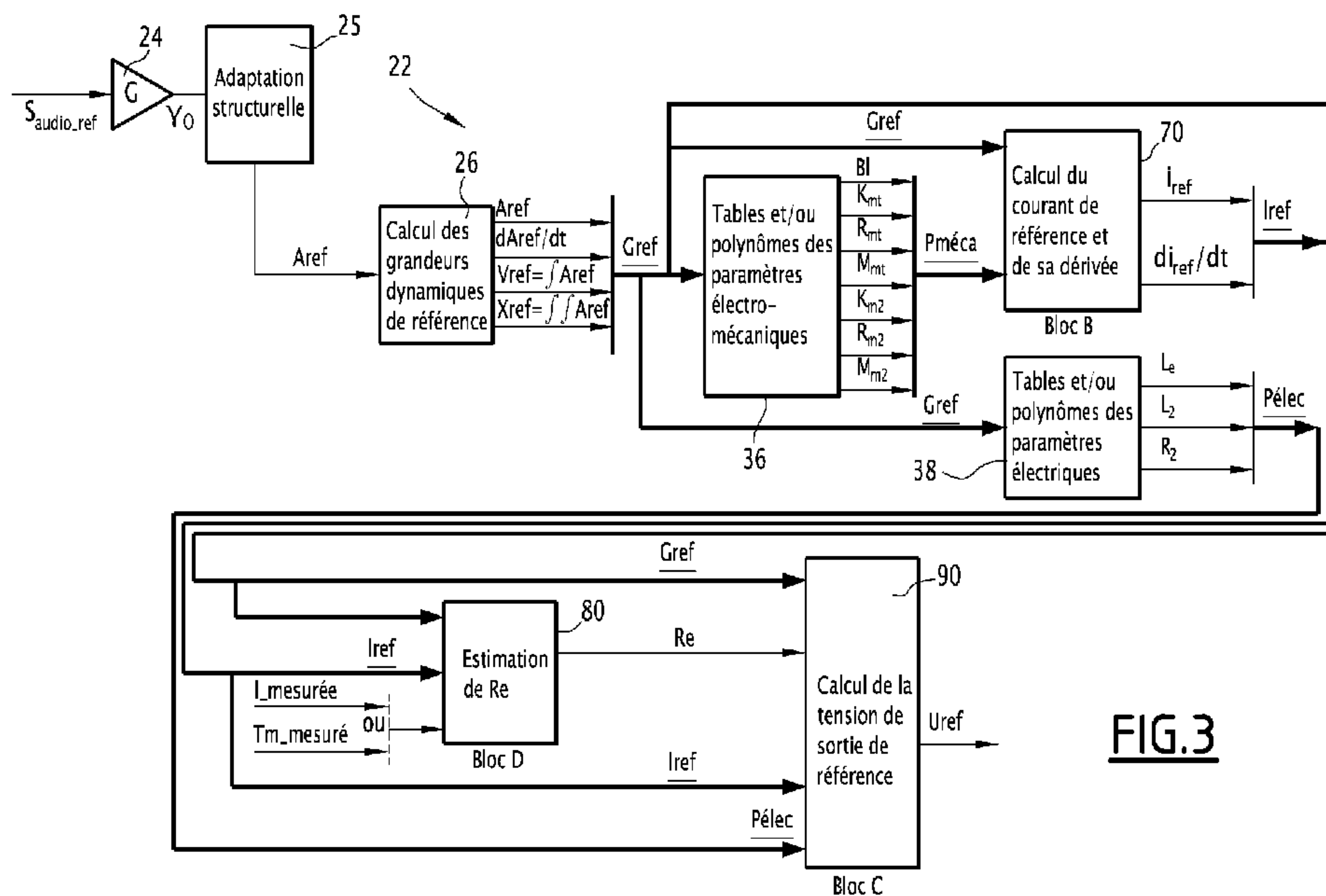




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2015/02/18  
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2015/09/03  
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2016/08/26  
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: EP 2015/053429  
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2015/128237  
 (30) Priorité/Priority: 2014/02/26 (FR14 51563)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *H04R 3/04* (2006.01),  
*H04R 29/00* (2006.01)  
 (71) Demandeur/Applicant:  
DEVIALET, FR  
 (72) Inventeurs/Inventors:  
MENDES, EDUARDO, FR;  
CALMEL, PIERRE-EMMANUEL, FR;  
PETROFF, ANTOINE, FR;  
AFRESNE, JEAN-LOUP, FR  
 (74) Agent: ROBIC

(54) Titre : DISPOSITIF DE COMMANDE D'UN HAUT-PARLEUR  
 (54) Title: DEVICE FOR CONTROLLING A LOUDSPEAKER



**FIG.3**

(57) **Abrégé/Abstract:**

La présente invention concerne un dispositif de commande d'un haut-parleur (14) dans une enceinte comportant : - une entrée pour un signal audio ( $S_{audio\_ref}$ ) à reproduire; - une sortie de fourniture d'un signal d'excitation du haut-parleur; - des moyens (26, 36, 38, 70, 80, 90) pour calculer à chaque instant, le signal d'excitation du haut-parleur (14) en fonction du signal audio ( $S_{audio\_ref}$ ). Il comporte en amont des moyens (26, 36, 38, 70, 80, 90) pour calculer le signal d'excitation, des moyens (24, 25) de calcul d'une grandeur dynamique désirée ( $A_{ref}$ ) de la membrane du haut-parleur en fonction du signal audio ( $S_{audio\_ref}$ ) à reproduire et de la structure de l'enceinte, les moyens (25) de calcul de la grandeur dynamique désirée ( $A_{ref}$ ) de la membrane du haut-parleur étant propres à appliquer une correction différente de l'identité, et tenant compte de grandeurs dynamiques structurelles ( $x_o, v_o$ ) de l'enceinte différentes des seules grandeurs dynamiques relatives à la membrane du haut-parleur, et les moyens (26, 36, 38, 70, 80, 90) pour calculer le signal d'excitation du haut-parleur sont propres à calculer le signal d'excitation en fonction de la grandeur dynamique désirée ( $A_{ref}$ ) de la membrane du haut-parleur.

## (12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international(43) Date de la publication internationale  
3 septembre 2015 (03.09.2015)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale  
WO 2015/128237 A1

- (51) Classification internationale des brevets :  
H04R 3/04 (2006.01) H04R 29/00 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2015/053429
- (22) Date de dépôt international :  
18 février 2015 (18.02.2015)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
14 51563 26 février 2014 (26.02.2014) FR
- (71) Déposant : DEVIALET [FR/FR]; 10, place Vendôme, F-75001 Paris (FR).
- (72) Inventeurs : MENDES, Eduardo; 19 rue du Centaure, F-26120 Chabeuil (FR). CALMEL, Pierre-Emmanuel; 22 rue Guilloteaux-Vatel, F-78150 Le Chesnay (FR). PETROFF, Antoine; 62 rue de La Rochefoucauld, F-75009 Paris (FR). AFRESNE, Jean-Loup; 17 rue Ferdinand Duval, F-75004 Paris (FR).
- (74) Mandataires : BLOT, Philippe et al.; Lavoix, 2, place d'Estienne d'Orves, F-75009 Paris (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Publiée :  
— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : DEVICE FOR CONTROLLING A LOUDSPEAKER

(54) Titre : DISPOSITIF DE COMMANDE D'UN HAUT-PARLEUR

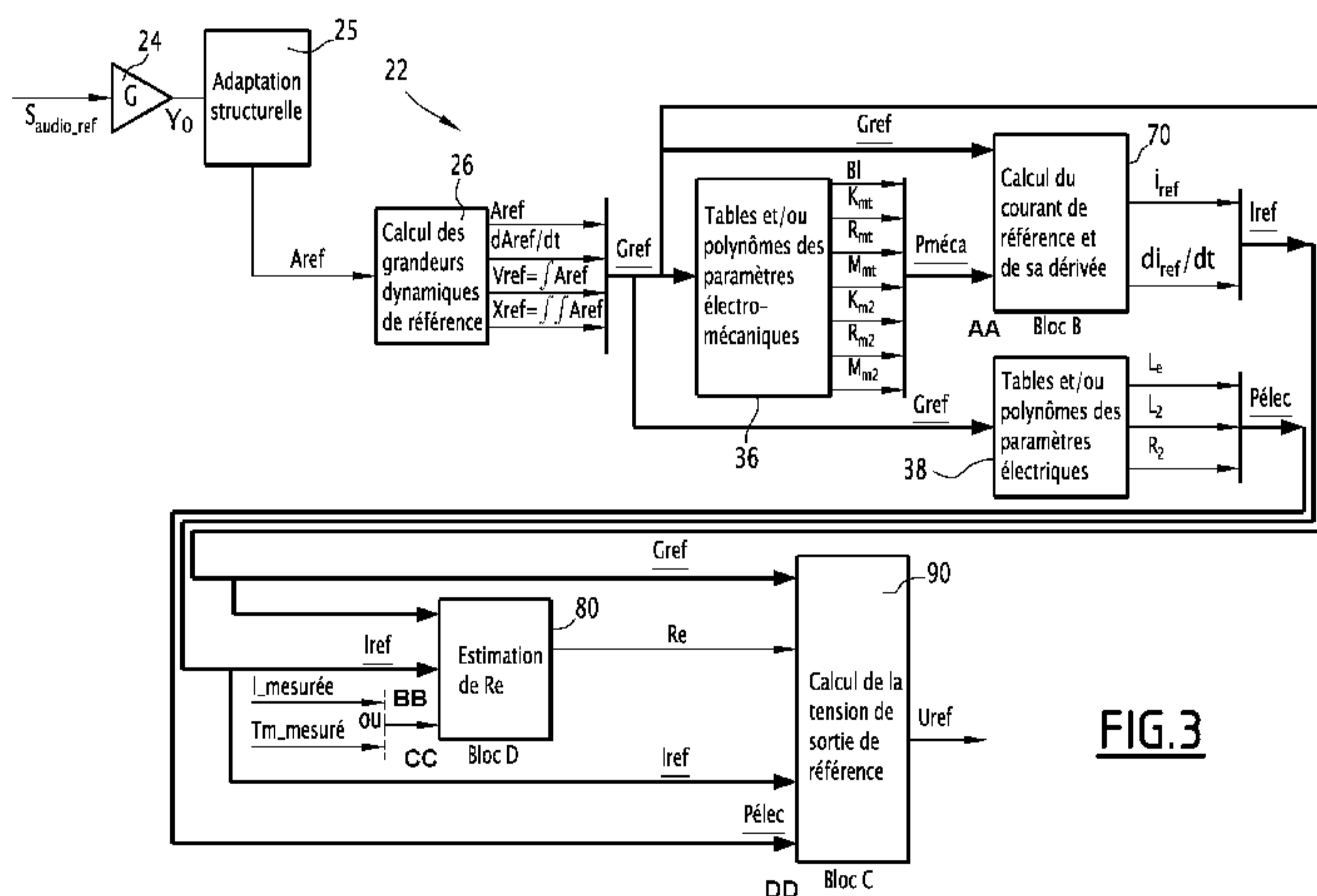


FIG.3

25 Structural adjustment  
26 Calculate reference dynamic values  
36 Tables and/or polynomials of the electromechanical parameters  
70 Calculate the reference current and its derivative  
AA Block B  
38 Tables and/or polynomials of the electric parameters  
BB or  
80 Estimate resistance Re  
90 Calculate reference output voltage  
CC Block D  
DD Block C

