

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

①① N° de publication : **2 962 275**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **10 02802**

⑤① Int Cl⁸ : **H 04 B 3/32** (2012.01), H 04 B 5/02, H 03 F 3/68

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ RECEPTEUR POUR TRANSMISSION MULTIVOIE PUCE-A-PUCE EN CHAMP PROCHE.

②② Date de dépôt : 02.07.10.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 06.01.12 Bulletin 12/01.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 20.07.12 Bulletin 12/29.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : *TEKCEM* — FR.

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

⑦③ Titulaire(s) : *TEKCEM*.

⑦④ Mandataire(s) : *TEKCEM*.

FR 2 962 275 - B1



Récepteur pour transmission multivoie puce-à-puce en champ proche

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5 L'invention concerne un récepteur pour un système de transmission multivoie puce-à-puce en champ proche tel que les liaisons capacitives ou inductives utilisées pour la transmission de signal verticale entre les puces empilées (en anglais: stacked chips) d'un système dans un boîtier (en anglais: a system-in-package) utilisant l'intégration tri-dimensionnelle.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

10 L'intégration tri-dimensionnelle est une nouvelle technologie qui permet une intégration effective de systèmes complexes. Dans un boîtier utilisant l'intégration tri-dimensionnelle, les puces peuvent être empilées et structurellement combinées. Dans un tel système dans un boîtier, la distance verticale pour la transmission de signaux entre deux puces est typiquement plus petite que 200 μm . De nombreuses techniques de transmission puce-à-puce ont été développées.

15 Les techniques utilisant des vias traversant le silicium (en anglais: through-silicon vias) sont coûteuses du fait de l'augmentation de la complexité du processus de fabrication. Les techniques utilisant la transmission puce-à-puce en champ proche n'augmentent pas la complexité du processus de fabrication.

La figure 1 montre les dispositifs de couplage d'un système de transmission multivoie puce-à-puce en champ proche procurant $m = 12$ voies de transmission entre un premier circuit intégré monolithique (1) et un deuxième circuit intégré monolithique (2), le système de transmission multivoie puce-à-puce en champ proche comportant :

un premier réseau de dispositifs de couplage (11) réalisés dans un niveau de métallisation du premier circuit intégré monolithique (1), un dispositif de couplage (111) du premier réseau de dispositifs de couplage (11) étant sensible aux variations du champ électrique et/ou du champ magnétique, le premier réseau de dispositifs de couplage (11) étant constitué de m dispositifs de couplage ;

un deuxième réseau de dispositifs de couplage (21) réalisés dans un niveau de métallisation du deuxième circuit intégré monolithique (2), un dispositif de couplage (211) du deuxième réseau de dispositifs de couplage (21) étant sensible aux variations du champ électrique et/ou du champ magnétique, le deuxième réseau de dispositifs de couplage (21) étant constitué de m dispositifs de couplage, un dispositif de couplage (211) du deuxième réseau de dispositifs de couplage (21) faisant face à un unique dispositif de couplage (111) du premier réseau de dispositifs de couplage (11).

35 Un dispositif de couplage sensible aux variations du champ électrique, par exemple une surface conductrice ayant une aire suffisante (appelée plaque de condensateur par certains

auteurs), peut être utilisé pour recevoir un champ électrique utilisé pour la transmission de signaux et peut aussi être utilisé pour émettre un champ électrique utilisé pour la transmission de signaux. Un dispositif de couplage sensible aux variations du champ magnétique, par exemple un enroulement (appelé inductance par certains auteurs), peut être utilisé pour recevoir
 5 un champ magnétique utilisé pour la transmission de signaux et peut aussi être utilisé pour émettre un champ magnétique utilisé pour la transmission de signaux. Plus généralement, un dispositif de couplage peut être n'importe quel dispositif sensible aux variations du champ électrique et/ou aux variations du champ magnétique, par exemple un dispositif comportant une combinaison de surfaces conductrices et/ou d'enroulements.

10 La figure 2 montre le schéma-bloc d'un premier exemple d'un récepteur d'un système de transmission multivoie en champ proche procurant $m = 4$ voies de transmission pour la transmission numérique entre deux circuits intégrés monolithiques, comportant :

m dispositifs de couplage (211) (212) (213) (214), chacun des dits dispositifs de couplage étant un enroulement planaire sensible aux variations du champ magnétique, chacun des dits
 15 dispositifs de couplage ayant une borne mise à la masse ;

m amplificateurs à une borne d'entrée (221) (222) (223) (224), chacun des dits amplificateurs à une borne d'entrée ayant un accès d'entrée connecté à un et un seul des dits dispositifs de couplage (211) (212) (213) (214) ;

20 m circuits de récupération (281) (282) (283) (284), chacun des dits circuits de récupération ayant un accès d'entrée connecté à l'accès de sortie d'un et d'un seul des dits amplificateurs à une borne d'entrée (221) (222) (223) (224), chacun des dits circuits de récupération ayant un accès de sortie connecté à l'utilisateur (29).

La figure 3 montre le schéma-bloc d'un deuxième exemple d'un récepteur d'un système de transmission multivoie en champ proche procurant $m = 4$ voies de transmission pour la
 25 transmission numérique entre deux circuits intégrés monolithiques, comportant :

m dispositifs de couplage (211) (212) (213) (214), chacun des dits dispositifs de couplage étant un enroulement planaire sensible aux variations du champ magnétique ;

30 m amplificateurs différentiels (221) (222) (223) (224), chacun des dits amplificateurs différentiels ayant un accès d'entrée connecté à un et un seul des dits dispositifs de couplage (211) (212) (213) (214) ;

m circuits de récupération (281) (282) (283) (284), chacun des dits circuits de récupération ayant un accès d'entrée connecté à l'accès de sortie d'un et d'un seul des dits amplificateurs différentiels (221) (222) (223) (224), chacun des dits circuits de récupération ayant un accès de sortie connecté à l'utilisateur (29).

35 Dans les figures 2 et 3, le circuit de récupération délivre les signaux numériques voulus. Un circuit de récupération peut utiliser différents types de circuits selon la technique de signalisation choisie. Par exemple, un circuit de récupération peut être un intégrateur, un trigger de Schmitt, un verrou (en anglais: latch), une combinaison de tels circuits ou un dispositif plus

complexe convenable pour récupérer les signaux numériques. Les lignes de validation et/ou d'horloge et/ou de contrôle qui peuvent être nécessaires pour le fonctionnement des circuits de récupération ne sont pas représentées sur les figures 2 et 3.

