn1}$ . Le limiteur d'excursion 50 est configuré pour déterminer, à chaque instant, un signal d'excursion  $S_{exc}$ , représentatif de l'excursion de la membrane du haut-parleur 14, en fonction du premier signal dynamique désiré  $S_{dyn1}$ . L'excursion de la membrane du haut-parleur 14 est définie comme étant la distance de la membrane à un instant  $t$ , par rapport à sa position d'équilibre nominale. Typiquement, quand la membrane subit une excursion dépassant l'excursion maximale acceptable par la membrane, le haut-parleur 14 se trouve dans un régime de fonctionnement non-linéaire, ce qui peut endommager le haut-parleur 14. L'excursion maximale acceptable est, par exemple, inférieure ou égale à 10 mm.

**[0040]** Le limiteur d'excursion 50 est configuré pour déterminer l'excursion maximale du signal d'excursion  $S_{exc}$ .

55 **[0041]** Lorsque l'excursion maximale déterminée est strictement supérieure à l'excursion maximale acceptable, le limiteur d'excursion 50 est configuré pour appliquer un premier gain d'atténuation au signal d'excursion  $S_{exc}$  pour obtenir un signal d'excursion atténué  $S_{exc\_att}$ .

**[0042]** Le module de filtrage 54 est configuré pour filtrer les fréquences du signal d'excursion atténué  $S_{exc\_att}$  strictement

supérieures à la fréquence prédéterminée pour obtenir un signal d'excursion filtré  $S_{exc\_filt}$ .

**[0043]** Avantageusement, le module de filtrage 54 permet de conserver uniquement les fréquences très basses (très graves), typiquement en-dessous de 200 Hz, voire en-dessous de 100 Hz.

**[0044]** Le module de filtrage 54 est, également, configuré pour déterminer des grandeurs dynamiques intermédiaires à partir du signal d'excursion atténué  $S_{exc\_att}$ . Ces grandeurs dynamiques intermédiaires, notées  $G_{ref}$ , sont, par exemple, l'excursion de la membrane du haut-parleur 14, la dérivée de l'excursion correspondant à une vitesse et la dérivée seconde de l'excursion correspondant à une accélération.

**[0045]** Le premier module de détermination 56 est configuré pour déterminer un premier signal en intensité  $S_{int1}$ , représentatif de l'intensité du courant destiné à circuler dans la bobine du haut-parleur 14 en fonction du signal d'excursion filtré  $S_{exc\_filt}$  et d'une modélisation électromécanique du haut-parleur 14. Plus précisément, l'intensité du courant est aussi déterminée en fonction des grandeurs dynamiques intermédiaires  $G_{ref}$ .

**[0046]** La modélisation électromécanique du haut-parleur 14 est, par exemple, une table et ou un ensemble de polynômes, mémorisés dans une mémoire du dispositif de commande 22. La modélisation électromécanique permet de définir des paramètres électromécaniques  $P_{méca}$  et électriques  $P_{élec}$  à partir du signal d'excursion filtré  $S_{exc\_filt}$  et plus précisément des grandeurs dynamiques intermédiaires  $G_{ref}$ . Les paramètres électromécaniques  $P_{méca}$  et électriques  $P_{élec}$  sont utilisés dans le calcul du premier signal en intensité  $S_{int1}$ .

**[0047]** Les paramètres électromécaniques  $P_{méca}$  et électriques  $P_{élec}$  sont, par exemple, obtenus au moyen des modèles décrits dans la demande FR 3 018 025 A dans le cas d'une enceinte close et d'une enceinte à évent.

**[0048]** Les paramètres électromécaniques  $P_{méca}$  comprennent, par exemple, le flux magnétique  $BI$  capté par la bobine produit par le circuit magnétique du haut-parleur 14, la raideur du haut-parleur 14 notée  $K_{mt}$ , les frottements mécaniques visqueux du haut-parleur 14 notés  $R_{mt}$ , et la masse mobile de l'ensemble du haut-parleur 14 notée  $M_{mt}$ .

**[0049]** Par exemple, la modélisation de la partie mécanique du haut-parleur 14 comprend, dans un circuit en boucle fermée unique, un générateur de tension  $BI(x, i)$  correspondant à la force motrice produite par le courant  $i$  circulant dans la bobine du haut-parleur 14. Le flux magnétique  $BI(x, i)$  dépend de la position  $x$  de la membrane ainsi que de l'intensité  $i$  circulant dans la bobine.

**[0050]** Cette modélisation prend en compte le frottement mécanique visqueux  $R_{mt}$  correspondant à une résistance en série avec une bobine correspondant à la masse mobile d'ensemble  $M_{mt}$ , la raideur correspondant à un condensateur de capacité  $C_{mt}(x)$  égale  $1/K_{mt}(x)$ . Ainsi, la raideur dépend de la position  $x$  de la membrane.

**[0051]** Enfin, le circuit de modélisation comporte un générateur représentatif de la force issue de la réluctance du circuit magnétique notée  $F_r(x, i)$  et égale à  $\frac{1}{2} i^2 \frac{dL_e(x)}{dx}$  où  $L_e$  est l'inductance de la bobine et dépend de la position  $x$  de la membrane. La variable  $v$  représente la vitesse de la membrane.

**[0052]** Les paramètres électriques  $P_{élec}$  comprennent l'inductance  $L_e$  de la bobine du haut-parleur 14, la para-inductance  $L_2$  de la bobine et l'équivalent perte-fer  $R_2$ .

**[0053]** Par exemple, la modélisation de la partie électrique du haut-parleur 14 d'une enceinte close est formée d'un circuit en boucle fermée. Il comporte un générateur de force électromotrice  $ue$  relié en série à une résistance représentative de la résistance  $Re$  de la bobine du haut-parleur 14. Cette résistance est reliée en série avec une inductance  $L_e(x, i)$  représentative de l'inductance de la bobine du haut-parleur 14. Cette inductance dépend de l'intensité  $i$  circulant dans la bobine et de la position  $x$  de la membrane.

