

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
PARIS
—

⑪ N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 933 823

⑫ N° d'enregistrement national :

08 03982

⑤① Int Cl⁸ : **H 03 F 3/185**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ AMPLIFICATEUR A ENTREES MULTIPLES ET SORTIES MULTIPLES AYANT DES ENTREES PSEUDO-DIFFERENTIELLES.

②② Date de dépôt : 11.07.08.

③⑦ Priorité :

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : *EXCEM Société par actions
simplifiée* — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 15.01.10 Bulletin 10/02.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 28.10.11 Bulletin 11/43.

⑦② Inventeur(s) : BROYDE FREDERIC et CLAVELIER
EVELYNE.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

⑦③ Titulaire(s) : EXCEM Société par actions simplifiée.

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦④ Mandataire(s) : EXCEM.

FR 2 933 823 - B1



Amplificateur à entrées multiples et sorties multiples ayant des entrées pseudo-différentielles

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5

L'invention concerne un amplificateur capable de fournir une pluralité de signaux de sortie, ces signaux de sortie étant contrôlés par une pluralité de signaux d'entrée.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Notons n un entier supérieur ou égal à 2, et considérons le problème de la conception d'un
10 amplificateur produisant n signaux de sortie à partir de n signaux d'entrée, l'amplificateur étant tel que les signaux de sortie sont chacun, dans une bande de fréquences, une combinaison linéaire des signaux d'entrée. Nous souhaitons que ces combinaisons linéaires soient définies par une matrice non diagonale, c'est-à-dire que ces combinaisons linéaires ne soient pas des combinaisons linéaires ne comportant qu'un seul coefficient non nul qui pourraient être obtenues
15 en utilisant n amplificateurs à une entrée et une sortie. Nous souhaitons aussi que ces combinaisons linéaires soient déterminées par une rétroaction série-série. L'état de la technique antérieure applicable à ce type d'amplificateur comporte :

- l'invention divulguée dans la demande de brevet français numéro 06/00388 du 17 janvier 2006 intitulée "Amplificateur à entrées multiples et sorties multiples", correspondant à la demande
20 internationale numéro PCT/IB2006/003950 du 19 décembre 2006 (WO 2007/083191) intitulée "multiple input and multiple output amplifier" ;
- l'invention divulguée dans la demande de brevet français numéro 06/05633 du 23 juin 2006 intitulée "Amplificateur à entrées multiples et sorties multiples utilisant l'induction mutuelle dans le réseau de rétroaction", correspondant à la demande internationale numéro
25 PCT/IB2007/001344 du 26 avril 2007 (WO 2008/001168) intitulée "multiple input and multiple output amplifier using mutual induction in the feedback network".

Dans ces inventions, un réseau de rétroaction ayant une borne connectée à la borne de référence et n autres bornes procure une rétroaction série-série telle que la matrice admittance de transfert de l'amplificateur est voisine d'une matrice admittance donnée, cette matrice
30 admittance donnée étant une matrice carrée d'ordre n non diagonale et inversible.

Un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série est habituellement désigné par le sigle MIMO-SSFA correspondant à la dénomination anglaise "multiple-input and multiple-output series-series feedback amplifier". Davantage de détails sur le MIMO-SSFA peuvent être trouvés dans l'article de F. Broydé et E. Clavelier intitulé "MIMO
35 Series-Series Feedback Amplifiers", publié dans la revue *IEEE Transactions on Circuits and Systems II*, vol. 54, No. 12, pages 1037 à 1041, en décembre 2007, qui montre qu'un MIMO-

SSFA peut être utilisé à des fréquences très élevées.

Par exemple, la figure 1 montre un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série décrit dans ladite demande de brevet français numéro 06/00388 ou dans ladite demande de brevet français numéro 06/05633 ou dans les demandes internationales correspondantes, comportant $n = 4$ bornes d'entrée signal (11) (12) (13) (14), $n = 4$ bornes de sortie signal (21) (22) (23) (24), $n = 4$ sous-circuits actifs (30) et un réseau de rétroaction (40). Chaque sous-circuit actif (30) a une borne d'entrée sous-circuit connectée à une des bornes d'entrée signal (11) (12) (13) (14), une borne de sortie sous-circuit connectée à une des bornes de sortie signal (21) (22) (23) (24), et une borne commune sous-circuit. Le réseau de rétroaction (40) a 4 bornes "C", chaque borne "C" étant connectée à la borne commune sous-circuit d'un des sous-circuits actifs (30). Le réseau de rétroaction (40) a aussi une borne "R" connectée à la borne de référence (représentée avec le symbole de masse). La matrice impédance $\mathbf{Z}_{FB}$ des bornes "C" du réseau de rétroaction, par rapport à la borne de référence, lorsque ladite borne "R" est connectée à la borne de référence, est une matrice carrée d'ordre n . Cette matrice $\mathbf{Z}_{FB}$ est non diagonale, et est telle que la matrice admittance de transfert $\mathbf{Y}_T$ de l'amplificateur à entrées multiples et sorties multiples est voisine de ladite matrice admittance donnée. Le schéma de la figure 2 montre un exemple de réseau de rétroaction (40) pour le circuit de la figure 1, constitué de 9 résistances. Ce réseau de rétroaction (40) a une borne "R" (498) et 4 bornes "C" (499). Quatre résistances (401) (402) (403) (404) sont connectées entre une des bornes "C" (499) et la borne "R" (498). Cinq résistances (405) (406) (407) (408) (409) introduisent des éléments non diagonaux dans la matrice $\mathbf{Z}_{FB}$.

Pour les amplificateurs décrits dans les dites demandes de brevet français numéro 06/00388 et numéro 06/05633 et les demandes internationales correspondantes, les signaux d'entrée sont les tensions d'entrée v_{Ij} entre la borne d'entrée signal j et la borne de référence (masse), j étant un entier supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à n . Par conséquent, ces amplificateurs utilisent des entrées unifilaires, aussi appelées entrées asymétriques (single-ended inputs en anglais). Avec n entrées unifilaires, chaque tension d'entrée est appliquée entre une borne d'entrée signal et la borne de référence (masse). Ce type d'entrée est vulnérable au bruit produit par des couplages électromagnétiques non voulus, par exemple des couplages liés à des courants circulant dans les conducteurs de masse (ce type de couplage est parfois appelé "ground noise" ou "ground bounce" en anglais).

Cependant, il existe d'autres types d'entrée, destinés à procurer une bonne protection contre le bruit produit par les couplages électromagnétiques non voulus : les entrées différentielles et les entrées pseudo-différentielles (voir par exemple le paragraphe 4.2.3 du livre de F. Yuan intitulé *CMOS current-mode circuits for data communications*, publié par Springer en 2007).

Un circuit ayant n entrées différentielles utilise $2n$ bornes d'entrée. Un circuit ayant n entrées pseudo-différentielles utilise n bornes d'entrée signal et une borne d'entrée commune distincte de la borne de référence (masse).

L'état de l'art antérieur ne divulgue aucun amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série comportant des entrées différentielles. L'état de l'art antérieur divulgue un seul amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série comportant des entrées pseudo-différentielles, dans le deuxième mode de réalisation de la

5 demande de brevet français numéro 08/03830 du 7 juillet 2008, intitulée "circuit de réception pseudo-différentiel", représenté sur la figure 4 de ladite demande de brevet français numéro 08/03830. Cet amplificateur, produisant n signaux de sortie à partir de n signaux d'entrée appliqués à n entrées pseudo-différentielles, comporte n amplificateurs différentiels et un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples décrits dans ladite demande de brevet

10 français numéro 06/00388 et la demande internationale correspondante, la borne de sortie de chacun des dits amplificateurs différentiels étant connectée à une des entrées signal du dit amplificateur à entrées multiples et sorties multiples. Pour le cas $n = 4$, la figure 3 montre comment cette solution peut être appliquée pour obtenir un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples ayant des entrées pseudo-différentielles, comportant 4 bornes d'entrée signal

15 (11) (12) (13) (14), une borne d'entrée commune (10) distincte de la borne de référence, 4 bornes de sortie signal (21) (22) (23) (24), 4 sous-circuits actifs (30), 4 amplificateurs différentiels (301) et un réseau de rétroaction (40). Cette solution conduit à un amplificateur bruyant et coûteux, car n amplificateurs différentiels sont nécessaires.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

20 L'invention a pour objet un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples ayant des entrées pseudo-différentielles, qui surmonte les limitations des techniques connues.

Selon l'invention, un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples comporte :

- une borne d'entrée commune, n bornes d'entrée signal, n bornes de sortie signal et une borne de référence (masse), n étant un entier supérieur ou égal à 2 ;
- 25 - au moins un amplificateur de borne commune, chacun des dits amplificateurs de borne commune étant un amplificateur comportant une borne d'entrée et une borne de sortie, ladite borne d'entrée de chacun des dits amplificateurs de borne commune étant couplée à ladite borne d'entrée commune ;
- un nombre n de sous-circuits actifs, chaque sous-circuit actif ayant une borne d'entrée
- 30 sous-circuit, une borne de sortie sous-circuit et une borne commune sous-circuit, la borne d'entrée sous-circuit étant couplée à l'une des dites bornes d'entrée signal et la borne de sortie sous-circuit étant couplée à l'une des dites bornes de sortie signal, chaque sous-circuit actif étant tel que le courant sortant de la borne commune sous-circuit et le courant entrant dans la borne de sortie sous-circuit dépendent de la tension
- 35 entre la borne d'entrée sous-circuit et la borne commune sous-circuit, chacune des dites bornes d'entrée signal étant couplée à une seule borne d'entrée sous-circuit, et

chacune des dites bornes de sortie signal étant couplée à une seule borne de sortie sous-circuit ;

- un réseau de rétroaction ayant un nombre n de bornes "C" et au moins une borne "R", chacune des dites bornes "C" étant couplée à la borne commune sous-circuit d'un des dits sous-circuits actifs, la borne de sortie de chacun des dits amplificateurs de borne commune étant couplée à une des dites bornes "R", le réseau de rétroaction étant tel que, dans une bande de fréquences connue, la matrice impédance des bornes "C" du réseau de rétroaction par rapport aux bornes "R" connectées les unes aux autres est une matrice carrée, d'ordre n et non diagonale.

10 Selon l'invention, il est possible que la borne de sortie de chaque amplificateur de borne commune soit couplée à une borne "R" différente. Dans ce cas, le nombre r de bornes "R" est nécessairement supérieur ou égal au nombre c d'amplificateurs de borne commune, et si $r > c$, les $r - c$ bornes "R" qui ne sont pas couplées à la borne de sortie d'un des dits amplificateurs de borne commune peuvent par exemple être connectées au conducteur de référence (masse).