(57) Abstract : The invention relates to a device for controlling a loudspeaker (14) in a loudspeaker enclosure, comprising: - an input for an audio signal ( $S_{\text{audio\_ref}}$ ) to be reproduced; - an output for supplying an excitation signal from the loudspeaker; - means (26, 36, 38, 70, 80, 90) for calculating the excitation signal of the loudspeaker (14) at every moment in time according to the audio signal ( $S_{\text{audio\_ref}}$ ). Upstream, the device comprises means (26, 36, 38, 70, 80, 90) for calculating the excitation signal, means (24, 25) for calculating a desired dynamic value ( $A_{\text{ref}}$ ) of the loudspeaker diaphragm according to the audio signal ( $S_{\text{audio\_ref}}$ ) to be reproduced and the structure of the enclosure, the means (25) for calculating the desired dynamic value ( $A_{\text{ref}}$ ) of the loudspeaker diaphragm being suitable for applying a correction that is different from the identity, and taking into account structural dynamic values ( $x_0, v_0$ ) of the enclosure that are different from the mere dynamic values relative to the loudspeaker diaphragm, and the means (26, 36, 38, 70, 80, 90) for calculating the excitation signal according to the desired dynamic value ( $A_{\text{ref}}$ ) of the loudspeaker diaphragm.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

**WO 2015/128237 A1**

---

La présente invention concerne un dispositif de commande d'un haut-parleur (14) dans une enceinte comportant : - une entrée pour un signal audio ( $S_{\text{audio\_ref}}$ ) à reproduire; - une sortie de fourniture d'un signal d'excitation du haut-parleur; - des moyens (26, 36, 38, 70, 80, 90) pour calculer à chaque instant, le signal d'excitation du haut-parleur (14) en fonction du signal audio ( $S_{\text{audio\_ref}}$ ). Il comporte en amont des moyens (26, 36, 38, 70, 80, 90) pour calculer le signal d'excitation, des moyens (24, 25) de calcul d'une grandeur dynamique désirée ( $A_{\text{ref}}$ ) de la membrane du haut-parleur en fonction du signal audio ( $S_{\text{audio\_ref}}$ ) à reproduire et de la structure de l'enceinte, les moyens (25) de calcul de la grandeur dynamique désirée ( $A_{\text{ref}}$ ) de la membrane du haut-parleur étant propres à appliquer une correction différente de l'identité, et tenant compte de grandeurs dynamiques structurelles ( $x_o, v_o$ ) de l'enceinte différentes des seules grandeurs dynamiques relatives à la membrane du haut-parleur, et les moyens (26, 36, 38, 70, 80, 90) pour calculer le signal d'excitation du haut-parleur sont propres à calculer le signal d'excitation en fonction de la grandeur dynamique désirée ( $A_{\text{ref}}$ ) de la membrane du haut-parleur.

## Dispositif de commande d'un haut-parleur

La présente invention concerne un dispositif de commande d'un haut-parleur dans une enceinte comportant :

- 5 - une entrée pour un signal audio à reproduire ;
- une sortie de fourniture d'un signal d'excitation du haut-parleur ;
- des moyens pour calculer à chaque instant, le signal d'excitation du haut-parleur en fonction du signal audio.

10 Les haut-parleurs sont des dispositifs électromagnétiques qui convertissent un signal électrique en un signal acoustique. Ils introduisent une distorsion non linéaire qui peut affecter considérablement le signal acoustique obtenu.

De nombreuses solutions ont été proposées pour commander les haut-parleurs afin de permettre d'éliminer les distorsions du comportement du haut-parleur par une commande appropriée.

15 Un premier type de solution utilise des capteurs mécaniques, typiquement un microphone, afin de mettre en œuvre un asservissement qui permet de linéariser le fonctionnement du haut-parleur. L'inconvénient majeur d'une telle technique est l'encombrement mécanique et la non-standardisation des dispositifs ainsi que des coûts élevés.

20 Des exemples de telles solutions sont décrites par exemple dans les documents EP 1 351 543, US 6 684 204, US 2010/017 25 16, et US 5 694 476.

Afin d'éviter le recours à un capteur mécanique indésirable, des commandes de type en boucle ouverte ont été envisagées. Elles ne nécessitent pas de capteurs coûteux. Elles n'utilisent éventuellement qu'une mesure de la tension et/ou du courant appliquée  
25 aux bornes du haut-parleur.

De telles solutions sont décrites par exemple dans les documents US 6 058 195 et US 8 023 668.

Ces solutions présentent toutefois des inconvénients en ce sens que l'ensemble des non-linéarités du haut-parleur ne sont pas prises en compte et ces systèmes sont  
30 complexes à implanter et n'offrent pas toute liberté pour le choix du comportement corrigé obtenu du haut-parleur équivalent.

Le document US 6 058 195 utilise une technique dite « mirror filter » avec un pilotage en courant. Cette technique permet de supprimer les non-linéarités afin d'obtenir un modèle prédéterminé. L'estimateur E mis en œuvre produit un signal d'erreur entre la  
35 tension mesurée et la tension prédite par le modèle. Cette erreur est utilisée par le circuit de mise à jour des paramètres U. Compte tenu du nombre de paramètres estimés, la

convergence des paramètres vers leurs vraies valeurs est hautement improbable en conditions normales de fonctionnement.

US 8 023 668 propose un modèle de commande en boucle ouverte qui compense les comportements indésirables du haut-parleur par rapport à un comportement désiré. Pour cela, la tension appliquée au haut-parleur est corrigée par une tension additionnelle qui annule les comportements indésirables du haut-parleur par rapport au comportement désiré. L'algorithme de commande est réalisé par la discrétisation en temps discret du modèle du haut-parleur. Ceci permet de prédire la position qu'aura la membrane au temps suivant et de comparer cette position avec la position souhaitée. L'algorithme réalise ainsi une sorte d'asservissement à gain infini entre un modèle désiré du haut-parleur et le modèle du haut-parleur afin que le haut-parleur suive le comportement désiré.

Comme dans le document précédent, la commande met en œuvre une correction qui est calculée à chaque instant et ajoutée au signal d'entrée, même si cette correction dans le document US 8,023,668 ne met pas en œuvre de boucle fermée de rétroaction.

Les mécanismes de calcul d'une correction ajoutée au signal d'entrée ne prennent pas en compte la structure de l'enceinte lorsque celle-ci n'est pas une enceinte close.

L'invention a pour but de proposer une commande satisfaisante d'un haut-parleur disposé dans une enceinte non close et qui prenne en compte la structure de l'enceinte.

A cet effet, l'invention a pour objet un dispositif de commande d'un haut-parleur du type précité, caractérisé en ce qu'il comporte en amont des moyens pour calculer le signal d'excitation, des moyens de calcul 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, les moyens de calcul de la grandeur dynamique désirée de la membrane du haut-parleur étant propres à appliquer une correction différente de l'identité, et tenant compte de grandeurs dynamiques structurelles de l'enceinte différentes des seules grandeurs dynamiques relatives à la membrane du haut-parleur, et les moyens pour calculer le signal d'excitation du haut-parleur sont propres à calculer le signal d'excitation en fonction de la grandeur dynamique désirée de la membrane du haut-parleur.

Suivant des modes particuliers de réalisation, le dispositif de commande comporte l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- l'enceinte comporte un évent et les grandeurs dynamiques structurelles de l'enceinte comportent au moins une dérivée d'ordre prédéterminée de la position de l'air déplacé par l'enceinte ;

- les grandeurs dynamiques structurelles de l'enceinte comportent la position de l'air déplacé par l'enceinte ;

3

- les grandeurs dynamiques structurelles de l'enceinte comportent la vitesse de l'air déplacé par l'enceinte ;

- l'enceinte est une enceinte à événement et les grandeurs dynamiques structurelles de l'enceinte dépendent d'au moins un des paramètres suivants :

- 5
- coefficient de fuites acoustiques de l'enceinte
  - inductance équivalente à la masse d'air dans l'événement
  - compliance de l'air dans l'enceinte ;

- l'enceinte est une enceinte à radiateur passif et les grandeurs dynamiques structurelles de l'enceinte dépendent d'au moins un des paramètres suivants :

- 10
- coefficient de fuites acoustiques de l'enceinte
  - inductance équivalente à la masse de la membrane du radiateur passif
  - compliance de l'air dans l'enceinte
  - pertes mécaniques du radiateur passif
  - compliance mécanique de la membrane.

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

- la figure 1 est une vue schématique d'une installation de restitution sonore ;
- la figure 2 est une courbe illustrant un modèle désiré de restitution sonore pour l'installation ;

20

- la figure 3 est une vue schématique de l'unité de commande du haut-parleur ;
- la figure 4 est une vue schématique détaillée de l'unité d'adaptation structurelle ;
- la figure 5 est une vue schématique détaillée de l'unité de calcul des grandeurs dynamiques de référence ;

25

- la figure 6 est une vue d'un circuit représentant la modélisation mécanique du haut-parleur en vue de sa commande dans une enceinte munie d'un événement ;

- la figure 7 est une vue d'un circuit représentant la modélisation électrique du haut-parleur en vue de sa commande ;

- la figure 8 est une vue schématique d'un premier mode de réalisation de l'unité d'estimation en boucle ouverte de la résistance du haut-parleur ;

30

- la figure 9 est une vue d'un circuit du modèle thermique du haut-parleur ;

- la figure 10 est une vue identique à celle de la figure 8 d'une variante de réalisation de l'unité d'estimation en boucle fermée de la résistance du haut-parleur ; et

- la figure 11 est une vue identique à celle de la figure 6 d'un autre mode de réalisation pour une enceinte munie d'un radiateur passif.

35 L'installation de restitution sonore 10 illustrée sur la figure 1 comporte, comme connu en soi, un module 12 de production d'un signal audio, tel qu'un lecteur de disque

4

numérique relié à un haut-parleur 14 d'une enceinte à évent 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. Ce modèle désiré est

5 linéaire ou non linéaire.

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 ou l'intensité circulant dans la bobine du haut-parleur est prévue entre le haut-parleur 14 et le

10 dispositif de commande 22.

Le modèle désiré 20 est indépendant du haut-parleur utilisé dans l'installation et de sa modélisation.

Le modèle désiré 20 est, comme illustré sur la figure 2, une fonction exprimée en fonction de la fréquence du rapport de l'amplitude du signal souhaité notée  $S_{\text{audio\_ref}}$  sur l'amplitude  $S_{\text{audio}}$  du signal d'entrée issu du module 12.

15 Avantageusement, pour des fréquences inférieures à une fréquence  $f_{\text{min}}$ , ce rapport est une fonction convergeant vers zéro lorsque la fréquence tend vers zéro, pour limiter la reproduction des fréquences excessivement basses et ainsi éviter des déplacements de la membrane du haut-parleur hors des plages préconisées par le fabricant.

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

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

Le dispositif de commande 22, dont la structure détaillée est illustrée sur la figure

25 3, est disposé en entrée de l'amplificateur 16. Ce dispositif 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  $U_{\text{ref}}$ , formant un signal d'excitation du haut-parleur qui est fournie pour amplification à l'amplificateur 16. Ce signal  $U_{\text{ref}}$  est adapté pour tenir compte de la non-linéarité du haut-parleur 14.

30 Le dispositif de commande 22 comporte des moyens de calcul de différentes quantités en fonction des valeurs de dérivées ou d'intégrales d'autres quantités définies aux mêmes instants.

Pour les nécessités de calcul, les valeurs des quantités non connues à l'instant  $n$  sont prises égales aux valeurs correspondantes de l'instant  $n-1$ . Les valeurs de l'instant  $n-1$  sont de préférence corrigées par une prédiction à l'ordre 1 ou 2 de leurs valeurs à l'aide

35 des dérivées d'ordres supérieurs connues à l'instant  $n-1$ .