Bien que chaque dispositif de couplage puisse être considéré comme une antenne
 5 électriquement petite au sens de la théorie des antennes, il est important de noter que, dans un système de transmission multivoie puce-à-puce en champ proche, un réseau de dispositifs de couplage n'est pas utilisé comme un réseau d'antennes au sens de la théorie des antennes. Ceci est dû à ce que le réseau de dispositifs de couplage fonctionne dans un système de transmission en champ proche dans lequel les champs électriques et magnétiques décroissent très rapidement
 10 avec la distance. Ainsi, dans un cas idéal, un dispositif de couplage utilisé pour recevoir un champ électrique ou un champ magnétique capte uniquement les variations de champ électrique ou de champ magnétique produites par le plus proche dispositif de couplage utilisé pour émettre un champ électrique ou un champ magnétique. Par exemple, dans la figure 1 où un dispositif de couplage (211) du deuxième réseau de dispositifs de couplage (21) fait face à un unique
 15 dispositif de couplage (111) du premier réseau de dispositifs de couplage (11), il est possible que la transmission de signaux se produise principalement entre dispositifs de couplage se faisant face, soit du premier circuit intégré monolithique (1) vers le deuxième circuit intégré monolithique (2), soit du deuxième circuit intégré monolithique (2) vers le premier circuit intégré monolithique (1).

20 Cependant, des couplages non voulus surviennent inévitablement, qui produisent une diaphonie entre les voies de transmission. Malheureusement, cette diaphonie interne limite le nombre de voies qui peuvent être utilisées dans une aire donnée. Cette diaphonie interne a trois causes :

- un dispositif de couplage d'un des réseaux de dispositifs de couplage peut être
 25 significativement couplé avec plus d'un dispositif de couplage de l'autre réseau de dispositifs de couplage, car la transmission de signaux ne se produit pas uniquement entre dispositifs de couplage se faisant face ;
- les dispositifs de couplage du premier réseau de dispositifs de couplage interagissent ;
- les dispositifs de couplage du deuxième réseau de dispositifs de couplage interagissent.

30 Par exemple, l'article de A. Fazzi, L. Magagni, M. Mirandola, B. Charlet, L. Di Cioccio, E. Jung, R. Canegallo et R. Guerrieri intitulé "3-D Capacitive Interconnections for Wafer-Level and Die-Level Assembly" publié dans *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 42, No. 10, pp. 2270-2282 en octobre 2007 concerne un système de transmission multivoie puce-à-puce en champ proche utilisant des variations de champ électrique pour la transmission des signaux. Cet
 35 article discute la diaphonie entre les voies de transmission.

Par exemple, l'article de Y. Yoshida, N. Miura et Tadahiro Kuroda intitulé "A 2 Gb/s Bi-Directional Inter-Chip Data Transceiver With Differential Inductors for High Density Inductive Channel Array" publié dans *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 43, No. 11, pp.

2363-2369 en novembre 2008 concerne un système de transmission multivoie puce-à-puce en champ proche utilisant des variations de champ magnétique pour la transmission des signaux. Ce papier souligne les effets néfastes de la diaphonie et introduit l'utilisation d'enroulements spéciaux, appelés "inductances différentielles" (en anglais : "differential inductors") pour
 5 réduire la diaphonie. Malheureusement, de tels enroulement spéciaux produisent un couplage voulu plus faible pour une aire donnée et ne procurent qu'une réduction partielle de la diaphonie.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention a pour but un récepteur pour transmission multivoie puce-à-puce en champ
 10 proche qui surmonte les limitations évoquées plus haut des techniques connues.

Selon l'invention, un récepteur d'un système de transmission multivoie en champ proche procurant m voies de transmission correspondant chacune à un signal à transmettre depuis un premier circuit intégré monolithique jusqu'à un deuxième circuit intégré monolithique, m étant un entier supérieur ou égal à 2, le premier circuit intégré monolithique et le deuxième circuit
 15 intégré monolithique étant structurellement combinés, comporte :

n dispositifs de couplage réalisés dans le deuxième circuit intégré monolithique, n étant un entier supérieur ou égal à m , chacun des dits dispositifs de couplage étant sensible aux variations du champ électrique et/ou du champ magnétique ;

un amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, ledit amplificateur à
 20 accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples étant réalisé dans le deuxième circuit intégré monolithique, ledit amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ayant n accès d'entrée et m accès de sortie, chacun des dits accès d'entrée étant connecté à un et un seul des dits dispositifs de couplage, chacun des dits dispositifs de couplage étant connecté à un et un seul des dits accès d'entrée, ledit
 25 amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ayant, lorsque ledit amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est dans l'état activé, pour des petits signaux, à chaque fréquence dans une bande de fréquences utilisée pour la transmission, une matrice admittance de transfert en court-circuit, ladite matrice admittance de transfert en court-circuit étant une matrice complexe de taille $m \times n$, au
 30 moins deux éléments de chaque ligne de ladite matrice admittance de transfert en court-circuit étant différents de zéro.

Numérotons, de 1 à n , les accès d'entrée de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples. Tout entier j supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à n correspond au numéro d'un accès d'entrée de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie
 35 multiples. Définissons le courant d'entrée i_{1j} entrant dans la borne positive de l'accès d'entrée j , et la tension d'entrée v_{1j} entre la borne positive de l'accès d'entrée j et la borne négative de

l'accès d'entrée j . Nous définissons aussi le vecteur-colonne \mathbf{I}_I des courants d'entrée i_{I1}, \dots, i_{In} et le vecteur-colonne \mathbf{V}_I des tensions d'entrée v_{I1}, \dots, v_{In} . Numérotons, de 1 à m , les accès de sortie de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples. Tout entier k supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m correspond au numéro d'un accès de sortie de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples. Définissons le courant de sortie i_{Ok} entrant dans la borne positive de l'accès de sortie k , et la tension de sortie v_{Ok} entre la borne positive de l'accès de sortie k et la borne négative de l'accès de sortie k . Nous définissons aussi le vecteur-colonne \mathbf{I}_O des courants de sortie i_{O1}, \dots, i_{Om} et le vecteur-colonne \mathbf{V}_O des tensions de sortie v_{O1}, \dots, v_{Om} . Lorsque l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est dans l'état activé, pour des petits signaux, l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples 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 est une matrice carrée d'ordre n , où \mathbf{Y}_O est une matrice carrée d'ordre m , où \mathbf{Y}_R est une matrice de taille $n \times m$, et où \mathbf{Y}_T est une matrice de taille $m \times n$. Tous les éléments de ces matrices ont la dimension d'une admittance. Par conséquent, les spécialistes comprennent qu'ils peuvent appeler \mathbf{Y}_I la "matrice admittance d'entrée en court-circuit" de l'amplificateur, \mathbf{Y}_R la "matrice admittance de transfert inverse en court-circuit" de l'amplificateur, \mathbf{Y}_T la "matrice admittance de transfert en court-circuit" de l'amplificateur, et \mathbf{Y}_O la "matrice admittance de sortie en court-circuit" de l'amplificateur. Ces quatre matrices ont des éléments complexes et peuvent dépendre de la fréquence.