**[0054]** Pour tenir compte des pertes magnétiques et des variations d'inductance par effet des courants de Foucault, un circuit parallèle  $RL$  est monté en série en sortie de la bobine. Une résistance de valeur  $R_2(x, i)$  dépendant de la position de la membrane  $x$  et de l'intensité  $i$  circulant dans la bobine est représentative de l'équivalent perte-fer. De même, une bobine d'inductance  $L_2(x, i)$  dépendant également de la position  $x$  de la membrane et de l'intensité  $i$  circulant dans le circuit est représentative de la para-inductance du haut-parleur 14.

**[0055]** Sont également montés en série dans la modélisation, un générateur de tension produisant une tension  $BI(x, i)$ ,  $v$  représentative de la force contre-électromotrice de la bobine en mouvement dans le champ magnétique produit par l'aimant et un second générateur produisant une tension  $g(x, i)$  avec  $g(x, i) = i \frac{dL_e(x, i)}{dx}$  représentative de l'effet

de la variation dynamique de l'inductance avec la position.

**[0056]** De manière générale, on remarque que, dans cette modélisation, le flux  $BI$  capté par la bobine, la raideur  $K_{mt}$  et l'inductance de la bobine  $L_e$  dépendent de la position  $x$  de la membrane, l'inductance  $L_e$  et le flux  $BI$  dépendent également du courant  $i$  circulant dans la bobine.

**[0057]** De préférence, l'inductance de la bobine  $L_e$ , l'inductance  $L_2$  et le terme  $g$  dépendent de l'intensité  $i$ , en plus de dépendre du déplacement  $x$  de la membrane.

**[0058]** A partir des modélisations de la partie mécanique et de la partie électrique du haut-parleur 14, les équations suivantes sont définies :

$$u_e = R_c i + L_e(x, i) \frac{di}{dt} + R_2(i - i_2) + Bl(x, i)v + i \underbrace{\frac{dL_e(x, i)}{dx}}_{g(x, i)}$$

5

$$L_2 \frac{di_2}{dt} = R_2 (i - i_2)$$

10

$$Bl(x, i)i = R_{mt}v + M_{mt} \frac{dv}{dt} + K_{mt}(x)x + \frac{1}{2} i^2 \frac{dL_e(x, i)}{dx}$$

**[0059]** Par exemple, l'intensité  $i_{ref}$  du premier signal en intensité  $S_{int1}$  et la dérivée  $di_{ref}/dt$  d'une telle intensité satisfont les deux équations suivantes :

15

$$G_1(x_{ref}, i_{ref})i_{ref} = R_{mt}v_{ref} + M_{mt}A_{ref} + K_{mt}(x_{ref})x_{ref}$$

20

$$\frac{d}{dt}(G_1(x_{ref}, i_{ref})i_{ref}) = R_{mt}A_{ref} + M_{mt}dA_{ref}/dt + K_{mt}(x_{ref})v_{ref}$$

avec

25

$$G_1(x_{ref}, i_{ref}) = Bl(x_{ref}, i_{ref}) - \frac{1}{2} i_{ref} \frac{dL_e(x_{ref}, i_{ref})}{dx}$$

**[0060]** En variante, l'intensité  $i_{ref}$  du premier signal en intensité  $S_{int1}$  est obtenue au moyen de l'un des modes de réalisation décrits dans la demande FR 3 018 025 A.

**[0061]** Le limiteur en courant 58 est configuré pour fixer à une valeur d'intensité prédéterminée toutes les valeurs du premier signal en intensité  $S_{int1}$  strictement supérieures à une valeur d'intensité prédéterminée et obtenir ainsi un premier signal en intensité atténué  $S_{int1\_att}$ . Cela permet d'éviter de dépasser la limite en courant acceptable de l'amplificateur 16. Par exemple, la valeur d'intensité prédéterminée est inférieure ou égale à 15 Ampères (A).

**[0062]** Le deuxième module de détermination 60 est configuré pour déterminer un premier signal en tension  $S_{tens1}$ , représentatif de la tension aux bornes du haut-parleur 14, en fonction du signal d'excursion filtré  $S_{exc\_filt}$ , de la modélisation électromécanique du haut-parleur 14 et du premier signal en intensité atténué  $S_{int1\_att}$ .

**[0063]** Dans un exemple de mode de réalisation, le deuxième module de détermination 60 est propre à estimer la résistance  $R_e$  du haut-parleur 14 en fonction des grandeurs dynamiques intermédiaires  $G_{ref}$ , de l'intensité du courant de référence  $i_{ref}$  et de sa dérivée  $di_{ref}/dt$  et, suivant le mode de réalisation envisagé, de la température mesurée sur le circuit magnétique du haut-parleur 14 notée  $T_{m\_mesurée}$  ou de l'intensité mesurée au travers de la bobine notée  $I_{mesurée}$ . Un exemple d'estimation de la résistance  $R_e$  est décrit dans la demande FR 3 018 025 A.

**[0064]** Dans le même exemple de mode de réalisation, le deuxième module de détermination 60 est propre à calculer la tension aux bornes du haut-parleur 14 en fonction de grandeurs dynamiques intermédiaires  $G_{ref}$ , du courant de référence  $i_{ref}$  et de sa dérivée  $di_{ref}/dt$ , des paramètres électriques  $P_{elec}$  et de la résistance  $R_e$ . Pour cela, le deuxième module de détermination 60 met en œuvre les deux équations suivantes :

50

$$u_2 + \frac{L_2(x_{ref}, i_{ref})}{R_2(x_{ref}, i_{ref})} \frac{du_2}{dt} = L_2(x_{ref}, i_{ref}) \frac{di_{ref}}{dt}$$

55

$$u_{ref} = R_c i_{ref} + L_e(x_{ref}, i_{ref}) \frac{di_{ref}}{dt} + u_2 + Bl(x_{ref}, i_{ref})v_{ref} + i_{ref} \underbrace{\frac{dL_e(x_{ref}, i_{ref})}{dt}}_{g(x_{ref}, i_{ref})} v_{ref}$$

**[0065]** En variante, la tension du premier signal en tension  $S_{tens1}$  est obtenue au moyen de l'un des modes de réalisation décrits dans la demande FR 3 018 025 A.