15 Le spécialiste comprend que, comme dans les dites demandes de brevet français numéro 06/00388 et numéro 06/05633 et les demandes internationales correspondantes, le réseau de rétroaction introduit une rétroaction série-série pour les signaux appliqués aux bornes d'entrée signal.

Numérotions de 1 à n les bornes d'entrée signal de l'amplificateur selon l'invention.

20 Numérotions les sous-circuit actifs et les bornes de sortie signal de façon à ce que, si j est un entier supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à n , la borne d'entrée sous-circuit du sous-circuit actif j soit couplée à la borne d'entrée signal j , et la borne de sortie sous-circuit du sous-circuit actif j soit couplée la borne de sortie signal j .

Pour tout entier j supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à n , nous définissons le courant d'entrée i_{Ij} entrant par la borne d'entrée signal j et la tension d'entrée v_{Ij} entre la borne d'entrée signal j et la borne de référence (masse). Nous définissons aussi le courant d'entrée i_{In+1} entrant par la borne d'entrée commune et la tension d'entrée v_{In+1} entre la borne d'entrée commune et la borne de référence. Notons $\mathbf{I}_I$ le vecteur-colonne des courants d'entrée $i_{I1}, \dots, i_{In+1}$, et notons $\mathbf{V}_I$ le vecteur-colonne des tensions d'entrée $v_{I1}, \dots, v_{In+1}$.

30 Pour tout entier j supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à n , nous définissons le courant de sortie i_{Oj} entrant par la borne de sortie signal j , et la tension de sortie v_{Oj} entre la borne de sortie signal j et la borne de référence. Notons $\mathbf{I}_O$ le vecteur-colonne des courants de sortie $i_{O1}, \dots, i_{On}$, et notons $\mathbf{V}_O$ le vecteur-colonne des tensions de sortie $v_{O1}, \dots, v_{On}$.

35 Si nous supposons que l'amplificateur selon l'invention est linéaire, il est caractérisé, dans le domaine fréquentiel, par les deux équations suivantes :

$$\mathbf{I}_I = \mathbf{Y}_I \mathbf{V}_I + \mathbf{Y}_R \mathbf{V}_O \quad (1)$$

$$\mathbf{I}_O = \mathbf{Y}_T \mathbf{V}_I + \mathbf{Y}_O \mathbf{V}_O \quad (2)$$

où $\mathbf{Y}_I$, $\mathbf{Y}_R$, $\mathbf{Y}_T$ et $\mathbf{Y}_O$ sont des matrices. Tous les éléments de ces matrices ont la dimension d'une

admittance. Ainsi, nous appellerons $\mathbf{Y}_I$ la “matrice admittance d’entrée en court-circuit” de l’amplificateur (c’est une matrice carrée d’ordre $n+1$), $\mathbf{Y}_R$ la “matrice admittance de transfert inverse en court-circuit” de l’amplificateur (c’est une matrice à $n+1$ lignes et à n colonnes), $\mathbf{Y}_T$ la “matrice admittance de transfert en court-circuit” de l’amplificateur (c’est une matrice à n lignes et à $n+1$ colonnes), et $\mathbf{Y}_O$ la “matrice admittance de sortie en court-circuit” de l’amplificateur (c’est une matrice carrée d’ordre n). Ces quatre matrices ont des éléments complexes et peuvent dépendre de la fréquence.

Dans le cas où un amplificateur selon l’invention ne répond pas exactement aux équations (1) et (2), les spécialistes comprennent que ces équations sont cependant valables pour les petits signaux, à un point de repos déterminé, si le bruit produit par l’amplificateur est négligé.

Notons w_j la tension de la borne commune sous-circuit du sous-circuit actif j par rapport à la borne de référence, et $\mathbf{W}$ le vecteur-colonne des tensions $w_1, \dots, w_n$. Pour une première analyse du principe de l’invention, considérons, à titre d’exemple non limitatif, le cas particulier dans lequel, pour $1 \leq j \leq n$, nous avons

$$i_{CAj} = y_{CTAj} (v_{Ij} - w_j) \quad (3)$$

et

$$i_{OAJ} = y_{OTAJ} (v_{Ij} - w_j) \quad (4)$$

où :

i_{CAj} est le courant sortant de la borne commune sous-circuit du sous-circuit actif j ,
 y_{CTAj} est l’admittance de transfert direct de la borne commune sous-circuit du sous-circuit actif j ,

i_{OAJ} est le courant entrant dans la borne de sortie sous-circuit du sous-circuit actif j , et
 y_{OTAJ} est l’admittance de transfert direct de la borne de sortie sous-circuit du sous-circuit actif j .

Ce cas particulier correspond à un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples selon l’invention dans lequel le sous-circuit actif j est tel que le courant sortant de la borne commune sous-circuit et le courant entrant dans la borne de sortie sous-circuit peuvent être considérés comme ne dépendant que de la tension entre la borne d’entrée sous-circuit et la borne commune sous-circuit.

À une fréquence f donnée dans ladite bande de fréquences connue, si nous considérons seulement le réseau de rétroaction, utilisé dans un autre circuit dans lequel ses bornes “R” sont connectées à ladite borne de référence, nous pouvons mesurer la matrice impédance $\mathbf{Z}_{FB}$ des bornes “C” du réseau de rétroaction, par rapport à ladite borne de référence. Cette matrice $\mathbf{Z}_{FB}$ est appelée : la matrice impédance des bornes “C” du réseau de rétroaction par rapport aux bornes “R” connectées les unes aux autres. Selon l’invention, $\mathbf{Z}_{FB}$ est une matrice carrée, d’ordre n et non diagonale. Supposons, à titre d’exemple non limitatif :

- que le courant i_{CAj} sortant de la borne commune sous-circuit du sous-circuit actif j est pratiquement égal au courant entrant dans la borne “C” correspondante du réseau de rétroaction ;
- que chaque borne “R” est connectée à la borne de sortie d’un des dits amplificateurs de borne

commune ;

- que chacun des dits amplificateurs de borne commune a un gain en tension en petits signaux égal à 1 et une impédance de sortie négligeable.

Avec ces hypothèses, nous trouvons que :

$$\mathbf{W} = \mathbf{Z}_{FB} \begin{pmatrix} i_{CA1} \\ \vdots \\ i_{CAN} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_{In+1} \\ \vdots \\ v_{In+1} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Notons $\text{diag}_n(y_{CTA1}, \dots, y_{CTAn})$ la matrice diagonale des admittances de transfert direct de la borne commune sous-circuit y_{CTAj} , et $\text{diag}_n(y_{OTA1}, \dots, y_{OTAn})$ la matrice diagonale des admittances de transfert direct de la borne de sortie sous-circuit y_{OTAj} . En utilisant les équations (3) et (5) et en supposant que le circuit est stable, nous obtenons, pour l'exemple considéré :

$$\mathbf{W} = \mathbf{Z}_{FB} \text{diag}_n(y_{CTA1}, \dots, y_{CTAn}) \left[\begin{pmatrix} v_{I1} \\ \vdots \\ v_{In} \end{pmatrix} - \mathbf{W} \right] + \begin{pmatrix} v_{In+1} \\ \vdots \\ v_{In+1} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Nous trouvons alors, pour l'exemple considéré

$$\begin{pmatrix} v_{I1} \\ \vdots \\ v_{In} \end{pmatrix} - \mathbf{W} = [\mathbf{1}_n + \mathbf{Z}_{FB} \text{diag}_n(y_{CTA1}, \dots, y_{CTAn})]^{-1} \begin{pmatrix} v_{I1} - v_{In+1} \\ \vdots \\ v_{In} - v_{In+1} \end{pmatrix} \quad (7)$$

où $\mathbf{1}_n$ est la matrice unité d'ordre n . En supposant que le courant i_{OAJ} entrant dans la borne de sortie sous-circuit du sous-circuit actif j est pratiquement égal au courant i_{Oj} entrant dans la borne de sortie signal j , et en utilisant l'équation (4), nous obtenons, pour l'exemple considéré

$$\mathbf{I}_O = \text{diag}_n(y_{OTA1}, \dots, y_{OTAn}) [\mathbf{1}_n + \mathbf{Z}_{FB} \text{diag}_n(y_{CTA1}, \dots, y_{CTAn})]^{-1} \begin{pmatrix} v_{I1} - v_{In+1} \\ \vdots \\ v_{In} - v_{In+1} \end{pmatrix} \quad (8)$$

Si nous utilisons la notation

$$\mathbf{Y}_{TL} = \text{diag}_n(y_{OTA1}, \dots, y_{OTAn}) [\mathbf{1}_n + \mathbf{Z}_{FB} \text{diag}_n(y_{CTA1}, \dots, y_{CTAn})]^{-1} \quad (9)$$

nous avons, pour l'exemple considéré :

$$\mathbf{I}_O = \mathbf{Y}_{TL} \begin{pmatrix} v_{I1} \\ \vdots \\ v_{In} \end{pmatrix} + \mathbf{Y}_{TL} \begin{pmatrix} -1 \\ \vdots \\ -1 \end{pmatrix} v_{In+1} \quad (10)$$

Pour l'exemple considéré, nous concluons donc que

$$\mathbf{Y}_T = \begin{pmatrix} \mathbf{Y}_{TL} & \mathbf{Y}_{TL} \begin{pmatrix} -1 \\ \vdots \\ -1 \end{pmatrix} \end{pmatrix} \quad (11)$$

et $\mathbf{Y}_O = \mathbf{0}_n$ (12)

où $\mathbf{0}_n$ est la matrice nulle d'ordre n . Ainsi, avec nos hypothèses, nous avons pu déterminer la matrice admittance de transfert en court-circuit $\mathbf{Y}_T$ et la matrice admittance de sortie en court-circuit $\mathbf{Y}_O$ de l'amplificateur. La comparaison de l'équation (8) ci-dessus avec l'équation (8) de ladite demande de brevet français numéro 06/00388 et de la demande internationale correspondante montre qu'un amplificateur selon l'invention peut se comporter comme l'amplificateur représenté sur la figure 3, c'est-à-dire comme un amplificateur à entrées pseudo-différentielles. D'autre part, $\mathbf{Z}_{FB}$ étant une matrice non diagonale, l'équation (9) ci-dessus montre que le réseau de rétroaction est tel que, à ladite fréquence f donnée dans ladite bande de fréquences connue, les signaux de sortie ne sont pas des combinaisons linéaires des signaux d'entrée ne comportant qu'un seul coefficient non nul, qui pourraient être obtenues avec n amplificateurs à une entrée et une sortie.

Par conséquent, selon l'invention, il est possible que, dans ladite bande de fréquences connue, chacun des dits amplificateurs de borne commune ait un gain en tension en petits signaux approximativement égal à un.