Selon l'invention, le dispositif de commande 22 met en œuvre une commande utilisant pour partie le principe de la platitude différentielle qui permet de définir un signal de commande de référence d'un système différentiellement plat à partir de trajectoires de référence suffisamment lisses.

5 Comme illustré sur la figure 3, le module de commande 22 reçoit en entrée le signal audio  $S_{\text{audio\_ref}}$  à reproduire issu du modèle désiré 20. Une unité 24 d'application d'un gain de conversion d'unité, dépendant de la tension crête de l'amplificateur 16 et d'une atténuation variable entre 0 et 1 contrôlée par l'utilisateur, assure le passage du signal audio de référence  $S_{\text{audio\_ref}}$  à un signal  $\gamma_0$ , image d'une grandeur physique à  
10 reproduire. Le signal  $\gamma_0$  est, par exemple, une accélération de l'air en regard du haut-parleur ou encore une vitesse de l'air à déplacer par le haut-parleur 14. Dans la suite, on suppose que le signal  $\gamma_0$  est l'accélération de l'air mis en mouvement par l'enceinte.

En sortie de l'unité d'amplification 24, le dispositif de commande comporte une unité 25 d'adaptation structurelle du signal à reproduire en fonction de la structure de  
15 l'enceinte dans laquelle est utilisé le haut-parleur. Cette unité est propre à fournir une grandeur de référence  $A_{\text{ref}}$  souhaitée à chaque instant pour la membrane du haut-parleur à partir 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.

Ainsi, dans l'exemple considéré, la grandeur de référence  $A_{\text{ref}}$ , calculée à partir de  
20 l'accélération de l'air à reproduire  $\gamma_0$ , est l'accélération à reproduire pour la membrane du haut-parleur afin que le fonctionnement du haut-parleur impose à l'air une accélération  $\gamma_0$ .

Sur la figure 4 est illustré un détail de l'unité d'adaptation structurelle 25. L'entrée  $\gamma_0$  est reliée à une unité d'intégration bornée 27 dont la sortie est elle-même reliée à une autre unité d'intégration bornée 28.

25 Ainsi, en sortie des unités 27 et 28 sont obtenues respectivement l'intégrale première  $v_0$  et l'intégrale seconde  $x_0$  de l'accélération  $\gamma_0$ .

Les unités d'intégration bornées sont formées d'un filtre passe-bas du premier ordre et sont caractérisées par une fréquence de coupure  $F_{\text{OBF}}$ .

L'utilisation d'unité d'intégration bornée permet que les grandeurs utilisées dans le  
30 dispositif de commande 22 ne soient les dérivées ou les intégrales les unes des autres que dans la bande passante utile, c'est-à-dire pour les fréquences supérieures à la fréquence de coupure  $F_{\text{OBF}}$ . Ceci permet de contrôler l'excursion en basse fréquence des grandeurs considérées.

En fonctionnement normal, la fréquence de coupure  $F_{\text{OBF}}$  est choisie de manière à  
35 ne pas influencer le signal dans les basses fréquences de la bande passante utile.

6

La fréquence de coupure  $F_{\text{OBF}}$  est prise inférieure au dixième de la fréquence  $f_{\text{min}}$  du modèle désiré 20.

Dans le cas d'une enceinte à évent dans laquelle le haut-parleur est monté dans un boîtier ouvert par un évent, l'unité 25 produit l'accélération de référence désirée pour la membrane  $A_{\text{ref}}$  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.

10  $x_0$  : 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

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

Dans ce cas, l'accélération de référence désirée pour la membrane  $A_{\text{ref}}$  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.

15 Cette grandeur de référence  $A_{\text{ref}}$  est introduite dans une unité de calcul 26 des grandeurs dynamiques de référence propre à fournir, à chaque instant, la valeur de la dérivée par rapport au temps de la grandeur de référence notée  $dA_{\text{ref}}/dt$  ainsi que les valeurs des intégrales première et seconde par rapport au temps de cette grandeur de référence notée respectivement  $V_{\text{ref}}$  et  $X_{\text{ref}}$ .

L'ensemble des grandeurs dynamiques de référence est noté dans la suite  $G_{\text{ref}}$ .

Sur la figure 5 est illustré un détail de l'unité de calcul 26. L'entrée  $A_{\text{ref}}$  est reliée à une unité de dérivation 30 d'une part et à une unité d'intégration bornée 32 d'autre part dont la sortie est elle-même reliée à une autre unité d'intégration bornée 34.

25 Ainsi, en sortie des unités 30, 32 et 34 sont obtenues respectivement la dérivée de l'accélération  $dA_{\text{ref}}/dt$ , l'intégrale première  $V_{\text{ref}}$  et l'intégrale seconde  $X_{\text{ref}}$  de l'accélération.

Les unités d'intégration bornées sont formées d'un filtre passe-bas du premier ordre et sont caractérisées par une fréquence de coupure  $F_{\text{OBF}}$ .

30 L'utilisation d'unité d'intégration bornée permet que les grandeurs utilisées dans le dispositif de commande 22 ne soient les dérivées ou les intégrales les unes des autres que dans la bande passante utile, c'est-à-dire pour les fréquences supérieures à la fréquence de coupure  $F_{\text{OBF}}$ . Ceci permet de contrôler l'excursion en basse fréquence des grandeurs considérées.

En fonctionnement normal, la fréquence de coupure  $F_{\text{OBF}}$  est choisie de manière à ne pas influencer le signal dans les basses fréquences de la bande passante utile.

La fréquence de coupure  $F_{\text{OBF}}$  est prise inférieure au dixième de la fréquence  $f_{\text{min}}$  du modèle désiré 20.

5 Le dispositif de commande 22 comporte, dans une mémoire, une table et/ou un ensemble de polynômes de paramètres électromécaniques 36 ainsi qu'une table et/ou un ensemble de polynômes des paramètres électriques 38.

10 Ces tables 36 et 38 sont propres à définir, en fonction des grandeurs dynamiques de référence  $G_{\text{ref}}$  reçues en entrée, les paramètres électromécaniques  $P_{\text{méca}}$  et électriques  $P_{\text{élec}}$  respectivement. Ces paramètres  $P_{\text{méca}}$  et  $P_{\text{élec}}$  sont obtenus respectivement à partir d'une modélisation mécanique du haut-parleur telle qu'illustrée sur la figure 6, où le haut-parleur est supposé installé dans une enceinte à évent, et d'une modélisation électrique du haut-parleur telle qu'illustrée sur la figure 7.

15 Les paramètres électromécaniques  $P_{\text{méca}}$  incluent le flux magnétique capté par la bobine noté  $Bl$  produit par le circuit magnétique du HP, la raideur du haut-parleur notée  $K_{\text{mt}}(x_D)$ , les frottements mécaniques visqueux du haut-parleur notés  $R_{\text{mt}}$ , la masse mobile de l'ensemble du haut-parleur notée  $M_{\text{mt}}$ , la raideur de l'air dans l'enceinte notée  $K_{m2}$ , les fuites acoustiques de l'enceinte notées  $R_{m2}$  et la masse d'air dans l'évent notées  $M_{m2}$ .

20 La modélisation de la partie mécanico-acoustique du haut-parleur placé dans une enceinte à évent illustrée sur la figure 6 comprend, dans un circuit en boucle fermée unique, un générateur 40 de tension  $Bl(x_D, i).i$  correspondant à la force motrice produite par le courant  $i$  circulant dans la bobine du haut-parleur. Le flux magnétique  $Bl(x_D, i)$  dépend de la position  $x_D$  de la membrane ainsi que de l'intensité  $i$  circulant dans la bobine.

25 Cette modélisation prend en compte le frottement mécanique visqueux  $R_{\text{mt}}$  de la membrane correspondant à une résistance 42 en série avec une bobine 44 correspondant à la masse mobile d'ensemble  $M_{\text{mt}}$  de la membrane, la raideur de la membrane correspondant à un condensateur 46 de capacité  $C_{\text{mt}}(x_D)$  égale  $1/K_{\text{mt}}(x_D)$ . Ainsi, la raideur dépend de la position  $x_D$  de la membrane.

Pour tenir compte de l'évent, les paramètres  $R_{m2}$ ,  $C_{m2}$  et  $M_{m2}$  suivant sont utilisés :

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

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

$C_{m2} = \frac{1}{K_{m2}}$  : compliance de l'air dans l'enceinte.

Dans la modélisation de la figure 6, ils correspondent respectivement à une résistance 47, une bobine 48 et un condensateur 49 montés en parallèle.

35 Dans cette modélisation, la force issue de la réluctance du circuit magnétique est négligée.

Les variables utilisées sont :

$v_D = \frac{dx_D}{dt}$  : vitesse de la membrane du haut-parleur

$\gamma_D = \frac{dv_D}{dt}$  : accélération de la membrane du haut-parleur

$v_L$  : vitesse de l'air des fuites d'air

5  $v_p$  : vitesse l'air en sortie de l'évent (port)

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

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

La pression acoustique totale à 1 mètre est donnée par :  $p = \frac{\rho \cdot S_D}{n_{str} \cdot \pi} \gamma_0$

où  $S_D$  : section efficace du haut-parleur,  $n_{str} = 2$  : angle solide d'émission.

10 L'équation mécanico-acoustique correspondant à la figure 10 est la suivante :

$$Bl(x_D, i)i = M_{mt} \frac{dv_D}{dt} + R_{mt} v_D + K_{mt}(x_D)x_D + K_{m2}x_0$$

La relation suivante lie les différentes grandeurs :  $\gamma_0 = \gamma_D - \frac{K_{m2}}{R_{m2}} v_0 - \frac{K_{m2}}{M_{m2}} x_0$

La modélisation de la partie électrique du haut-parleur est illustrée par la figure 7.

Les paramètres électriques  $P_{elec}$  incluent l'inductance de la bobine  $L_e$ , la para-inductance  $L_2$  de la bobine et l'équivalent perte-fer  $R_2$ .

15 La modélisation de la partie électrique du haut-parleur illustrée sur la figure 7 est formée d'un circuit en boucle fermée. Il comporte un générateur 50 de force électromotrice  $u_e$  relié en série à une résistance 52 représentative de la résistance  $R_e$  de la bobine du haut-parleur. Cette résistance 52 est reliée en série avec une inductance  $L_e(x_D, i)$  représentative de l'inductance de la bobine du haut-parleur. Cette inductance  
20 dépend de l'intensité  $i$  circulant dans la bobine et de la position  $x_D$  de la membrane.

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 54. Une résistance 56 de valeur  $R_2(x_D, i)$  dépendant de la position de la membrane  $x_D$  et de l'intensité  $i$  circulant dans la bobine est représentative de l'équivalent perte-fer. De  
25 même, une bobine 58 d'inductance  $L_2(x_D, i)$  dépendant également de la position  $x_D$  de la membrane et l'intensité  $i$  circulant dans le circuit est représentative de la para-inductance du haut-parleur.

Sont également montés en série dans la modélisation, un générateur de tension 60 produisant une tension  $Bl(x_D, i).v$  représentative de la force contre-électromotrice de la  
30 bobine en mouvement dans le champ magnétique produit par l'aimant et un seconde générateur 62 produisant une tension  $g(x_D, i).v$  avec  $g(x_D, i) = i \frac{dL_e(x_D, i)}{dx_D}$  représentative de l'effet de la variation dynamique de l'inductance avec la position.

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  $x_D$  de la membrane, l'inductance  $L_e$  et le flux BI dépendent également du courant  $i$  circulant dans la bobine.