Selon l'invention, au moins deux éléments de chaque ligne de ladite matrice admittance de transfert en court-circuit peuvent être significativement différents de zéro. Par exemple, ledit amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples peut être tel que, à chaque fréquence dans ladite bande de fréquences utilisée pour la transmission, dans chaque ligne de ladite matrice admittance de transfert en court-circuit, au moins un élément différent de l'élément ayant le plus grand module a un module plus grand que 1/100 multiplié par le module de l'élément ayant le plus grand module. Par exemple, ledit amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples peut être tel que, à chaque fréquence dans ladite bande de fréquences utilisée pour la transmission, dans chaque ligne de ladite matrice admittance de transfert en court-circuit, au moins un élément différent de l'élément ayant le plus grand module a un module plus grand que 1/10 multiplié par le module de l'élément ayant le plus grand module.

Dans la suite, les expressions "est dans l'état désactivé" et "n'est pas dans l'état activé" sont équivalentes.

Selon l'invention, l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples

dans l'état activé a, pour des petits signaux, à chaque fréquence dans une bande de fréquences utilisée pour la transmission, une matrice admittance de transfert en court-circuit, ladite matrice admittance de transfert en court-circuit étant une matrice complexe de taille $m \times n$, au moins deux éléments de chaque ligne de ladite matrice admittance de transfert en court-circuit étant
5 significativement différents de zéro. Selon l'invention, il est possible qu'il existe un état désactivé de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, dans lequel le comportement de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est différent. Cependant, l'existence d'un état désactivé de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples n'est nullement une caractéristique de l'invention.

10 Selon l'invention, les dits n dispositifs de couplage réalisés dans le deuxième circuit intégré monolithique sont utilisés pour recevoir un champ électrique ou un champ magnétique, en tant que parties d'un système de transmission en champ proche procurant m voies de transmission correspondant chacune à un signal à transmettre depuis le premier circuit intégré monolithique jusqu'au deuxième circuit intégré monolithique. Les dits n dispositifs de couplage
15 réalisés dans le deuxième circuit intégré monolithique peuvent aussi être utilisés pour émettre un champ électrique ou un champ magnétique, en tant que parties d'un système de transmission en champ proche procurant une ou plusieurs voies de transmission correspondant chacune à un signal à transmettre depuis le deuxième circuit intégré monolithique jusqu'au premier circuit intégré monolithique. Ainsi, une transmission bidirectionnelle est obtenue. Le spécialiste
20 comprend comment ce résultat peut être obtenu, par exemple en utilisant des commutateurs analogiques commandés et/ou un état désactivé de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples.

Selon l'invention, le premier circuit intégré monolithique et le deuxième circuit intégré monolithique sont structurellement combinés, si bien que le premier circuit intégré monolithique et le deuxième circuit intégré monolithique ont des positions relatives fixes. Le spécialiste
25 comprend que cette exigence permet au concepteur de calculer les effets des trois causes de diaphonie interne mentionnées plus haut, et de déterminer un ensemble de matrices admittance de transfert en court-circuit qui peuvent chacune annuler la diaphonie interne aux accès de sortie de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples.

30 Selon l'invention, au moins un autre circuit intégré monolithique peut être structurellement combiné avec le premier circuit intégré monolithique et le deuxième circuit intégré monolithique. Dans ce cas :

- le récepteur selon l'invention peut aussi être utilisé en tant qu'une partie d'un système de transmission en champ proche procurant une ou plusieurs voies de transmission correspondant
35 chacune à un signal à transmettre depuis ledit au moins un autre circuit intégré monolithique jusqu'au deuxième circuit intégré monolithique ;
- les dits n dispositifs de couplage réalisés dans le deuxième circuit intégré monolithique peuvent aussi être utilisés pour émettre un champ électrique ou un champ magnétique, en tant

que parties d'un système de transmission en champ proche procurant une ou plusieurs voies de transmission correspondant chacune à un signal à transmettre depuis le deuxième circuit intégré monolithique jusqu'au dit au moins un autre circuit intégré monolithique.

5 Selon l'invention, l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples peut par exemple être tel que les bornes négatives de ses accès d'entrée et/ou de ses accès de sortie correspondent à la masse, ces accès étant alors asymétriques.

Selon l'invention, l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples peut par exemple être tel que chacun de ses accès d'entrée correspond à une entrée différentielle et/ou tel que chacun de ses accès de sortie correspond à une sortie différentielle.

10 Selon l'invention, l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples peut comporter un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série, par exemple décrit dans la demande de brevet français numéro 06/00388 du 17 janvier 2006 intitulée "Amplificateur à entrées multiples et sorties multiples", dans la demande internationale correspondante numéro PCT/IB2006/003950 du 19 décembre 2006 intitulée "Multiple-input and
15 multiple-output amplifier", 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", et dans la demande internationale correspondante numéro PCT/IB2007/001344 du 26 avril 2007 intitulée "Multiple-input and multiple-output amplifier using mutual induction in the feedback network".

20 Selon l'invention, l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples peut comporter un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série ayant des entrées pseudo-différentielles, par exemple décrits dans la demande de brevet français numéro 08/03982 du 11 juillet 2008, intitulée "Amplificateur à entrées multiples et sorties multiples ayant des entrées pseudo-différentielles" et dans la demande internationale
25 correspondante numéro PCT/IB2009/051358 du 11 février 2008 intitulée "Multiple-input and multiple-output amplifier having pseudo-differential inputs".

BRÈVE PRÉSENTATION DES DIFFÉRENTES FIGURES

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

- la figure 1 montre les dispositifs de couplage d'un système de transmission multivoie puce-à-puce en champ proche, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- la figure 2 montre le schéma-bloc d'un premier exemple d'un récepteur pour un
35 système de transmission multivoie puce-à-puce en champ proche, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;

- la figure 3 montre le schéma-bloc d'un deuxième exemple d'un récepteur pour un système de transmission multivoie puce-à-puce en champ proche, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- la figure 4 montre le schéma-bloc d'un premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 5 montre le schéma-bloc d'un deuxième mode de réalisation de l'invention.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE CERTAINS MODES DE RÉALISATION

Premier mode de réalisation.