Les équations (9) et (11) montrent que le réseau de rétroaction peut être utilisé pour obtenir une contre-réaction rendant la matrice admittance de transfert en court-circuit $\mathbf{Y}_T$ insensible aux variations des admittances de transfert direct de la borne commune sous-circuit y_{CTA_j} . Le spécialiste voit que ceci est un avantage, qui est accru lorsque les modules des admittances de transfert direct de la borne commune sous-circuit y_{CTA_j} sont suffisamment augmentés. En utilisant les résultats mathématiques présentés au paragraphe 87 du livre *Algèbre linéaire* de V. Voïévodine, publié par Editions Mir en 1976, nous notons que si les modules $|y_{CTA_j}|$ des admittances de transfert direct de la borne commune sous-circuit sont beaucoup plus grands que les modules de tous les éléments de l'inverse de la matrice $\mathbf{Z}_{FB}$, l'approximation suivante est justifiée :

$$\left(\mathbf{1}_n + [\mathbf{Z}_{FB} \text{diag}_n(y_{CTA1}, \dots, y_{CTAn})]^{-1} \right)^{-1} \approx \mathbf{1}_n \quad (13)$$

Par conséquent, l'équation (9) devient

$$\mathbf{Y}_{TL} \approx \text{diag}_n \left(\frac{y_{OTA1}}{y_{CTA1}}, \dots, \frac{y_{OTAn}}{y_{CTAn}} \right) \mathbf{Z}_{FB}^{-1} \quad (14)$$

L'équation (14) n'est valide que si la matrice $\mathbf{Z}_{FB}$ est inversible. Par conséquent, selon

l'invention, il est possible que la matrice impédance $\mathbf{Z}_{FB}$ des bornes "C" du réseau de rétroaction par rapport aux bornes "R" connectées les unes aux autres soit, dans ladite bande de fréquences connue, une matrice inversible.

Comme il est montré dans ladite demande de brevet français numéro 06/00388 et dans la
 5 demande internationale correspondante, les spécialistes connaissent plusieurs conceptions convenant aux sous-circuits actifs, qui fournissent des rapports y_{OTAj} / y_{CTAj} voisins de 1 ou de -1. Dans ce cas, avec les hypothèses détaillées ci-dessus, la contre-réaction produite par le réseau de rétroaction est telle que la matrice admittance de transfert en court-circuit $\mathbf{Y}_T$ est pratiquement indépendante de la valeur exacte des admittances de transfert direct de la borne
 10 commune sous-circuit y_{CTAj} .

Par conséquent, selon l'invention, si la matrice $\mathbf{Z}_{FB}$ est inversible, l'amplificateur à entrées multiples et sorties multiples peut être tel que, dans ladite bande de fréquences connue, chacun des dits sous-circuits actifs a un module $|y_{CTAj}|$ du rapport entre le courant sortant de la borne commune sous-circuit et la tension entre la borne d'entrée sous-circuit et la borne commune
 15 sous-circuit beaucoup plus grand que les modules de tous les éléments de l'inverse de la matrice impédance $\mathbf{Z}_{FB}$ des bornes "C" du réseau de rétroaction par rapport aux bornes "R" connectées les unes aux autres.

Comme pour les dispositifs décrits dans les dites demandes de brevet français numéro 06/00388 et numéro 06/05633 et les demandes internationales correspondantes, selon
 20 l'invention, ledit réseau de rétroaction peut être constitué d'éléments linéaires, passifs et réciproques. A titre d'exemple, le réseau de rétroaction peut comporter des résistances et/ou des condensateurs et/ou des enroulements procurant de l'inductance propre. A titre d'exemple, il est possible que le réseau de rétroaction comporte au moins deux enroulements disposés de telle façon que, dans une partie au moins de ladite bande de fréquences connue, une induction
 25 mutuelle non négligeable apparaisse entre ces enroulements. Dans ce cas, au moins deux tels enroulements peuvent par exemple être :

- des enroulements d'un même transformateur (un tel transformateur peut, ou non, comporter un circuit magnétique) ;
- des enroulements constitués de pistes de circuit imprimé, avec ou sans circuit magnétique ;
- 30 - des enroulements réalisés dans un circuit intégré.

Ledit réseau de rétroaction peut aussi comporter au moins un composant actif, par exemple au moins un transistor à effet de champ à grille isolée (MOSFET). De tels composants peuvent être réglables par un moyen électrique, comme un MOSFET utilisé en régime ohmique procurant une résistance variable, ou comme une diode à capacité variable, procurant une
 35 capacité variable. Par conséquent, selon l'invention, ledit réseau de rétroaction peut être tel que la matrice impédance $\mathbf{Z}_{FB}$ des bornes "C" du réseau de rétroaction par rapport aux bornes "R" connectées les unes aux autres peut être réglée par des moyens électriques.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus clairement de la description qui va suivre de modes particuliers de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemples non limitatifs, et représentés dans les dessins annexés sur lesquels :

- 5 - la figure 1 représente un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- la figure 2 représente un réseau de rétroaction pour l'amplificateur de la figure 1, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- 10 - la figure 3 représente un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples ayant des entrées pseudo-différentielles, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- la figure 4 représente un premier mode de réalisation de l'invention, pour $n = 4$;
- la figure 5 représente un réseau de rétroaction pouvant être utilisé dans le premier mode de réalisation ;
- 15 - la figure 6 représente un premier exemple d'amplificateur de borne commune, pouvant être utilisé dans le premier mode de réalisation ;
- la figure 7 représente un deuxième exemple d'amplificateur de borne commune, pouvant être utilisé dans le premier mode de réalisation ;
- 20 - la figure 8 représente un deuxième mode de réalisation de l'invention, pour $n = 4$;
- la figure 9 représente le réseau de rétroaction utilisé dans le deuxième mode de réalisation ;
- la figure 10 représente un troisième mode de réalisation de l'invention, pour $n = 3$;
- la figure 11 représente un quatrième mode de réalisation de l'invention, pour $n = 3$.

25 EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE CERTAINS MODES DE RÉALISATION

Premier mode de réalisation.

Au titre d'un premier mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 4 un "amplificateur à entrées multiples et sorties multiples ayant des entrées pseudo-différentielles" selon l'invention,

30 comportant une borne d'entrée commune (10), $n = 4$ bornes d'entrée signal (11) (12) (13) (14), $n = 4$ bornes de sortie signal (21) (22) (23) (24), un amplificateur de borne commune (9), 4 sous-circuits actifs (30) et un réseau de rétroaction (40). Chaque sous-circuit actif (30) a une borne d'entrée sous-circuit connectée à une des bornes d'entrée signal (11) (12) (13) (14), une borne de sortie sous-circuit connectée à une des bornes de sortie signal (21) (22) (23) (24), et une

borne commune sous-circuit. Chaque sous-circuit actif (30) est tel que le courant sortant de la borne commune sous-circuit et le courant entrant dans la borne de sortie sous-circuit dépendent de la tension entre la borne d'entrée sous-circuit et la borne commune sous-circuit. Le réseau de rétroaction (40) a $n = 4$ bornes "C" et une borne "R". Les dites bornes "C" sont appelées C_1 , C_2 , C_3 et C_4 . Chacune des dites bornes "C" du réseau de rétroaction (40) est couplée à la borne commune sous-circuit d'un des dits sous-circuits actifs (30). La borne de sortie de l'amplificateur de borne commune (9) est couplée à ladite borne "R" du réseau de rétroaction (40). La borne d'entrée de l'amplificateur de borne commune (9) est couplée à ladite borne d'entrée commune (10).

10 Considérons un autre circuit dans lequel ladite borne "R" du réseau de rétroaction (40) serait connectée à la borne de référence. Le réseau de rétroaction (40) est tel que, dans cet autre circuit, la matrice impédance des bornes "C" du réseau de rétroaction (40) par rapport à la borne de référence est définie, dans une bande de fréquences connue. Cette matrice est la matrice impédance Z_{FB} des bornes "C" du réseau de rétroaction par rapport aux bornes "R" connectées
15 les unes aux autres, définie plus haut, et est une matrice carrée d'ordre n . De plus, le réseau de rétroaction (40) est tel que Z_{FB} est, à toute fréquence dans ladite bande de fréquences connue, une matrice non diagonale. Par conséquent, le spécialiste comprend que, dans ladite bande de fréquences connue, les signaux de sortie ne sont pas des combinaisons linéaires des signaux d'entrée ne comportant qu'un seul coefficient non nul, qui pourraient être obtenues avec n
20 amplificateurs à une entrée et une sortie.

Le schéma de la figure 5 montre un réseau de rétroaction (40) possible pour le circuit de la figure 4, constitué de 7 résistances et de 4 enroulements. Ce réseau de rétroaction (40) a $n = 4$ bornes "C" (499) appelées C_1 , C_2 , C_3 et C_4 , et une borne "R" (498). Quatre résistances (401) (402) (403) (404) sont chacune connectées entre une des bornes "C" (499) et la première borne
25 d'un des 4 enroulements (501) (502) (503) (504) dont la seconde borne est connectée à la borne "R" (498). Dans ce réseau de rétroaction (40), l'induction mutuelle entre les enroulements est négligeable, dans la bande de fréquences connue, mais 3 résistances (405) (406) (407) introduisent des éléments non diagonaux dans Z_{FB} . Le réseau de rétroaction (40) de la figure 2 pourrait aussi être utilisé dans ce premier mode de réalisation, au lieu du réseau de rétroaction
30 (40) de la figure 5.

Chaque sous-circuit actif (30) peut par exemple être d'un des types décrits dans les dites demandes de brevet français numéro 06/00388 et numéro 06/05633 et les demandes internationales correspondantes. Par exemple, selon l'invention, l'amplificateur à entrées multiples et sorties multiples peut être tel qu'au moins un des sous-circuits actifs est un
35 convoyeur de courant de seconde génération (en anglais: "second-generation current conveyor"), ce sous-circuit actif ayant par exemple des connexions (non représentées sur la figure 4) à la borne de référence et à des sources de puissance électrique fournissant les tensions de + 5 V et - 5 V. Par exemple, selon l'invention, l'amplificateur à entrées multiples et sorties multiples peut

être tel que chaque sous-circuit actif comporte une boucle de rétroaction interne.

Un premier exemple d'amplificateur de borne commune (9) pouvant être utilisé dans le premier mode de réalisation est montré sur la figure 6, dans laquelle un amplificateur opérationnel rapide (93) est utilisé dans un circuit suiveur de tension, la borne d'entrée (91) de l'amplificateur de borne commune étant connectée à la borne d'entrée positive de l'amplificateur opérationnel rapide (93), la borne de sortie (92) de l'amplificateur de borne commune étant connectée à la borne de sortie et à la borne d'entrée négative de l'amplificateur opérationnel rapide (93).

