

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

⑪ N° de publication :

2 961 976

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

⑫① N° d'enregistrement national :

10 02662

⑤① Int Cl⁸ : **H 03 F 3/45** (2012.01)

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ AMPLIFICATEUR DIFFERENTIEL CAPTANT LE COURANT A ENTREE EQUILIBREE.

⑫② Date de dépôt : 25.06.10.

⑫③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : **TEKCEM** — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 30.12.11 Bulletin 11/52.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 29.06.12 Bulletin 12/26.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

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

⑦③ Titulaire(s) : **TEKCEM**.

⑦④ Mandataire(s) : **TEKCEM**.

FR 2 961 976 - B1



Amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5 L'invention concerne un amplificateur différentiel captant le courant ayant une entrée équilibrée, de tels amplificateurs différentiels captant le courant étant par exemple utilisés comme circuit d'entrée de récepteurs de ligne différentiels (en anglais: differential line receivers) pour les liaisons électriques utilisées pour transmettre des signaux analogiques ou numériques.

10 ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Un amplificateur différentiel a deux bornes d'entrée signal. Une variable de sortie (tension ou courant) d'un amplificateur différentiel captant le courant est principalement déterminée par la différence des courants entrant dans les dites bornes d'entrée signal, ou de façon équivalente par le courant d'entrée de mode différentiel passant à travers les bornes d'entrée signal, noté i_{DM} . Un amplificateur différentiel a une entrée équilibrée si et seulement si le comportement de l'entrée est sensiblement invariant lorsque les bornes d'entrée signal sont permutées. Pour des petits signaux, la matrice admittance d'entrée, par rapport à la masse, d'un amplificateur différentiel, notée Y_I , est une matrice carrée d'ordre 2. Dans le cas d'un amplificateur différentiel à entrée équilibrée, Y_I est invariant lorsque les bornes d'entrée signal sont permutées, si bien que Y_I est donnée par

$$Y_I = \begin{pmatrix} y_{I11} & y_{I12} \\ y_{I12} & y_{I11} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Si une tension d'entrée de mode différentiel, notée v_{DM} , est appliquée aux bornes d'entrée signal, le courant d'entrée de mode différentiel i_{DM} passant à travers les bornes d'entrée signal est tel que

$$\begin{pmatrix} i_{DM} \\ -i_{DM} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{I11} & y_{I12} \\ y_{I12} & y_{I11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{DM}/2 \\ -v_{DM}/2 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Ainsi, l'impédance d'entrée de mode différentiel, notée z_{DM} , est donnée par

$$z_{DM} = \frac{v_{DM}}{i_{DM}} = \frac{2}{y_{I11} - y_{I12}} \quad (3)$$

Si une tension d'entrée de mode commun, notée v_{CM} , est appliquée aux bornes d'entrée signal, le courant d'entrée de mode commun i_{CM} entrant dans les bornes d'entrée signal est tel

30 que

$$\begin{pmatrix} i_{CM}/2 \\ i_{CM}/2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{I11} & y_{I12} \\ y_{I12} & y_{I11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{CM} \\ v_{CM} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Ainsi, l'admittance d'entrée de mode commun, notée y_{CM} , est donnée par

$$y_{CM} = \frac{i_{CM}}{v_{CM}} = 2(y_{I11} + y_{I12}) \quad (5)$$

Dans la figure 1, un premier exemple d'amplificateur différentiel captant le courant à
 5 entrée équilibrée (1) a deux bornes d'entrée signal (21) (22) et une borne de sortie signal (31)
 pour délivrer un signal de sortie unifilaire. Dans la figure 2, un second exemple d'amplificateur
 différentiel captant le courant à entrée équilibrée (1) a deux bornes d'entrée signal (21) (22) et
 deux bornes de sortie signal (31) (32) pour délivrer un signal de sortie différentiel. Dans les
 figures 1 et 2, la borne de masse et la ou les bornes d'alimentation de l'amplificateur différentiel
 10 captant le courant à entrée équilibrée ne sont pas représentées.

Dans l'article de L. Zhang, J. Wilson, R. Bashirullah et P. Franzon intitulé "Differential
 Current-Mode Signaling for Robust and Power Efficient On-Chip Global Interconnects", publié
 dans *Proceedings of the IEEE 14th Topical Meeting on Electrical Performance of Electronic*
Packaging, EPEP 2005, October 2005, aux pages 315 à 318, un récepteur pour un procédé de
 15 signalisation différentiel en mode courant utilise la captation du courant (en anglais: "current
 mode sensing"). Dans ce récepteur, une petite tension apparaît sur une résistance de captation
 appelée "bridge resistor" connectée aux deux bornes d'entrée signal. Cette tension est captée par
 un amplificateur différentiel captant la tension conventionnel. Typiquement, les récepteurs de
 ligne pour les liaisons utilisant le procédé "low-voltage differential signaling" (LVDS) ou le
 20 procédé "current-mode logic" (CML) comportent ce type d'amplificateur différentiel captant
 le courant à entrée équilibrée, qui présente une basse impédance d'entrée de mode différentiel
 et une basse admittance d'entrée de mode commun.

Dans le contexte des liaisons à grande vitesse, ce type d'amplificateur différentiel captant
 le courant à entrée équilibrée a deux inconvénients majeurs :
 25 - l'amplificateur différentiel captant la tension doit capter une petite tension aux bornes d'une
 résistance, si bien qu'un bruit substantiel est présent en sortie de cet amplificateur ;
 - la caractéristique "variable de sortie en fonction du courant d'entrée de mode différentiel" n'est
 pas bien contrôlée parce qu'aucune rétroaction globale ne peut être utilisée dans l'amplificateur
 différentiel captant la tension, si bien que cette caractéristique dépend des variations du procédé
 30 de fabrication et de la température, et a une médiocre linéarité (pour des grands signaux).

Dans le circuit d'entrée différentiel en mode courant présenté dans l'article de M. Ishibe,
 S. Otaka, J. Takeda, S. Tanaka, Y. Toyoshima, S. Takatsuka et S. Shimizu intitulé "High-Speed
 I/O Buffer Circuits", publié dans *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, Vol. 27, No. 4, April
 1992, aux pages 671 à 673, chaque borne d'entrée signal est connectée aux sources de transistors
 35 complémentaires utilisés chacun dans une configuration en grille commune. Ce type
 d'amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée a une bonne linéarité mais il

a l'inconvénient de présenter une admittance d'entrée de mode commun élevée, si bien que le courant de mode commun, qui correspond habituellement à des perturbations causées par des circuits proches, peut s'écouler à travers l'entrée.

Des circuits d'entrée différentiels en mode courant peuvent aussi comporter des miroirs de courant. Dans la présente demande de brevet, "miroir de courant" désigne toujours un miroir de courant comportant au moins deux transistors de type quelconque (transistor bipolaire, transistor à effet de champ, etc), procurant un courant de sortie essentiellement proportionnel au courant d'entrée sur une large plage de courant d'entrée et une basse impédance d'entrée en petits signaux. De tels miroirs de courant sont expliqués dans les chapitres 2, 6, 7 et 8 de l'ouvrage de C. Toumazou, F.J. Lidgley et D.G. Haigh intitulé *Analog IC design: the current-mode approach*, publié par Peter Peregrinus Ltd, en 1990. Dans la présente demande de brevet, "miroir de courant" désigne toujours un miroir de courant non inverseur, dans lequel la variation du courant de sortie a la même orientation que la variation de courant d'entrée. La polarité d'un tel miroir de courant peut être positive ou négative. Par exemple, la figure 3 montre un miroir de courant positif (4), ayant une borne d'entrée (5), une borne de sortie (6) et une borne commune (7), dans lequel un courant positif, noté I , entre dans la borne d'entrée (5) et un courant positif, égal à $k I$, entre dans la borne de sortie (6), où k est un gain en courant positif. Par exemple, la figure 4 montre un miroir de courant négatif (4), ayant une borne d'entrée (5), une borne de sortie (6) et une borne commune (7), dans lequel un courant positif, noté I , sort de la borne d'entrée (5) et un courant positif, égal à $k I$, sort de la borne de sortie (6), où k est un gain en courant positif. Un miroir de courant peut avoir plusieurs bornes de sortie.