- 10 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 4 le schéma-bloc d'un récepteur pour transmission multivoie puce-à-puce en champ proche procurant $m = 4$ voies de transmission pour la transmission numérique depuis un premier circuit intégré monolithique jusqu'à un deuxième circuit intégré monolithique, comportant :
- 15 $n = 4$ dispositifs de couplage (211) (212) (213) (214) réalisés dans le deuxième circuit intégré monolithique, chacun des dits dispositifs de couplage étant un enroulement planaire sensible aux variations du champ magnétique ;
- un amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (23) réalisé dans le deuxième circuit intégré monolithique, ledit amplificateur à accès d'entrée multiples et
- 20 accès de sortie multiples ayant n accès d'entrée et m accès de sortie, chacun des dits accès d'entrée étant connecté à un et un seul des dits dispositifs de couplage (211) (212) (213) (214), chacun des dits dispositifs de couplage (211) (212) (213) (214) étant connecté à un et un seul des dits accès d'entrée, ledit amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ayant, lorsque ledit amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est dans l'état activé, pour des petits signaux, à
- 25 chaque fréquence dans une bande de fréquences utilisée pour la transmission, une matrice admittance de transfert en court-circuit, ladite matrice admittance de transfert en court-circuit étant une matrice complexe de taille $m \times n$, au moins deux éléments de chaque ligne de ladite matrice admittance de transfert en court-circuit étant
- 30 significativement différents de zéro ;
- m circuits de récupération (281) (282) (283) (284), chacun des dits circuits de récupération ayant un accès d'entrée connecté à un des accès de sortie de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (23), chacun des dits circuits de récupération ayant un accès de sortie connecté à l'utilisateur (29).
- 35 Le récepteur montré sur la figure 4 est une partie d'un système de transmission multivoie

en champ proche qui comporte aussi un émetteur comportant n dispositifs de couplage réalisés dans le premier circuit intégré monolithique, chacun de ces dispositifs de couplage étant un enroulement planaire sensible aux variations du champ magnétique. Toutes les interactions entre les $2n$ dispositifs de couplage réalisés dans le premier circuit intégré monolithique et dans le deuxième circuit intégré monolithique sont décrites par les équations suivantes :

$$\mathbf{V}_T = j\omega (\mathbf{L}_T \mathbf{I}_T - \mathbf{L}_C \mathbf{I}_I) + \mathbf{R}_T \mathbf{I}_T \quad (3)$$

$$\mathbf{V}_I = j\omega ({}^t\mathbf{L}_C \mathbf{I}_T - \mathbf{L}_R \mathbf{I}_I) - \mathbf{R}_R \mathbf{I}_I \quad (4)$$

où ω est la pulsation, où \mathbf{L}_T , \mathbf{L}_C , \mathbf{L}_R , \mathbf{R}_T et \mathbf{R}_R sont des matrices carrées d'ordre n réelles, où ${}^t\mathbf{X}$ est la matrice transposée d'une matrice \mathbf{X} , où \mathbf{I}_T est le vecteur-colonne des courants délivrés par l'émetteur aux dispositifs de couplage réalisés dans le premier circuit intégré monolithique, où \mathbf{V}_T est le vecteur-colonne des tensions aux bornes des dispositifs de couplage réalisés dans le premier circuit intégré monolithique, et où \mathbf{V}_I et \mathbf{I}_I sont définis plus haut.

Tous les éléments des matrices \mathbf{L}_T , \mathbf{L}_C et \mathbf{L}_R ont la dimension d'une inductance. Tous les éléments des matrices \mathbf{R}_T et \mathbf{R}_R ont la dimension d'une résistance. Le premier circuit intégré monolithique et le deuxième circuit intégré monolithique étant structurellement combinés, le spécialiste comprend qu'il est possible de calculer les matrices \mathbf{L}_T , \mathbf{L}_C , \mathbf{L}_R , \mathbf{R}_T et \mathbf{R}_R . Dans ce premier mode de réalisation, le concepteur utilise un amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples tel que tous les éléments de \mathbf{Y}_O , \mathbf{Y}_R et \mathbf{Y}_I ont un module petit dans la bande de fréquences utilisée pour la transmission, si bien que les courants de sortie de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples sont approximativement donnés par

$$\mathbf{I}_O \approx j\omega \mathbf{Y}_T {}^t\mathbf{L}_C \mathbf{I}_T \quad (5)$$

Le concepteur utilise un émetteur présentant une haute impédance à chacun des dispositifs de couplage réalisés dans le premier circuit intégré monolithique. Ainsi, le spécialiste comprend que l'ensemble des matrices admittance de transfert en court-circuit qui peuvent chacune annuler la diaphonie interne aux accès de sortie de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est défini par la condition

$$\mathbf{Y}_T \approx \mathbf{D} {}^t\mathbf{L}_C^{-1} \quad (6)$$

où \mathbf{D} est une matrice complexe diagonale, \mathbf{D} étant arbitraire et éventuellement dépendante de la fréquence. Ainsi, le concepteur peut concevoir un amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples tel que ladite matrice admittance de transfert en court-circuit soit le produit d'une matrice diagonale et d'une matrice réelle indépendante de la fréquence. Une

matrice admittance de transfert en court-circuit convenable peut être obtenue en utilisant un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série ou un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série ayant des entrées pseudo-différentielles. Ainsi, l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples peut
 5 utiliser une rétroaction procurant, à chaque fréquence dans ladite bande de fréquences utilisée pour la transmission, une matrice admittance de transfert en court-circuit telle que au moins deux éléments de chaque ligne de ladite matrice admittance de transfert en court-circuit sont significativement différents de zéro.

Deuxième mode de réalisation.

10 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 5 le schéma-bloc d'un récepteur pour transmission multivoie puce-à-puce en champ proche procurant $m = 4$ voies de transmission pour la transmission numérique depuis un premier circuit intégré monolithique jusqu'à un deuxième circuit intégré monolithique, comportant :

15 $n = 4$ dispositifs de couplage (211) (212) (213) (214) réalisés dans le deuxième circuit intégré monolithique, chacun des dits dispositifs de couplage étant une surface conductrice sensible aux variations du champ électrique ;

un amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (23) réalisé dans le deuxième circuit intégré monolithique, ledit amplificateur à accès d'entrée multiples et
 20 accès de sortie multiples ayant n accès d'entrée et m accès de sortie, chacun des dits accès d'entrée étant connecté à un et un seul des dits dispositifs de couplage (211) (212) (213) (214), chacun des dits dispositifs de couplage (211) (212) (213) (214) étant connecté à un et un seul des dits accès d'entrée, ledit amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ayant, lorsque ledit amplificateur à accès d'entrée
 25 multiples et accès de sortie multiples est dans l'état activé, pour des petits signaux, à chaque fréquence dans une bande de fréquences utilisée pour la transmission, une matrice admittance de transfert en court-circuit, ladite matrice admittance de transfert en court-circuit étant une matrice complexe de taille $m \times n$, au moins deux éléments de chaque ligne de ladite matrice admittance de transfert en court-circuit étant différents de
 30 zéro ;

m circuits de récupération (281) (282) (283) (284), chacun des dits circuits de récupération ayant un accès d'entrée connecté à un des accès de sortie de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (23), chacun des dits circuits de récupération ayant un accès de sortie connecté à l'utilisateur (29).

35 Le récepteur montré sur la figure 5 est une partie d'un système de transmission multivoie en champ proche qui comporte aussi un émetteur comportant n dispositifs de couplage réalisés

dans le premier circuit intégré monolithique, chacun de ces dispositifs de couplage étant une surface conductrice sensible aux variations du champ électrique. Toutes les interactions entre les $2n$ dispositifs de couplage réalisés dans le premier circuit intégré monolithique et dans le deuxième circuit intégré monolithique sont décrites par les équations suivantes :

$$5 \quad \mathbf{I}_T = j\omega (\mathbf{C}_T \mathbf{V}_T + \mathbf{C}_C \mathbf{V}_I) \quad (7)$$

$$- \mathbf{I}_I = j\omega ({}^t \mathbf{C}_C \mathbf{V}_T + \mathbf{C}_R \mathbf{V}_I) \quad (8)$$

où \mathbf{C}_T , \mathbf{C}_C et \mathbf{C}_R sont des matrices carrées d'ordre n réelles, où \mathbf{I}_T est le vecteur-colonne des courants délivrés par l'émetteur aux dispositifs de couplage réalisés dans le premier circuit intégré monolithique, où \mathbf{V}_T est le vecteur-colonne des tensions aux bornes des dispositifs de couplage réalisés dans le premier circuit intégré monolithique, et où \mathbf{V}_I et \mathbf{I}_I sont définis plus haut.

Tous les éléments des matrices \mathbf{C}_T , \mathbf{C}_C et \mathbf{C}_R ont la dimension d'une capacité. Le premier circuit intégré monolithique et le deuxième circuit intégré monolithique étant structurellement combinés, le spécialiste comprend qu'il est possible de calculer les matrices \mathbf{C}_T , \mathbf{C}_C et \mathbf{C}_R . Dans ce deuxième mode de réalisation, le concepteur utilise un amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples tel que tous les éléments de \mathbf{Y}_O , \mathbf{Y}_R et \mathbf{Y}_I ont un module petit dans la bande de fréquences utilisée pour la transmission, si bien que les courants de sortie de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples sont approximativement donnés par

$$20 \quad \mathbf{I}_O \approx - \mathbf{Y}_T \mathbf{C}_R^{-1} {}^t \mathbf{C}_C \mathbf{V}_T \quad (9)$$

Le concepteur utilise un émetteur présentant une basse impédance à chacun des dispositifs de couplage réalisés dans le premier circuit intégré monolithique. Ainsi, le spécialiste comprend que l'ensemble des matrices admittance de transfert en court-circuit qui peuvent chacune annuler la diaphonie interne aux accès de sortie de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est défini par la condition

$$25 \quad \mathbf{Y}_T \approx \mathbf{D} {}^t \mathbf{C}_C^{-1} \mathbf{C}_R \quad (10)$$

où \mathbf{D} est une matrice complexe diagonale, \mathbf{D} étant arbitraire et éventuellement dépendante de la fréquence. Ainsi, le concepteur peut concevoir un amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples tel que ladite matrice admittance de transfert en court-circuit soit le produit d'une matrice diagonale et d'une matrice réelle indépendante de la fréquence. Une matrice admittance de transfert en court-circuit convenable peut être obtenue en utilisant un

amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série ou un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série ayant des entrées pseudo-différentielles.

Troisième mode de réalisation.

5 Un troisième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre non limitatif, correspond aussi au schéma-bloc d'un récepteur pour transmission multivoie puce-à-puce en champ proche montré sur la figure 5. Ce qui a été dit plus haut pour le deuxième mode de réalisation est applicable à ce troisième mode de réalisation sauf que, dans ce troisième mode de réalisation, \mathbf{Y}_I est égal à une matrice réelle diagonale notée \mathbf{G}_I telle que le module de chaque
10 élément diagonal de \mathbf{G}_I est beaucoup plus grand que le module de tous les éléments de $j\omega \mathbf{C}_R$, dans la bande de fréquences utilisée pour la transmission. Ceci est dû à ce que des préamplificateurs en mode courant sont utilisés comme étage d'entrée de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples. Ainsi, les courants de sortie de l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples sont approximativement donnés par

$$15 \quad \mathbf{I}_O \approx -j\omega \mathbf{Y}_T \mathbf{G}_I^{-1} {}^t \mathbf{C}_C \mathbf{V}_T \quad (11)$$

Le concepteur utilise un émetteur présentant une basse impédance à chacun des dispositifs de couplage réalisés dans le premier circuit intégré monolithique. Ainsi, le spécialiste comprend que l'ensemble des matrices admittance de transfert en court-circuit qui peuvent chacune annuler la diaphonie interne aux accès de sortie de l'amplificateur à accès d'entrée
20 multiples et accès de sortie multiples est défini par la condition

$$\mathbf{Y}_T \approx \mathbf{D} {}^t \mathbf{C}_C^{-1} \mathbf{G}_I \quad (12)$$

où \mathbf{D} est une matrice complexe diagonale, \mathbf{D} étant arbitraire et éventuellement dépendante de la fréquence. Ainsi, le concepteur peut concevoir un amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples tel que ladite matrice admittance de transfert en court-circuit soit le
25 produit d'une matrice diagonale et d'une matrice réelle indépendante de la fréquence. Une matrice admittance de transfert en court-circuit convenable peut être obtenue en utilisant un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série ou un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série ayant des entrées pseudo-différentielles.

INDICATIONS SUR LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Le récepteur pour transmission multivoie puce-à-puce en champ proche selon l'invention peut être utilisé comme récepteur dans les liaisons capacitives ou inductives utilisées pour la transmission de signal verticale entre les puces empilées d'un système dans un boîtier utilisant l'intégration tri-dimensionnelle.

Dans les trois modes de réalisation d'un dispositif selon l'invention présentés plus haut, le récepteur pour transmission multivoie puce-à-puce en champ proche selon l'invention procure $m = 4$ voies de transmission. Ceci n'est nullement une caractéristique de l'invention, car un récepteur pour transmission multivoie puce-à-puce en champ proche selon l'invention peut procurer un grand nombre de voies de transmission.

Le récepteur pour transmission multivoie puce-à-puce en champ proche selon l'invention est adapté à la réception de signaux analogiques et/ou de signaux numériques. Le récepteur pour transmission multivoie puce-à-puce en champ proche selon l'invention est adapté pour recevoir des signaux utilisant n'importe quel type de modulation.

Le récepteur pour transmission multivoie puce-à-puce en champ proche selon l'invention a l'avantage de réduire la diaphonie entre les voies de transmission, sur une large bande de fréquences. Le récepteur pour transmission multivoie puce-à-puce en champ proche selon l'invention a l'avantage d'augmenter le nombre de voies de transmission qui peuvent être créées dans une aire donnée. Le récepteur pour transmission multivoie puce-à-puce en champ proche selon l'invention a l'avantage d'augmenter la distance de transmission qui peut être obtenue dans une aire donnée.

REVENDEICATIONS

1. Récepteur d'un système de transmission multivoie en champ proche procurant m voies de transmission correspondant chacune à un signal à transmettre depuis un premier circuit intégré monolithique jusqu'à un deuxième circuit intégré monolithique, m étant un entier supérieur ou égal à 2, le premier circuit intégré monolithique et le deuxième circuit intégré monolithique étant structurellement combinés, le récepteur comportant :
- 5 n dispositifs de couplage (211) (212) (213) (214) réalisés dans le deuxième circuit intégré monolithique, n étant un entier supérieur ou égal à m ;
- un amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (23), ledit amplificateur
- 10 à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples étant réalisé dans le deuxième circuit intégré monolithique, ledit amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (23) ayant n accès d'entrée et m accès de sortie, chacun des dits accès d'entrée étant connecté à un et un seul des dits dispositifs de couplage (211) (212) (213) (214), chacun des dits dispositifs de couplage (211) (212) (213) (214) étant connecté à
- 15 un et un seul des dits accès d'entrée, ledit amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (23) ayant, lorsque ledit amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (23) est dans l'état activé, pour des petits signaux, à chaque fréquence dans une bande de fréquences utilisée pour la transmission, une matrice admittance de transfert en court-circuit, ladite matrice admittance de transfert
- 20 en court-circuit étant une matrice complexe de taille $m \times n$, au moins deux éléments de chaque ligne de ladite matrice admittance de transfert en court-circuit étant différents de zéro.
2. Récepteur selon la revendication précédente, dans lequel au moins un des dits dispositifs de couplage (211) (212) (213) (214) est sensible aux variations du champ électrique.
- 25 3. Récepteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au moins un des dits dispositifs de couplage (211) (212) (213) (214) est sensible aux variations du champ magnétique.
4. Récepteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au moins deux éléments de chaque ligne de ladite matrice admittance de transfert en court-circuit sont
- 30 significativement différents de zéro.
5. Récepteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à chaque fréquence dans ladite bande de fréquences utilisée pour la transmission, dans chaque ligne de ladite matrice admittance de transfert en court-circuit, au moins un élément différent de

l'élément ayant le plus grand module a un module plus grand que 1/100 multiplié par le module de l'élément ayant le plus grand module.

6. Récepteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite matrice admittance de transfert en court-circuit est le produit d'une matrice diagonale et d'une matrice réelle indépendante de la fréquence.
7. Récepteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les dits n dispositifs de couplage (211) (212) (213) (214) sont utilisés pour émettre un champ électrique ou un champ magnétique, en tant que parties d'un système de transmission en champ proche procurant une ou plusieurs voies de transmission correspondant chacune à un signal à transmettre depuis le deuxième circuit intégré monolithique jusqu'au premier circuit intégré monolithique.
8. Récepteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (23) utilise une rétroaction procurant, à chaque fréquence dans ladite bande de fréquences utilisée pour la transmission, une matrice admittance de transfert en court-circuit telle que au moins deux éléments de chaque ligne de ladite matrice admittance de transfert en court-circuit sont significativement différents de zéro.
9. Récepteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (23) comporte un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série.
10. Récepteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'amplificateur à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (23) comporte un amplificateur à entrées multiples et sorties multiples à rétroaction série-série ayant des entrées pseudo-différentielles.