Un deuxième exemple d'amplificateur de borne commune (9) pouvant être utilisé dans le premier mode de réalisation est montré sur la figure 7, dans laquelle un transistor bipolaire (94) et une résistance (95) sont utilisés dans un circuit en collecteur commun, la borne d'entrée (91) de l'amplificateur de borne commune étant connectée à la base du transistor (94), la borne de sortie (92) de l'amplificateur de borne commune étant connectée à l'émetteur du transistor (94) et à une borne de la résistance (95). Le spécialiste comprend qu'il serait avantageux de remplacer la résistance (95) par une source de courant délivrant un courant de polarisation. Le spécialiste comprend qu'une telle source de courant idéale peut être réalisée avec des composants réels, par exemple en utilisant un miroir de courant.

D'autres types d'amplificateur pourraient être utilisés comme amplificateur de borne commune (9) dans ce premier mode de réalisation, y compris des structures utilisant plusieurs amplificateurs, telles que celles décrites dans le brevet des États-Unis d'Amérique numéro 7,099,395 intitulé "Reducing coupled noise in pseudo-differential signaling".

Les amplificateurs de borne commune représentés sur les figures 6 et 7 ont, dans la bande de fréquences connue, un gain en tension en petits signaux voisin de 1. L'amplificateur de borne commune représenté sur la figure 6 peut être plus précis que celui représenté sur la figure 7, par exemple à des fréquences inférieures à 300 MHz. L'amplificateur de borne commune représenté sur la figure 7 peut typiquement être utilisé à des fréquences beaucoup plus élevées que celui représenté sur la figure 6.

Il est important de noter que, pour l'amplificateur à entrées multiples et sorties multiples représenté sur la figure 4, si l'impédance de sortie z_{CO} de l'amplificateur de borne commune (9) n'est pas négligeable, cette impédance de sortie peut contribuer à la rétroaction série-série pour les signaux appliqués aux bornes d'entrée (10) (11) (12) (13) (14). Dans ce cas, le spécialiste comprend que la matrice impédance $\mathbf{Z}_{TFB}$ déterminant la rétroaction série-série est

$$\mathbf{Z}_{TFB} = \mathbf{Z}_{FB} + \begin{pmatrix} z_{CO} & z_{CO} & z_{CO} & z_{CO} \\ z_{CO} & z_{CO} & z_{CO} & z_{CO} \\ z_{CO} & z_{CO} & z_{CO} & z_{CO} \\ z_{CO} & z_{CO} & z_{CO} & z_{CO} \end{pmatrix} \quad (15)$$

Dans ladite bande de fréquences connue, le module $|z_{CO}|$ de l'impédance de sortie z_{CO} de

l'amplificateur de borne commune (9) utilisé dans ce premier mode de réalisation est beaucoup plus petit que les modules de tous les éléments de la matrice $\mathbf{Z}_{FB}$. De cette façon, la matrice $\mathbf{Z}_{TFB}$ est principalement déterminée par la matrice $\mathbf{Z}_{FB}$. De cette façon, la matrice $\mathbf{Z}_{TFB}$ dépend peu de la température.

- 5 Comme montré dans ce premier mode de réalisation, l'amplificateur à entrées multiples et sorties multiples selon l'invention peut être tel que le nombre n de bornes de sortie signal est supérieur ou égal à quatre.

Deuxième mode de réalisation.

- 10 Au titre d'un deuxième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 8 un "amplificateur à entrées multiples et sorties multiples ayant des entrées pseudo-différentielles" selon l'invention comportant une borne d'entrée commune (10), $n = 4$ bornes d'entrée signal (11) (12) (13) (14), $n = 4$ bornes de sortie signal (21) (22) (23) (24), 4 amplificateurs de borne commune (9), 4 sous-circuits actifs (30) et un réseau de rétroaction (40). Chaque sous-circuit actif (30) a une borne
- 15 d'entrée sous-circuit connectée à une des bornes d'entrée signal (11) (12) (13) (14), une borne de sortie sous-circuit connectée à une des bornes de sortie signal (21) (22) (23) (24), et une borne commune sous-circuit. Chaque sous-circuit actif (30) est tel que le courant sortant de la borne commune sous-circuit et le courant entrant dans la borne de sortie sous-circuit dépendent de la tension entre la borne d'entrée sous-circuit et la borne commune sous-circuit. Le réseau
- 20 de rétroaction (40) a $n = 4$ bornes "C" et 4 bornes "R". Les dites bornes "C" sont appelées C_1 , C_2 , C_3 et C_4 . Chacune des dites bornes "C" du réseau de rétroaction (40) est couplée à la borne commune sous-circuit d'un des dits sous-circuits actifs (30). Les dites bornes "R" sont appelées R_1 , R_2 , R_3 et R_4 . Chacune des dites bornes "R" du réseau de rétroaction (40) est couplée à la borne de sortie d'un des dits amplificateurs de borne commune (9). La borne d'entrée de chacun
- 25 des dits amplificateurs de borne commune (9) est couplée à ladite borne d'entrée commune (10).

- Considérons un autre circuit dans lequel les dites bornes "R" du réseau de rétroaction (40) seraient connectées à la borne de référence. Le réseau de rétroaction (40) est tel que, dans cet autre circuit, la matrice impédance des bornes "C" du réseau de rétroaction (40) par rapport à la borne de référence est définie, dans une bande de fréquences connue. Cette matrice est la
- 30 matrice impédance $\mathbf{Z}_{FB}$ des bornes "C" du réseau de rétroaction par rapport aux bornes "R" connectées les unes aux autres, définie plus haut, et est une matrice carrée d'ordre n . De plus, le réseau de rétroaction (40) est tel que $\mathbf{Z}_{FB}$ est, à toute fréquence dans ladite bande de fréquences connue, une matrice non diagonale. Par conséquent, le spécialiste comprend que les
- 35 signaux de sortie ne sont pas, dans ladite bande de fréquences connue, des combinaisons linéaires des signaux d'entrée ne comportant qu'un seul coefficient non nul, qui pourraient être obtenues avec n amplificateurs à une entrée et une sortie.

Le schéma de la figure 9 montre un réseau de rétroaction (40) pour le circuit de la figure 8, constitué de 7 résistances et de 4 enroulements. Le réseau de rétroaction (40) a $n = 4$ bornes "C" (499) appelées C_1 , C_2 , C_3 et C_4 , et 4 bornes "R" (498) appelées R_1 , R_2 , R_3 et R_4 . Quatre résistances (401) (402) (403) (404) sont chacune connectées entre une des bornes "C" (499) et la première borne d'un des 4 enroulements (501) (502) (503) (504) dont la seconde borne est connectée à une des bornes "R" (498). Dans ce réseau de rétroaction (40), l'induction mutuelle entre les enroulements est négligeable, dans la bande de fréquences connue, mais 3 résistances (405) (406) (407) introduisent des éléments non diagonaux dans $\mathbf{Z}_{FB}$.

Chaque sous-circuit actif (30) peut par exemple être d'un des types décrits dans les dites demandes de brevet français numéro 06/00388 et numéro 06/05633 et les demandes internationales correspondantes. Les amplificateurs de borne commune (9) ont, dans la bande de fréquences connue, un gain en petits signaux voisin de 1.

Il est important de noter que, pour l'amplificateur à entrées multiples et sorties multiples représenté sur la figure 8, si les impédances de sortie des amplificateurs de borne commune (9) ne sont pas négligeables, elles peuvent contribuer à la contre-réaction série-série pour les signaux appliqués aux bornes d'entrée (10) (11) (12) (13) (14).

Troisième mode de réalisation.

Le troisième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond à l'amplificateur à entrées multiples et sorties multiples ayant des entrées pseudo-différentielles représenté sur la figure 10. Cet amplificateur à entrées multiples et sorties multiples comporte une borne d'entrée commune (10), $n = 3$ bornes d'entrée signal (11) (12) (13), $n = 3$ bornes de sortie signal (21) (22) (23), 3 amplificateurs de borne commune, 3 sous-circuits actifs (30) et un réseau de rétroaction.

Dans la figure 10, chacun des 3 amplificateurs de borne commune comporte un MOSFET (96) utilisé dans un circuit en drain commun. Une polarisation appropriée de la borne d'entrée commune (10) doit être fournie par des circuits externes non représentés sur la figure 10.

Dans la figure 10, chacun des 3 sous-circuits actifs (30) comporte un premier MOSFET (31) et un second MOSFET (32) en montage cascode, bien connu des spécialistes. Les 3 sources de courant (38) fournissent la polarisation des bornes de sortie sous-circuit. La tension de polarisation V_G des grilles des seconds MOSFET (32) doit être fournie par des circuits externes non représentés sur la figure 10. Une polarisation appropriée des bornes d'entrée signal (11) (12) (13) doit être fournie par des circuits externes non représentés sur la figure 10.

Le réseau de rétroaction est constitué de deux condensateurs (410) (411) et de trois enroulements (505) (506) (507) présentant entre eux une induction mutuelle non négligeable. Nous notons que, dans ce troisième mode de réalisation, la matrice impédance $\mathbf{Z}_{FB}$ des bornes "C" du réseau de rétroaction par rapport aux bornes "R" connectées les unes aux autres est non

diagonale seulement à des fréquences supérieures à 0 Hz.

Les sous-circuits actifs et le réseau de rétroaction sont dimensionnés de telle façon que la contre-réaction série-série produise une matrice admittance de transfert en court-circuit $\mathbf{Y}_T$ voisine d'une matrice admittance donnée $\mathbf{Y}_G$, dans une bande de fréquences connue, cette bande
 5 de fréquences connue étant dans ce troisième mode de réalisation la bande de fréquences de 1MHz à 5 GHz.

Comme montré dans ce troisième mode de réalisation, l'amplificateur à entrées multiples et sorties multiples selon l'invention peut être tel que le nombre n de bornes de sortie signal est supérieur ou égal à trois.

10 Quatrième mode de réalisation.

Le quatrième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond à l'amplificateur à entrées multiples et sorties multiples ayant des entrées pseudo-différentielles représenté sur la figure 11. Cet amplificateur à entrées multiples et sorties multiples comporte une borne d'entrée commune (10), $n = 3$ bornes d'entrée signal
 15 (11) (12) (13), $n = 3$ bornes de sortie signal (21) (22) (23), 3 amplificateurs de borne commune, 3 sous-circuits actifs (30) et un réseau de rétroaction.

Dans la figure 11, chacun des 3 amplificateurs de borne commune comporte une source de courant (97) et un MOSFET (98) en montage drain commun. Une polarisation appropriée de la borne d'entrée commune (10) doit être fournie par des circuits externes non représentés sur la
 20 figure 11.

Dans la figure 11, chacun des 3 sous-circuits actifs (30) comporte un premier MOSFET (31) et un second MOSFET (32) en montage cascode. Les 3 sources de courant (38) fournissent la polarisation des bornes de sortie sous-circuit. La tension de polarisation V_G des grilles des seconds MOSFET (32) doit être fournie par des circuits externes non représentés sur la figure
 25 11. Une polarisation appropriée des bornes d'entrée signal (11) (12) (13) doit être fournie par des circuits externes non représentés sur la figure 11.