5 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  $x_D$  de la membrane.

A partir des modélisations explicitées en regard des figures 6 et 7, les équations suivantes sont définies :

$$u_e = R_e i + L_e(x_D, i) \frac{di}{dt} + R_2(i - i_2) + Bl(x_D, i)v_D + i \underbrace{\frac{dL_e(x_D, i)}{dx_D}}_{g(x_D, i)} v_D$$

$$10 \quad L_2 \frac{di_2}{dt} = R_2 (i - i_2)$$

$$Bl(x_D, i)i = R_{mt} v_D + M_{mt} \frac{dv_D}{dt} + K_{mt}(x_D)x_D + K_{m2}x_0$$

Le module de commande 22 comporte en outre une unité 70 de calcul du courant de référence  $i_{ref}$  et de sa dérivée  $di_{ref}/dt$ . Cette unité reçoit en entrée les grandeurs dynamiques de référence  $G_{ref}$ , les paramètres mécaniques  $P_{méca}$ , et les grandeurs  $x_0$  et  $v_0$ .

15 Ce calcul du courant de référence  $i_{ref}$  et de sa dérivée  $di_{ref}/dt$  satisfont les deux équations :

$$G_1(x_{ref}, i_{ref})i_{ref} = R_{mt} v_{ref} + M_{mt} A_{ref} + K_{mt}(x_{ref})x_{ref} + K_{m2}x_0$$

$$\frac{d}{dt}(G_1(x_{ref}, i_{ref})i_{ref}) = R_{mt} A_{ref} + M_{mt} dA_{ref} / dt + K_{mt}(x_{ref})v_{ref} + K_{m2}v_0$$

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

20 Ainsi, le courant  $i_{ref}$  et sa dérivée  $di_{ref}/dt$  sont obtenus par un calcul algébrique à partir des valeurs des vecteurs entrés par un calcul analytique exacte ou une résolution numérique si nécessaire en fonction de la complexité de  $G_1(x, i)$ .

La dérivée du courant  $di_{ref}/dt$  est ainsi obtenue de préférence par un calcul algébrique ou sinon par dérivation numérique.

25 Pour éviter les déplacements excessifs de la membrane du haut-parleur, un déplacement  $X_{max}$  est imposé au module de commande. Ceci est rendu possible par l'utilisation d'une unité 26 séparée de calcul des grandeurs dynamiques de référence et d'une unité 25 d'adaptation structurelle.

La limitation du débattement s'effectue par un dispositif de « mur virtuel » qui empêche la membrane du haut-parleur de dépasser une certaine limite liée à  $X_{max}$ . Pour

ce faire, à mesure que la position  $x_{ref}$  s'approche de son seuil limite, l'énergie nécessaire pour que la position s'approche du mur virtuel devient de plus en plus grande (comportement non linéaire) pour être infinie sur le mur avec la possibilité d'imposer un comportement asymétrique. Pour cela, le frottement mécanique visqueux  $R_{mt}$  42 est

5 augmenté non linéairement en fonction de la position  $x_{ref}$  de la membrane.

Suivant encore un mode de réalisation, pour la limitation du débattement, l'accélération  $A_{ref}$  est maintenue dynamiquement dans des limites minimum et maximum qui garantissent que la position  $X_{ref}$  de la membrane ne dépasse pas  $X_{max}$ .

Dans le cas où, suivant le mode de réalisation, le débattement  $X_{ref}$  de la

10 membrane est limité à  $X_{ref\_sat}$ , et l'accélération de la membrane  $A_{ref}$  à  $A_{ref\_sat}$ , les grandeurs  $x_0$  et  $v_0$  sont recalculées à l'instant  $n$  par l'algorithme suivant :

$$\gamma_{0\ sat}(n) = A_{ref\ sat}(n) - \frac{K_{m2}}{R_{m2}} v_{0\ sat}(n-1) - \frac{K_{m2}}{M_{m2}} x_{0\ sat}(n-1)$$

$$v_{0\ sat}(n) = \text{intégrateur borné de } \gamma_{0\ sat}(n) \text{ (identique à 32)}$$

$$x_{0\ sat}(n) = \text{intégrateur borné de } v_{0\ sat}(n) \text{ (identique à 34)}$$

$$v_{ref\ sat}(n) = \text{intégrateur borné de } A_{ref\ sat}(n) \text{ (identique à 32)}$$

Le calcul du courant de référence  $i_{ref}$  et de sa dérivée  $di_{ref}/dt$  satisfont alors les deux équations suivantes :

$$G_1(x_{ref\_sat}, i_{ref}) i_{ref} = R_{mt} v_{ref\_sat} + M_{mt} A_{ref\_sat} + K_{mt}(x_{ref\_sat}) x_{ref\_sat} + K_{m2} x_{0\_sat}$$

$$\frac{d}{dt} (G_1(x_{ref\_sat}, i_{ref}) i_{ref}) = R_{mt} A_{ref\_sat} + M_{mt} dA_{ref\_sat} / dt + K_{mt}(x_{ref\_sat}) v_{ref\_sat} + K_{m2} v_{0\_sat}$$

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

En outre, le dispositif de commande 22 comporte une unité 80 d'estimation de la résistance  $R_e$  du haut-parleur. Cet unité 80 reçoit en entrée les grandeurs dynamiques de référence  $G_{ref}$ , l'intensité des courants de référence  $i_{ref}$  et sa dérivée  $di_{ref}/dt$  et, suivant le mode de réalisation envisagé, la température mesurée sur le circuit magnétique du haut-

25 parleur notée  $T_{m\_mesurée}$  ou l'intensité mesurée au travers de la bobine notée  $I_{mesurée}$ .

En l'absence de mesure du courant circulant, l'unité d'estimation 80 est de la forme illustrée sur la figure 8. Il comporte en entrée un module 82 de calcul de la puissance et de paramètres et modèle thermique 84.

Le modèle thermique 84 assure le calcul de la résistance  $R_e$  à partir des

30 paramètres calculés, de la puissance déterminée et de la température mesurée  $T_{m\_mesurée}$ .

La figure 9 donne le schéma général utilisé pour le modèle thermique.

Dans ce modèle, la température de référence est la température de l'air interne de l'enceinte  $T_e$ .

11

Les températures considérées sont :

$T_b$  [°C] : température du bobinage ;

$T_m$  [°C] : température du circuit magnétique ; et

$T_e$  [°C] : température interne de l'enceinte supposée constante ou, idéalement, mesurée.

La puissance thermique considérée est :

$P_{Jb}$  [W] : puissance thermique apportée au bobinage par effet Joule ;

Le modèle thermique comporte, comme illustré sur la figure 9, les paramètres suivants :

$C_{tbb}$  [J/K] : capacité thermique du bobinage ;

$R_{thbm}$  [K/W] : résistance thermique équivalente entre le bobinage et le circuit magnétique ; et

$R_{thba}$  [K/W] : résistance thermique équivalente entre le bobinage et la température interne de l'enceinte ;

Les résistances thermiques équivalentes tiennent compte de la dissipation de chaleur par conduction et convection.

La puissance thermique  $P_{Jb}$  apportée par le courant circulant dans le bobinage est donnée par :

$$P_{Jb}(t) = R_e(T_b) i^2(t)$$

où  $R_e(T_b)$  est la valeur de la résistance électrique à la température  $T_b$  :

$$R_e(T_b) = R_e(20^\circ\text{C}) \times \left(1 + 4 \cdot 10^{-3} (T_b - 20^\circ\text{C})\right)$$

où  $R_e(20^\circ\text{C})$  est la valeur de la résistance électrique à  $20^\circ\text{C}$ .

Le modèle thermique donné par la figure 9 est le suivant :

$$C_{thb} \frac{dT_b}{dt} = \frac{1}{R_{thbm}(X_{ref})} (T_m - T_b) + \frac{1}{R_{thba}(V_{ref})} (T_e - T_b) + P_{Jb}$$

Sa résolution permet d'obtenir la valeur de la résistance  $R_e$  à chaque instant.

En variante, comme illustré sur la figure 10, lorsque le courant  $i$  circulant dans la bobine est mesuré, l'estimation de la résistance  $R_e$  est assurée par un estimateur en boucle fermée, par exemple de type proportionnel intégral. Ceci permet d'avoir un temps de convergence rapide grâce à l'utilisation d'un correcteur proportionnel intégral.

Enfin, le dispositif de commande 22 comporte une unité 90 de calcul de la tension de sortie de référence  $U_{ref}$ , à partir des grandeurs dynamiques de référence  $G_{ref}$ , du courant de référence  $i_{ref}$  et de sa dérivée  $di_{ref}/dt$ , des paramètres électriques  $P_{elec}$  et de la

12

résistance  $R_e$  calculée par l'unité 80. Cette unité de calcul de la tension de sortie de référence met en œuvre les deux équations suivantes :

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

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

5

Dans le cas où l'amplificateur 16 est un amplificateur en courant et non en tension comme décrit précédemment, les unités 38, 80 et 90 du dispositif de commande sont supprimées et l'intensité de sortie de référence  $i_{ref}$  commandant l'amplificateur est prise en sortie de l'unité 70.

10

Dans le cas d'une enceinte comportant un radiateur passif formé d'une membrane, le modèle mécanique de la figure 6 est remplacé par celui de la figure 11 dans laquelle les éléments identiques à ceux de la figure 6 portent les mêmes numéros de référence. Ce module comporte en série avec la bobine  $M_{m2}$  48, correspondant à la masse de la membrane du radiateur passif, une résistance 202 et un condensateur 204 de valeur  $C_{m3} = \frac{1}{K_{m3}}$  correspondant respectivement aux pertes mécaniques  $R_{m2}$  du radiateur passif et à la raideur mécanique  $K_{m3}$  de la membrane du radiateur passif. L'accélération de référence de la membrane  $A_{ref}$  est donnée par :

15

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

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

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

20

Ainsi, la structure d'adaptation structurelle 25 comportera en série deux intégrateurs bornés pour l'obtention de  $v_0$  et  $x_0$  à partir de  $\gamma_0$ , puis le calcul de  $x_{0R}$  à partir de  $x_0$  par filtrage passe-haut avec les paramètres supplémentaires  $R_{m3}$  et  $K_{m3}$  qui sont respectivement, la résistance de pertes mécaniques et la constante de raideur mécanique de la membrane du radiateur passif.

13  
REVENDICATIONS

1.- Dispositif de commande d'un haut-parleur (14) dans une enceinte comportant :

- une entrée pour un signal audio ( $S_{\text{audio\_ref}}$ ) à reproduire ;
- 5 - une sortie de fourniture d'un signal d'excitation du haut-parleur ;
- des moyens (26, 36, 38, 70, 80, 90) pour calculer à chaque instant, le signal d'excitation du haut-parleur (14) en fonction du signal audio ( $S_{\text{audio\_ref}}$ ) ;

caractérisé en ce qu'il comporte en amont des moyens (26, 36, 38, 70, 80, 90) pour calculer le signal d'excitation, des moyens (24, 25) de calcul d'une grandeur dynamique désirée ( $A_{\text{ref}}$ ) de la membrane du haut-parleur en fonction du signal audio ( $S_{\text{audio\_ref}}$ ) à reproduire et de la structure de l'enceinte, les moyens (25) de calcul de la grandeur dynamique désirée ( $A_{\text{ref}}$ ) de la membrane du haut-parleur étant propres à appliquer une correction différente de l'identité, et tenant compte de grandeurs dynamiques structurelles ( $x_o$ ,  $v_o$ ) de l'enceinte différentes des seules grandeurs dynamiques relatives à la membrane du haut-parleur, et en ce que les moyens (26, 36, 38, 70, 80, 90) pour calculer le signal d'excitation du haut-parleur sont propres à calculer le signal d'excitation en fonction de la grandeur dynamique désirée ( $A_{\text{ref}}$ ) de la membrane du haut-parleur.