La figure 5 montre un exemple de schéma électrique de miroir de courant négatif (4), ayant une borne d'entrée (5), une borne de sortie (6) et une borne commune (7), comportant deux transistors bipolaires PNP (41) (42). La figure 6 montre un exemple de schéma électrique de miroir de courant positif (4), ayant une borne d'entrée (5), une borne de sortie (6) et une borne commune (7), comportant trois transistors bipolaires NPN (43) (44) (45). La figure 7 montre un exemple de schéma électrique de miroir de courant négatif (4), ayant une borne d'entrée (5), une borne de sortie (6) et une borne commune (7), comportant deux transistors à effet de champ à grille isolée (MOSFETs) à canal P opérant en régime de saturation (41) (42). La figure 8 montre un exemple de schéma électrique de miroir de courant positif (4), ayant une borne d'entrée (5), une borne de sortie (6) et une borne commune (7), comportant deux MOSFETs à canal N opérant en régime de saturation (41) (42).

Les circuits d'entrée différentiels en mode courant représentés sur les figures 1 et 2 du brevet des États-Unis d'Amérique numéro 7,471,110, intitulé "Current mode interface for off-chip high speed communication", utilisent, pour chaque borne d'entrée signal, des étages d'entrée à miroir de courant indépendants. Comme le précédent type d'étage d'entrée, ce type d'amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée a une bonne linéarité mais il a l'inconvénient de présenter une admittance d'entrée de mode commun élevée.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'objet de l'invention est un amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée qui surmonte les limitations évoquées plus haut des techniques connues.

Selon l'invention, un amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée
5 ayant une première borne d'entrée signal et une deuxième borne d'entrée signal comporte :

un premier miroir de courant ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une
borne de sortie, la borne d'entrée du dit premier miroir de courant étant couplée à ladite
première borne d'entrée signal, ledit premier miroir de courant étant d'une polarité
donnée ;

10 un deuxième miroir de courant ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une
borne de sortie, la borne d'entrée du dit deuxième miroir de courant étant couplée à
ladite deuxième borne d'entrée signal, ledit deuxième miroir de courant étant de ladite
polarité donnée ;

un troisième miroir de courant ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une
15 borne de sortie, une des bornes de sortie du dit troisième miroir de courant étant couplée
à la borne commune du dit premier miroir de courant et à la borne commune du dit
deuxième miroir de courant, ledit troisième miroir de courant étant de ladite polarité
donnée.

Nous voyons que, selon l'invention, le premier miroir de courant, le deuxième miroir de
20 courant et le troisième miroir de courant ont la même polarité et sont donc soit tous positifs soit
tous négatifs.

L'amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'invention peut
être tel que le courant entrant dans la borne d'entrée du dit troisième miroir de courant est
sensiblement indépendant d'une tension appliquée à ladite première borne d'entrée signal et
25 d'une tension appliquée à ladite deuxième borne d'entrée signal. Par exemple, le courant entrant
dans la borne d'entrée du dit troisième miroir de courant peut être un courant constant.

Un amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'invention peut
en outre comporter :

un quatrième miroir de courant ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une
30 borne de sortie, la borne d'entrée du dit quatrième miroir de courant étant couplée à
ladite première borne d'entrée signal, ledit quatrième miroir de courant étant de la
polarité opposée à ladite polarité donnée ;

un cinquième miroir de courant ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une
borne de sortie, la borne d'entrée du dit cinquième miroir de courant étant couplée à
35 ladite deuxième borne d'entrée signal, ledit cinquième miroir de courant étant de la
polarité opposée à ladite polarité donnée ;

un sixième miroir de courant ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une

borne de sortie, une des bornes de sortie du dit sixième miroir de courant étant couplée à la borne commune du dit quatrième miroir de courant et à la borne commune du dit cinquième miroir de courant, ledit sixième miroir de courant étant de la polarité opposée à ladite polarité donnée.

5 Nous voyons que, selon l'invention, si le premier miroir de courant, le deuxième miroir de courant et le troisième miroir de courant sont des miroirs de courant positifs, alors le quatrième miroir de courant, le cinquième miroir de courant et le sixième miroir de courant sont des miroirs de courant négatifs. Nous voyons qu'inversement, si le premier miroir de courant, le deuxième miroir de courant et le troisième miroir de courant sont des miroirs de courant
10 négatifs, alors le quatrième miroir de courant, le cinquième miroir de courant et le sixième miroir de courant sont des miroirs de courant positifs.

De plus, cet amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'invention peut être tel que le courant entrant dans la borne d'entrée du dit sixième miroir de courant est sensiblement indépendant d'une tension appliquée à ladite première borne d'entrée
15 signal et d'une tension appliquée à ladite deuxième borne d'entrée signal. Par exemple, le courant entrant dans la borne d'entrée du dit sixième miroir de courant peut être un courant constant.

BRÈVE PRÉSENTATION DES DIFFÉRENTES FIGURES

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention ressortiront plus clairement de la
20 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 :

- la figure 1 représente un premier exemple d'amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- 25 - la figure 2 représente un deuxième exemple d'amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- la figure 3 montre un miroir de courant positif, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- 30 - la figure 4 montre un miroir de courant négatif, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- la figure 5 montre un schéma électrique d'un miroir de courant négatif, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- la figure 6 montre un schéma électrique d'un miroir de courant positif, et a déjà
35 été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- la figure 7 montre un schéma électrique d'un miroir de courant négatif, et a déjà

- été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- la figure 8 montre un schéma électrique d'un miroir de courant positif, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
 - la figure 9 montre le schéma-bloc d'un premier mode de réalisation de l'invention ;
 - la figure 10 montre le schéma électrique d'un deuxième mode de réalisation de l'invention ;
 - la figure 11 montre le schéma-bloc d'un troisième mode de réalisation de l'invention ;
 - la figure 12 montre le schéma électrique d'un quatrième mode de réalisation de l'invention.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE 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 non limitatif, nous avons représenté sur la figure 9 le schéma-bloc d'un amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'invention, ayant une première borne d'entrée signal (21), une deuxième borne d'entrée signal (22), une première borne de sortie signal (31) et une deuxième borne de sortie signal (32), l'amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée comportant :

un premier miroir de courant (111) d'une polarité donnée, ledit premier miroir de courant ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une borne de sortie, la borne d'entrée du dit premier miroir de courant (111) étant couplée à ladite première borne d'entrée signal (21) ;

un deuxième miroir de courant (112) de ladite polarité donnée, ledit deuxième miroir de courant ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une borne de sortie, la borne d'entrée du dit deuxième miroir de courant (112) étant couplée à ladite deuxième borne d'entrée signal (22) ;

un troisième miroir de courant (121) de ladite polarité donnée, ledit troisième miroir de courant ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une borne de sortie, une des bornes de sortie du dit troisième miroir de courant (121) étant couplée à la borne commune du dit premier miroir de courant (111) et à la borne commune du dit deuxième miroir de courant (112).

La borne commune du dit troisième miroir de courant (121) est mise à la masse. Le courant entrant dans la borne d'entrée du dit troisième miroir de courant (121) est un courant constant, noté I_{B1} , délivré par une source de courant (142), si bien que le courant entrant dans

la borne d'entrée du dit troisième miroir de courant (121) est indépendant d'une tension appliquée à ladite première borne d'entrée signal (21) et d'une tension appliquée à ladite deuxième borne d'entrée signal (22). Le premier miroir de courant (111) et le deuxième miroir de courant (112) sont sensiblement identiques et ont un gain en courant positif, noté k . Le

5 troisième miroir de courant (121) a un gain en courant positif, noté K . Les bornes d'entrée du premier miroir de courant (111) et du deuxième miroir de courant (112) sont polarisées par deux sources de courant (143) (144) procurant chacune un courant constant I_{B2} tel que

$$K I_{B1} \approx 2 (k + 1) I_{B2} \quad (6)$$

Le spécialiste comprend que les sources de courant montrées sur la figure 9 et sur les

10 figures suivantes sont des éléments de circuit idéaux qui peuvent être réalisées avec des composants réels, par exemple en utilisant des miroirs de courant.