**[0066]** Le limiteur en tension 62 est configuré pour fixer à une valeur de tension prédéterminée, toutes les valeurs du premier signal en tension  $S_{tens1}$  strictement supérieures à une valeur de tension prédéterminée et obtenir ainsi un premier signal en tension atténué  $S_{tens1\_att}$ .

**[0067]** La valeur de tension prédéterminée est, par exemple, supérieure ou égale à 30 Volts (V).

**[0068]** Le module de filtrage additionnel 64 est configuré pour filtrer les fréquences du premier signal en tension atténué  $S_{tens1\_att}$  strictement supérieures à la fréquence prédéterminée. Cela permet d'enlever les bruits éventuels apportés par le limiteur en courant 58 et le limiteur en tension 62.

**[0069]** Optionnellement le module de filtrage additionnel 64 est aussi configuré pour filtrer toutes les fréquences qui sont inférieures ou égales à une fréquence dite fréquence basse, par exemple égale à la fréquence  $f_{min}$  définie précédemment. Cela permet là encore d'éliminer les éventuels bruits résultants des différents traitements effectués sur le signal lors du passage dans les différents limiteurs et modules de la première unité de traitement 38.

**[0070]** La sortie du module de filtrage additionnel 64 est le premier signal traité  $S_{dyn1}'$ .

**[0071]** En variante, lorsque la première unité de traitement 38 ne comprend pas de module de filtrage additionnel 64, le premier signal traité  $S_{dyn1}'$  est le premier signal en tension atténué  $S_{tens1\_att}$ .

**[0072]** Un exemple de deuxième unité de traitement 40 est illustré par la figure 4.

**[0073]** La deuxième unité de traitement 40 est configurée pour traiter, à chaque instant, le deuxième signal dynamique désiré  $S_{dyn2}$  pour obtenir un deuxième signal traité  $S_{dyn2}'$  dont les fréquences sont strictement supérieures à la fréquence prédéterminée.

**[0074]** La deuxième unité de traitement 40 comprend un module de filtrage 70, un premier module de détermination 72, un deuxième module de détermination 74, un limiteur en tension 76 et, optionnellement, un module de filtrage additionnel 80.

**[0075]** Le module de filtrage 70 est configuré pour filtrer les fréquences du deuxième signal dynamique désiré  $S_{dyn2}$  inférieures ou égales à la fréquence prédéterminée pour obtenir un deuxième signal filtré  $S_{dyn2\_filt}$ .

**[0076]** Avantageusement, le module de filtrage 70 permet de conserver uniquement les fréquences graves médium, typiquement au-dessus de 100 Hz, voire au-dessus de 200 Hz.

**[0077]** Le module de filtrage 70 est, également, configuré pour déterminer des grandeurs dynamiques intermédiaires en fonction du deuxième signal dynamique désiré  $S_{dyn2}$ . Ces grandeurs dynamiques intermédiaires, notées  $G_{ref}$ , sont, par exemple, l'excursion de la membrane du haut-parleur 14, la dérivée de l'excursion correspondant à une vitesse et la dérivée seconde de l'excursion correspondant à une accélération.

**[0078]** Le premier module de détermination 72 est configuré pour déterminer un deuxième signal en intensité  $S_{int2}$ , représentatif de l'intensité du courant destiné à circuler dans la bobine du haut-parleur 14, en fonction du deuxième signal filtré  $S_{dyn2\_filt}$  et d'une modélisation électromécanique du haut-parleur 14. La modélisation électromécanique du haut-parleur 14 est par exemple, identique à la modélisation électromécanique utilisée pour la première unité de traitement 38.

**[0079]** Par exemple, le premier module de détermination 72 de la deuxième unité de traitement 40 fonctionne de manière identique au premier module de détermination 56 de la première unité de traitement 38.

**[0080]** Le deuxième module de détermination 74 est configuré pour déterminer un deuxième signal en tension  $S_{tens2}$ , représentatif de la tension du haut-parleur 14, en fonction du deuxième signal filtré  $S_{dyn2\_filt}$ , du deuxième signal en intensité  $S_{int2}$  et de la modélisation électromécanique du haut-parleur 14.

**[0081]** Par exemple, le deuxième module de détermination 74 de la deuxième unité de traitement 40 fonctionne de manière identique au deuxième module de détermination 60 de la première unité de traitement 38.

**[0082]** Le limiteur en tension 76 est configuré pour déterminer la tension maximale du deuxième signal en tension  $S_{tens2}$ .

**[0083]** Lorsque la tension maximale déterminée est strictement supérieure à une tension maximale acceptable, le limiteur en tension 76 est configuré pour appliquer un deuxième gain d'atténuation au deuxième signal en tension  $S_{tens2}$  pour obtenir un deuxième signal en tension atténué  $S_{tens2\_att}$ . La tension maximale acceptable est, par exemple, identique à la valeur de tension prédéterminée du limiteur en tension 62 de la première unité de traitement 38. Le deuxième gain d'atténuation est, avantageusement, différent du premier gain d'atténuation.

**[0084]** En variante ou en complément, le limiteur en tension 76 est configuré pour fixer à une valeur de tension prédéterminée toutes les valeurs du deuxième signal en tension  $S_{tens2}$  supérieures à la valeur en tension prédéterminée et obtenir ainsi le deuxième signal en tension atténué  $S_{tens2\_att}$ .

**[0085]** Le module de filtrage additionnel 80 est configuré pour filtrer les fréquences du signal en tension atténué inférieures ou égales à la fréquence prédéterminée. Cela permet d'enlever les bruits éventuels apportés par le limiteur en tension 76 et les modules de la deuxième unité de traitement 40.

**[0086]** La sortie du module de filtrage additionnel 80 est le deuxième signal traité  $S_{dyn2}'$ . En variante, lorsque la deuxième unité de traitement 40 ne comprend pas de module de filtrage additionnel 80, le deuxième signal traité  $S_{dyn2}'$  est le deuxième signal en tension atténué  $S_{tens2\_att}$ .