2.- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'enceinte comporte un événement et les grandeurs dynamiques structurelles ( $x_o$ ,  $v_o$ ) de l'enceinte comportent au moins une dérivée d'ordre prédéterminée de la position ( $x_o$ ) de l'air déplacé par l'enceinte.

3.- Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les grandeurs dynamiques structurelles ( $x_o$ ,  $v_o$ ) de l'enceinte comportent la position de l'air ( $x_o$ ) déplacé par l'enceinte.

4.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les grandeurs dynamiques structurelles ( $x_o$ ,  $v_o$ ) de l'enceinte comportent la vitesse ( $v_o$ ) de l'air déplacé par l'enceinte.

5.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'enceinte est une enceinte à événement et les grandeurs dynamiques structurelles ( $x_o$ ,  $v_o$ ) de l'enceinte dépendent d'au moins un des paramètres suivants :

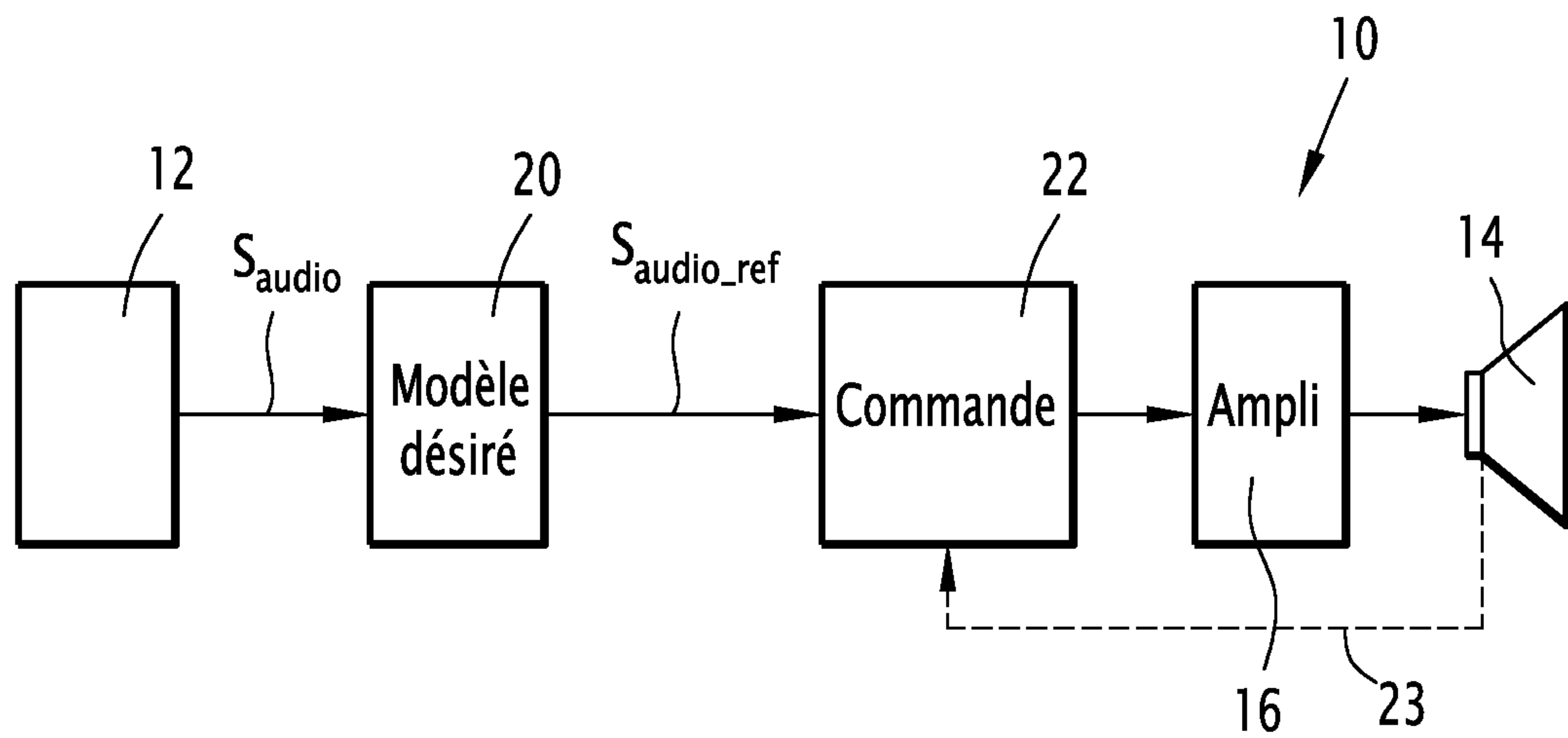
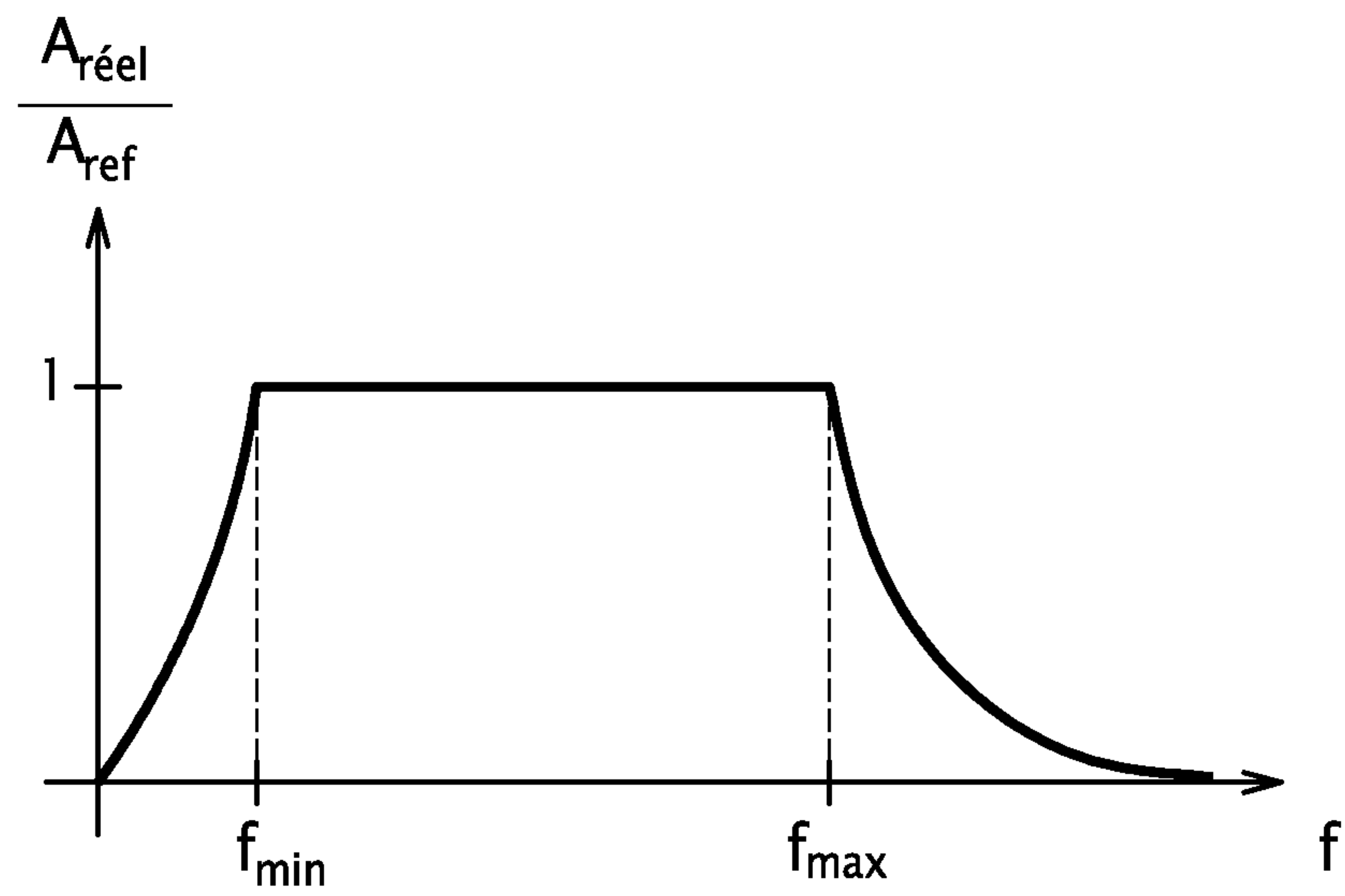
- coefficient de fuites acoustiques de l'enceinte ( $R_{m2}$ )
- inductance équivalente à la masse d'air dans l'événement ( $M_{m2}$ )
- compliance de l'air dans l'enceinte ( $C_{m2} = \frac{1}{K_{m2}}$ ).

6.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'enceinte est une enceinte à radiateur passif et les grandeurs dynamiques structurelles ( $x_o$ ,  $v_o$ ) de l'enceinte dépendent d'au moins un des paramètres suivants :

14

- coefficient de fuites acoustiques de l'enceinte ( $R_{m2}$ )
- inductance équivalente à la masse de la membrane du radiateur passif ( $M_{m2}$ )
- compliance de l'air dans l'enceinte ( $C_{m2} = \frac{1}{K_{m2}}$ )
- pertes mécaniques du radiateur passif ( $R_{m3}$ )
- 5 - compliance mécanique de la membrane ( $C_{m3} = \frac{1}{K_{m3}}$ ).