Un circuit de sortie (8) est connecté aux bornes de sortie du premier miroir de courant (111) et du deuxième miroir de courant (112) et aux bornes de sortie signal (31) (32). Le circuit de sortie (8) est tel que, dans la bande de fréquences de fonctionnement envisagée :

15 - la tension délivrée par la première borne de sortie signal (31) est sensiblement égale à la somme d'une tension constante et d'une première tension variable proportionnelle à la différence entre le courant entrant dans la première borne d'entrée signal (21) et le courant entrant dans la deuxième borne d'entrée signal (22) ;

- la tension délivrée par la deuxième borne de sortie signal (32) est sensiblement égale à la

20 somme de ladite tension constante et d'une deuxième tension variable égale à l'opposé de ladite première tension variable.

La ou les bornes d'alimentation nécessaires pour alimenter l'amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée ne sont pas montrées sur la figure 9.

Deuxième mode de réalisation.

25 Au titre d'un deuxième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre non limitatif, nous avons représenté sur la figure 10 le schéma électrique d'un amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'invention, ayant une première borne d'entrée signal (21), une deuxième borne d'entrée signal (22), une première borne de sortie signal (31) et une deuxième borne de sortie signal (32), l'amplificateur différentiel captant le

30 courant à entrée équilibrée comportant :

un premier miroir de courant positif constitué de deux MOSFETs canal N (1111) (1112), ledit premier miroir de courant positif ayant une borne d'entrée, une borne commune et une borne de sortie, la borne d'entrée du dit premier miroir de courant positif étant couplée à ladite première borne d'entrée signal (21) ;

un deuxième miroir de courant positif constitué de deux MOSFETs canal N (1121) (1122), ledit deuxième miroir de courant positif ayant une borne d'entrée, une borne commune et une borne de sortie, la borne d'entrée du dit deuxième miroir de courant positif étant couplée à ladite deuxième borne d'entrée signal (22) ;

- 5 un troisième miroir de courant positif constitué de quatre MOSFETs canal N (1211) (1212) (1213) (1214), ledit troisième miroir de courant positif ayant une borne d'entrée, une borne commune et trois bornes de sortie, une des bornes de sortie du dit troisième miroir de courant positif étant couplée à la borne commune du dit premier miroir de courant positif et à la borne commune du dit deuxième miroir de courant positif.

- 10 La borne commune du dit troisième miroir de courant positif est mise à la masse, le symbole de masse utilisé dans les figures 10 et 12 ayant exactement la même signification que l'autre symbole de masse utilisé dans les figures 9 et 11. Une source de tension (1411) alimente l'amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée montré sur la figure 10. Une source de courant (1412) délivre un courant constant à l'entrée d'un miroir de courant négatif
- 15 ayant trois bornes de sortie, constitué de quatre MOSFETs canal P (1413) (1421) (1431) (1441). Ce miroir de courant négatif est utilisé pour polariser la borne d'entrée du dit premier miroir de courant positif avec un courant constant I_{B2} , la borne d'entrée du dit deuxième miroir de courant positif avec le même courant constant I_{B2} , et la borne d'entrée du dit troisième miroir de courant positif avec un courant constant I_{B1} . Le courant entrant dans la borne d'entrée du dit troisième
- 20 miroir de courant positif est donc sensiblement indépendant d'une tension appliquée à ladite première borne d'entrée signal (21) et d'une tension appliquée à ladite deuxième borne d'entrée signal (22). Le premier miroir de courant positif et le deuxième miroir de courant positif sont sensiblement identiques et ont un gain en courant positif, noté k . Le troisième miroir de courant positif a un gain en courant positif, noté K . L'équation (6) est satisfaite.

- 25 Un circuit de sortie comporte :

- un premier miroir de courant de sortie constitué de deux MOSFETs canal P (1311) (1312) et d'une inductance de compensation (1313) ;
- un deuxième miroir de courant de sortie constitué de deux MOSFETs canal P (1321) (1322) et d'une inductance de compensation (1323).

- 30 Le spécialiste comprend que les éléments de circuits montrés sur la figure 10 peuvent être dimensionnés pour que, dans la bande de fréquences de fonctionnement envisagée :

- le courant délivré par la première borne de sortie signal (31) soit sensiblement proportionnel à la différence entre le courant entrant dans la première borne d'entrée signal (21) et le courant entrant dans la deuxième borne d'entrée signal (22) ;
- 35 - le courant délivré par la deuxième borne de sortie signal (32) soit sensiblement l'opposé du courant délivré par la première borne de sortie signal (31).

L'amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée montré sur la figure 10 procure une bande passante de 5 GHz, il présente une basse impédance d'entrée de mode

différentiel, d'environ 430 Ω dans la bande de fréquences du courant continu à 5 GHz, et il présente une basse admittance d'entrée de mode commun. Cet amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée n'utilise pas d'amplificateur différentiel captant la tension pour capter une petite tension aux bornes d'une résistance. Le spécialiste comprend que la caractéristique "courant de sortie en fonction du courant d'entrée de mode différentiel" de cet amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée est bien contrôlée (elle ne dépend ni des variations du procédé de fabrication ni de la température), et a une bonne linéarité. Le spécialiste comprend aussi que la caractéristique "tension d'entrée de mode différentiel en fonction du courant d'entrée de mode différentiel" de cet amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée a une bonne linéarité, et peut facilement correspondre à une impédance d'entrée de mode différentiel comprise entre 100 Ω et 2000 Ω .

Troisième mode de réalisation.

Au titre d'un troisième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre non limitatif, nous avons représenté sur la figure 11 le schéma-bloc d'un amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'invention, ayant une première borne d'entrée signal (21), une deuxième borne d'entrée signal (22) et une borne de sortie signal (31), l'amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée comportant :

- un premier miroir de courant positif (111) ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une borne de sortie, la borne d'entrée du dit premier miroir de courant positif (111) étant couplée à ladite première borne d'entrée signal (21) ;
- un deuxième miroir de courant positif (112) ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une borne de sortie, la borne d'entrée du dit deuxième miroir de courant positif (112) étant couplée à ladite deuxième borne d'entrée signal (22) ;
- un troisième miroir de courant positif (121) ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une borne de sortie, une des bornes de sortie du dit troisième miroir de courant positif (121) étant couplée à la borne commune du dit premier miroir de courant positif (111) et à la borne commune du dit deuxième miroir de courant positif (112) ;
- un premier miroir de courant négatif (113) ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une borne de sortie, la borne d'entrée du dit premier miroir de courant négatif (113) étant couplée à ladite première borne d'entrée signal (21) ;
- un deuxième miroir de courant négatif (114) ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une borne de sortie, la borne d'entrée du dit deuxième miroir de courant négatif (114) étant couplée à ladite deuxième borne d'entrée signal (22) ;
- un troisième miroir de courant négatif (122) ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une borne de sortie, une des bornes de sortie du dit troisième miroir de courant négatif (122) étant couplée à la borne commune du dit premier miroir de courant négatif

(113) et à la borne commune du dit deuxième miroir de courant négatif (114).

La borne commune du dit troisième miroir de courant positif (121) est mise à la masse. La borne commune du dit troisième miroir de courant négatif (122) est connectée à un noeud d'alimentation. Le courant entrant dans la borne d'entrée du dit troisième miroir de courant positif (121) est délivré par une source de courant (142) procurant un courant constant I_{B1} , et le courant sortant de la borne d'entrée du dit troisième miroir de courant négatif (122) est délivré par une source de courant (141) procurant le même courant constant I_{B1} . Ainsi, le courant entrant dans la borne d'entrée du dit troisième miroir de courant positif (121) et le courant sortant de la borne d'entrée du dit troisième miroir de courant négatif (122) sont indépendants d'une tension appliquée à ladite première borne d'entrée signal (21) et d'une tension appliquée à ladite deuxième borne d'entrée signal (22). Le premier miroir de courant positif (111) et le deuxième miroir de courant positif (112) sont sensiblement identiques et ont un gain en courant positif, noté k . Le premier miroir de courant négatif (113) et le deuxième miroir de courant négatif (114) sont sensiblement identiques et ont un gain en courant positif sensiblement égal à k .