Les sous-circuits actifs et le réseau de rétroaction sont dimensionnés de telle façon que la contre-réaction produise une matrice admittance de transfert en court-circuit $\mathbf{Y}_T$ voisine d'une matrice admittance donnée $\mathbf{Y}_G$, dans une bande de fréquences connue, cette bande de fréquences
 30 connue étant dans ce quatrième mode de réalisation la bande de fréquences de 1850 MHz à 1910 MHz.

Le réseau de rétroaction est constitué de trois enroulements (505) (506) (507) présentant entre eux une induction mutuelle non négligeable. Nous noterons L_1 , L_2 et L_3 les inductances propres des enroulements (505), (506) et (507), respectivement. Nous noterons R_1 , R_2 et R_3 les
 35 résistances des enroulements (505), (506) et (507), respectivement. Entre ces enroulements, 3 inductances mutuelles M_{ij} doivent être prises en compte. La matrice impédance $\mathbf{Z}_{FB}$ des bornes

“C” du réseau de rétroaction par rapport aux bornes “R” connectées les unes aux autres est donc

$$\mathbf{Z}_{FB} = \begin{pmatrix} R_1 + j\omega L_1 & j\omega M_{12} & j\omega M_{13} \\ j\omega M_{12} & R_2 + j\omega L_2 & j\omega M_{23} \\ j\omega M_{13} & j\omega M_{23} & R_3 + j\omega L_3 \end{pmatrix} \quad (16)$$

Par conséquent, dans ce quatrième mode de réalisation, la matrice $\mathbf{Z}_{FB}$ est non diagonale seulement à des fréquences supérieures à 0 Hz. Nous noterons z_{CO1} , z_{CO2} et z_{CO3} les impédances de sortie des amplificateurs de borne commune connectés aux enroulements (505), (506) et (507), respectivement. Le spécialiste comprend que la matrice impédance $\mathbf{Z}_{TFB}$ déterminant la rétroaction série-série est

$$\mathbf{Z}_{TFB} = \mathbf{Z}_{FB} + \begin{pmatrix} z_{CO1} & 0 & 0 \\ 0 & z_{CO2} & 0 \\ 0 & 0 & z_{CO3} \end{pmatrix} \quad (17)$$

Dans ladite bande de fréquences connue, le module $|z_{CO1}|$, $|z_{CO2}|$ ou $|z_{CO3}|$ de l'impédance de sortie de n'importe quel des dits amplificateurs de borne commune utilisés dans le quatrième mode de réalisation est beaucoup plus petit que les modules de tous les éléments diagonaux de la matrice impédance $\mathbf{Z}_{FB}$ des bornes “C” du réseau de rétroaction par rapport aux bornes “R” connectées les unes aux autres. De cette façon, la matrice $\mathbf{Z}_{TFB}$ est principalement déterminée par la matrice $\mathbf{Z}_{FB}$, et la matrice $\mathbf{Z}_{TFB}$ dépend peu de la température.

Nous notons que l'équation (17) donnant $\mathbf{Z}_{TFB}$ pour ce quatrième mode de réalisation est très différente de l'équation (15) donnant $\mathbf{Z}_{TFB}$ pour le premier mode de réalisation, et que les équations donnant $\mathbf{Z}_{TFB}$ pour le deuxième et le troisième mode de réalisation seraient différentes des équations (15) et (17). D'autre part, les équations (16) et (17) montrent que, dans ce quatrième mode de réalisation, tous les éléments non diagonaux des matrices $\mathbf{Z}_{FB}$ et $\mathbf{Z}_{TFB}$ sont imputables à l'induction mutuelle entre les différents enroulements du réseau de rétroaction.

INDICATIONS SUR LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

L'invention est particulièrement adaptée aux applications des amplificateurs à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série.

Par exemple, un dispositif selon l'invention peut être appliqué à un circuit d'interface pour une interconnexion multiconductrice, à la place d'un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série de l'état de l'art antérieur. De tels circuits d'interface utilisant un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série de l'état de l'art antérieur sont par exemple décrits dans les dites demandes de brevet français numéro 06/00388 et numéro 06/05633, dans les demandes internationales correspondantes et dans l'article de F. Broydé et E. Clavier intitulé “A Simple Method for Transmission with Reduced Crosstalk and

Echo”, publié aux pages 684 à 687 des actes de la *13th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, ICECS 2006* qui se déroule à Nice, France, du 10 au 13 décembre 2006.

Par exemple, un dispositif selon l'invention peut être utilisé à la place d'un circuit de
5 réception pseudo-différentiel décrit dans ladite demande de brevet français numéro 08/03830
du 7 juillet 2008.

Par exemple, un dispositif selon l'invention peut être utilisé à la place d'un circuit de
réception utilisé dans un dispositif selon l'invention décrite dans la demande de brevet français
numéro 08/03876 du 8 juillet 2008, intitulée “Dispositif d'interface multicanal avec circuit de
10 terminaison”.

Par exemple, un dispositif selon l'invention peut être appliqué à un circuit pour réception
radio utilisant plusieurs antennes, au lieu d'un amplificateur à entrées multiples et sorties
multiples à rétroaction série-série de l'état de l'art antérieur. De tels circuits pour réception radio
utilisant un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série de l'état
15 de l'art antérieur sont par exemple décrits dans la demande de brevet français numéro 06/06502
du 18 juillet 2006 intitulée “Procédé et dispositif pour la réception radioélectrique utilisant une
pluralité d'antennes”, correspondant à la demande internationale numéro PCT/IB2007/001589
du 5 juin 2007 (WO 2008/010035) intitulée “Method and device for radio reception using a
plurality of antennas”, et dans l'article de F. Broydé et E. Clavelier intitulé “Multiple-input-port
20 and multiple-output-port amplifier for wireless receivers”, publié dans les actes du *SAME 2007
Forum*, qui se déroule à Sophia-Antipolis, France, du 3 au 4 octobre 2007.

Dans ces types d'application, il est par exemple possible que la borne d'entrée commune
soit couplée à la masse ou à un noeud ayant une tension fixe par rapport à la masse, au point où
les signaux d'entrée de l'amplificateur à entrées multiples et sorties multiples selon l'invention
25 sont captés dans un circuit.

Un dispositif selon l'invention comportant des entrées pseudo-différentielles, ce dispositif
procure une bonne protection contre le bruit produit par les couplages électromagnétiques non
voulus, contrairement aux amplificateurs à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction
série-série de l'état de l'art antérieur utilisant des entrées unifilaires. Par rapport à la solution
30 de l'état de l'art antérieur montrée sur la figure 3, le dispositif selon l'invention comporte au
moins un amplificateur de borne commune au lieu de n amplificateurs différentiels. Si nous
considérons que le ou les amplificateurs de borne commune utilisés dans l'invention peuvent
être réalisés de façon à être moins bruyants et coûteux que des amplificateurs différentiels
conduisant à des performances équivalentes, nous concluons que l'invention permet de réduire
35 les coûts et d'améliorer les performances.

REVENDEICATIONS

1. Amplificateur à entrées multiples et sorties multiples comportant :

- une borne d'entrée commune, n bornes d'entrée signal, n bornes de sortie signal et une borne de référence, n étant un entier supérieur ou égal à 2 ;
- 5 - au moins un amplificateur de borne commune (9), chacun des dits amplificateurs de borne commune (9) étant un amplificateur comportant une borne d'entrée et une borne de sortie, ladite borne d'entrée de chacun des dits amplificateurs de borne commune (9) étant couplée à ladite borne d'entrée commune ;
- 10 - un nombre n de sous-circuits actifs (30), chacun des dits sous-circuits actifs (30) ayant une borne d'entrée sous-circuit, une borne de sortie sous-circuit et une borne commune sous-circuit, la borne d'entrée sous-circuit étant couplée à l'une des dites bornes d'entrée signal et la borne de sortie sous-circuit étant couplée à l'une des dites bornes de sortie signal, chacun des dits sous-circuits actifs (30) étant tel que le courant sortant de la borne commune sous-circuit et le courant entrant dans la borne de sortie sous-
- 15 circuit dépendent de la tension entre la borne d'entrée sous-circuit et la borne commune sous-circuit, chacune des dites bornes d'entrée signal étant couplée à une seule borne d'entrée sous-circuit, et chacune des dites bornes de sortie signal étant couplée à une seule borne de sortie sous-circuit ;
- 20 - un réseau de rétroaction (40) ayant un nombre n de bornes "C" et au moins une borne "R", chacune des dites bornes "C" étant couplée à la borne commune sous-circuit d'un des dits sous-circuits actifs (30), la borne de sortie de chacun des dits amplificateurs de borne commune (9) étant couplée à une des dites bornes "R", le réseau de rétroaction (40) étant tel que, dans une bande de fréquences connue, la matrice impédance des bornes "C" du réseau de rétroaction par rapport aux bornes "R" connectées les unes
- 25 aux autres est une matrice carrée, d'ordre n et non diagonale.

2. Amplificateur à entrées multiples et sorties multiples selon la revendication 1, dans lequel le nombre n de bornes de sortie signal est supérieur ou égal à trois.

3. Amplificateur à entrées multiples et sorties multiples selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, dans lequel au moins un des sous-circuits actifs (30) est tel que le courant sortant de la borne commune sous-circuit et le courant entrant dans la borne de sortie sous-

30 circuit peuvent être considérés comme ne dépendant que de la tension entre la borne d'entrée sous-circuit et la borne commune sous-circuit.

4. Amplificateur à entrées multiples et sorties multiples selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel, dans ladite bande de fréquences connue, chacun des dits

amplificateurs de borne commune (9) a un gain en tension en petits signaux approximativement égal à un, le module de l'impédance de sortie de n'importe quel des dits amplificateurs de borne commune (9) étant plus petit que les modules de tous les éléments diagonaux de la matrice impédance des bornes "C" du réseau de rétroaction par rapport aux bornes "R" connectées les
 5 unes aux autres.

5. Amplificateur à entrées multiples et sorties multiples selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la matrice impédance des bornes "C" du réseau de rétroaction par rapport aux bornes "R" connectées les unes aux autres est, dans ladite bande de fréquences connue, une matrice inversible.

10 6. Amplificateur à entrées multiples et sorties multiples selon la revendication 5, dans lequel, dans ladite bande de fréquences connue, chacun des dits sous-circuits actifs (30) a un module du rapport entre le courant sortant de la borne commune sous-circuit et la tension entre la borne d'entrée sous-circuit et la borne commune sous-circuit plus grand que les modules de tous les éléments de l'inverse de la matrice impédance des bornes "C" du réseau de rétroaction par
 15 rapport aux bornes "R" connectées les unes aux autres.