1/5

FIG.1FIG.2

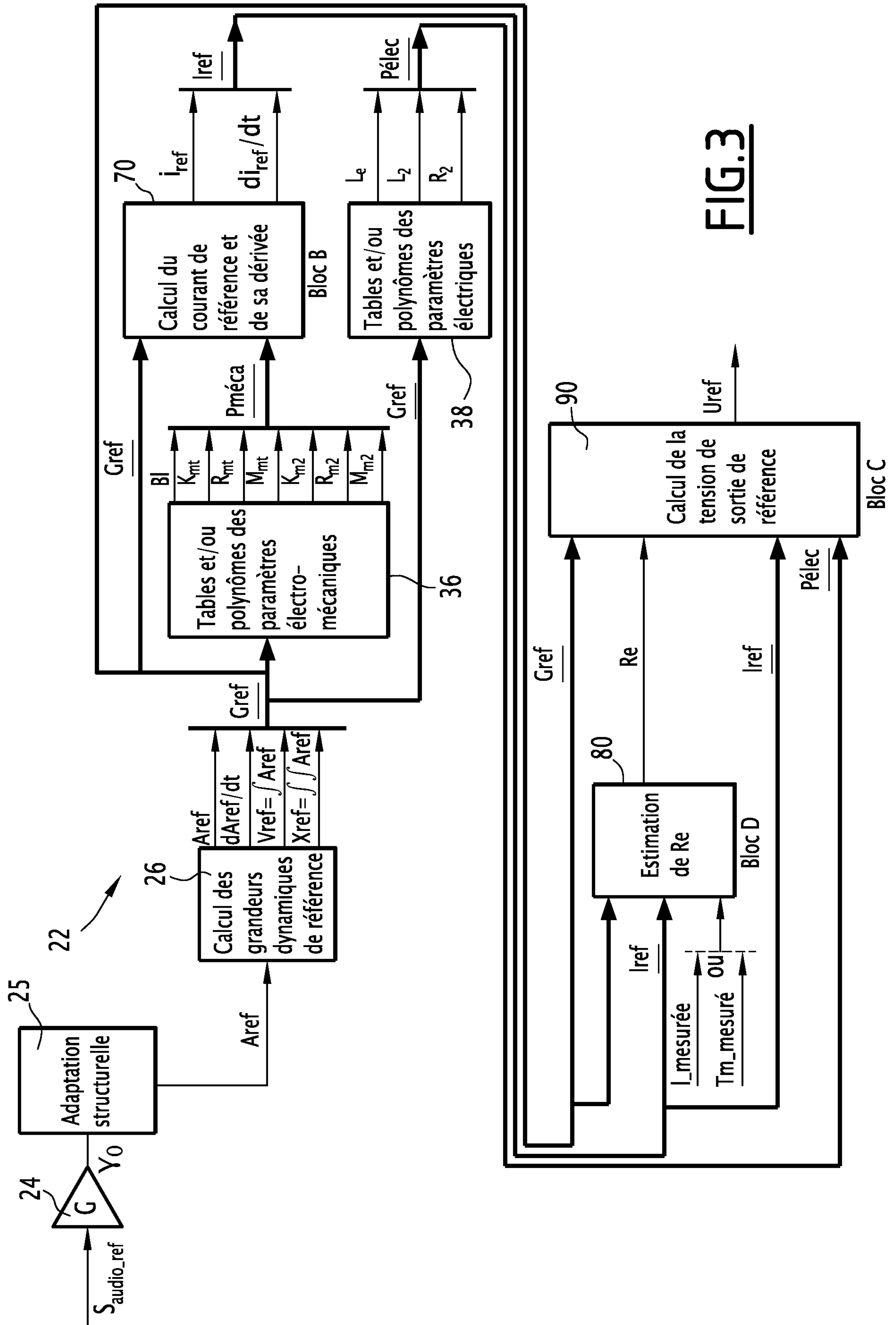
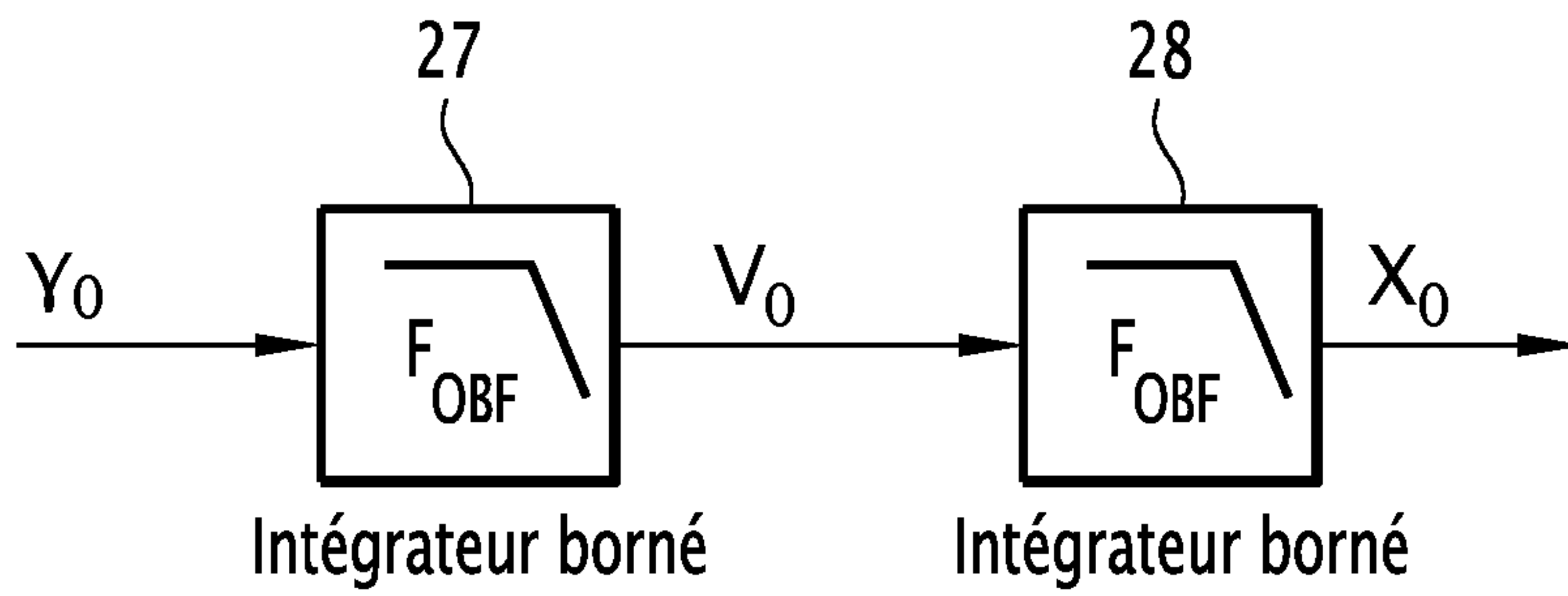
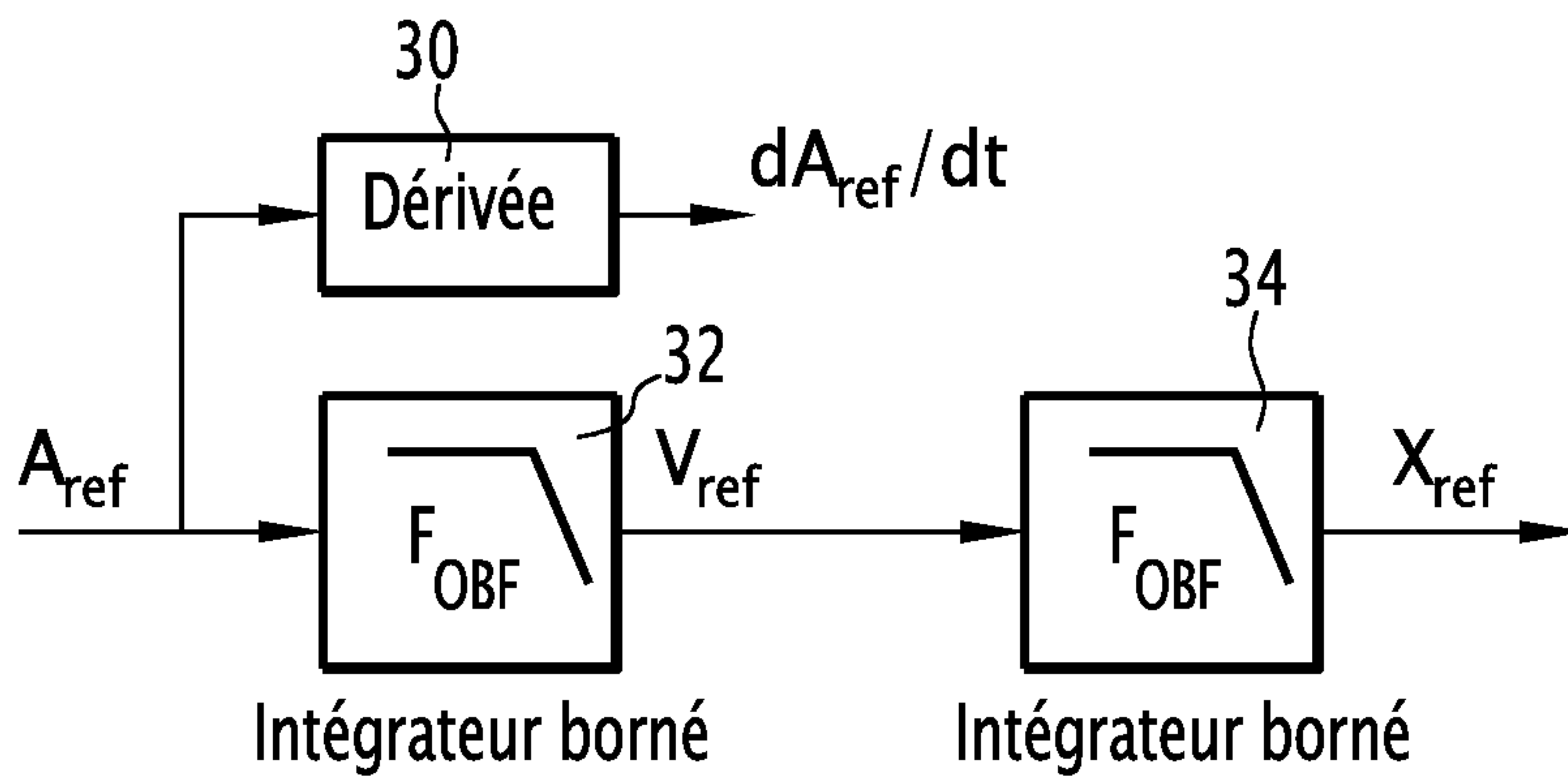


FIG.3

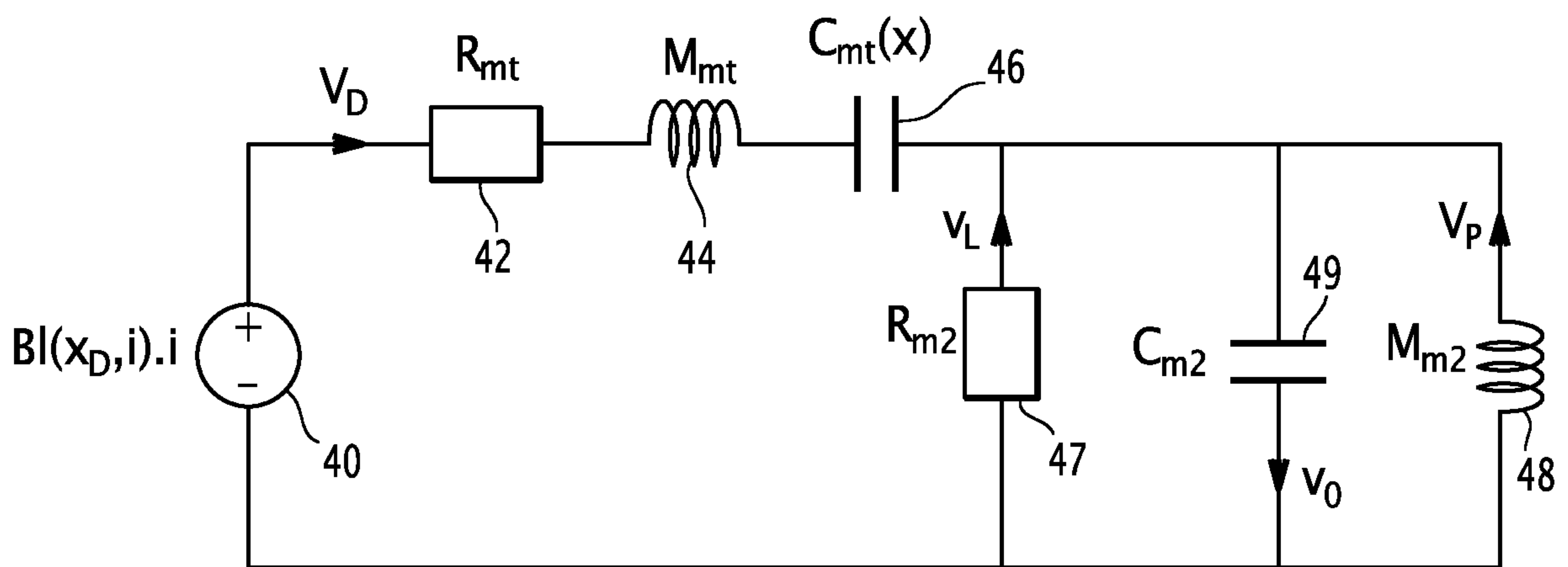
3/5



**FIG.4**

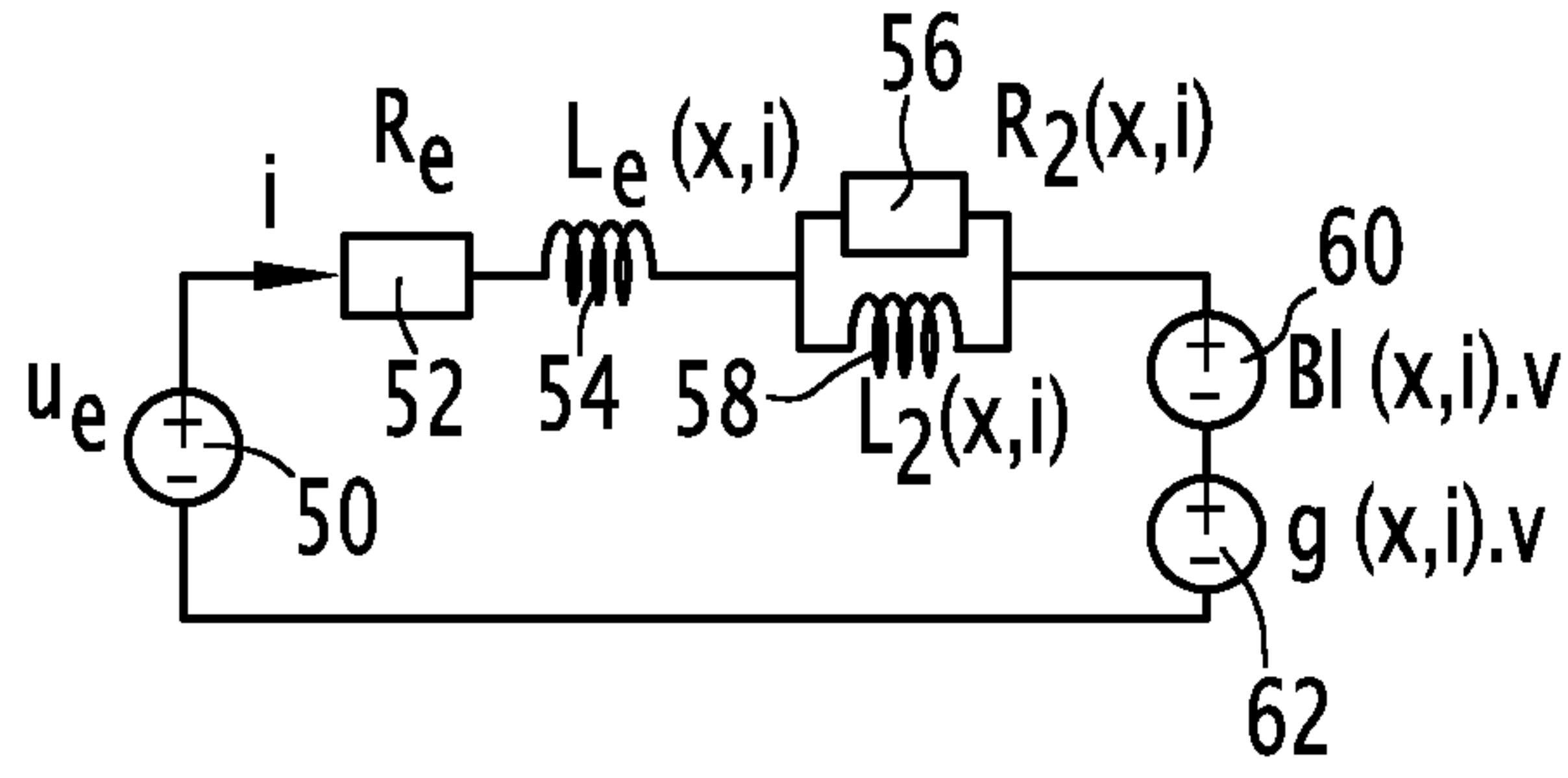


**FIG.5**

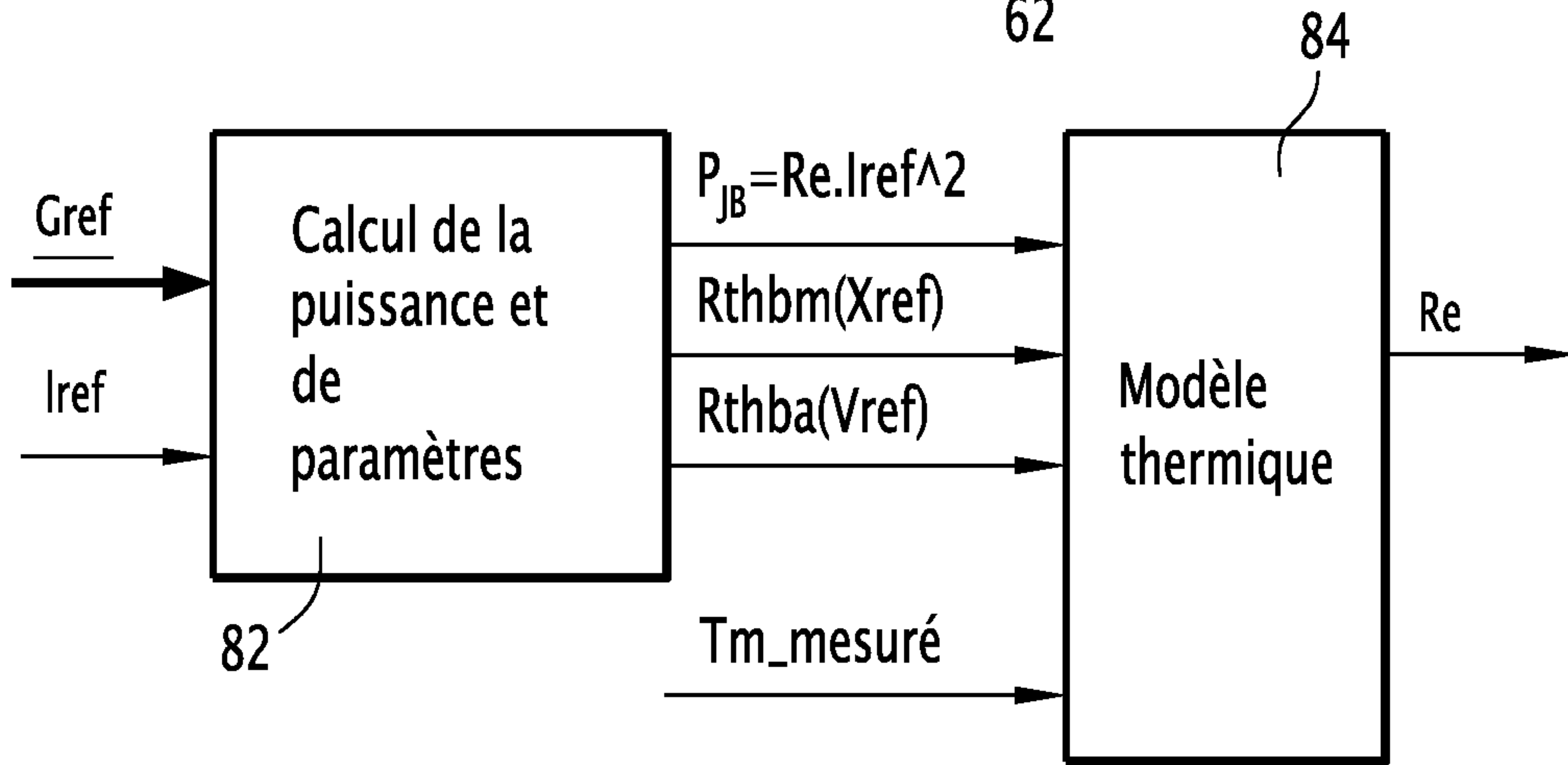


**FIG.6**

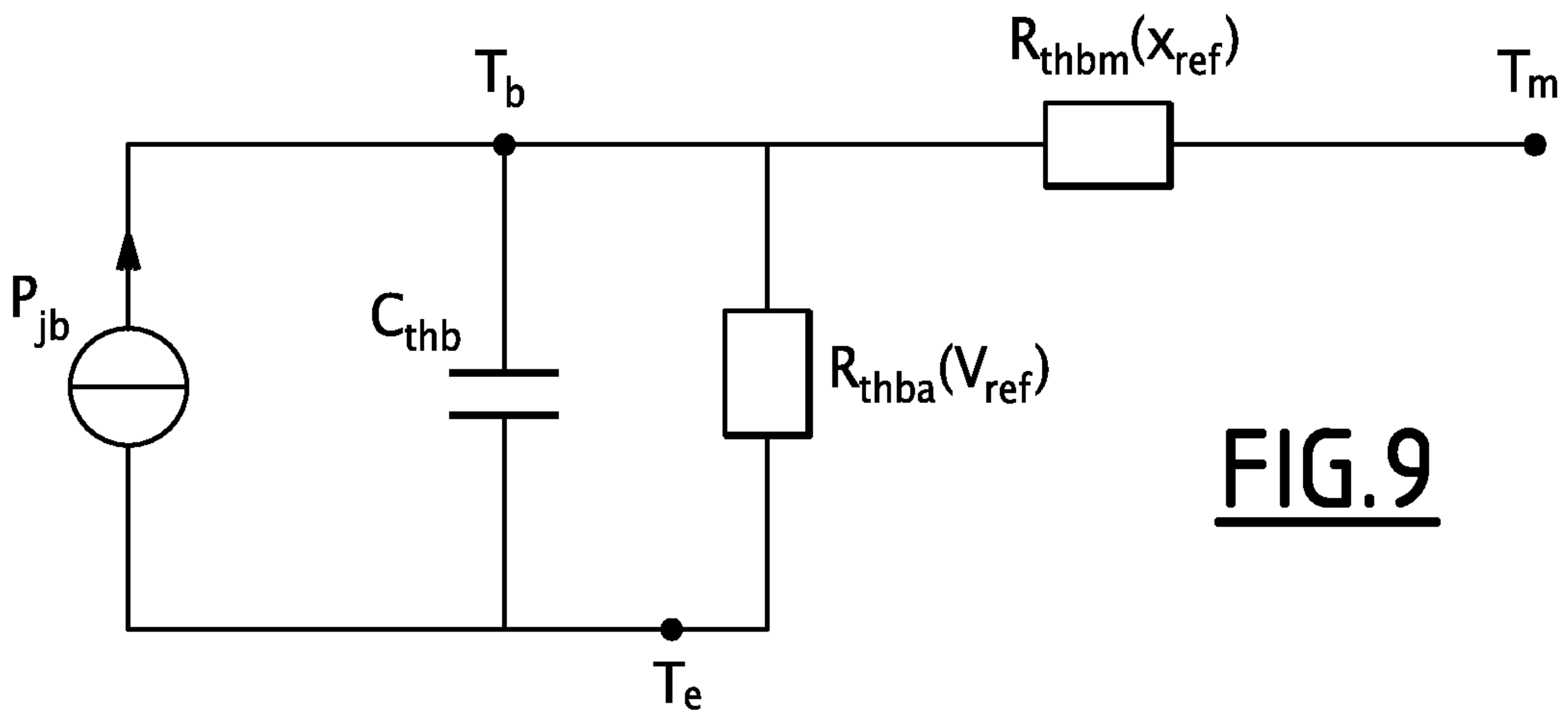