Un circuit de sortie (8) est connecté aux bornes de sortie du premier miroir de courant positif (111), du deuxième miroir de courant positif (112), du premier miroir de courant négatif (113), du deuxième miroir de courant négatif (114) et à la borne de sortie signal (31). Le circuit de sortie (8) est tel que, dans la bande de fréquences de fonctionnement envisagée, la tension délivrée par la borne de sortie signal (31) est sensiblement égale à la somme d'une tension constante et d'une tension variable proportionnelle à la différence entre le courant entrant dans la première borne d'entrée signal (21) et le courant entrant dans la deuxième borne d'entrée signal (22).

La ou les bornes d'alimentation nécessaires pour alimenter le circuit de sortie (8) ne sont pas montrées sur la figure 11.

25 Quatrième mode de réalisation.

Au titre d'un quatrième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre non limitatif, nous avons représenté sur la figure 12 le schéma électrique d'un amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'invention, ayant une première borne d'entrée signal (21), une deuxième borne d'entrée signal (22), une première borne de sortie signal (31) et une deuxième borne de sortie signal (32), l'amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée comportant :

un premier miroir de courant positif constitué de deux transistors bipolaires NPN (1111) (1112), ledit premier miroir de courant positif ayant une borne d'entrée, une borne commune et une borne de sortie, la borne d'entrée du dit premier miroir de courant positif étant couplée à ladite première borne d'entrée signal (21) ;

un deuxième miroir de courant positif constitué de deux transistors bipolaires NPN (1121)

- (1122), ledit deuxième miroir de courant positif ayant une borne d'entrée, une borne commune et une borne de sortie, la borne d'entrée du dit deuxième miroir de courant positif étant couplée à ladite deuxième borne d'entrée signal (22) ;
- un troisième miroir de courant positif constitué de deux transistors bipolaires NPN (1211) (1212), ledit troisième miroir de courant positif ayant une borne d'entrée, une borne commune et une borne de sortie, la borne de sortie du dit troisième miroir de courant positif étant couplée à la borne commune du dit premier miroir de courant positif et à la borne commune du dit deuxième miroir de courant positif ;
- un premier miroir de courant négatif constitué de deux transistors bipolaires PNP (1131) (1132), ledit premier miroir de courant négatif ayant une borne d'entrée, une borne commune et une borne de sortie, la borne d'entrée du dit premier miroir de courant négatif étant couplée à ladite première borne d'entrée signal (21) ;
- un deuxième miroir de courant négatif constitué de deux transistors bipolaires PNP (1141) (1142), ledit deuxième miroir de courant négatif ayant une borne d'entrée, une borne commune et une borne de sortie, la borne d'entrée du dit deuxième miroir de courant négatif étant couplée à ladite deuxième borne d'entrée signal (22) ;
- un troisième miroir de courant négatif constitué de trois transistors bipolaires PNP (1221) (1421) (1222), ledit troisième miroir de courant négatif ayant une borne d'entrée, une borne commune et deux bornes de sortie, une des bornes de sortie du dit troisième miroir de courant négatif étant couplée à la borne commune du dit premier miroir de courant négatif et à la borne commune du dit deuxième miroir de courant négatif.

Une source de tension (1411) alimente l'amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée montré sur la figure 12. La borne commune du dit troisième miroir de courant positif est mise à la masse. La borne commune du dit troisième miroir de courant négatif est connectée à un noeud d'alimentation. Une source de courant (1412) délivre un courant constant à l'entrée du dit troisième miroir de courant négatif. Le troisième miroir de courant négatif délivre un courant constant à la borne d'entrée du dit troisième miroir de courant positif. Ainsi, le courant entrant dans la borne d'entrée du dit troisième miroir de courant positif et le courant sortant de la borne d'entrée du dit troisième miroir de courant négatif sont sensiblement indépendants d'une tension appliquée à ladite première borne d'entrée signal (21) et d'une tension appliquée à ladite deuxième borne d'entrée signal (22). Le premier miroir de courant positif, le deuxième miroir de courant positif, le premier miroir de courant négatif et le deuxième miroir de courant négatif ont sensiblement le même gain en courant.

Un circuit de sortie comporte :

- un premier miroir de courant de sortie constitué de deux transistors bipolaires PNP (1311) (1312) ;
- un deuxième miroir de courant de sortie constitué de deux transistors bipolaires PNP (1321) (1322) ;

- un troisième miroir de courant de sortie constitué de deux transistors bipolaires NPN (1331) (1332) ;
- un quatrième miroir de courant de sortie constitué de deux transistors bipolaires NPN (1341) (1342).

- 5 Le spécialiste comprend que les éléments de circuits montrés sur la figure 12 peuvent être dimensionnés pour que, dans la bande de fréquences de fonctionnement envisagée :
- le courant délivré par la première borne de sortie signal (31) soit sensiblement proportionnel à la différence entre le courant entrant dans la première borne d'entrée signal (21) et le courant entrant dans la deuxième borne d'entrée signal (22) ;
 - 10 - le courant délivré par la deuxième borne de sortie signal (32) soit sensiblement l'opposé du courant délivré par la première borne de sortie signal (31).

- L'amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée montré sur la figure 12 procure une bande passante de 10 GHz, il présente une basse impédance d'entrée de mode différentiel, d'environ 50 Ω dans la bande de fréquences du courant continu à 10 GHz, et il
- 15 présente une basse admittance d'entrée de mode commun. Cet amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée n'utilise pas d'amplificateur différentiel captant la tension pour capter une petite tension aux bornes d'une résistance. Le spécialiste comprend que la caractéristique "courant de sortie en fonction du courant d'entrée de mode différentiel" de cet amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée est bien contrôlée et a une bonne
- 20 linéarité. Le spécialiste comprend aussi que la caractéristique "tension d'entrée de mode différentiel en fonction du courant d'entrée de mode différentiel" de cet amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée a une bonne linéarité, et peut facilement correspondre à une impédance d'entrée de mode différentiel comprise entre 10 Ω et 250 Ω , qui peut être réglée avec le courant délivré par la source de courant (1412). Ainsi, l'impédance
- 25 d'entrée de mode différentiel d'un amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'invention peut être réglée par des moyens électriques.

INDICATIONS SUR LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

- Le spécialiste comprend qu'un amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'invention peut être utilisé comme circuit d'entrée d'un récepteur de ligne pour
- 30 les liaisons électriques différentielles utilisées pour transmettre des signaux analogiques ou numériques. Dans ce cas, les bornes d'entrée signal de l'amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'invention sont couplées aux conducteurs de transmission de l'interconnexion équilibrée.

- Dans le contexte des liaisons à grande vitesse, l'amplificateur différentiel captant le
- 35 courant à entrée équilibrée selon l'invention a les avantages suivants :

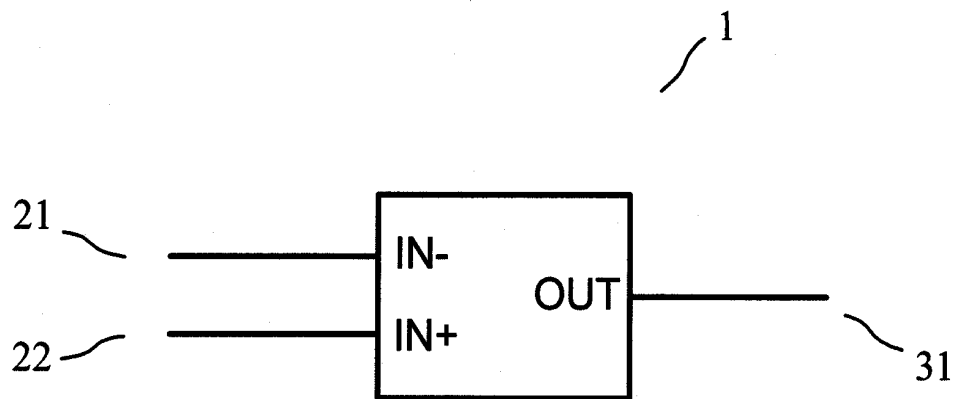
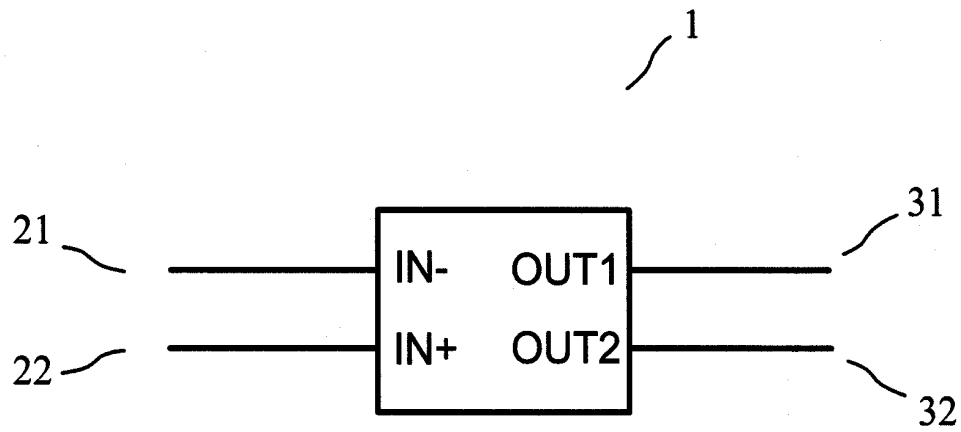
- il n'utilise pas d'amplificateur différentiel captant la tension pour capter une petite tension aux bornes d'une résistance ;
 - il présente une basse admittance d'entrée de mode commun ;
 - la caractéristique "variable de sortie en fonction du courant d'entrée de mode différentiel" est
- 5 bien contrôlée et peut avoir une bonne linéarité, cette propriété étant très importante pour la signalisation numérique multiniveau à hautes performances et pour la signalisation bidirectionnelle simultanée ;
- la caractéristique "tension d'entrée de mode différentiel en fonction du courant d'entrée de mode différentiel" a une bonne linéarité et elle peut procurer une impédance d'entrée de mode
- 10 différentiel convenable pour éliminer les réflexions dans une liaison différentielle, ce qui permet d'éliminer le besoin d'une terminaison ;
- l'impédance d'entrée de mode différentiel peut être réglable par des moyens électriques.

REVENDECATIONS

1. Amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée ayant une première borne d'entrée signal (21) et une deuxième borne d'entrée signal (22), comportant :
 - 5 un premier miroir de courant (111) ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une borne de sortie, la borne d'entrée du dit premier miroir de courant (111) étant couplée à ladite première borne d'entrée signal (21), ledit premier miroir de courant étant d'une polarité donnée ;
 - un deuxième miroir de courant (112) ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins
 - 10 une borne de sortie, la borne d'entrée du dit deuxième miroir de courant (112) étant couplée à ladite deuxième borne d'entrée signal (22), ledit deuxième miroir de courant étant de ladite polarité donnée ;
 - un troisième miroir de courant (121) ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins
 - 15 une borne de sortie, une des bornes de sortie du dit troisième miroir de courant (121) étant couplée à la borne commune du dit premier miroir de courant (111) et à la borne commune du dit deuxième miroir de courant (112), ledit troisième miroir de courant (121) étant de ladite polarité donnée.
2. Amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon la revendication précédente, dans lequel le courant entrant dans la borne d'entrée du dit troisième miroir de
 - 20 courant (121) est sensiblement indépendant d'une tension appliquée à ladite première borne d'entrée signal (21) et d'une tension appliquée à ladite deuxième borne d'entrée signal (22).
3. Amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le courant entrant dans la borne d'entrée du dit troisième miroir de courant (121) est un courant constant.
- 25 4. Amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le premier miroir de courant (111) et le deuxième miroir de courant (112) sont sensiblement identiques.
5. Amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant en outre :
 - 30 un quatrième miroir de courant (113) ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins une borne de sortie, la borne d'entrée du dit quatrième miroir de courant (113) étant couplée à ladite première borne d'entrée signal (21), ledit quatrième miroir de courant (113) étant de la polarité opposée à ladite polarité donnée ;
 - un cinquième miroir de courant (114) ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins

- une borne de sortie, la borne d'entrée du dit cinquième miroir de courant (114) étant couplée à ladite deuxième borne d'entrée signal (22), ledit cinquième miroir de courant (114) étant de la polarité opposée à ladite polarité donnée ;
- un sixième miroir de courant (122) ayant une borne d'entrée, une borne commune et au moins
- 5 une borne de sortie, une des bornes de sortie du dit sixième miroir de courant (122) étant couplée à la borne commune du dit quatrième miroir de courant (113) et à la borne commune du dit cinquième miroir de courant (114), ledit sixième miroir de courant (122) étant de la polarité opposée à ladite polarité donnée.
6. Amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon la revendication 5, dans
- 10 lequel le courant entrant dans la borne d'entrée du dit sixième miroir de courant (122) est sensiblement indépendant d'une tension appliquée à ladite première borne d'entrée signal (21) et d'une tension appliquée à ladite deuxième borne d'entrée signal (22).
7. Amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'une quelconque des revendications 5 ou 6, dans lequel le courant entrant dans la borne d'entrée du dit sixième miroir
- 15 de courant (122) est un courant constant.
8. Amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, dans lequel le premier miroir de courant (111) et le deuxième miroir de courant (112) sont sensiblement identiques et ont un gain en courant positif, noté k , et dans lequel le quatrième miroir de courant (113) et le cinquième miroir de courant (114) sont
- 20 sensiblement identiques et ont un gain en courant positif sensiblement égal à k .
9. Amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'impédance d'entrée de mode différentiel de l'amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée peut être réglée par des moyens électriques.
- 25 10. Amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ledit amplificateur différentiel captant le courant à entrée équilibrée constitue une partie d'un récepteur de ligne pour les liaisons électriques différentielles.