- [0087] L'unité de combinaison 42 est configurée pour effectuer, à chaque instant, la combinaison linéaire du premier et du deuxième signal traité  $S_{dyn2}$  pour obtenir le signal de commande  $S_{commande}$  du haut-parleur 14.
- [0088] Avantageusement, les coefficients de la combinaison linéaire sont tous égaux à un de sorte que l'unité de combinaison 42 effectue la somme du premier et du deuxième signal traité  $S_{dyn2}$  pour obtenir le signal de commande  $S_{commande}$  du haut-parleur 14.
- [0089] Un exemple de fonctionnement du dispositif de commande 22 va maintenant être décrit.
- [0090] Initialement, le dispositif de commande 22 reçoit en entrée le signal audio  $S_{audio\_ref}$  à reproduire.
- [0091] L'unité de détermination 34 du dispositif de commande 22 détermine, à chaque instant, le signal dynamique désiré  $S_{dyn}$ , représentatif d'une grandeur dynamique désirée  $A_{ref}$  de la membrane du haut-parleur 14, en fonction du signal audio  $S_{audio\_ref}$  à reproduire et de la structure de l'enceinte.
- [0092] Optionnellement, l'unité de détermination 34 filtre les fréquences du signal dynamique désiré  $S_{dyn}$  strictement inférieures à la fréquence  $f_{min}$  afin de limiter la reproduction des fréquences excessivement basses.
- [0093] L'unité de duplication 36 duplique, ensuite, le signal dynamique désiré  $S_{dyn}$  afin d'obtenir deux signaux dynamiques désirés  $S_{dyn1}$  et  $S_{dyn2}$  identiques.
- [0094] La première unité de traitement 38 traite le premier signal dynamique désiré  $S_{dyn1}$  pour obtenir un premier signal traité  $S_{dyn1}$  dont les fréquences sont inférieures ou égales à une fréquence prédéterminée.
- [0095] Pour cela, le limiteur d'excursion 50 détermine, à chaque instant, un signal d'excursion  $S_{exc}$ , représentatif de l'excursion de la membrane du haut-parleur 14, en fonction du premier signal dynamique désiré  $S_{dyn1}$ . Puis, le limiteur d'excursion 50 détermine l'excursion maximale du signal d'excursion. Lorsque l'excursion maximale déterminée est strictement supérieure à une excursion maximale acceptable, le limiteur d'excursion 50 applique un premier gain d'atténuation au signal d'excursion  $S_{exc}$  pour obtenir un signal d'excursion atténué  $S_{exc\_att}$ .
- [0096] Le module de filtrage 54 filtre ensuite les fréquences du signal d'excursion atténué  $S_{exc\_att}$  strictement supérieures à la fréquence prédéterminée pour obtenir un signal d'excursion filtré  $S_{exc\_filt}$ .
- [0097] Puis, le premier module de détermination 56 détermine un premier signal en intensité  $S_{int1}$ , représentatif de l'intensité du courant destiné à circuler dans la bobine du haut-parleur 14 en fonction du signal d'excursion filtré  $S_{exc\_filt}$  et de la modélisation électromécanique du haut-parleur 14.
- [0098] Le limiteur en courant 58 fixe, ensuite, à une valeur d'intensité prédéterminée toutes les valeurs du premier signal en intensité  $S_{int1}$  strictement supérieures à la valeur d'intensité prédéterminée pour obtenir un premier signal en intensité atténué  $S_{int1\_att}$ .
- [0099] Le deuxième module de détermination 60 détermine, ensuite, un premier signal en tension  $S_{tens1}$ , représentatif de la tension aux bornes du haut-parleur 14, en fonction du signal d'excursion filtré  $S_{exc\_filt}$ , de la modélisation électromécanique du haut-parleur 14 et du premier signal en intensité atténué  $S_{int1\_att}$ .
- [0100] Le limiteur en tension 62 fixe, ensuite, à une valeur de tension prédéterminée, toutes les valeurs du premier signal en tension  $S_{tens1}$  strictement supérieures à une valeur de tension prédéterminée pour obtenir un premier signal en tension atténué  $S_{tens1\_att}$ .
- [0101] Optionnellement, le module de filtrage additionnel 64 filtre les fréquences du premier signal en tension atténué  $S_{tens1\_att}$  strictement supérieures à la fréquence prédéterminée. Optionnellement, le module de filtrage additionnel 64 filtre toutes les fréquences qui sont inférieures ou égales à une fréquence dite fréquence basse. La sortie du module de filtrage additionnel 64 est le premier signal traité  $S_{dyn1}$ .
- [0102] En parallèle de la première unité de traitement 38, la deuxième unité de traitement 40 traite le deuxième signal dynamique désiré  $S_{dyn2}$  pour obtenir un deuxième signal traité  $S_{dyn2}$  dont les fréquences sont strictement supérieures à la fréquence prédéterminée.
- [0103] Pour cela, le module de filtrage 70 filtre les fréquences du deuxième signal dynamique désiré  $S_{dyn2}$  inférieures ou égales à la fréquence prédéterminée pour obtenir un deuxième signal filtré  $S_{dyn2\_filt}$ .
- [0104] Le premier module de détermination 72 détermine, ensuite, un deuxième signal en intensité  $S_{int2}$ , représentatif de l'intensité du courant destiné à circuler dans la bobine du haut-parleur 14, en fonction du deuxième signal filtré  $S_{dyn2\_filt}$  et de la modélisation électromécanique du haut-parleur 14.
- [0105] Le deuxième module de détermination 74 détermine, ensuite, un deuxième signal en tension  $S_{tens2}$ , représentatif de la tension du haut-parleur 14, en fonction du deuxième signal filtré  $S_{dyn2\_filt}$ , du deuxième signal en intensité  $S_{int2}$  et de la modélisation électromécanique du haut-parleur 14.
- [0106] Puis, le limiteur en tension 76 détermine la tension maximale du deuxième signal en tension  $S_{tens2}$ . Lorsque la tension maximale déterminée est strictement supérieure à la tension maximale acceptable, le limiteur en tension 76 applique un deuxième gain d'atténuation au deuxième signal en tension  $S_{tens2}$  pour obtenir un deuxième signal en tension atténué  $S_{tens2\_att}$ .
- [0107] Le module de filtrage additionnel 80 filtre les fréquences du signal en tension atténué inférieures ou égales à la fréquence prédéterminée pour obtenir le deuxième signal traité  $S_{dyn2}$ .
- [0108] Enfin, l'unité de combinaison 42 effectue la combinaison linéaire du premier et du deuxième signal traité  $S_{dyn1}$  et  $S_{dyn2}$  pour obtenir le signal de commande  $S_{commande}$  du haut-parleur 14.

[0109] Ainsi, le dispositif de commande 22 permet d'effectuer un traitement différent sur deux bandes de fréquences disjointes d'un signal d'entrée. Cela présente un intérêt particulier pour le traitement des basses (fréquences graves) d'un haut-parleur. En effet, l'un des facteurs limitants pour les fréquences très basses (par exemple en-dessous de 150 Hz) est l'excursion de la membrane du haut-parleur 14, ainsi que la tension envoyée au haut-parleur 14. Aussi, le dispositif de commande 22 permet d'appliquer un traitement spécifique sur les fréquences très basses du signal afin de limiter, d'une part, l'excursion de la membrane au-dessus d'une valeur prédéterminée et de limiter, d'autre part, la tension envoyée au haut-parleur 14. A contrario pour les fréquences basses intermédiaires (par exemple, graves au-dessus de 150 Hz) la limitation en excursion est optionnelle. Par contre, le facteur limitant est la tension qui est appliquée au haut-parleur 14, d'où l'ajout d'un traitement spécifique pour de telles fréquences intermédiaires.

[0110] Ainsi, le dispositif de commande 22 permet d'optimiser la restitution des basses fréquences, compte tenu des différentes contraintes du système (excursion, tension), notamment pour des haut-parleurs graves à bande de fréquence étendue (typiquement supérieure à 200 Hz).

[0111] Le dispositif de commande 22 permet donc de réduire la distorsion dans le signal restitué par le haut-parleur 14 tout en améliorant la protection de la membrane du haut-parleur 14. Cela permet d'améliorer la restitution du signal par le haut-parleur 14.

[0112] L'homme du métier comprendra que le dispositif de commande 22 décrit ne se limite pas aux exemples des figures 2 à 4, ni aux exemples particuliers de la description. Une variante consiste par exemple à combiner un ou plusieurs des exemples ou variantes décrits précédemment lorsque la combinaison est compatible.

## Revendications

1. Dispositif de commande (22) d'un haut-parleur (14) dans une enceinte, le haut-parleur (14) comprenant une membrane, l'enceinte ayant une structure, le dispositif (22) comprenant :

- une entrée (30) pour un signal audio ( $S_{\text{audi\_ref}}$ ) à reproduire,
- une sortie (32) de fourniture d'un signal de commande ( $S_{\text{commande}}$ ) du haut-parleur (14),
- une unité (34) de détermination d'un signal dynamique désiré ( $S_{\text{dyn}}$ ), représentatif d'une grandeur dynamique désirée ( $A_{\text{ref}}$ ) de la membrane du haut-parleur (14), en fonction du signal audio ( $S_{\text{audio\_ref}}$ ) à reproduire et de la structure de l'enceinte,
- une unité (36) de duplication du signal dynamique désiré ( $S_{\text{dyn}}$ ) pour obtenir deux signaux dynamiques désirés ( $S_{\text{dyn1}}$ ,  $S_{\text{dyn2}}$ ) identiques,
- une première unité de traitement (38) configurée pour traiter le premier signal dynamique désiré ( $S_{\text{dyn1}}$ ) pour obtenir un premier signal traité ( $S_{\text{dyn1}'}$ ) dont les fréquences sont inférieures ou égales à une fréquence prédéterminée,
- une deuxième unité de traitement (40) configurée pour traiter le deuxième signal dynamique désiré ( $S_{\text{dyn2}}$ ) pour obtenir un deuxième signal traité ( $S_{\text{dyn2}'}$ ) dont les fréquences sont strictement supérieures à la fréquence prédéterminée, et
- une unité de combinaison (42) du premier et du deuxième signal traité ( $S_{\text{dyn1}'}$ ,  $S_{\text{dyn2}'}$ ) pour obtenir le signal de commande ( $S_{\text{commande}}$ ) du haut-parleur (14).

2. Dispositif (22) selon la revendication 1, dans lequel la première unité de traitement (38) comprend un limiteur d'excursion (50) configuré pour :

- déterminer un signal d'excursion ( $S_{\text{exc}}$ ), représentatif de l'excursion de la membrane du haut-parleur (14), en fonction du premier signal dynamique désiré ( $S_{\text{dyn1}}$ ),
- déterminer l'excursion maximale du signal d'excursion ( $S_{\text{exc}}$ ), et
- lorsque l'excursion maximale déterminée est strictement supérieure à une excursion maximale acceptable, appliquer un premier gain d'atténuation au signal d'excursion ( $S_{\text{exc}}$ ) pour obtenir un signal d'excursion atténué ( $S_{\text{exc\_att}}$ ),

le premier signal traité ( $S_{\text{dyn1}'}$ ) étant obtenu en fonction du signal d'excursion atténué ( $S_{\text{exc\_att}}$ ).

3. Dispositif (22) selon la revendication 2, dans lequel le haut-parleur (14) comprend au moins une bobine, la première unité de traitement (38) comprenant :

- un module (54) de filtrage des fréquences du signal d'excursion atténué ( $S_{\text{exc\_att}}$ ) strictement supérieures à la fréquence prédéterminée pour obtenir un signal d'excursion filtré ( $S_{\text{exc\_filt}}$ ),

## EP 3 637 792 A1

- un module (56) de détermination d'un premier signal en intensité ( $S_{int1}$ ), représentatif de l'intensité du courant destiné à circuler dans la bobine du haut-parleur (14), en fonction du signal d'excursion filtré ( $S_{exc\_filt}$ ) et d'une modélisation électromécanique du haut-parleur (14), et
- un limiteur en courant (58) configuré pour fixer à une valeur d'intensité prédéterminée, toutes les valeurs du premier signal en intensité ( $S_{int1}$ ) strictement supérieures à la valeur d'intensité prédéterminée et obtenir ainsi un premier signal en intensité atténué ( $S_{int1\_att}$ ),

le premier signal traité ( $S_{dyn1}$ ) étant obtenu en fonction du premier signal en intensité atténué ( $S_{int1\_att}$ ).

**4.** Dispositif (22) selon la revendication 3, dans lequel la première unité de traitement (38) comprend :

- un module (60) de détermination d'un premier signal en tension ( $S_{tens1}$ ), représentatif de la tension aux bornes du haut-parleur (14), en fonction de grandeurs dynamiques ( $G_{ref}$ ) obtenues par le module de filtrage (54) à partir du signal d'excursion atténué ( $S_{exc\_att}$ ), de la modélisation électromécanique du haut-parleur (14) et du premier signal en intensité atténué ( $S_{int1\_att}$ ), et
- un limiteur en tension (62) configuré pour fixer à une valeur de tension prédéterminée, toutes les valeurs du premier signal en tension ( $S_{tens1}$ ) strictement supérieures à la valeur de tension prédéterminée et obtenir ainsi un premier signal en tension atténué ( $S_{tens1\_att}$ ),

le premier signal traité ( $S_{dyn1}$ ) étant obtenu en fonction du premier signal en tension atténué ( $S_{tens1\_att}$ ).

**5.** Dispositif (22) selon la revendication 4, dans lequel la première unité de traitement (38) comprend un module de filtrage additionnel (64) configuré pour filtrer les fréquences du premier signal en tension atténué ( $S_{tens1\_att}$ ) strictement supérieures à la fréquence prédéterminée, le premier signal traité ( $S_{dyn1}$ ) étant obtenu en fonction du premier signal en tension atténué ( $S_{tens1\_att}$ ) filtré par le module de filtrage additionnel (64).

**6.** Dispositif (22) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel la deuxième unité de traitement (40) comprend :

- un module (70) de filtrage des fréquences du deuxième signal dynamique désiré ( $S_{dyn2}$ ) inférieures ou égales à la fréquence prédéterminée pour obtenir un deuxième signal filtré ( $S_{dyn2\_filt}$ ),
- un module (74) de détermination d'un deuxième signal en tension ( $S_{tens2}$ ), représentatif de la tension aux bornes du haut-parleur (14), en fonction du deuxième signal filtré ( $S_{dyn2\_filt}$ ) et d'une modélisation électromécanique du haut-parleur (14),

le deuxième signal traité ( $S_{dyn2}$ ) étant obtenu en fonction du deuxième signal en tension ( $S_{tens2}$ ).

**7.** Dispositif (22) selon la revendication 6, dans lequel la deuxième unité de traitement (40) comprend un limiteur en tension (76) configuré pour :

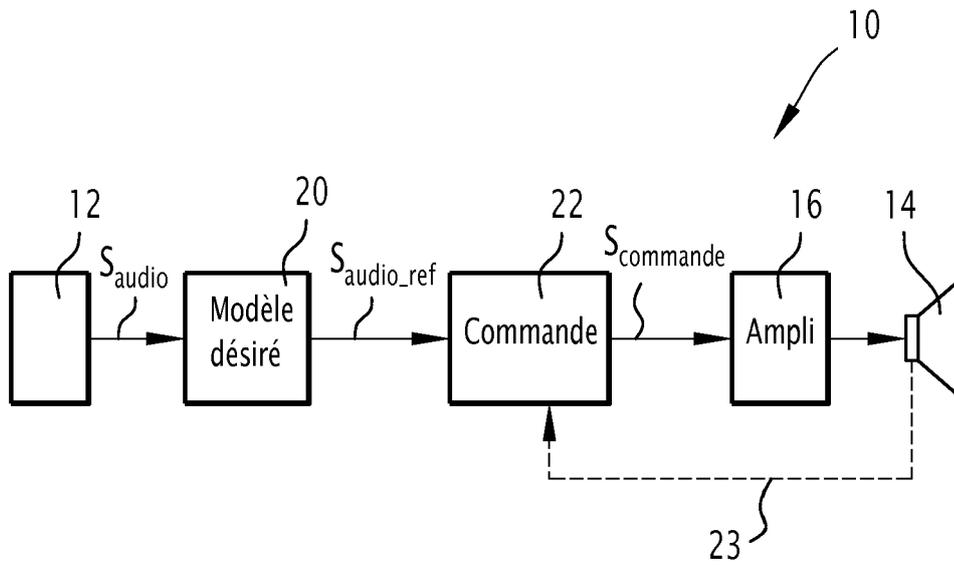
- déterminer la tension maximale du deuxième signal en tension ( $S_{tens2}$ ),
- lorsque la tension maximale déterminée est strictement supérieure à une tension maximale acceptable, appliquer un deuxième gain d'atténuation au deuxième signal en tension ( $S_{tens2}$ ) pour obtenir un deuxième signal en tension atténué ( $S_{tens2\_att}$ ),

le deuxième signal traité ( $S_{dyn2}$ ) étant obtenu en fonction du deuxième signal en tension atténué ( $S_{tens2\_att}$ ).

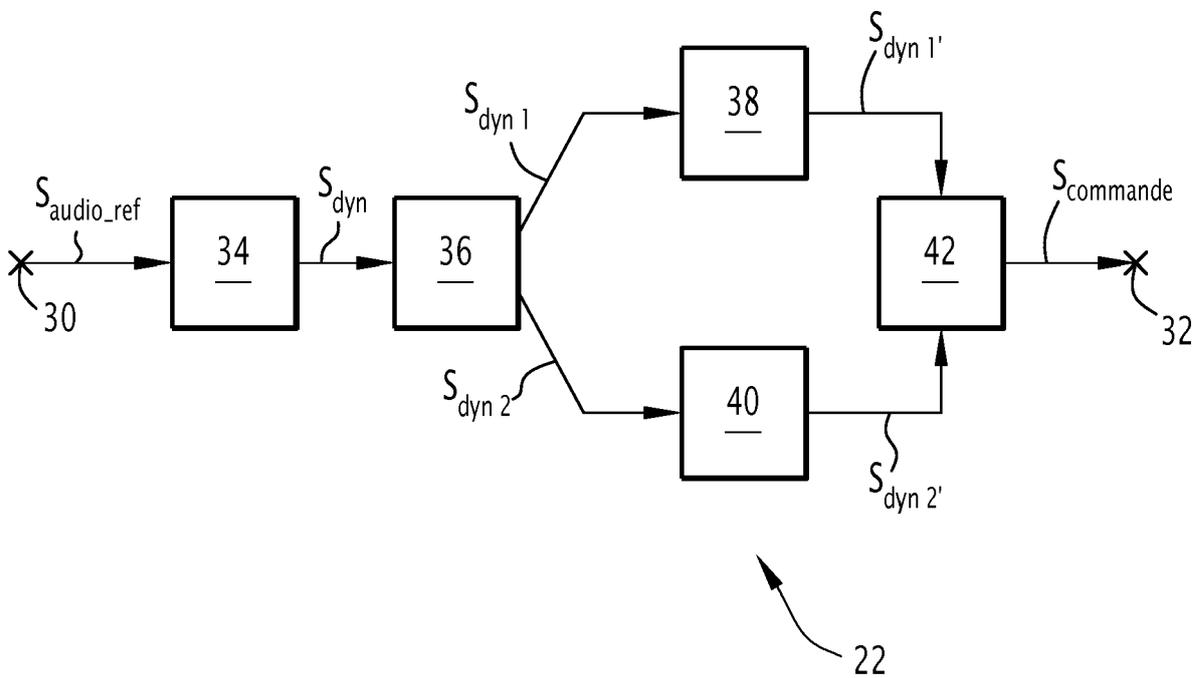
**8.** Dispositif (22) selon la revendication 7, dans lequel la deuxième unité de traitement (40) comprend un module de filtrage additionnel (80) configuré pour filtrer les fréquences du deuxième signal en tension atténué ( $S_{tens2\_att}$ ) inférieures ou égales à la fréquence prédéterminée, le deuxième signal traité ( $S_{dyn2}$ ) étant obtenu en fonction du deuxième signal en tension atténué ( $S_{tens2\_att}$ ) filtré par le module de filtrage additionnel (80).

**9.** Dispositif (22) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel la fréquence prédéterminée est comprise dans un intervalle de fréquences centré sur la fréquence de résonance du haut-parleur (14) et s'étendant sur au plus 200 Hz.

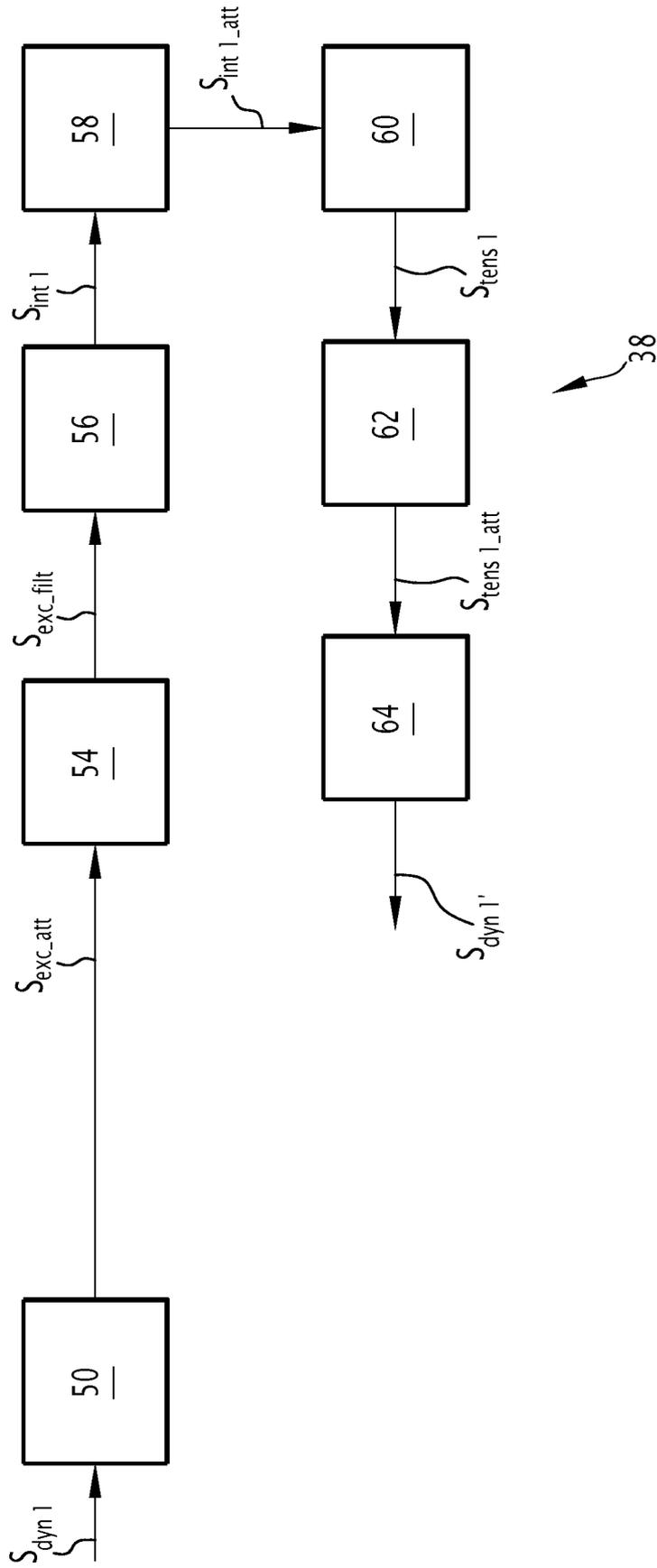
**10.** Installation de restitution sonore comprenant un haut-parleur (14) dans une enceinte et un dispositif de commande (22) du haut-parleur (14) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9.



**FIG.1**



**FIG.2**



**FIG.3**

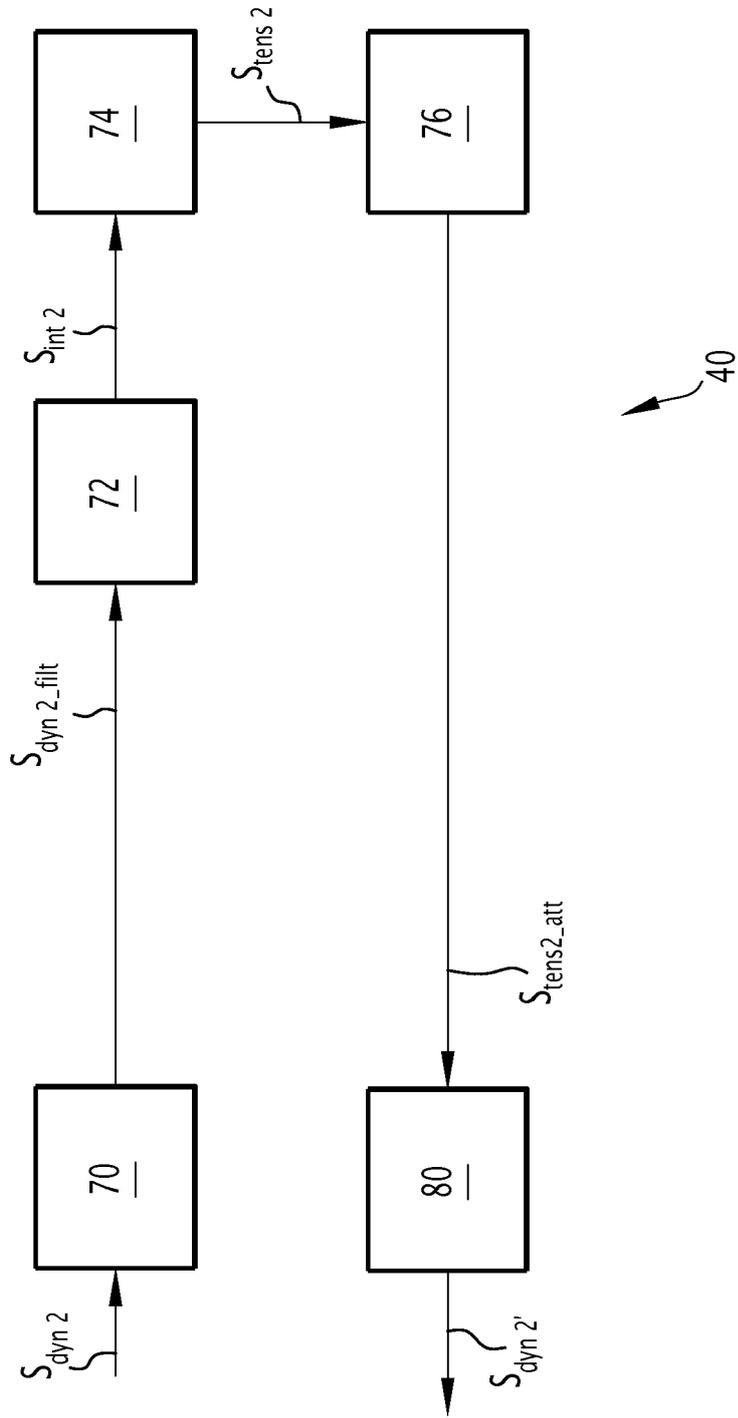


FIG.4



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 19 20 1631

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	US 2009/268918 A1 (SOLGAARD MADS EMIL [DK] ET AL) 29 octobre 2009 (2009-10-29) * alinéas [0008] - [0072] * * figure 4 *	1,2,6-10	INV. H04R3/00
X	WO 2018/157417 A1 (GOERTEK INC [CN]) 7 septembre 2018 (2018-09-07) * alinéas [0052] - [0092] * * figure 2 *	1,2,6-10	
X	US 2018/014121 A1 (LAWRENCE JASON WILLIAM [US] ET AL) 11 janvier 2018 (2018-01-11) * alinéas [0145] - [0158] * * figures 3,4 *	1,2	
A	US 2016/173983 A1 (BERTHELSEN KIM SPETZLER [DK] ET AL) 16 juin 2016 (2016-06-16) * alinéas [0065] - [0074] * * figure 5 *	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H04R
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche <b>La Haye</b>		Date d'achèvement de la recherche <b>7 février 2020</b>	Examineur <b>Bensa, Julien</b>
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03.02 (P04C02)

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

EP 19 20 1631

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.  
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

07-02-2020

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2009268918 A1	29-10-2009	AUCUN	
WO 2018157417 A1	07-09-2018	CN 107071634 A EP 3398350 A1 WO 2018157417 A1	18-08-2017 07-11-2018 07-09-2018
US 2018014121 A1	11-01-2018	CN 107431858 A CN 107439018 A EP 3254472 A1 EP 3254473 A1 GB 2534949 A GB 2534950 A KR 20170122760 A KR 20170122761 A US 2018014120 A1 US 2018014121 A1 WO 2016124896 A1 WO 2016124897 A1	01-12-2017 05-12-2017 13-12-2017 13-12-2017 10-08-2016 10-08-2016 06-11-2017 06-11-2017 11-01-2018 11-01-2018 11-08-2016 11-08-2016
US 2016173983 A1	16-06-2016	CN 105704624 A DE 102015121528 A1 US 2016173983 A1	22-06-2016 14-07-2016 16-06-2016

EPO FORM P0480

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

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

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

**Documents brevets cités dans la description**

- FR 3018025 A [0047] [0060] [0063] [0065]