4/5



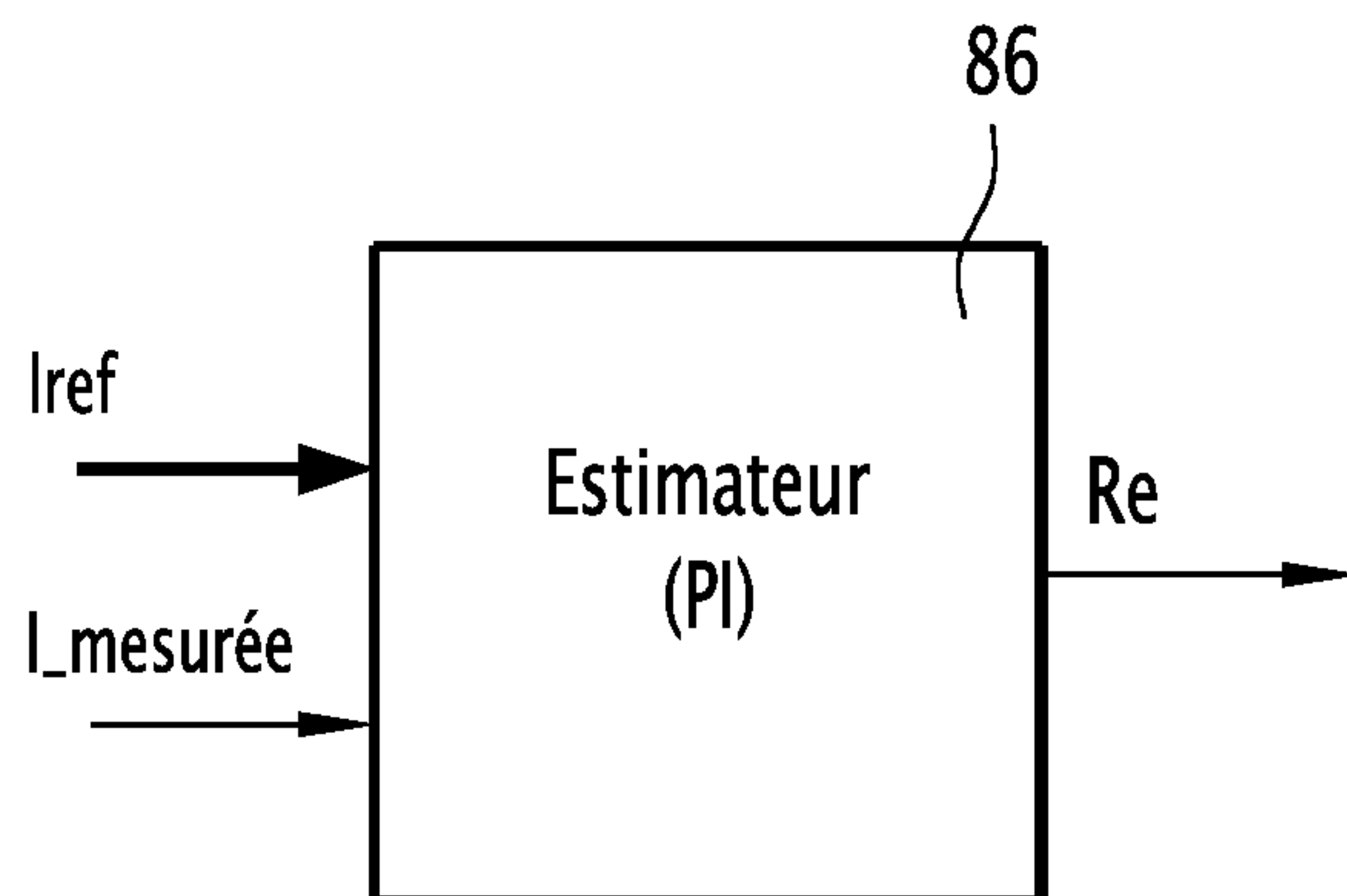
**FIG.7**



**FIG.8**

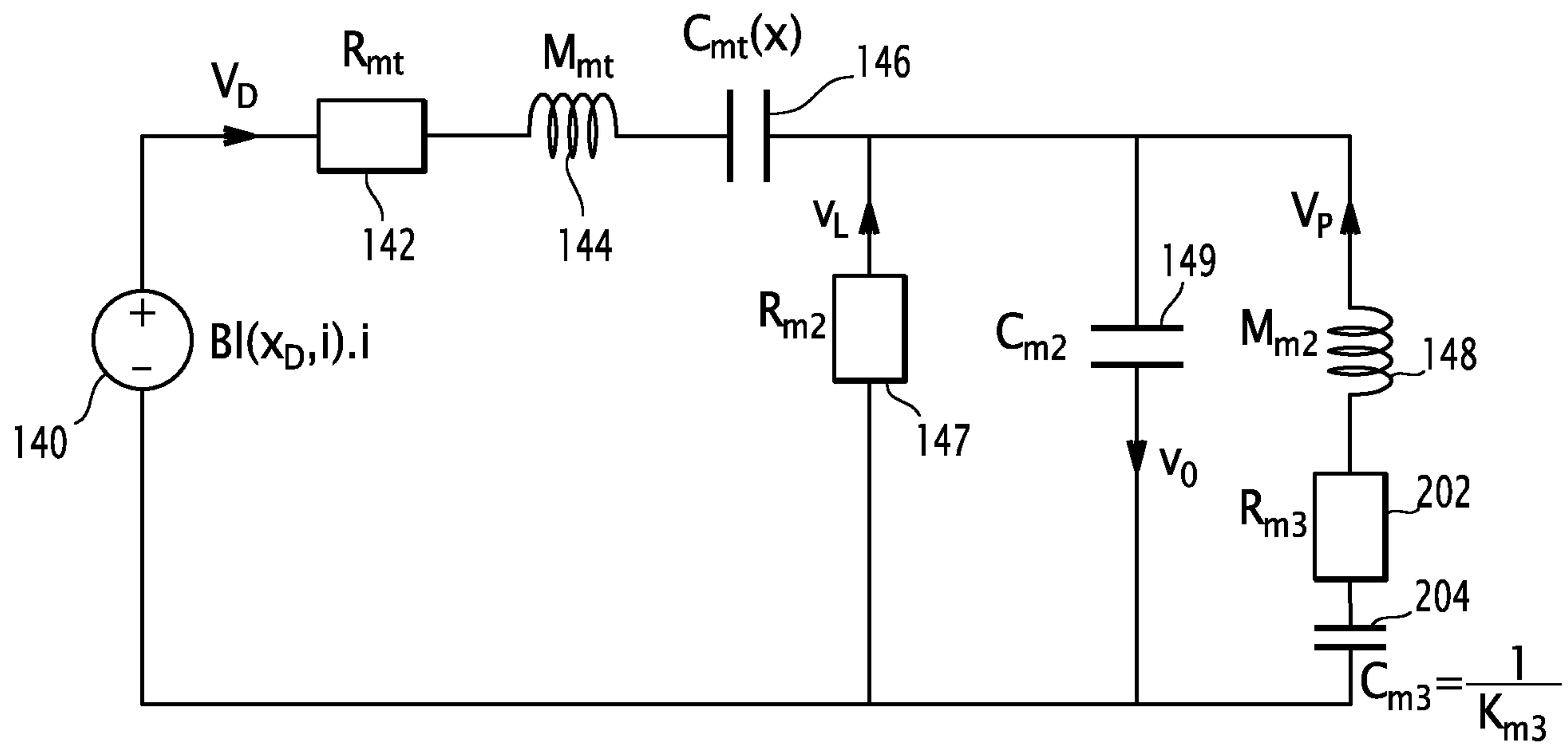


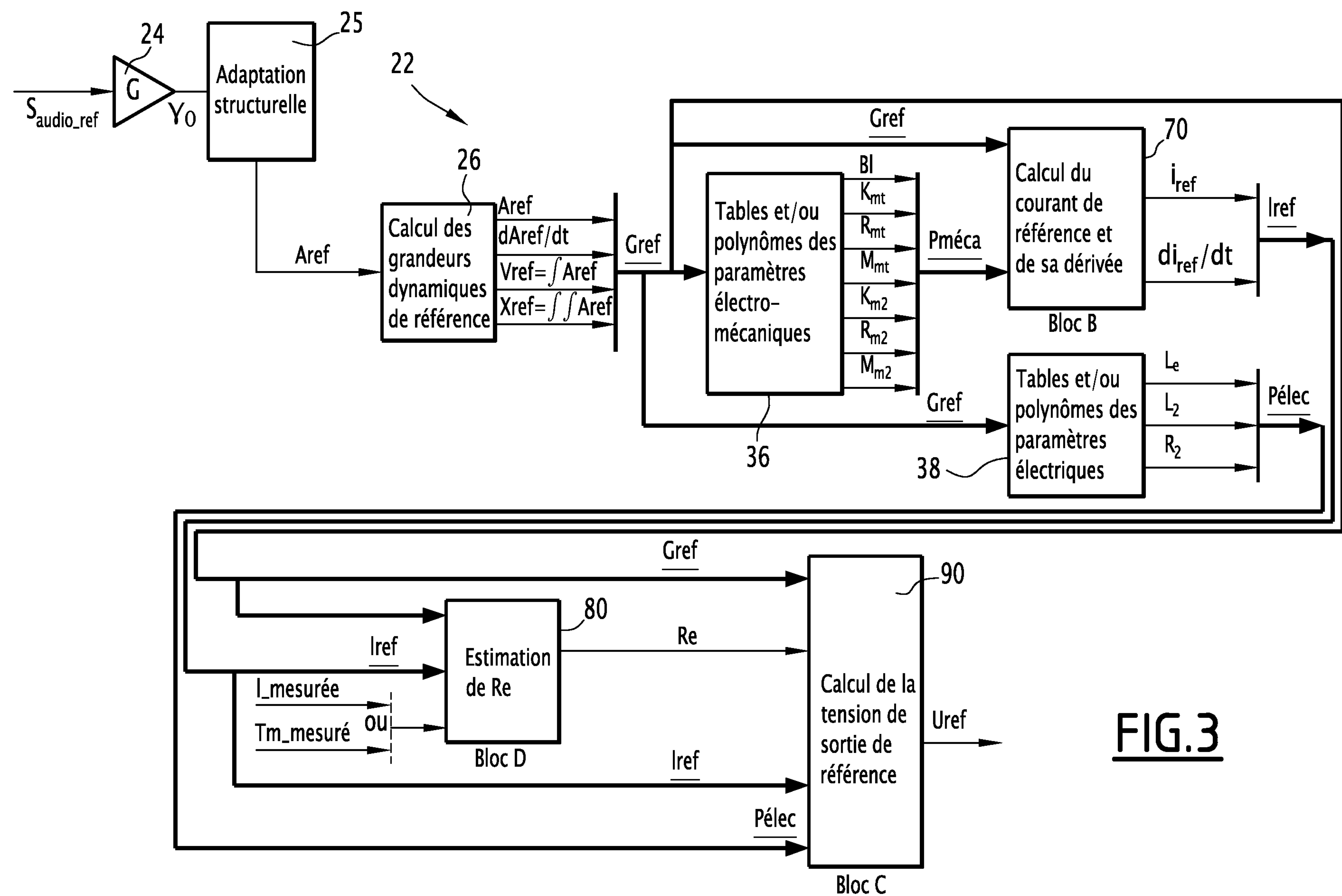
**FIG.9**



**FIG.10**

5/5

FIG.11



**FIG.3**