1 / 8

**FIG. 1****FIG. 2**

2 / 8

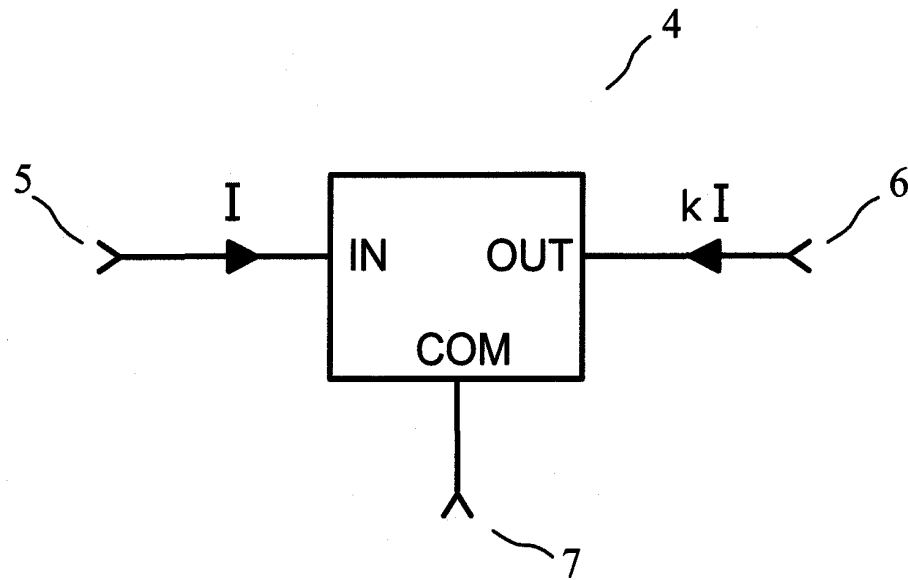


FIG. 3

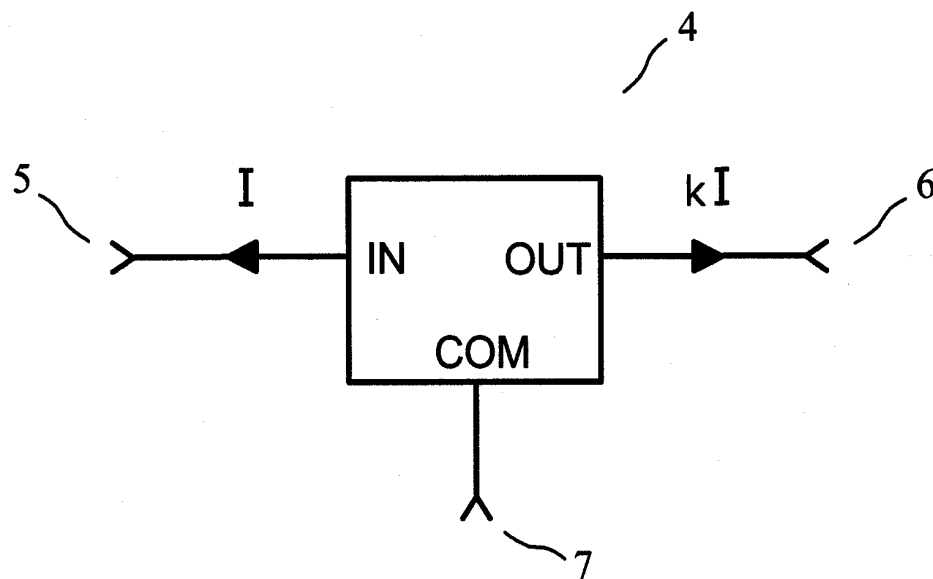


FIG. 4

3 / 8

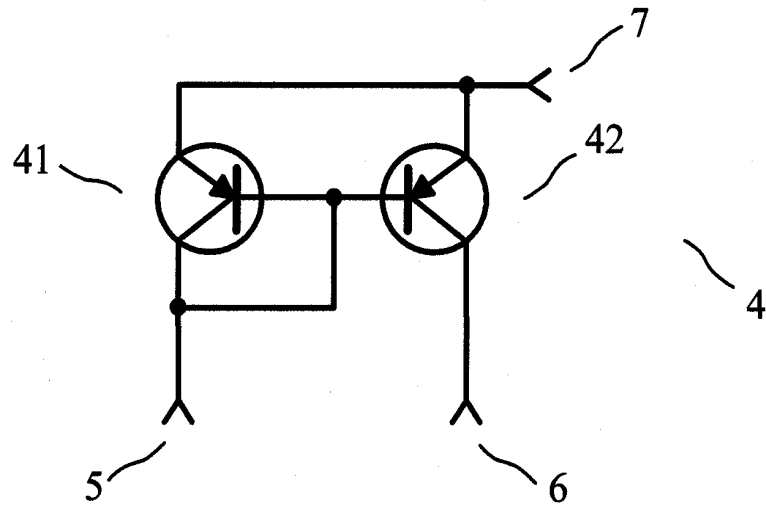


FIG. 5

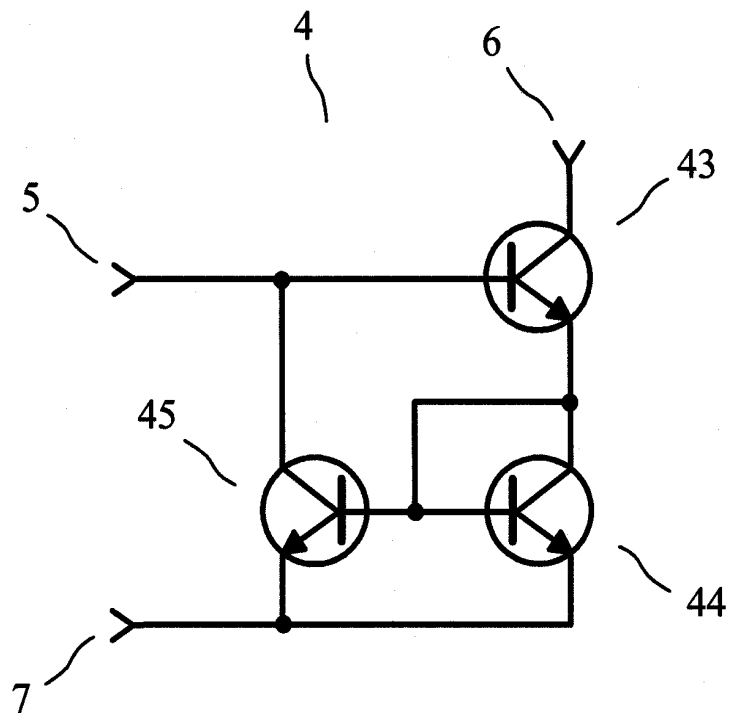
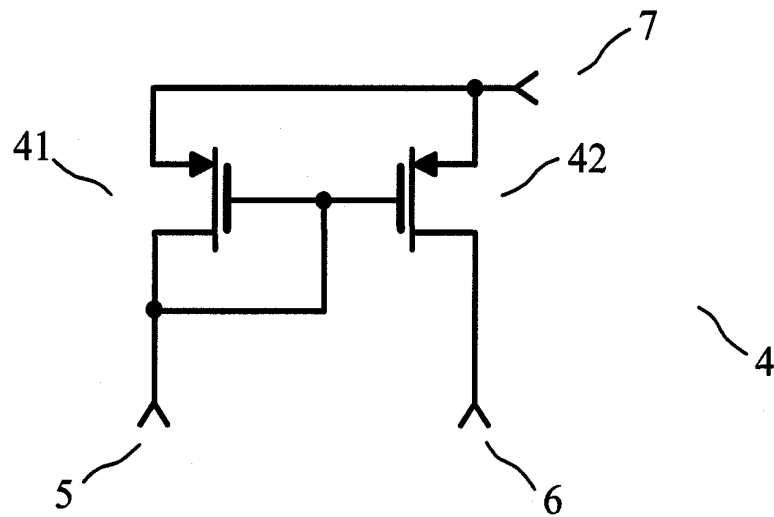
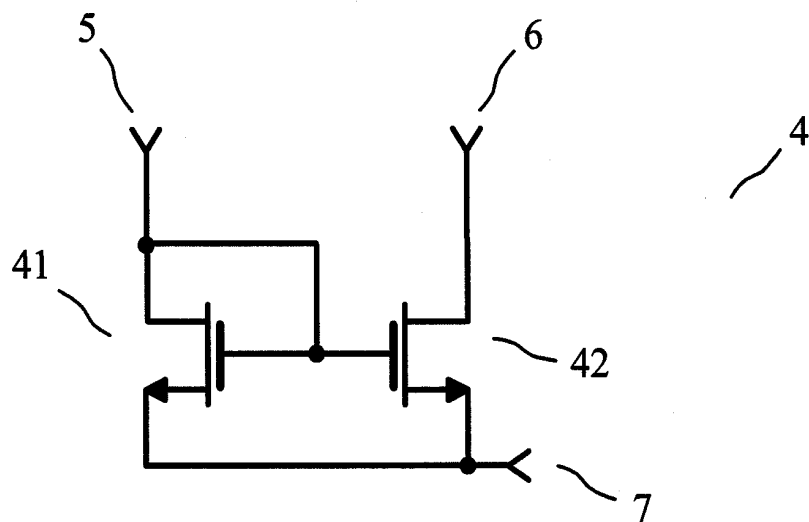


FIG. 6

4 / 8

**FIG. 7****FIG. 8**

5 / 8

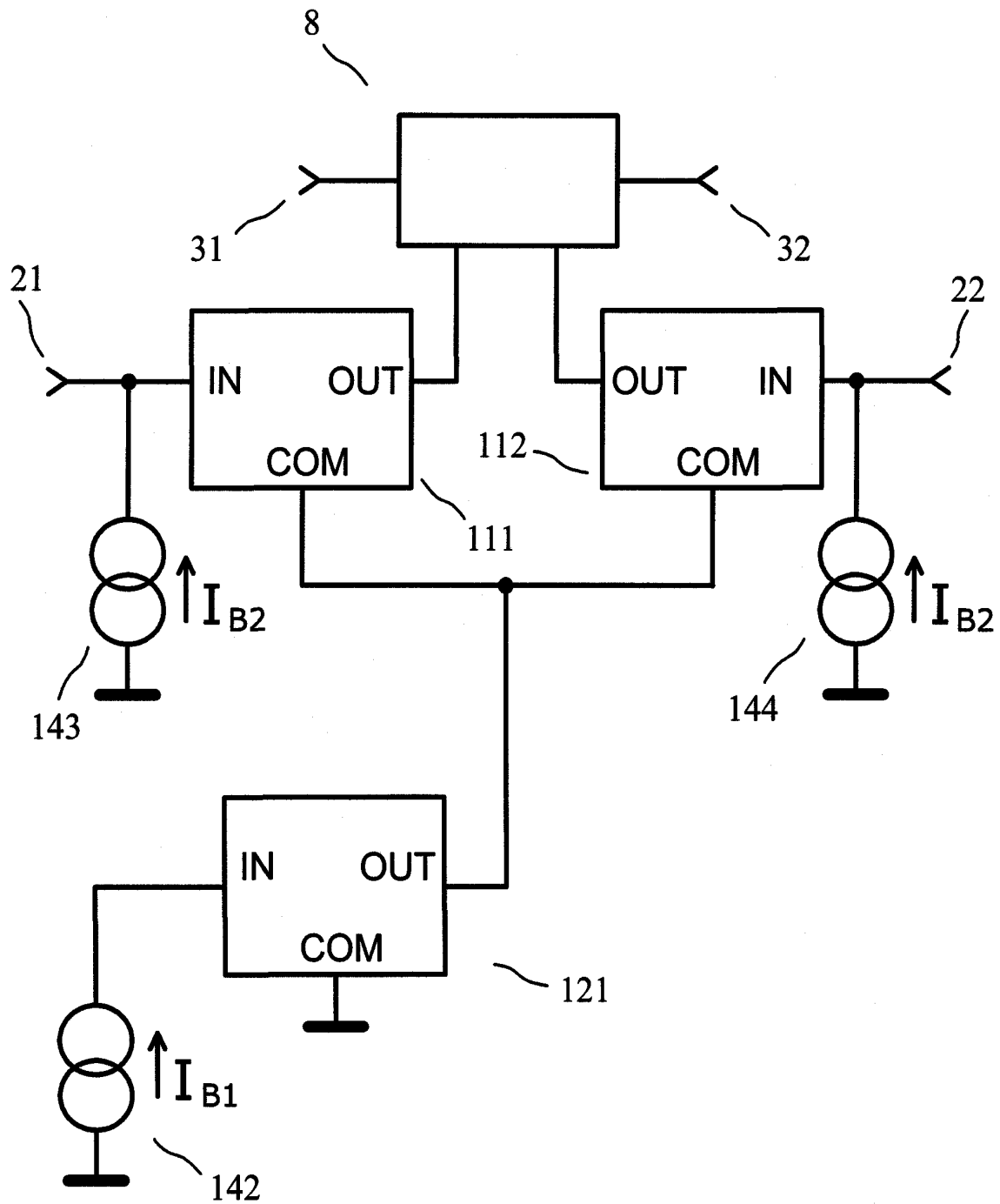


FIG. 9

6 / 8

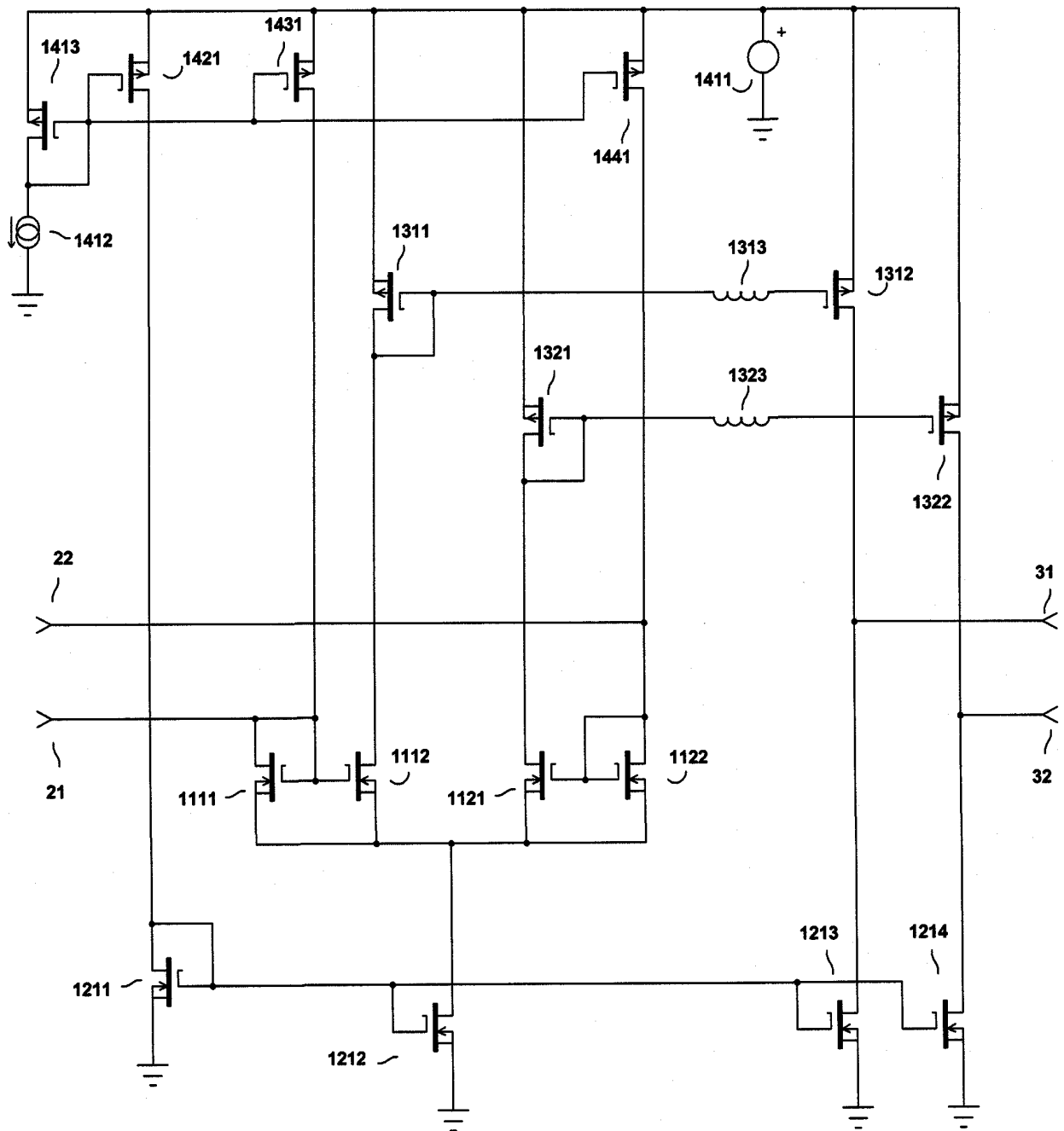


FIG. 10

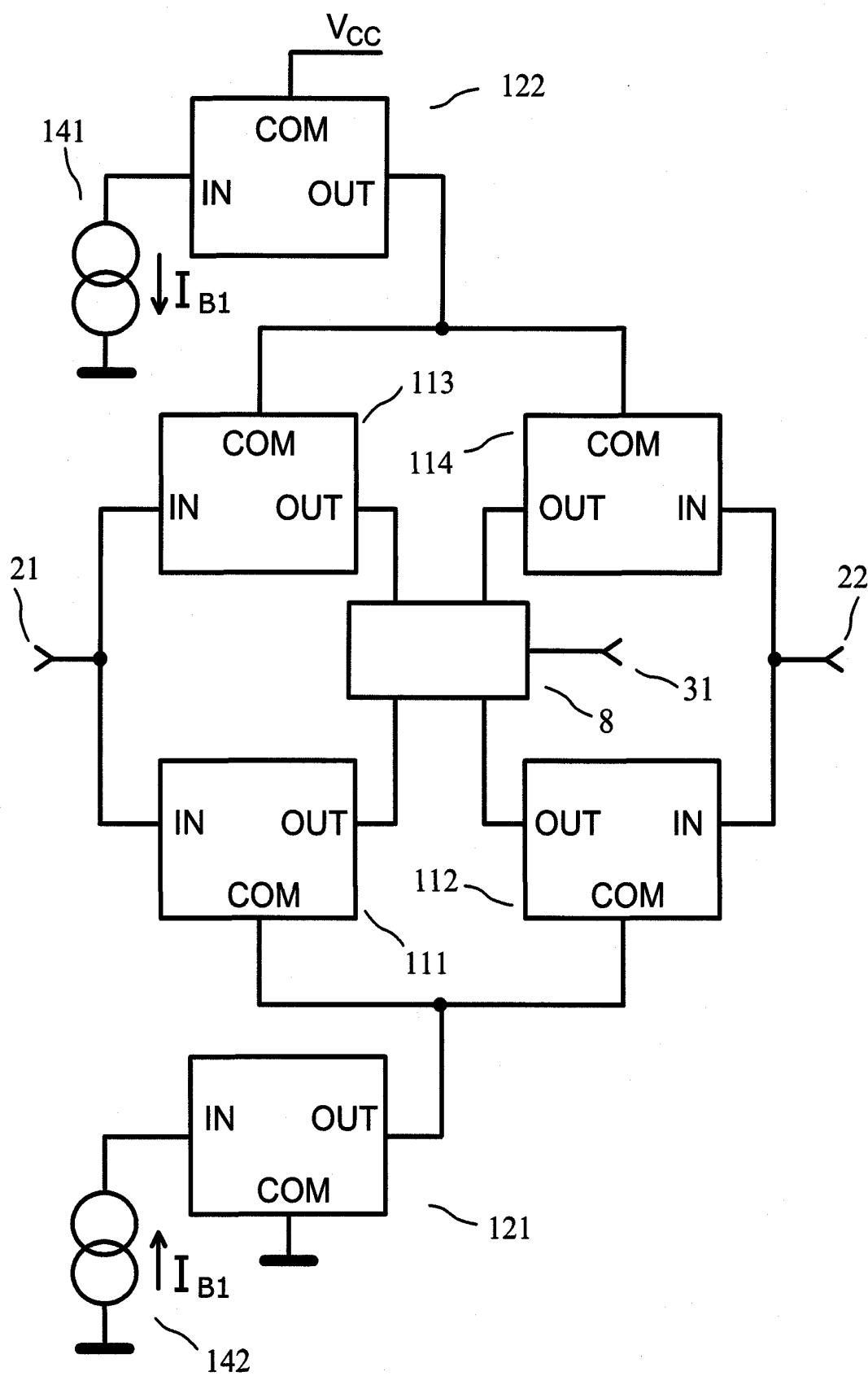


FIG. 11

8 / 8

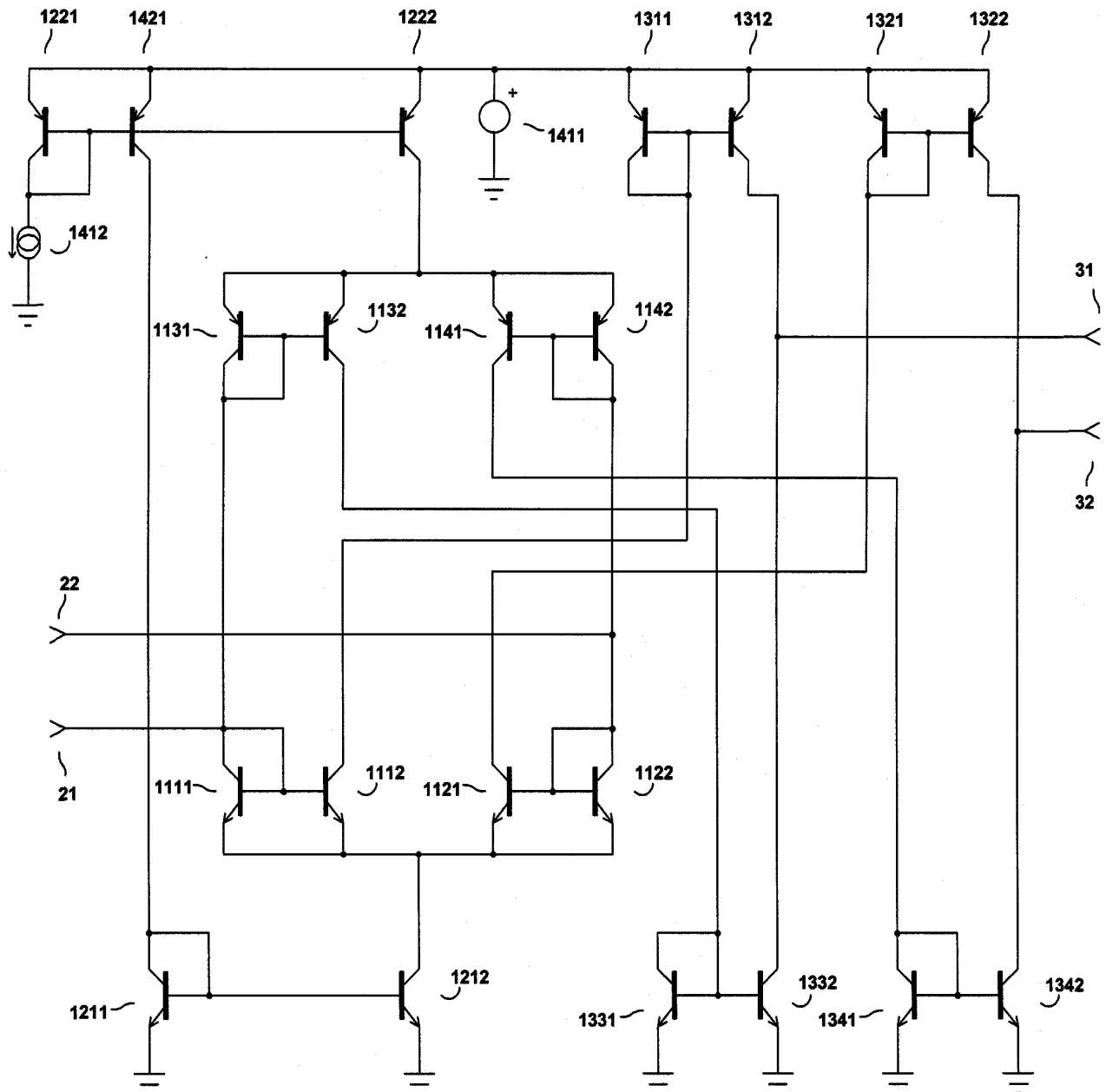


FIG. 12

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

NEANT

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

US 2007/099564 A1 (DIXIT ABHAY [US] ET AL DIXIT ABHAY [US] ET AL)
3 mai 2007 (2007-05-03)

US 5 483 194 A (GENEST PIERRE [FR])
9 janvier 1996 (1996-01-09)

US 5 132 640 A (TANAKA TATSUO [JP] ET AL)
21 juillet 1992 (1992-07-21)

SEEVINCK E: "Design and application of integrated analog interface circuits", 19880607; 19880607 - 19880609, 7 juin 1988
(1988-06-07), pages 1923-1926, XP010069290,

US 5 986 501 A (RAFATI HAMID [US] ET AL)
16 novembre 1999 (1999-11-16)

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

NEANT