7. Amplificateur à entrées multiples et sorties multiples selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel ledit réseau de rétroaction (40) est constitué d'éléments linéaires, passifs et réciproques.

8. Amplificateur à entrées multiples et sorties multiples selon l'une quelconque des
 20 revendications 1 à 7, dans lequel ledit réseau de rétroaction (40) comporte au moins un transistor à effet de champ à grille isolée.

9. Amplificateur à entrées multiples et sorties multiples selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel la matrice impédance des bornes "C" du réseau de rétroaction par rapport aux bornes "R" connectées les unes aux autres peut être réglée par des moyens
 25 électriques.

10. Amplificateur à entrées multiples et sorties multiples selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel chaque sous-circuit actif (30) comporte une boucle de rétroaction interne.

1 / 8

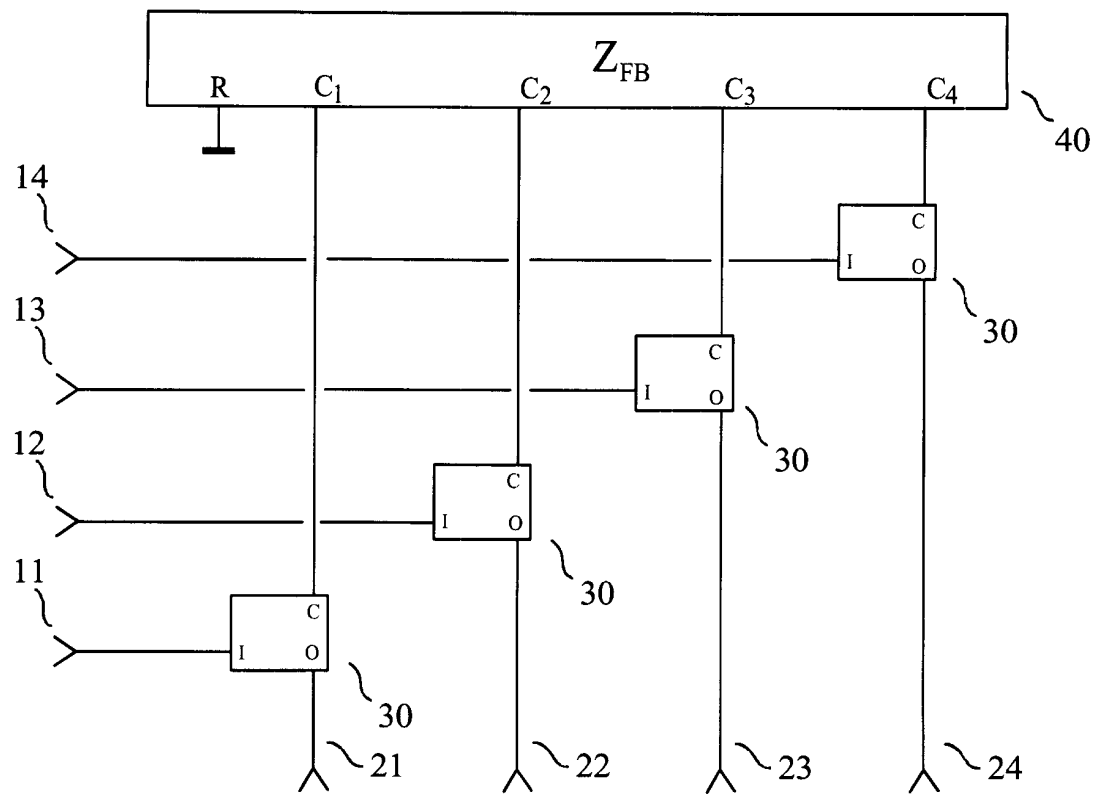


FIG. 1

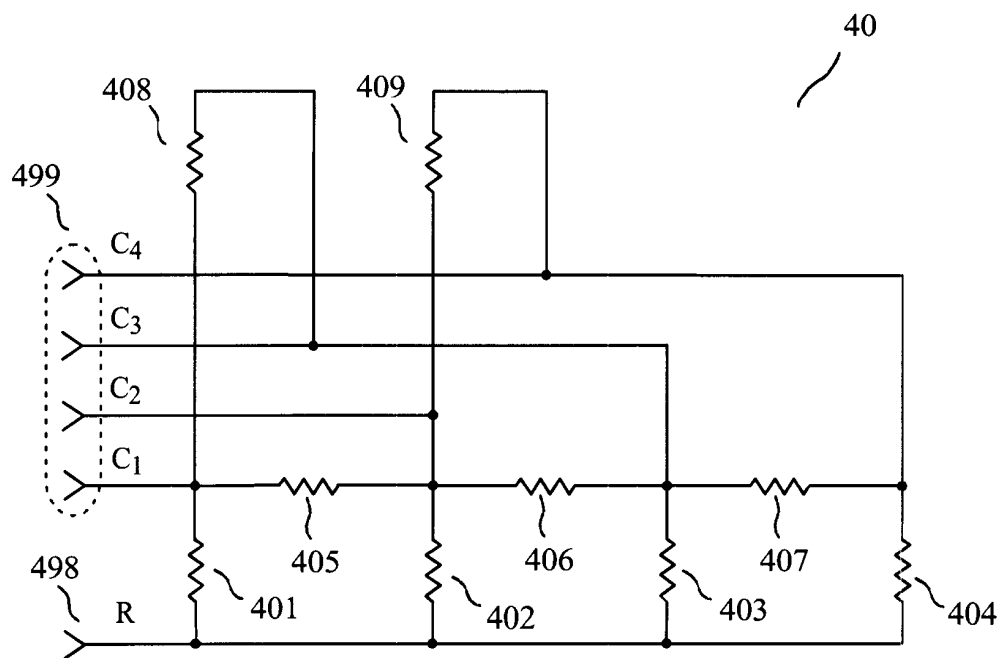


FIG. 2

2 / 8

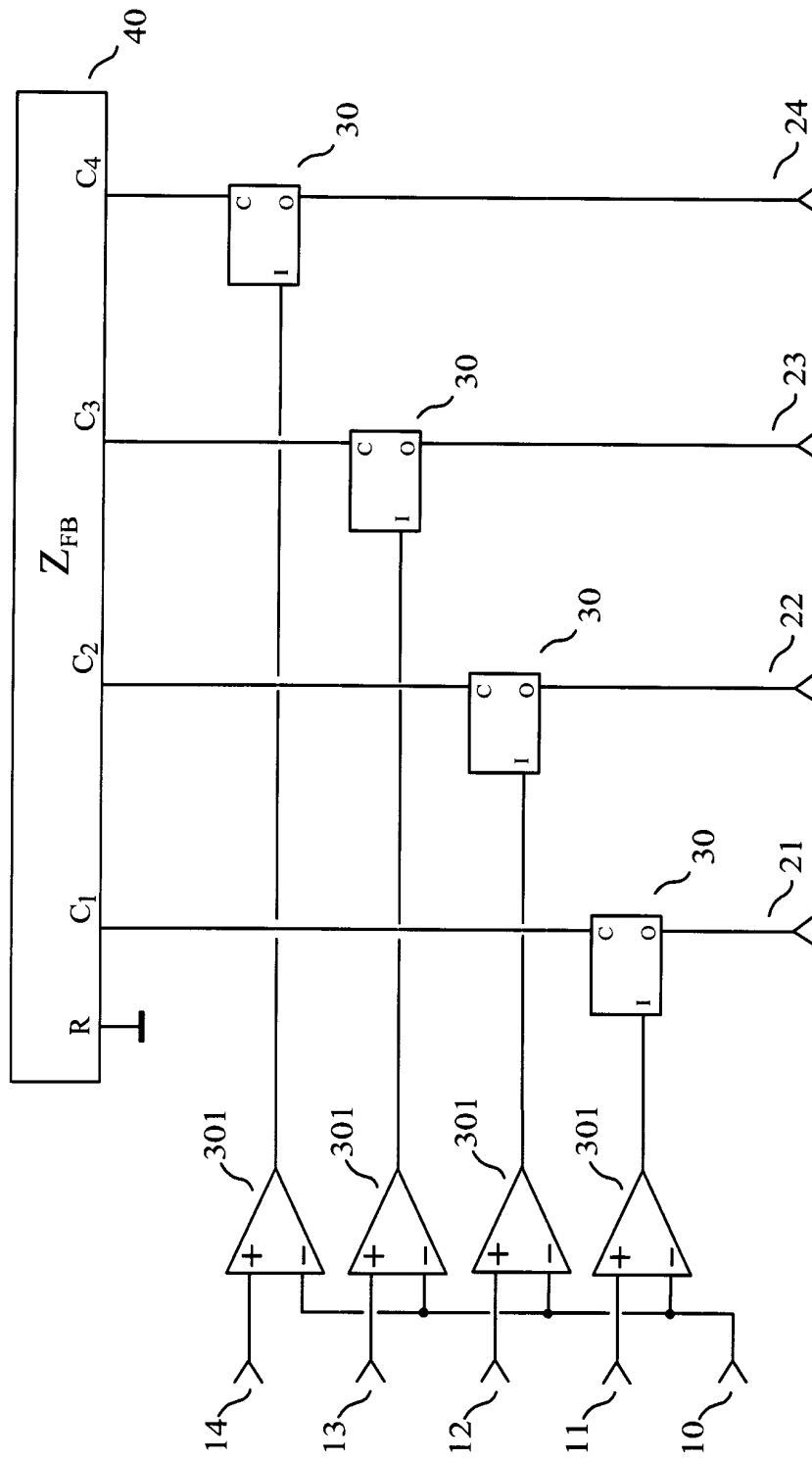


FIG. 3

3 / 8

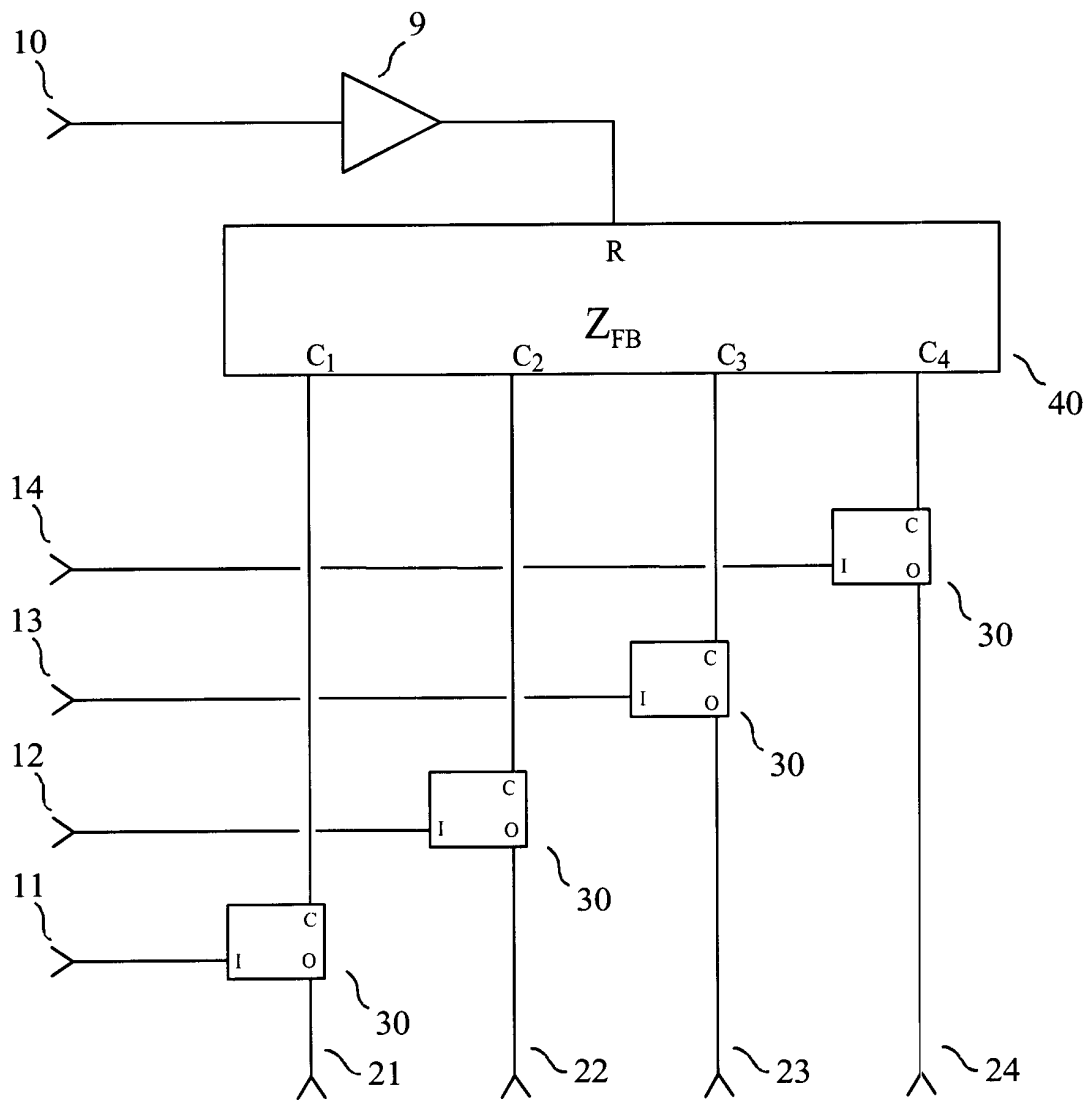


FIG. 4

4 / 8

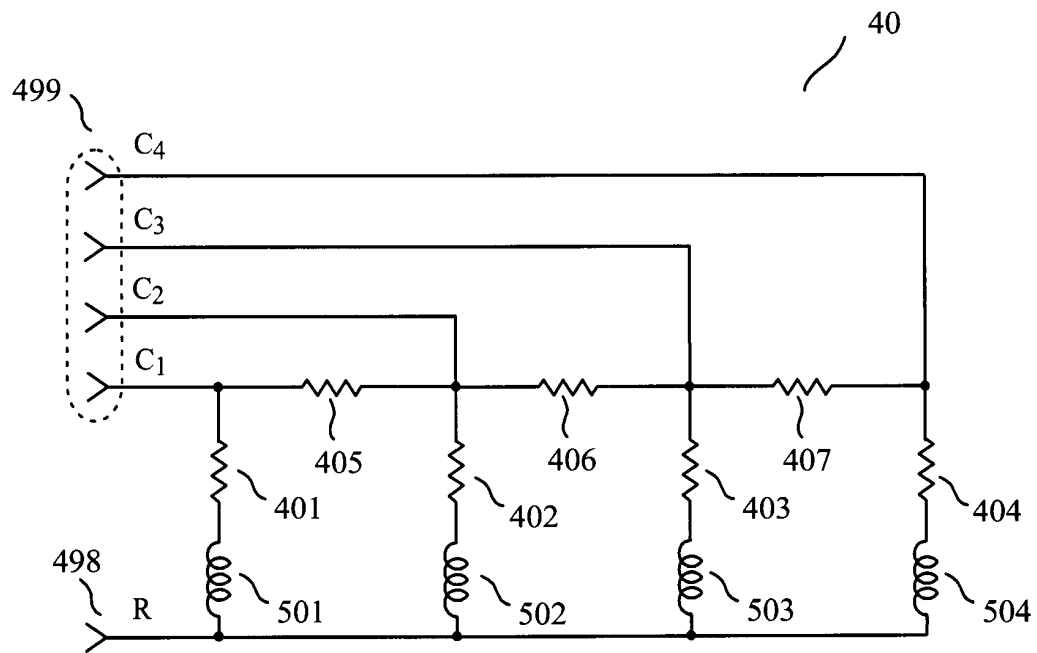


FIG. 5

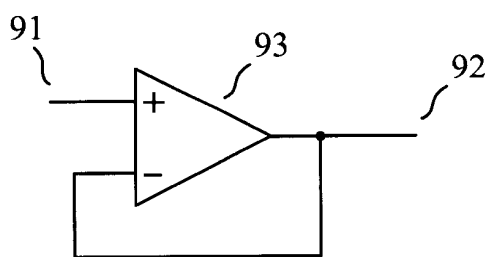


FIG. 6

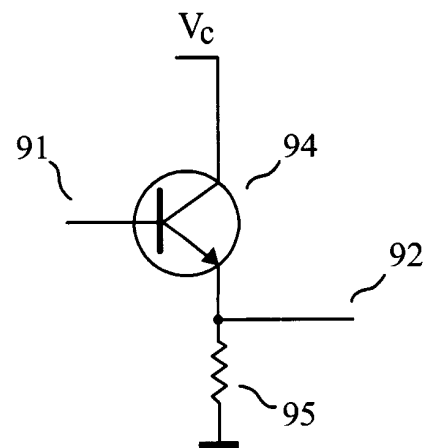
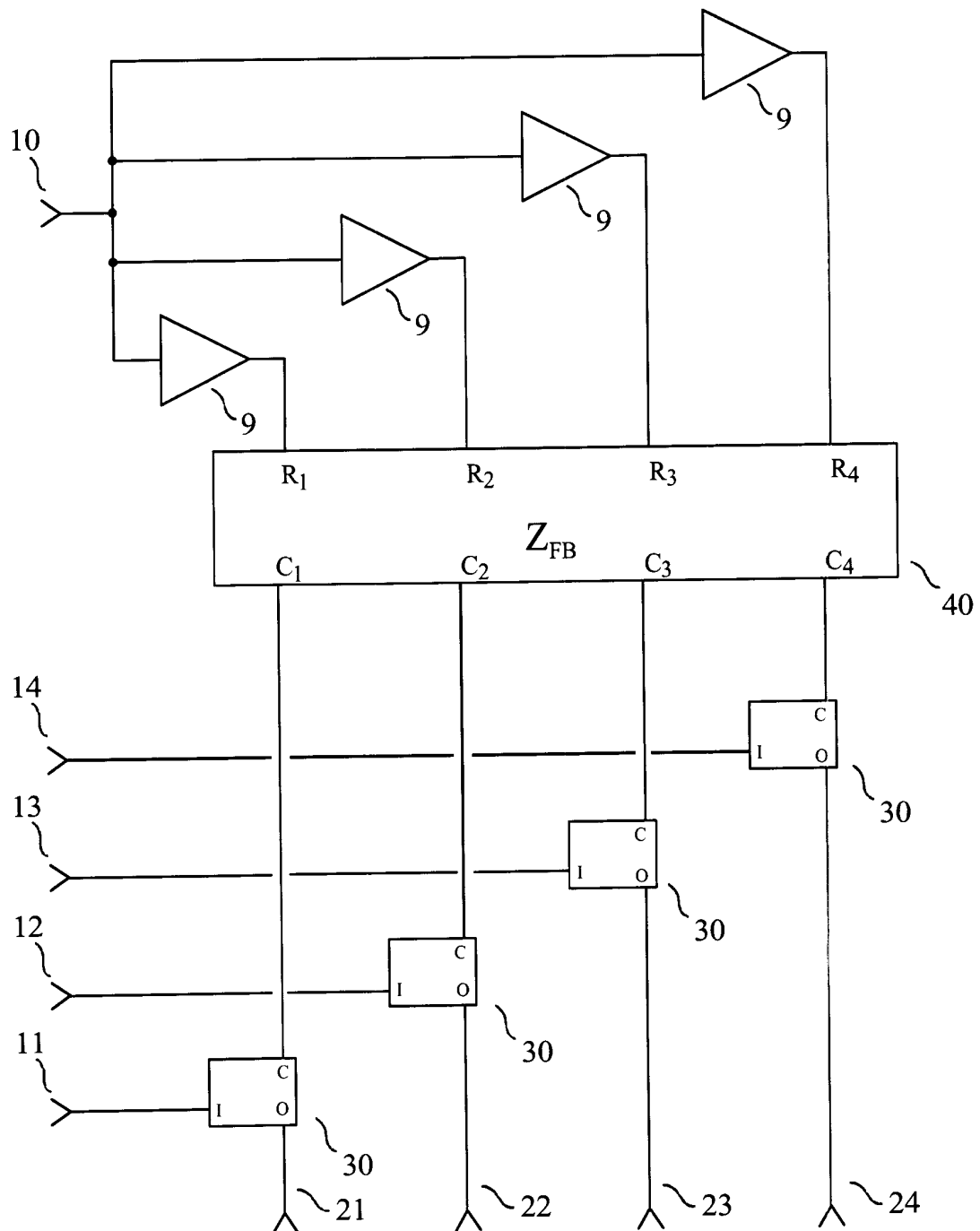
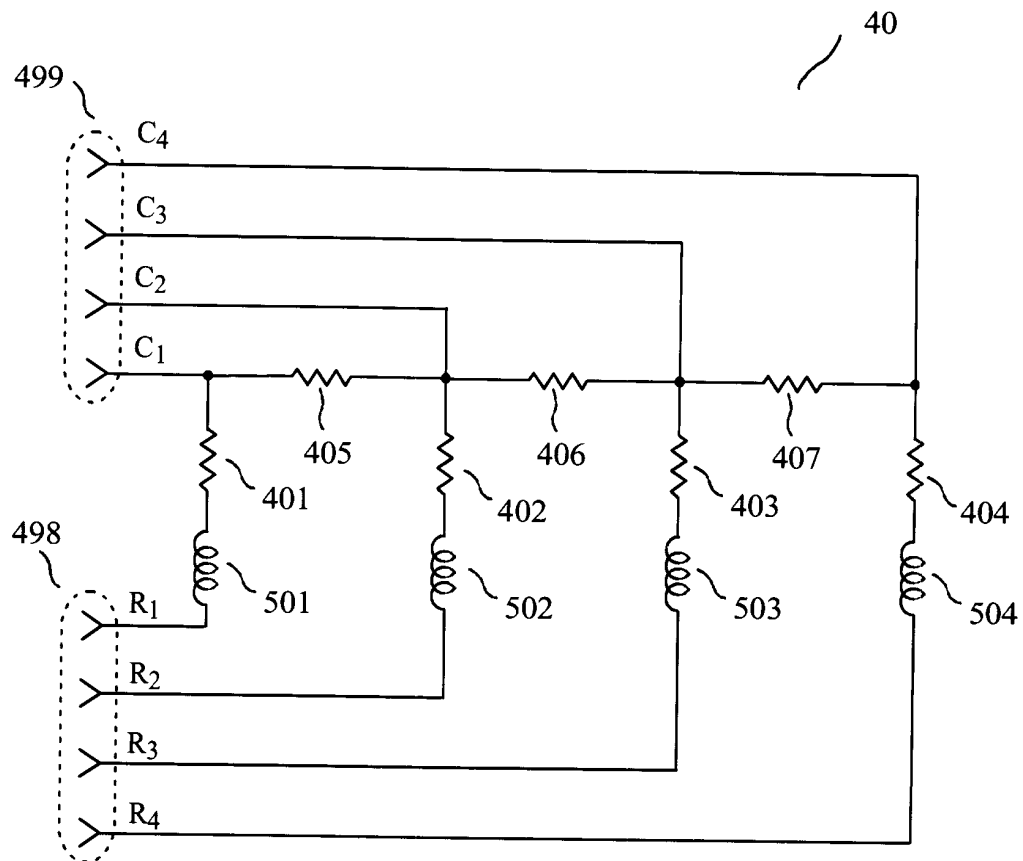