1 / 5

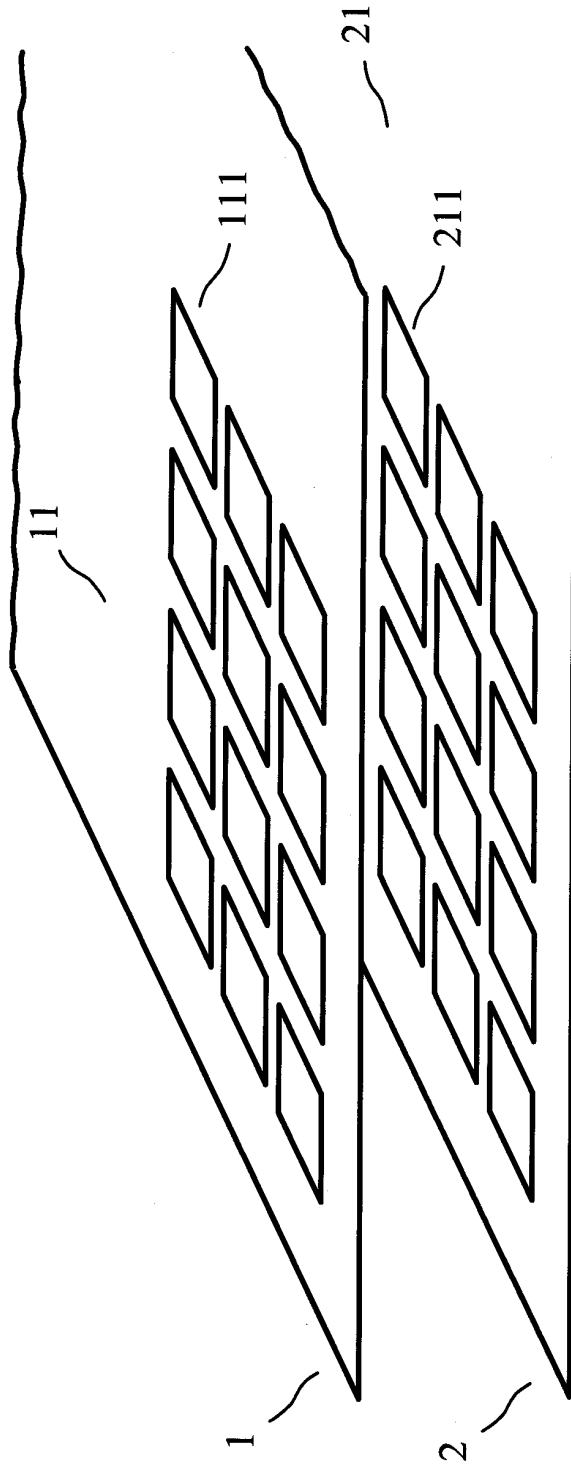


FIG. 1

2 / 5

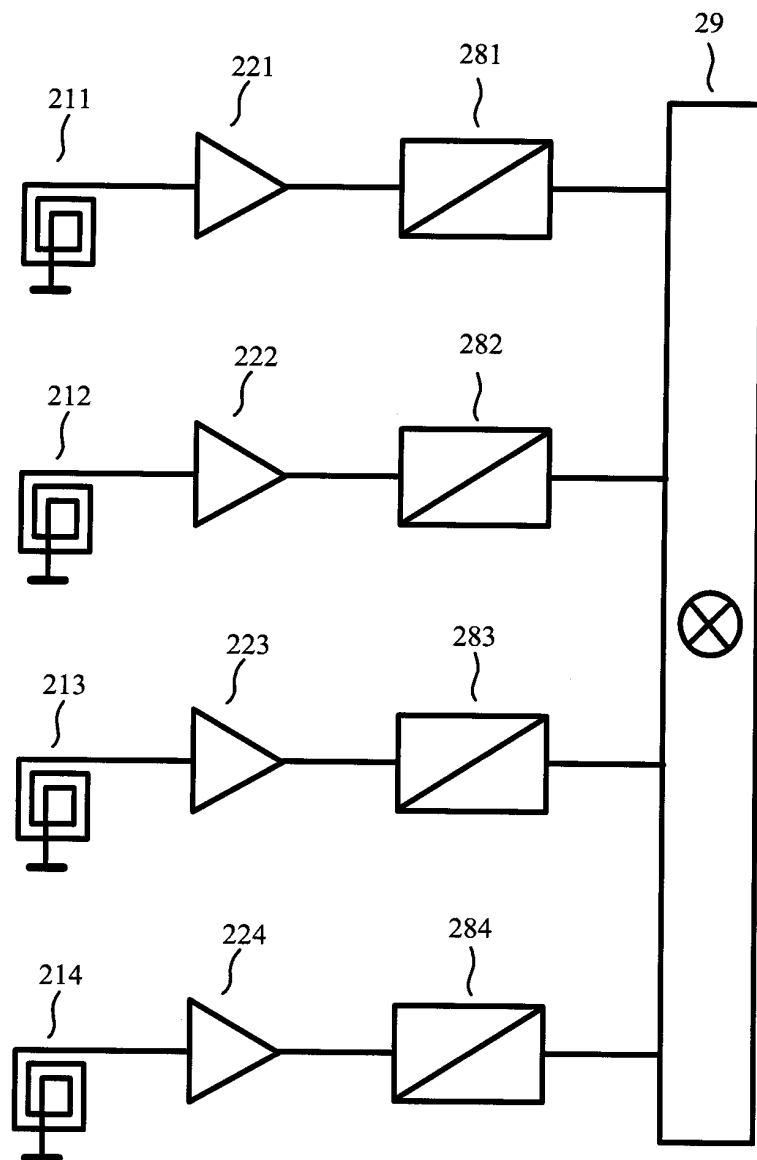


FIG. 2

3 / 5

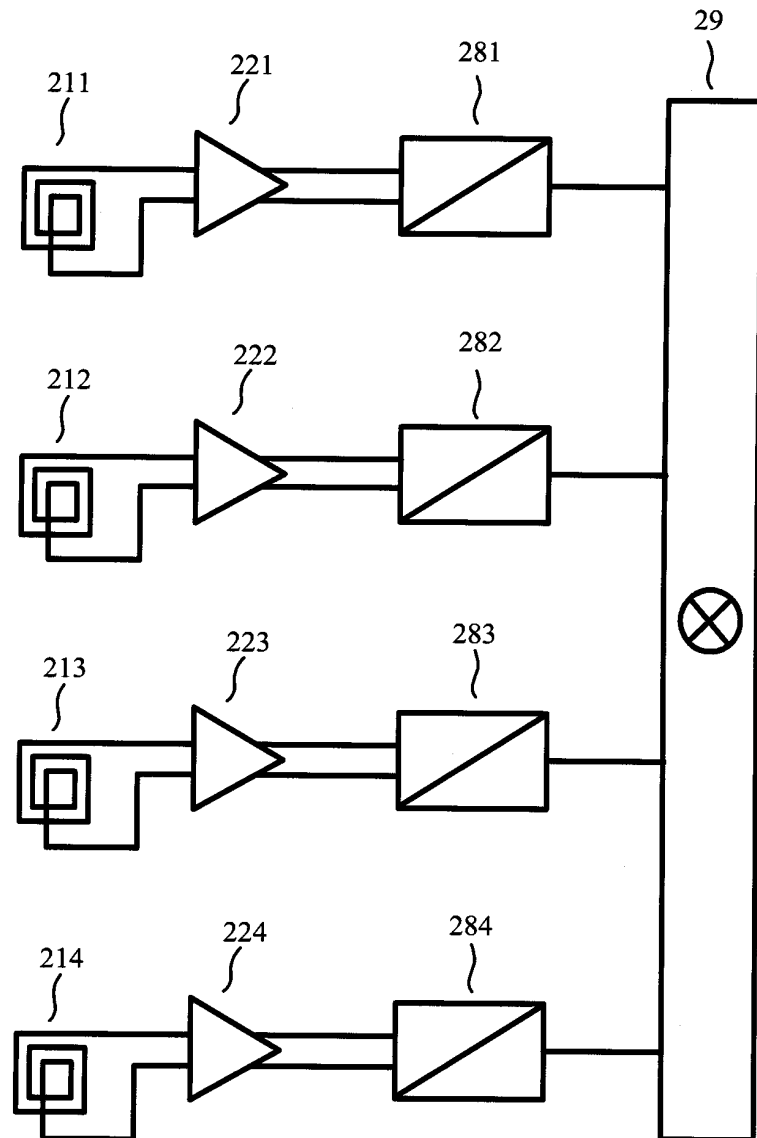


FIG. 3

4 / 5

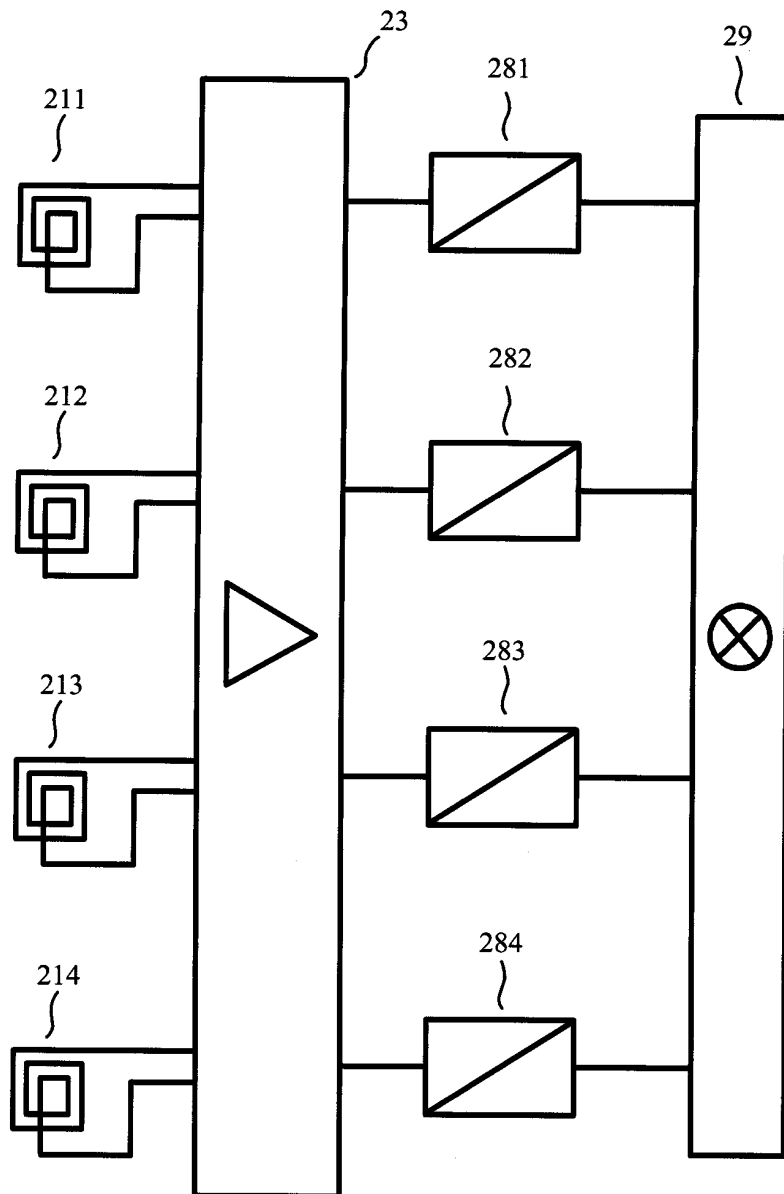


FIG. 4

5 / 5

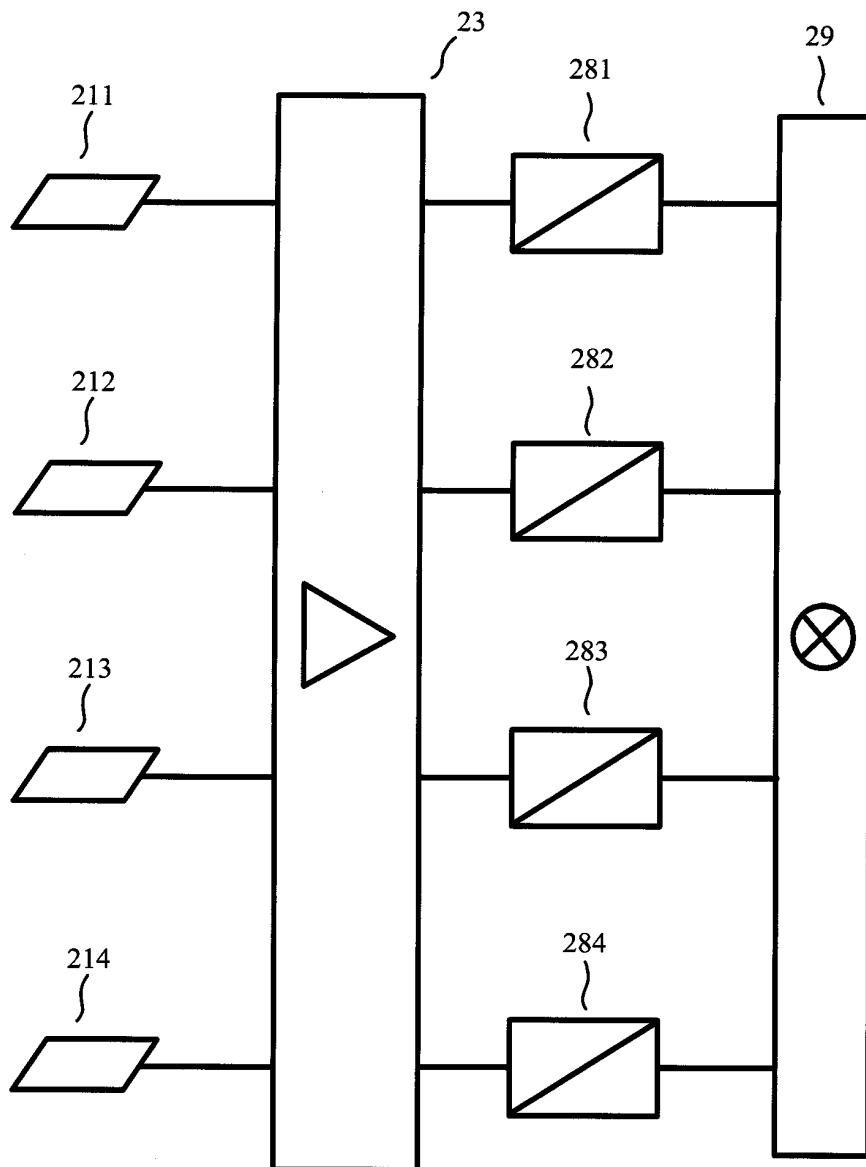


FIG. 5

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**

WO 2010/004448 A1 (EXCEM [FR]; BROYDE FREDERIC [FR]; CLAVELIER EVELYNE [FR])
14 janvier 2010 (2010-01-14)

FR 2 933 556 A1 (EXCEM [FR])
8 janvier 2010 (2010-01-08)

**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