FIG. 7

5 / 8

**FIG. 8**

6 / 8

**FIG. 9**

7 / 8

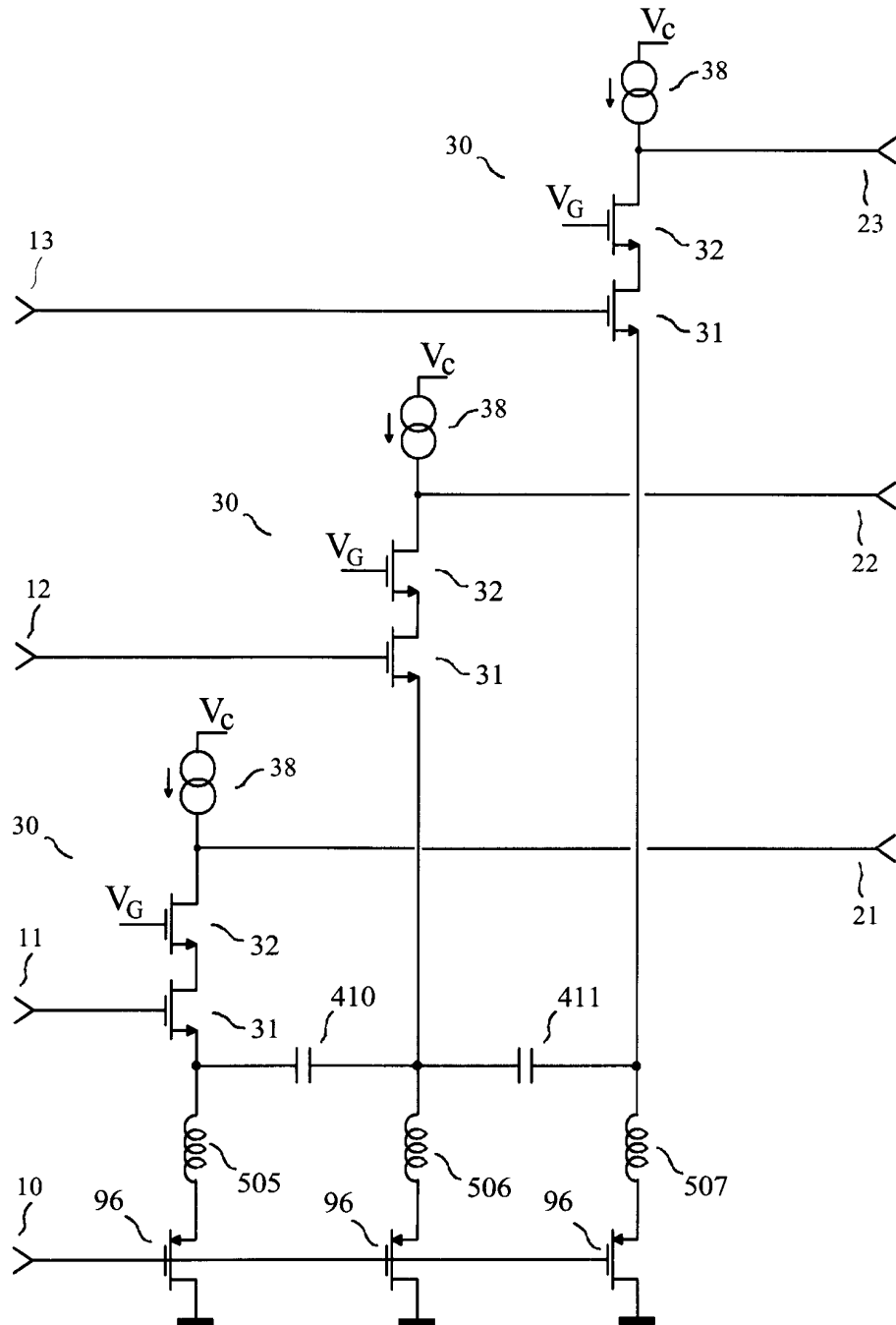


FIG. 10

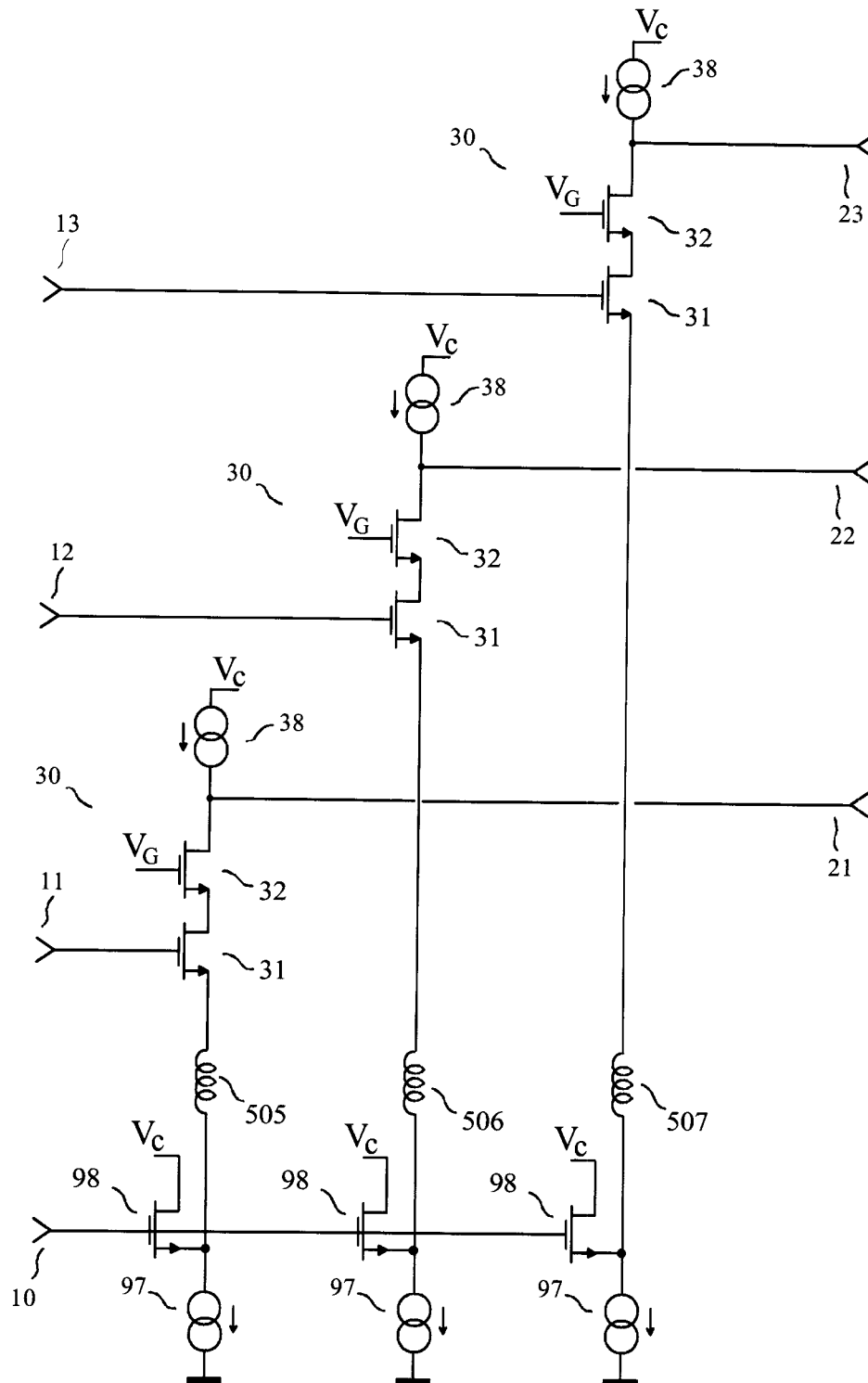


FIG. 11

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

- ☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- ☐ Le demandeur a maintenu les revendications.
- ☒ Le demandeur a modifié les revendications.
- ☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- ☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- ☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- ☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- ☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- ☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- ☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

FR 2 896 360 A (EXCEM SOC PAR ACTIONS SIMPLIFI [FR])
20 juillet 2007 (2007-07-20)

FR 2 902 946 A (EXCEM SOC PAR ACTIONS SIMPLIFI [FR] EXCEM SAS [FR])
28 décembre 2007 (2007-12-28)

FREDERIC BROYDE ET AL: "A Simple Method for Transmission with Reduced Crosstalk and Echo"
ELECTRONICS, CIRCUITS AND SYSTEMS, 2006. ICECS '06. 13TH IEEE INTERNATIONAL
CONFERENCE ON, IEEE, PI, 1 décembre 2006 (2006-12-01), pages
684-687, XP031111582 ISBN: 978-1-4244-0394-3

US 6 195 395 B1 (FRODSHAM TIM [US])
27 février 2001 (2001-02-27)

US 7 099 395 B1 (SIDIROPOULOS STEFANOS [US] ET AL)
29 août 2006 (2006-08-29)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT