

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 045 956**

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

②① N° d'enregistrement national : **15 02633**

⑤① Int Cl⁸ : **H 01 Q 21/00** (2017.01), H 04 B 7/04

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PROCÉDE POUR REGLER AUTOMATIQUEMENT DES ANTENNES PASSIVES ACCORDABLES ET RESEAU D'ANTENNES AUTOMATIQUEMENT ACCORDABLE UTILISANT CE PROCÉDE.

②② Date de dépôt : 17.12.15.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 23.06.17 Bulletin 17/25.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 01.12.17 Bulletin 17/48.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥① Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

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

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

⑦③ Titulaire(s) : *TEKCEM Société par actions simplifiée.*

⑦④ Mandataire(s) : *TEKCEM.*

FR 3 045 956 - B1



Procédé pour régler automatiquement des antennes passives accordables et réseau d'antennes automatiquement accordable utilisant ce procédé

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5 L'invention concerne un procédé pour régler automatiquement une pluralité d'antennes passives accordables, par exemple une pluralité d'antennes passives accordables d'un émetteur radio utilisant plusieurs antennes simultanément. L'invention concerne aussi un réseau d'antennes automatiquement accordable utilisant ce procédé.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

10 Une antenne passive accordable comporte au moins un dispositif de contrôle d'antenne ayant au moins un paramètre ayant un effet sur une ou plusieurs caractéristiques de ladite antenne passive accordable, ledit au moins un paramètre étant réglable, par exemple par moyen électrique. Régler une antenne passive accordable signifie régler au moins un dit au moins un paramètre. Chacune des dites une ou plusieurs caractéristiques peut par exemple être une

15 caractéristique électrique telle qu'une impédance à une fréquence spécifiée, ou une caractéristique électromagnétique telle qu'un diagramme de directivité à une fréquence spécifiée. Une antenne passive accordable peut aussi être appelée "antenne reconfigurable" (en anglais : "reconfigurable antenna"). Certains auteurs considèrent trois classes d'antenne passive accordable : les antennes agiles en polarisation (en anglais : "polarization-agile antennas"), les

20 antennes à diagramme reconfigurable (en anglais : "pattern-reconfigurable antennas") et les antennes agiles en fréquence (en anglais : "frequency-agile antennas". L'état de l'art concernant les antennes agiles en fréquence est par exemple décrit dans l'article de A. Petosa intitulé "An Overview of Tuning Techniques for Frequency-Agile Antennas", publié dans *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 54, No. 5, en octobre 2012. Comme expliqué dans cet article,

25 de nombreux types de dispositif de contrôle d'antenne peuvent être utilisés pour contrôler une ou plusieurs caractéristiques d'une antenne passive accordable. Un dispositif de contrôle d'antenne peut par exemple être :

- un interrupteur ou commutateur contrôlé électriquement, auquel cas un paramètre du dispositif de contrôle d'antenne ayant un effet sur une ou plusieurs caractéristiques de l'antenne

30 passive accordable peut être l'état de l'interrupteur ou commutateur ;

- un dispositif à impédance réglable, auquel cas un paramètre du dispositif de contrôle d'antenne ayant un effet sur une ou plusieurs caractéristiques de l'antenne passive accordable peut être la réactance ou l'impédance, à une fréquence spécifiée, du dispositif à impédance réglable ; ou

- un actionneur disposé pour produire une déformation mécanique de l'antenne passive accordable, auquel cas un paramètre du dispositif de contrôle d'antenne ayant un effet sur une ou plusieurs caractéristiques de l'antenne passive accordable peut être une longueur de la déformation.

5 Si un dispositif de contrôle d'antenne est un interrupteur ou commutateur contrôlé électriquement, il peut par exemple être un relais électromécanique, ou un interrupteur micro-électromécanique (en anglais: "MEMS switch"), ou un circuit utilisant une ou plusieurs diodes PIN ou un ou plusieurs transistors à effet de champ à grille isolée (MOSFETs) comme dispositifs de commutation.

10 Un dispositif à impédance réglable est un composant comprenant deux bornes qui se comportent sensiblement comme les bornes d'un bipôle linéaire passif, et qui sont par conséquent complètement caractérisées par une impédance qui peut dépendre de la fréquence, cette impédance étant réglable.

Un dispositif à impédance réglable ayant une réactance réglable par moyen électrique peut être tel qu'il procure seulement, à une fréquence donnée, un ensemble fini de valeurs de réactance, cette caractéristique étant par exemple obtenue si le dispositif à impédance réglable est :

20 - un réseau comportant une pluralité de condensateurs ou de tronçons de ligne de transmission en circuit ouvert et un ou plusieurs interrupteurs ou commutateurs contrôlés électriquement, comme des relais électromécaniques, ou des interrupteurs micro-électromécaniques, ou des diodes PIN ou des transistors à effet de champ à grille isolée, utilisés pour faire contribuer différents condensateurs ou différents tronçons de ligne de transmission en circuit ouvert du réseau à la réactance ; ou

25 - un réseau comportant une pluralité de bobines ou de tronçons de ligne de transmission en court-circuit et un ou plusieurs interrupteurs ou commutateurs contrôlés électriquement utilisés pour faire contribuer différentes bobines ou différents tronçons de ligne de transmission en court-circuit du réseau à la réactance.

Un dispositif à impédance réglable ayant une réactance réglable par moyen électrique peut être tel qu'il procure, à une fréquence donnée, un ensemble continu de valeurs de réactance, cette caractéristique étant par exemple obtenue si le dispositif à impédance réglable est basé sur l'utilisation d'une diode à capacité variable ; ou d'un composant MOS à capacité variable (en anglais: "MOS varactor") ; ou d'un composant microélectromécanique à capacité variable (en anglais: "MEMS varactor") ; ou d'un composant ferroélectrique à capacité variable (en anglais: "ferroelectric varactor").

35 De nombreux procédés existent pour régler automatiquement une unique antenne passive accordable, par exemple les procédés divulgués dans le brevet des États-Unis d'Amérique numéro 8,063,839 intitulé "Tunable antenna system", et dans le brevet des États-Unis d'Amérique numéro 8,325,097 intitulé "Adaptively tunable antennas and method of operation

therefore”. De tels procédés ne peuvent être utilisés pour régler automatiquement une pluralité d’antennes passives accordables, lorsque les interactions entre les antennes passives accordables ne sont pas négligeables.

Un procédé pour régler automatiquement une pluralité d’antennes passives accordables est divulgué dans le brevet des États-Unis d’Amérique numéro 8,102,830 intitulé “MIMO Radio Communication Apparatus and Method”, dans lequel chaque antenne passive accordable comporte une antenne principale qui est connectée à l’accès signal de ladite chaque antenne passive accordable, et au moins deux antennes auxiliaires. Chacune des antennes auxiliaires est connectée à un dispositif à impédance réglable, chacun des dispositifs à impédance réglable ayant une réactance qui est réglable par moyen électrique. Chacune des antennes passives accordables peut être considérée comme une antenne à diagramme reconfigurable. Ce procédé est seulement applicable à un récepteur radio utilisant une pluralité d’antennes simultanément pour de la réception radio MIMO.

Un procédé pour régler automatiquement une pluralité d’antennes passives accordables est divulgué dans la demande de brevet français numéro 14/00666 du 20 mars 2014, qui correspond à la demande PCT numéro PCT/IB2015/051644 du 6 mars 2015 (WO 2015/140660). Dans ce procédé, une instruction d’accord a un effet sur chaque paramètre d’une pluralité d’antennes passives accordables. Ce procédé est applicable à un récepteur radio utilisant une pluralité d’antennes simultanément et à un émetteur radio utilisant une pluralité d’antennes simultanément. Ce procédé peut être utilisé lorsque les interactions entre les antennes passives accordables ne sont pas négligeables. En particulier, le neuvième mode de réalisation de la demande de brevet français numéro 14/00666 et de la demande PCT numéro PCT/IB2015/051644 divulgue une mise en oeuvre particulière de ce procédé, qui est applicable à un émetteur radio connecté à m accès radio d’un appareil d’accord d’antenne couplé aux antennes passives accordables, où m est un entier supérieur ou égal à 2. Dans cette mise en oeuvre, l’instruction d’accord est une fonction de q quantités réelles dépendantes d’une matrice impédance présentée par les accès radio, où q est un entier supérieur ou égal à m , ces q quantités réelles étant estimées en utilisant au moins m excitations différentes appliquées successivement aux accès radio. Malheureusement, cette technique n’est habituellement pas compatible avec la spécification d’un émetteur radio utilisé pour des communications radio MIMO, parce que la génération d’une séquence d’au moins m excitations différentes entraîne l’émission d’ondes électromagnétiques, qui n’est habituellement pas compatible avec les exigences de tous les modes d’émission MIMO des normes applicables, par exemple les normes LTE-Advanced.

Ainsi, il n’y a pas de solution connue au problème de régler automatiquement la pluralité d’antennes passives accordables couplées à un émetteur radio utilisé pour des communications radio MIMO, d’une façon qui respecte les normes typiquement applicables aux réseaux radio MIMO.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention a pour objet un procédé pour régler automatiquement une pluralité d'antennes passives accordables, dépourvus des limitations mentionnées ci-dessus des techniques connues, et aussi un réseau d'antennes automatiquement accordable utilisant ce procédé.

5 Dans la suite, "ayant une influence" et "ayant un effet" ont le même sens.

Le procédé selon l'invention est un procédé pour accorder automatiquement n antennes passives accordables, où n est un entier supérieur ou égal à 2, chacune des n antennes passives accordables comportant au moins un dispositif de contrôle d'antenne, une ou plusieurs caractéristiques de ladite chacune des n antennes passives accordables étant contrôlées en
10 utilisant ledit au moins un dispositif de contrôle d'antenne, ledit au moins un dispositif de contrôle d'antenne ayant au moins un paramètre ayant une influence sur les dites une ou plusieurs caractéristiques, ledit au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique, le procédé comportant les étapes suivantes :

appliquer des excitations à m accès utilisateur, où m est un entier supérieur ou égal à 2, une
15 et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur, les excitations n'étant pas appliquées successivement, les m accès utilisateur présentant, à une fréquence donnée, une matrice impédance appelée "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur" et notée Z_U ;

estimer q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès
20 utilisateur, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les dites m excitations ;
utiliser les dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, pour obtenir des "signaux de contrôle d'accord" ; et

appliquer chacun des signaux de contrôle d'accord à au moins un des dispositifs de contrôle
25 d'antenne, chacun des dits paramètres étant principalement déterminé par au moins un des signaux de contrôle d'accord.

Dans la phrase précédente, "chacun des dits paramètres" signifie clairement "chaque dit au moins un paramètre de chaque dit au moins un dispositif de contrôle d'antenne de chacune des
30 n antennes passives accordables". Selon l'invention, la fréquence donnée est par exemple une fréquence supérieure ou égale à 150 kHz. Le spécialiste comprend que la matrice impédance présentée par les accès utilisateur est une matrice complexe carrée d'ordre m .

Chacune des n antennes passives accordables a un accès, appelé "l'accès signal de l'antenne", comportant deux bornes, qui peut être utilisé pour recevoir et/ou pour émettre des ondes électromagnétiques. Chacune des n antennes passives accordables comporte au moins un dispositif de contrôle d'antenne, qui peut comporter une ou plusieurs autres bornes utilisées pour
35 d'autres connexions électriques. Il est supposé que chacune des n antennes passives accordables se comporte, à la fréquence donnée, par rapport à l'accès signal de l'antenne, sensiblement comme une antenne passive, c'est-à-dire comme une antenne qui est linéaire et qui n'utilise pas

d'amplificateur pour amplifier des signaux reçus par l'antenne ou émis par l'antenne. En conséquence de la linéarité, il est possible de définir une matrice impédance présentée par les antennes passives accordables, dont la définition ne considère, pour chacune des antennes passives accordables, que l'accès signal de l'antenne. Cette matrice est par conséquent une

5 matrice carrée d'ordre n . Du fait des interactions entre les antennes passives accordables, cette matrice n'est pas nécessairement diagonale. En particulier, l'invention peut être telle que cette matrice n'est pas une matrice diagonale.

Comme dit plus haut dans la section sur l'état de la technique antérieure, chacune des dites une ou plusieurs caractéristiques peut par exemple être une caractéristique électrique telle

10 qu'une impédance à une fréquence spécifiée, ou une caractéristique électromagnétique telle qu'un diagramme de directivité à une fréquence spécifiée.

Comme expliqué ci-dessous dans la présentation du premier mode de réalisation, chacune des n antennes passives accordables peut par exemple être couplée, directement ou indirectement, à un et un seul des accès utilisateur. Plus précisément, pour chacune des n

15 antennes passives accordables, l'accès signal de l'antenne peut par exemple être couplé, directement ou indirectement, à un et un seul des accès utilisateur. Par exemple, un couplage indirect peut être un couplage à travers une liaison d'antenne et/ou à travers un coupleur directionnel, et/ou à travers une unité de détection. Comme expliqué ci-dessous dans la présentation du septième mode de réalisation, il est par exemple possible que chacune des n

20 antennes passives accordables soit couplée, directement ou indirectement, à au moins un des accès utilisateur, et qu'au moins une des n antennes passives accordables soit couplée, directement ou indirectement, à au moins deux des accès utilisateur. Plus précisément, il est par exemple possible que :

(a) pour chacune des n antennes passives accordables, l'accès signal de l'antenne soit couplé, directement ou indirectement, à au moins un des accès utilisateur; et (b)

25 pour au moins une des n antennes passives accordables, l'accès signal de l'antenne soit couplé, directement ou indirectement, à au moins deux des accès utilisateur.

Une et une seule des excitations est appliquée à chacun des m accès utilisateur, si bien qu'il y a m excitations appliquées aux accès utilisateur. Ces m excitations ne sont pas appliquées successivement, c'est-à-dire: les m excitations ne sont pas appliquées l'une après l'autre. Ainsi,

30 il est par exemple possible qu'au moins deux des excitations soient appliquées simultanément. Ainsi, il est par exemple possible que les m excitations soient appliquées simultanément.

Selon l'invention, chacune des excitations peut par exemple être un signal passe-bande (en anglais : "bandpass signal"). Ce type de signal est parfois incorrectement appelé "signal bande passante" (de l'anglais "passband signal") ou "signal bande étroite" (en anglais : "narrow-band

35 signal"). Un signal passe-bande est n'importe quel signal réel $s(t)$, où t désigne le temps, tel que le spectre de $s(t)$ est inclus dans un intervalle de fréquences $[f_c - W/2, f_c + W/2]$, où f_c est une fréquence appelée la "fréquence porteuse" et où W est une fréquence appelée "largeur de bande", qui satisfait $W < 2 f_c$. Ainsi, la transformée de Fourier de $s(t)$, notée $S(f)$, est non

négligeable seulement à l'intérieur des intervalles de fréquences $[-f_c - W/2, -f_c + W/2]$ et $[f_c - W/2, f_c + W/2]$. L'enveloppe complexe du signal réel $s(t)$, appelée en anglais "complex envelope" ou "complex baseband equivalent" ou encore "baseband-equivalent signal", est un signal complexe $s_B(t)$ dont la transformée de Fourier $S_B(f)$ est non négligeable seulement dans l'intervalle de fréquences $[-W/2, W/2]$ et satisfait $S_B(f) = k S(f_c + f)$ dans cet intervalle, où k est une constante réelle qui est choisie égale à la racine carrée de 2 par certains auteurs. La partie réelle de $s_B(t)$ est appelée la composante en phase, et la partie imaginaire de $s_B(t)$ est appelée la composante en quadrature. Le spécialiste sait que le signal passe-bande $s(t)$ peut par exemple être obtenu :

- 10 - comme résultat de la modulation en phase et en amplitude d'une unique porteuse à la fréquence f_c ;
- comme une combinaison linéaire d'un premier signal et d'un second signal, le premier signal étant le produit de la composante en phase et d'une première porteuse sinusoïdale de fréquence f_c , le second signal étant le produit de la composante en quadrature et d'une seconde porteuse sinusoïdale de fréquence f_c , la seconde porteuse sinusoïdale étant déphasée de 90° par rapport à la première porteuse sinusoïdale ;
- 15 - d'autres façons, par exemple sans utiliser aucune porteuse, par exemple en utilisant directement une sortie filtrée d'un convertisseur numérique-analogique.

L'intervalle de fréquences $[f_c - W/2, f_c + W/2]$ est une bande passante du signal passe-bande. Selon les définitions, il est clair que, pour un signal passe-bande donné, plusieurs choix de fréquence porteuse f_c et de largeur de bande W sont possibles, si bien que la bande passante du signal passe-bande n'est pas définie de façon unique. Cependant, toute bande passante du signal passe-bande doit contenir toute fréquence à laquelle le spectre de $s(t)$ n'est pas négligeable.

25 Selon l'invention, chacune des excitations pourrait par exemple être un signal passe-bande, le signal passe-bande ayant une bande passante qui contient ladite fréquence donnée. Dans ce cas, il serait possible de considérer que ladite fréquence donnée est une fréquence porteuse. Ainsi, dans ce cas, chacune des excitations pourrait par exemple être obtenue :

- comme résultat de la modulation en phase et en amplitude d'une unique porteuse à ladite fréquence donnée ;
- 30 - comme une combinaison linéaire d'un premier signal et d'un second signal, le premier signal étant le produit de la composante en phase et d'une première porteuse sinusoïdale à ladite fréquence donnée, le second signal étant le produit de la composante en quadrature et d'une seconde porteuse sinusoïdale à ladite fréquence donnée ;
- 35 - d'autres façons, par exemple sans utiliser aucune porteuse.

L'enveloppe complexe du signal réel $s(t)$ dépend clairement du choix d'une fréquence porteuse f_c . Cependant, pour une fréquence porteuse donnée, l'enveloppe complexe du signal réel $s(t)$ est définie de façon unique, pour un choix donné de la constante réelle k .

Selon l'invention, pour un choix donné de la constante réelle k , il est possible que, ladite fréquence donnée étant considérée comme une fréquence porteuse, chacune des excitations ait une et une seule enveloppe complexe, les m enveloppes complexes des m excitations étant linéairement indépendantes dans l'ensemble des fonctions complexes d'une variable réelle, considéré comme un espace vectoriel sur le corps des nombres complexes. Il a été découvert que cette caractéristique peut être utilisée de manière telle que les effets de chacune des excitations peuvent être identifiés avec un traitement du signal convenable, comme si les excitations avaient été appliquées successivement aux accès utilisateurs, si bien que, comme expliqué ci-dessous dans la présentation du premier mode de réalisation, les dites m excitations peuvent être utilisées pour estimer les q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Le spécialiste comprend que cette caractéristique du procédé selon l'invention ne peut pas être obtenue avec une pluralité d'appareils pour régler automatiquement une unique antenne passive accordable, utilisée pour régler automatiquement une pluralité d'antennes passives accordables, comme mentionné plus haut dans la section sur l'état de la technique antérieure. Le spécialiste comprend aussi que cette caractéristique du procédé selon l'invention évite les interférences qui font échouer le fonctionnement d'une pluralité d'appareils pour régler automatiquement une unique antenne passive accordable, utilisée pour régler automatiquement une pluralité d'antennes passives accordables, dans le cas où les interactions entre les antennes passives accordables ne sont pas très petites. De plus, comme discuté ci-dessous dans la présentation du premier mode de réalisation, cette caractéristique est compatible avec les exigences de spécifications typiques d'émetteurs radio utilisés pour des communications radio MIMO, parce que la génération d'excitations ayant cette caractéristique est compatible avec les exigences des normes typiquement applicables aux réseaux radio MIMO. Par exemple, cette caractéristique est compatible avec tous les modes d'émission MIMO des normes LTE-Advanced. Par conséquent, l'invention surmonte les limitations mentionnées ci-dessus des techniques connues.

Selon l'invention, pour un choix donné de la constante réelle k , il est possible que, ladite fréquence donnée étant considérée comme une fréquence porteuse, chacune des excitations ait une et une seule enveloppe complexe, les m enveloppes complexes étant orthogonales les unes aux autres pour un produit scalaire donné.

Selon l'invention, chacune des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur peut par exemple être une quantité réelle représentative de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur.

Selon l'invention, chacune des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur peut par exemple être sensiblement proportionnelle au module, ou à la phase, ou à la partie réelle, ou à la partie imaginaire d'un élément de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, ou d'un élément de l'inverse de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur (c'est-à-dire, la matrice admittance présentée par

les accès utilisateur), ou d'un élément d'une matrice des coefficients de réflexion en tension aux accès utilisateur, définie comme étant égale à $(\mathbf{Z}_U - \mathbf{Z}_O) (\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_O)^{-1}$, où \mathbf{Z}_O est une matrice impédance de référence.

Le spécialiste comprend que les signaux de contrôle d'accord ont un effet sur chacun des
5 dits paramètres, si bien qu'ils peuvent avoir une influence sur la matrice impédance présentée
par les accès utilisateur. Selon l'invention, il est possible que les signaux de contrôle d'accord
soient tels que la matrice impédance présentée par les accès utilisateur réduise ou minimise une
norme de l'image de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur par une fonction
10 matricielle, la fonction matricielle étant une fonction d'un ensemble de matrices complexes
carrées vers le même ensemble de matrices complexes carrées. Par exemple, cette norme peut
être une norme vectorielle ou une norme matricielle. Par exemple, si nous définissons une
matrice impédance recherchée, la matrice impédance recherchée étant notée \mathbf{Z}_W , ladite fonction
matricielle peut être définie par

$$f(\mathbf{Z}_U) = \mathbf{Z}_U - \mathbf{Z}_W \quad (1)$$

15 l'image de \mathbf{Z}_U par la fonction matricielle étant dans ce cas une différence de matrices
impédance, ou définie par

$$f(\mathbf{Z}_U) = \mathbf{Z}_U^{-1} - \mathbf{Z}_W^{-1} \quad (2)$$

l'image de \mathbf{Z}_U par la fonction matricielle étant dans ce cas une différence de matrices
admittance, ou définie par

$$20 \quad f(\mathbf{Z}_U) = (\mathbf{Z}_U - \mathbf{Z}_W) (\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_W)^{-1} \quad (3)$$

l'image de \mathbf{Z}_U par la fonction matricielle étant dans ce cas une matrice des coefficients de
réflexion en tension aux accès utilisateur. Nous notons que chacune de ces fonctions matricielles
est telle que $f(\mathbf{Z}_W)$ est une matrice nulle, si bien que la norme de $f(\mathbf{Z}_W)$ est nulle.

Un appareil mettant en oeuvre le procédé selon l'invention est un réseau d'antennes
25 automatiquement accordable ayant m "accès utilisateur", où m est un entier supérieur ou égal
à 2, les m accès utilisateur présentant, à une fréquence donnée, une matrice impédance appelée
"la matrice impédance présentée par les accès utilisateur" et notée \mathbf{Z}_U , le réseau d'antennes
automatiquement accordable comportant :

n antennes passives accordables, où n est un entier supérieur ou égal à 2, chacune des n
30 antennes passives accordables comportant au moins un dispositif de contrôle
d'antenne, une ou plusieurs caractéristiques de ladite chacune des n antennes passives
accordables étant contrôlées en utilisant ledit au moins un dispositif de contrôle
d'antenne, ledit au moins un dispositif de contrôle d'antenne ayant au moins un
paramètre ayant une influence sur les dites une ou plusieurs caractéristiques, ledit au
35 moins un paramètre étant réglable par moyen électrique ;

au moins m unités de détection, chacune des unités de détection délivrant un ou plusieurs
 “signaux de sortie d’unité de détection”, chacun des signaux de sortie d’unité de
 détection étant principalement déterminé par une ou plusieurs variables électriques ;
 une unité de traitement du signal, l’unité de traitement du signal estimant q quantités réelles
 5 dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, où q est un
 entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d’unité de détection
 obtenus pour m excitations appliquées aux accès utilisateur, une et une seule des
 excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur, les m excitations n’étant pas
 appliquées successivement, l’unité de traitement du signal délivrant une “instruction
 10 d’accord” en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice
 impédance présentée par les accès utilisateur ; et
 une unité de contrôle d’accord, l’unité de contrôle d’accord recevant l’instruction d’accord
 de l’unité de traitement du signal, l’unité de contrôle d’accord délivrant des “signaux
 de contrôle d’accord” aux antennes passives accordables, les signaux de contrôle
 15 d’accord étant déterminés en fonction de l’instruction d’accord, chacun des dits
 paramètres étant principalement déterminé par au moins un des signaux de contrôle
 d’accord.

Dans la phrase précédente, “chacun des dits paramètres” signifie clairement “chaque dit au
 moins un paramètre de chaque dit au moins un dispositif de contrôle d’antenne de chacune des
 20 n antennes passives accordables”.

Les m excitations ne sont pas appliquées successivement, c’est-à-dire: les m excitations ne
 sont pas appliquées l’une après l’autre. Ainsi, il est par exemple possible qu’au moins deux des
 excitations soient appliquées simultanément.

Il est par exemple possible que chacune des excitations soit un signal passe-bande. Il est par
 25 exemple possible que chacun de ces signaux passe-bande ait une bande passante qui contienne
 ladite fréquence donnée.

Par exemple, chacune des dites variables électriques peut être une tension, ou une tension
 incidente, ou une tension réfléchie, ou un courant, ou un courant incident, ou un courant réfléchi.
 Par exemple, chacune des dites variables électriques peut être captée (ou mesurée) à un des dits
 30 accès utilisateur.

Comme expliqué ci-dessus, il est par exemple possible que chacune des n antennes passives
 accordables soit couplée, directement ou indirectement, à un et un seul des accès utilisateur.
 Comme expliqué ci-dessus, il est par exemple possible que chacune des n antennes passives
 accordables soit couplée, directement ou indirectement, à au moins un des accès utilisateur, et
 35 qu’au moins une des n antennes passives accordables soit couplée, directement ou indirectement,
 à au moins deux des accès utilisateur.

Le spécialiste comprend que les antennes passives accordables peuvent être telles que les
 signaux de contrôle d’accord aient un effet sur la matrice impédance présentée par les accès

utilisateur, si bien qu'une structure de commande en boucle fermée (asservissement) existe parce que chacun des signaux de contrôle d'accord est déterminé en fonction des dites quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Le spécialiste comprend que le réseau d'antennes automatiquement accordable selon l'invention est adaptatif dans le sens
 5 où les dits paramètres sont modifiés au cours du temps en fonction des signaux de sortie d'unité de détection, qui sont chacun principalement déterminés par une ou plusieurs variables électriques.

Le spécialiste comprend que, si les signaux de contrôle d'accord ont un effet sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, l'instruction d'accord peut par exemple être
 10 déterminée comme étant une instruction d'accord qui, parmi un ensemble d'instructions d'accord possibles, produit une matrice impédance présentée par les accès utilisateur qui réduit ou minimise une norme de l'image de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur par une fonction matricielle, la fonction matricielle étant par exemple une des fonctions matricielles f telles que $f(\mathbf{Z}_U)$ est donné par l'équation (1) ou par l'équation (2) ou par
 15 l'équation (3). Le spécialiste comprend aussi que l'instruction d'accord peut par exemple être déterminée comme étant une instruction d'accord qui procure une matrice impédance présentée par les accès utilisateur qui est sensiblement égale à la matrice impédance recherchée, par exemple une instruction d'accord telle que $\mathbf{Z}_U = \mathbf{Z}_W$.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

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

- la figure 1 représente le schéma-bloc d'un réseau d'antennes automatiquement accordable selon l'invention, comportant 4 antennes passives accordables (premier
 25 mode de réalisation) ;
- la figure 2 représente le schéma-bloc d'un émetteur pour communication radio utilisant le réseau d'antennes automatiquement accordable montré sur la figure 1 (premier mode de réalisation) ;
- la figure 3 représente une première antenne passive accordable, qui comporte un seul
 30 dispositif de contrôle d'antenne (deuxième mode de réalisation) ;
- la figure 4 représente une deuxième antenne passive accordable, qui comporte trois dispositifs de contrôle d'antenne (troisième mode de réalisation) ;
- la figure 5 représente une troisième antenne passive accordable, qui comporte quatre
 dispositifs de contrôle d'antenne (quatrième mode de réalisation) ;
- 35 - la figure 6 représente une quatrième antenne passive accordable, qui comporte un seul dispositif de contrôle d'antenne (cinquième mode de réalisation) ;

- la figure 7 représente le schéma-bloc d'un réseau d'antennes automatiquement accordable selon l'invention, comportant 4 antennes passives accordables et un réseau d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (sixième mode de réalisation) ;
- 5 - la figure 8 représente le schéma-bloc d'un émetteur pour communication radio utilisant le réseau d'antennes automatiquement accordable montré sur la figure 7 (sixième mode de réalisation) ;
- la figure 9 représente le schéma-bloc d'un réseau d'antennes automatiquement accordable selon l'invention, comportant 4 antennes passives accordables et une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (septième mode de réalisation) ;
- 10 - la figure 10 représente le schéma-bloc d'un émetteur pour communication radio utilisant le réseau d'antennes automatiquement accordable montré sur la figure 9 (septième mode de réalisation) ;
- 15 - la figure 11 représente le schéma-bloc d'un réseau d'antennes automatiquement accordable selon l'invention, comportant 4 antennes passives accordables et une unité de commutation (huitième mode de réalisation) ;
- la figure 12 représente le schéma-bloc d'un émetteur pour communication radio utilisant le réseau d'antennes automatiquement accordable montré sur la figure 11 (huitième mode de réalisation).
- 20

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE CERTAINS MODES DE RÉALISATION

Premier mode de réalisation.

Au titre d'un premier mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 1 le schéma-bloc d'un réseau d'antennes automatiquement accordable ayant $m = 4$ accès utilisateur (912) (922) (932) (942), les m accès utilisateur présentant, à une fréquence donnée supérieure ou égale à 30 MHz, une matrice impédance appelée "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur" et notée \mathbf{Z}_U , le réseau d'antennes automatiquement accordable comportant :

$n = m = 4$ antennes passives accordables (11) (12) (13) (14), les n antennes passives accordables opérant simultanément dans une bande de fréquences donnée, les n antennes passives accordables formant un réseau d'antennes à accès multiples (1), chacune des antennes passives accordables comportant au moins un dispositif de contrôle d'antenne, une ou plusieurs caractéristiques de ladite chacune des antennes passives accordables étant contrôlées en utilisant ledit au moins un dispositif de contrôle d'antenne, ledit au moins un dispositif de contrôle d'antenne ayant au moins

un paramètre ayant un effet sur les dites une ou plusieurs caractéristiques, ledit au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique ;

m unités de détection (91) (92) (93) (94), chacune des unités de détection délivrant deux “signaux de sortie d’unité de détection”, chacun des signaux de sortie d’unité de détection étant déterminé par une variable électrique captée (ou mesurée) à un des accès utilisateur ;

n liaisons d’antenne (21) (22) (23) (24), chacune des liaisons d’antenne ayant une première extrémité couplée à un accès signal d’une et une seule des antennes passives accordables, chacune des liaisons d’antenne ayant une seconde extrémité couplée à un et un seul des accès utilisateur, à travers une et une seule des unités de détection ;

une unité de traitement du signal (8), l’unité de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d’unité de détection obtenus pour m excitations appliquées aux accès utilisateur, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur, chacune des excitations étant un signal passe-bande, l’unité de traitement du signal délivrant une “instruction d’accord” en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur ; et

une unité de contrôle d’accord (4), l’unité de contrôle d’accord recevant l’instruction d’accord de l’unité de traitement du signal (8), l’unité de contrôle d’accord délivrant des “signaux de contrôle d’accord” aux antennes passives accordables (11) (12) (13) (14), les signaux de contrôle d’accord étant déterminés en fonction de l’instruction d’accord, chacun des dits paramètres étant déterminé par au moins un des signaux de contrôle d’accord.

Chacune des unités de détection (91) (92) (93) (94) peut par exemple être telle que les deux signaux de sortie d’unité de détection délivrés par ladite chacune des unités de détection comportent : un premier signal de sortie d’unité de détection proportionnel à une première variable électrique, la première variable électrique étant une tension aux bornes d’un des accès utilisateur ; et un second signal de sortie d’unité de détection proportionnel à une seconde variable électrique, la seconde variable électrique étant un courant entrant dans ledit un des accès utilisateur. Ladite tension aux bornes d’un des accès utilisateur peut être une tension complexe et ledit courant entrant dans ledit un des accès utilisateur peut être un courant complexe. Alternativement, chacune des unités de détection (91) (92) (93) (94) peut par exemple être telle que les deux signaux de sortie d’unité de détection délivrés par ladite chacune des unités de détection comportent : un premier signal de sortie d’unité de détection proportionnel à une première variable électrique, la première variable électrique étant une tension incidente à un des accès utilisateur ; et un second signal de sortie d’unité de détection proportionnel à une seconde variable électrique, la seconde variable électrique étant une tension réfléchie au dit un

des accès utilisateur. Ladite tension incidente à un des accès utilisateur peut être une tension incidente complexe et ladite tension réfléchie au dit un des accès utilisateur peut être une tension réfléchie complexe.

Comme montré sur la figure 1, il est possible de considérer que chacune des unités de
5 détection (91) (92) (93) (94) inclut : un premier accès connecté à ladite seconde extrémité d'une des liaisons d'antenne ; et un deuxième accès qui est un des accès utilisateur (912) (922) (932) (942).

Chacune des variables électriques est sensiblement nulle si aucune excitation n'est appliquée
à un quelconque des accès utilisateur et si les antennes passives accordables ne sont pas excitées
10 par un champ électromagnétique incident.

Un dispositif externe a m accès de sortie, chacun des accès de sortie du dispositif externe
étant couplé à un et un seul des accès utilisateur, chacun des accès utilisateur étant couplé à un
et un seul des accès de sortie du dispositif externe. Le dispositif externe n'est pas montré sur la
figure 1. Le dispositif externe applique m excitations aux accès utilisateur et informe l'unité de
15 traitement du signal (8) de cette action. Une et une seule des excitations est appliquée à chacun
des accès utilisateur, au moins deux des excitations étant appliquées simultanément. Chacune
des dites m excitations est un signal passe-bande ayant une bande passante qui contient ladite
fréquence donnée. Ladite fréquence donnée étant considérée comme une fréquence porteuse,
chacune des excitations a une unique enveloppe complexe, les m enveloppes complexes étant
20 linéairement indépendantes dans E , où E est l'ensemble des fonctions complexes d'une variable
réelle, considéré comme un espace vectoriel sur le corps des nombres complexes.

Numérotons les accès utilisateur de 1 à m , et numérotons les excitations de 1 à m , de telle
façon que, si a est un entier supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , l'excitation numéro
 a est appliquée à l'accès utilisateur numéro a . Par exemple, si nous utilisons t pour désigner le
25 temps, les excitations peuvent être telles que, pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur
ou égal à m , l'excitation numéro a consiste en un courant $i_a(t)$, d'enveloppe complexe $i_{E_a}(t)$,
appliqué à l'accès utilisateur numéro a , les enveloppes complexes $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ étant
linéairement indépendantes dans E . Notons $\mathbf{i}_E(t)$ le vecteur-colonne des enveloppes complexes
 $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$. Notons $u_a(t)$ la tension aux bornes de l'accès utilisateur numéro a , et notons
30 $u_{E_a}(t)$ l'enveloppe complexe de $u_a(t)$. Notons $\mathbf{u}_E(t)$ le vecteur-colonne des enveloppes
complexes $u_{E_1}(t), \dots, u_{E_m}(t)$. Il est possible de montrer que, si la largeur de bande des enveloppes
complexes $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ est suffisamment étroite, nous avons

$$\mathbf{u}_E(t) = \mathbf{Z}_U \mathbf{i}_E(t) \quad (4)$$

Si nous considérons l'équation (4) pour une valeur fixée de t , alors les éléments de $\mathbf{u}_E(t)$ et
35 de $\mathbf{i}_E(t)$ sont des nombres complexes. Dans ce contexte, pour $m \geq 2$ il n'est pas possible de
résoudre (4) pour obtenir \mathbf{Z}_U en se basant sur la connaissance de $\mathbf{u}_E(t)$ et $\mathbf{i}_E(t)$ pour une valeur
fixée de t . Au contraire, si nous considérons l'équation (4) où t est une variable, alors les
éléments de $\mathbf{i}_E(t)$ sont des vecteurs linéairement indépendants de E . Ainsi, si nous notons S le

sous-espace vectoriel engendré par $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ dans E , nous trouvons que $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ est une base de S . Dans ce contexte, l'équation (4) enseigne que chaque élément de $\mathbf{u}_E(t)$ est un élément de S , et que, pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , les coordonnées du vecteur $u_{E_a}(t)$ dans la base $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ sont les éléments de la ligne a de \mathbf{Z}_U .

5 Puisque ces coordonnées sont uniques, l'équation (4) peut être utilisée pour calculer \mathbf{Z}_U en se basant sur la connaissance de $\mathbf{u}_E(t)$ et de $\mathbf{i}_E(t)$, où t est une variable. Ainsi, les effets des différentes excitations peuvent être identifiés avec un traitement du signal convenable, comme si les différentes excitations avaient été appliquées successivement aux accès utilisateur, si bien que les m excitations peuvent être utilisées pour estimer la matrice impédance présentée par les
 10 accès utilisateur, et toute quantité réelle dépendante de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Ainsi, m excitations qui ne sont pas appliquées successivement peuvent être utilisées dans l'invention, alors qu'elles ne peuvent pas être utilisées dans le procédé divulgué dans le neuvième mode de réalisation de ladite demande de brevet français numéro 14/00666 et de ladite demande PCT numéro PCT/IB2015/051644.

15 Nous venons juste de considérer, comme un exemple, le cas dans lequel les excitations sont telles que, pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , l'excitation numéro a consiste en un courant $i_a(t)$, d'enveloppe complexe $i_{E_a}(t)$, appliqué à l'accès utilisateur numéro a , les enveloppes complexes $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ étant linéairement indépendantes dans E . Alternativement les excitations pourraient par exemple être telles que, pour tout entier a
 20 supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , l'excitation numéro a consiste en une tension $u_a(t)$, d'enveloppe complexe $u_{E_a}(t)$, appliquée à l'accès utilisateur numéro a , les enveloppes complexes $u_{E_1}(t), \dots, u_{E_m}(t)$ étant linéairement indépendantes dans E . Dans ce cas, en utilisant une démonstration similaire à celle présentée ci-dessus pour des courants appliqués, nous pouvons montrer que les effets des différentes excitations peuvent être identifiés avec un
 25 traitement du signal convenable, comme si les différentes excitations avaient été appliquées successivement aux accès utilisateur, si bien que les m excitations peuvent être utilisées pour estimer la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, et toute quantité réelle dépendante de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur.

Nous observons que, dans les normes typiquement applicables aux réseaux radio MIMO,
 30 des signaux ayant des enveloppes complexes qui sont linéairement indépendantes dans E sont utilisés comme signaux de référence (aussi appelés signaux pilote) pour l'estimation du canal MIMO. Nous voyons que ces signaux utilisés comme signaux de référence, s'ils sont appliqués aux accès utilisateurs, peuvent être utilisés comme des excitations ayant des enveloppes complexes qui sont linéairement indépendantes dans E . Par conséquent, ce premier mode de
 35 réalisation est compatible avec les exigences des normes typiquement applicables aux réseaux radio MIMO.

Le spécialiste comprend comment l'unité de traitement du signal (8) peut utiliser les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour les m excitations appliquées aux accès utilisateur,

les m excitations étant des signaux passe-bande ayant des enveloppes complexes qui sont linéairement indépendantes dans E , pour estimer q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Dans ce premier mode de réalisation, $q = 2m^2$ et les q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur déterminent complètement la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Par exemple, considérons le cas où les deux signaux de sortie d'unité de détection de chacune des dites unités de détection sont respectivement proportionnels à une tension complexe aux bornes d'un des accès utilisateur et à un courant complexe entrant dans ledit un des accès utilisateur, et où l'excitation numéro a consiste en un courant appliqué à l'accès utilisateur numéro a , comme expliqué plus haut. En se basant sur les explications concernant l'équation (4), le spécialiste comprend que tous les éléments de \mathbf{Z}_U peuvent être déterminés après que les m excitations ont été appliquées. Par exemple, les dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur peuvent consister en m^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie réelle d'un élément de \mathbf{Z}_U et en m^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie imaginaire d'un élément de \mathbf{Z}_U . Par exemple, les dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur peuvent consister en m^2 nombres réels chacun proportionnel au module d'un élément de \mathbf{Z}_U et en m^2 nombres réels chacun proportionnel à l'argument d'un élément de \mathbf{Z}_U .

Par exemple, si les unités de détection (91) (92) (93) (94) sont numérotées de 1 à m , nous pouvons considérer le cas particulier dans lequel, pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , l'unité de détection numéro a délivre : un premier signal de sortie d'unité de détection proportionnel à la tension $u_a(t)$ aux bornes de l'accès utilisateur numéro a ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel au courant $i_a(t)$ entrant dans cet accès utilisateur. Dans ce cas, l'unité de traitement du signal (8) peut par exemple effectuer une "in-phase/quadrature (I/Q) down-conversion" de tous les signaux de sortie d'unité de détection, pour obtenir, pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , quatre signaux analogiques : la partie réelle de $u_{Ea}(t)$; la partie imaginaire de $u_{Ea}(t)$; la partie réelle de $i_{Ea}(t)$; et la partie imaginaire de $i_{Ea}(t)$. Ces signaux analogiques peuvent alors être convertis en signaux numériques et être ensuite traités dans le domaine numérique, pour estimer q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, qui caractérisent complètement la matrice impédance présentée par les accès utilisateur.

Le réseau d'antennes à accès multiples (1) est tel que chaque dit au moins un paramètre de chaque dit au moins un dispositif de contrôle d'antenne de chacune des n antennes passives accordables a un effet sur \mathbf{Z}_U . Puisque chacun des dits paramètres est déterminé par au moins un des signaux de contrôle d'accord, les signaux de contrôle d'accord ont un effet sur \mathbf{Z}_U . Ainsi, l'instruction d'accord a un effet sur \mathbf{Z}_U . Dans ce premier mode de réalisation, l'instruction d'accord est telle que la matrice impédance présentée par les accès utilisateur est voisine d'une matrice impédance recherchée \mathbf{Z}_W .

Puisque, comme expliqué plus haut, les q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur déterminent complètement \mathbf{Z}_U , l'unité de traitement du signal détermine et délivre une instruction d'accord telle que les signaux de contrôle d'accord résultants produisent un \mathbf{Z}_U tel qu'une norme de $\mathbf{Z}_U - \mathbf{Z}_W$ soit petite ou nulle.

- 5 Le spécialiste comprend comment l'instruction d'accord peut être déterminée. Le fonctionnement de l'unité de traitement du signal est tel qu'une instruction d'accord est générée à la fin d'une séquence d'accord, et est valide jusqu'à ce qu'une instruction d'accord suivante soit générée à la fin d'une séquence d'accord suivante.

10 Le dispositif externe délivre aussi des "instructions du dispositif externe" à l'unité de traitement du signal (8), les dites instructions du dispositif externe informant l'unité de traitement du signal que les dites excitations ont été appliquées, ou sont en train d'être appliquées, ou seront appliquées. Par exemple, le dispositif externe peut initier une séquence d'accord lorsqu'il informe l'unité de traitement du signal qu'il va appliquer les excitations aux accès utilisateur. Par exemple, l'unité de traitement du signal peut terminer la séquence d'accord
15 lorsque, après que les excitations ont été appliquées, une instruction d'accord a été délivrée. De plus, le dispositif externe procure d'autres signaux à l'unité de traitement du signal et/ou reçoit d'autres signaux de l'unité de traitement du signal. Les liaisons électriques nécessaires pour délivrer les dites instructions du dispositif externe et pour transporter de tels autres signaux ne sont pas montrées sur la figure 1.

20 L'instruction d'accord peut être de n'importe quel type de message numérique. Dans ce premier mode de réalisation, un processus adaptatif est mis en oeuvre par l'unité de traitement du signal, pendant chaque séquence d'accord. Le processus adaptatif est le suivant : pendant chaque séquence d'accord, l'unité de traitement du signal estime les q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, et utilise un algorithme
25 pour déterminer une instruction d'accord telle que la matrice impédance présentée par les accès utilisateur soit voisine de \mathbf{Z}_W . L'algorithme est basé sur la fréquence de fonctionnement, et sur les q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, et il prend en compte l'instruction d'accord qui était applicable pendant que les unités de détection délivraient les signaux de sortie d'unité de détection utilisés pour estimer les q
30 quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur.

Si l'unité de contrôle d'accord (4) n'était pas présente, l'instruction d'accord n'aurait aucun effet sur \mathbf{Z}_U . Le spécialiste comprend que, dans ce cas, \mathbf{Z}_U dépendrait de la fréquence d'utilisation et des caractéristiques électromagnétiques du volume entourant les antennes. En particulier, si le réseau d'antennes à accès multiples (1) était réalisé dans un émetteur-récepteur
35 portable, par exemple un équipement utilisateur (en anglais: "user equipment" ou "UE") d'un réseau radio LTE, \mathbf{Z}_U dépendrait de la position du corps de l'utilisateur, un phénomène appelé "interaction utilisateur" (en anglais: "user interaction"). Le spécialiste comprend que le réseau d'antennes automatiquement accordable montré sur la figure 1 peut être utilisé pour réduire ou

annuler automatiquement toute variation de Z_U causée par une variation de la fréquence d'utilisation, et/ou causée par l'interaction utilisateur.

Dans ce premier mode de réalisation, $n = m = 4$. Ainsi, il est possible que n soit supérieur ou égal à 3, il est possible que n soit supérieur ou égal à 4, il est possible que m soit supérieur ou égal à 3, et il est possible que m soit supérieur ou égal à 4.

A titre d'exemple, la figure 2 montre le schéma-bloc d'un émetteur pour communication radio (ou d'un émetteur-récepteur pour communication radio) utilisant le réseau d'antennes automatiquement accordable montré sur la figure 1. L'émetteur pour communication radio (ou l'émetteur-récepteur pour communication radio) montré sur la figure 2 comporte :

- 10 les antennes passives accordables (11) (12) (13) (14) formant un réseau d'antennes à accès multiples (1) de la figure 1 ;
- les unités de détection (91) (92) (93) (94) de la figure 1 ;
- les liaisons d'antenne (21) (22) (23) (24) de la figure 1 ;
- l'unité de traitement du signal (8) de la figure 1 ;
- 15 l'unité de contrôle d'accord (4) de la figure 1 ; et
- un dispositif radio (5) qui consiste en toutes les parties de l'émetteur (ou de l'émetteur-récepteur) qui ne sont pas montrées ailleurs sur la figure 2, le dispositif radio ayant $m = 4$ accès radio, le dispositif radio délivrant des "instructions de séquence d'accord" qui indiquent quand une séquence d'accord est en train d'être effectuée, m excitations étant délivrées par les accès radio pendant ladite séquence
- 20 d'accord, une et une seule des excitations étant délivrée par chacun des accès radio.

Dans la figure 2, chacune des liaisons d'antenne a une première extrémité couplée à un accès signal d'une et une seule des antennes passives accordables, et chacune des liaisons d'antenne a une seconde extrémité couplée à un et un seul des accès radio, à travers une et une

25 seule des unités de détection. Les m accès radio voient, à la fréquence donnée, une matrice impédance appelée "la matrice impédance vue par les accès radio", qui peut clairement être considérée comme étant la matrice impédance présentée par les accès utilisateur et notée Z_U .

Le dispositif radio (5) remplit des fonctions qui étaient, dans les explications données plus haut à propos de la figure 1, assignées au dispositif externe. Les instructions de séquence

30 d'accord sont délivrées à l'unité de traitement du signal (8). Elles remplissent les fonctions qui étaient, dans les explications données plus haut à propos de la figure 1, assignées aux instructions du dispositif externe. De plus, le dispositif radio procure d'autres signaux à l'unité de traitement du signal et/ou reçoit d'autres signaux de l'unité de traitement du signal.

L'unité de traitement du signal (8) estime aussi une ou plusieurs quantités dépendant

35 chacune de la puissance délivrée par les accès radio. Des informations sur les dites quantités dépendant chacune de la puissance délivrée par les accès radio sont envoyées au dispositif radio (5), dans lequel elles sont utilisées pour contrôler la puissance rayonnée lorsque l'émetteur (ou l'émetteur-récepteur) émet.

L'émetteur (ou l'émetteur-récepteur) est utilisé pour des communications radio MIMO dans un réseau cellulaire. Les excitations ont des enveloppes complexes qui sont compatibles avec les exigences des normes typiquement applicables aux réseaux radio MIMO.

5 Dans le réseau d'antennes automatiquement accordable, des réglages automatiques des paramètres des dispositifs de contrôle d'antenne sont utilisés pour réduire ou annuler toute variation de Z_U causée par une variation de la fréquence d'utilisation, et/ou causée par l'interaction utilisateur. Par conséquent, ce premier mode de réalisation procure une solution au problème de régler automatiquement la pluralité d'antennes passives accordables couplées à un émetteur radio utilisé pour des communications radio MIMO, d'une façon qui respecte les
10 normes typiquement applicables aux réseaux radio MIMO.

Deuxième mode de réalisation.

Le deuxième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également au réseau d'antennes automatiquement accordable ayant $m = 4$ accès utilisateur représenté sur la figure 1, et toutes les explications fournies pour le
15 premier mode de réalisation sont applicables à ce deuxième mode de réalisation.

Une antenne passive accordable (11) utilisée dans ce deuxième mode de réalisation est montrée sur la figure 3. Les autres antennes passives accordables (12) (13) (14) utilisées dans ce deuxième mode de réalisation peuvent être identiques à l'antenne passive accordable montrée sur la figure 3. L'antenne passive accordable montrée sur la figure 3 comporte une structure
20 métallique plane (111) réalisée au-dessus d'un plan de masse (115), un point de connexion de liaison d'antenne (116) où une liaison d'antenne asymétrique est connectée à la structure métallique, et un dispositif de contrôle d'antenne (112). La structure métallique est fendue et telle que, si le dispositif de contrôle d'antenne n'était pas présent, l'antenne passive accordable serait un exemple de l'antenne appelée en anglais "planar inverted-F antenna" ou "PIFA". Le
25 dispositif de contrôle d'antenne est un interrupteur micro-électromécanique comportant une première borne (113) connectée à la structure métallique (111) en un premier côté de la fente, et une seconde borne (114) connectée à la structure métallique (111) en un second côté de la fente. Le spécialiste comprend que la self-impédance de l'antenne passive accordable, dans une configuration d'essai donnée et à une fréquence donnée, est une caractéristique de l'antenne
30 passive accordable que l'on peut faire varier en utilisant ledit dispositif de contrôle d'antenne, si bien que cette caractéristique est contrôlée en utilisant ledit dispositif de contrôle d'antenne. L'état de l'interrupteur micro-électromécanique (ouvert ou fermé) est un paramètre du dispositif de contrôle d'antenne qui a une influence sur ladite caractéristique. Ce paramètre du dispositif de contrôle d'antenne est réglable par moyen électrique, mais les circuits et les liaisons de
35 contrôle nécessaires pour déterminer l'état du dispositif de contrôle d'antenne ne sont pas montrés sur la figure 3.

Troisième mode de réalisation.

Le troisième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également au réseau d'antennes automatiquement accordable ayant $m = 4$ accès utilisateur représenté sur la figure 1, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables à ce troisième mode de réalisation.

Une antenne passive accordable (11) utilisée dans ce troisième mode de réalisation est montrée sur la figure 4. Les autres antennes passives accordables (12) (13) (14) utilisées dans ce troisième mode de réalisation peuvent être identiques à l'antenne passive accordable montrée sur la figure 3 ou à l'antenne passive accordable montrée sur la figure 4. L'antenne passive accordable montrée sur la figure 4 comporte une structure métallique plane (111) réalisée au-dessus d'un plan de masse (115), un point de connexion de liaison d'antenne (116) où une liaison d'antenne asymétrique est connectée à une bande métallique (117) située entre le plan de masse et la structure métallique, et trois dispositifs de contrôle d'antenne (112). Chacun des dispositifs de contrôle d'antenne est un dispositif à impédance réglable ayant une réactance à une fréquence donnée, comportant une première borne (113) connectée à la structure métallique (111), et une seconde borne (114) connectée au plan de masse (115). Le spécialiste comprend que la self-impédance de l'antenne passive accordable, dans une configuration d'essai donnée et à la fréquence donnée, est une caractéristique de l'antenne passive accordable que l'on peut faire varier en utilisant les dits dispositifs de contrôle d'antenne, si bien que cette caractéristique est contrôlée en utilisant les dits dispositifs de contrôle d'antenne. Chacun des dispositifs de contrôle d'antenne a une réactance à la fréquence donnée, cette réactance étant un paramètre du dit chacun des dispositifs de contrôle d'antenne, ce paramètre ayant une influence sur ladite caractéristique. Ce paramètre de chacun des dispositifs de contrôle d'antenne est réglable par moyen électrique, mais les circuits et les liaisons de contrôle nécessaires pour déterminer la réactance de chacun des dispositifs de contrôle d'antenne ne sont pas montrés sur la figure 4.

Quatrième mode de réalisation.

Le quatrième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également au réseau d'antennes automatiquement accordable ayant $m = 4$ accès utilisateur représenté sur la figure 1, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables à ce quatrième mode de réalisation.

Une antenne passive accordable (11) utilisée dans ce quatrième mode de réalisation est montrée sur la figure 5. Les autres antennes passives accordables (12) (13) (14) utilisées dans ce quatrième mode de réalisation peuvent être identiques à l'antenne passive accordable montrée sur la figure 3, ou à l'antenne passive accordable montrée sur la figure 4, ou à l'antenne passive accordable montrée sur la figure 5. L'antenne passive accordable (11) montrée sur la figure 5

a un plan de symétrie orthogonal au dessin. Ainsi, l'antenne passive accordable a une première demi-antenne, à gauche dans la figure 5, et une seconde demi-antenne, à droite dans la figure 5. L'antenne passive accordable comporte une première borne (118) où un premier conducteur d'une liaison d'antenne symétrique est connecté à la première demi-antenne, et une seconde borne (119) où un second conducteur de la liaison d'antenne symétrique est connecté à la seconde demi-antenne. Chaque demi-antenne comporte trois segments et deux dispositifs de contrôle d'antenne (112). Chacun des dispositifs de contrôle d'antenne est un dispositif à impédance réglable ayant une réactance à une fréquence donnée, comportant une première borne connectée à un segment d'une demi-antenne, et une seconde borne connectée à un autre segment de cette demi-antenne. Le spécialiste comprend que la self-impédance de l'antenne passive accordable, dans une configuration d'essai donnée et à la fréquence donnée, est une caractéristique de l'antenne passive accordable que l'on peut faire varier en utilisant les dits dispositifs de contrôle d'antenne, si bien que cette caractéristique est contrôlée en utilisant les dits dispositifs de contrôle d'antenne. Chacun des dispositifs de contrôle d'antenne a une réactance à la fréquence donnée, cette réactance étant un paramètre du dit chacun des dispositifs de contrôle d'antenne, ce paramètre ayant une influence sur ladite caractéristique. Ce paramètre de chacun des dispositifs de contrôle d'antenne est réglable par moyen électrique, mais les circuits et les liaisons de contrôle nécessaires pour déterminer la réactance de chacun des dispositifs de contrôle d'antenne ne sont pas montrés sur la figure 5.

20 Cinquième mode de réalisation.

Le cinquième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également au réseau d'antennes automatiquement accordable ayant $m = 4$ accès utilisateur représenté sur la figure 1, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables à ce cinquième mode de réalisation.

25 Une antenne passive accordable (12) utilisée dans ce cinquième mode de réalisation est montrée sur la figure 6. Les autres antennes passives accordables (11) (13) (14) utilisées dans ce cinquième mode de réalisation peuvent être identiques à l'antenne passive accordable montrée sur la figure 6. L'antenne passive accordable (12) montrée sur la figure 6 comporte une antenne principale (121), une antenne parasite (122), un point de connexion de liaison d'antenne (127) où une liaison d'antenne asymétrique (128) est connectée à l'antenne principale et à la masse (126), et un dispositif de contrôle d'antenne (123). Le dispositif de contrôle d'antenne est un dispositif à impédance réglable ayant une réactance à une fréquence donnée, comportant une première borne (124) connectée à l'antenne parasite (122), et une seconde borne (125) connectée à la masse (126). Le spécialiste comprend que le diagramme de directivité de l'antenne passive accordable (12), dans une configuration d'essai donnée et à la fréquence donnée, est une caractéristique de l'antenne passive accordable que l'on peut faire varier en utilisant ledit dispositif de contrôle d'antenne, si bien que cette caractéristique est contrôlée en utilisant ledit

dispositif de contrôle d'antenne. La réactance du dispositif de contrôle d'antenne à la fréquence donnée est un paramètre du dit dispositif de contrôle d'antenne qui a une influence sur ladite caractéristique. Ce paramètre du dispositif de contrôle d'antenne est réglable par moyen électrique, mais les circuits et les liaisons de contrôle nécessaires pour déterminer la réactance du dispositif de contrôle d'antenne ne sont pas montrés sur la figure 6.

Cependant, le spécialiste comprend que ce paramètre a aussi une influence sur la self-impédance de l'antenne passive accordable, si bien que la self-impédance de l'antenne passive accordable, dans une configuration d'essai donnée et à la fréquence donnée, est aussi une caractéristique de l'antenne passive accordable que l'on peut faire varier en utilisant ledit dispositif de contrôle d'antenne. L'antenne passive accordable (12) pourrait aussi comporter d'autres antennes parasites chacune couplée à un dispositif de contrôle d'antenne.

Sixième mode de réalisation.

Au titre d'un sixième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 7 le schéma-bloc d'un réseau d'antennes automatiquement accordable ayant $m = 4$ accès utilisateur (912) (922) (932) (942), les m accès utilisateur présentant, à une fréquence donnée supérieure ou égale à 300 MHz, une matrice impédance appelée "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur" et notée Z_U , le réseau d'antennes automatiquement accordable comportant :

$n = 4$ antennes passives accordables (11) (12) (13) (14), les n antennes passives accordables opérant simultanément dans une bande de fréquences donnée, les n antennes passives accordables formant un réseau d'antennes à accès multiples (1), chacune des antennes passives accordables comportant au moins un dispositif de contrôle d'antenne, ledit au moins un dispositif de contrôle d'antenne ayant au moins un paramètre ayant un effet sur une ou plusieurs caractéristiques de ladite chacune des antennes passives accordables, ledit au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique ;

m unités de détection (91) (92) (93) (94), chacune des unités de détection délivrant deux "signaux de sortie d'unité de détection", chacun des signaux de sortie d'unité de détection étant déterminé par une variable électrique mesurée à un des accès utilisateur ;

un réseau à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3) ayant m accès d'entrée et n accès de sortie, chacun des m accès d'entrée étant couplé à un et un seul des accès utilisateur, à travers une et une seule des unités de détection ;

n liaisons d'antenne (21) (22) (23) (24), chacune des liaisons d'antenne ayant une première extrémité couplée à un accès signal d'une et une seule des antennes passives accordables, chacune des liaisons d'antenne ayant une seconde extrémité couplée à un et un seul des n accès de sortie ;

une unité de traitement du signal (8), l'unité de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour m excitations appliquées par un dispositif externe aux accès utilisateur (le dispositif externe n'est pas représenté sur la figure 7), une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur, les excitations n'étant pas appliquées successivement, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction d'accord" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur ; et

une unité de contrôle d'accord (4), l'unité de contrôle d'accord recevant l'instruction d'accord de l'unité de traitement du signal (8), l'unité de contrôle d'accord délivrant des "signaux de contrôle d'accord" aux antennes passives accordables (11) (12) (13) (14), les signaux de contrôle d'accord étant déterminés en fonction de l'instruction d'accord, chacun des dits paramètres étant principalement déterminé par au moins un des signaux de contrôle d'accord.

Le réseau à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3) est un circuit qui se comporte, à la fréquence donnée, par rapport à ses accès d'entrée et à ses accès de sortie, sensiblement comme un dispositif linéaire passif, où "passif" est utilisé au sens de la théorie des circuits. Plus précisément, le réseau à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples se comporte, à la fréquence donnée, par rapport aux n accès de sortie et aux m accès d'entrée, sensiblement comme un dispositif linéaire passif à $n + m$ accès. Comme conséquence de la linéarité, il est possible de définir la matrice impédance présentée par les accès d'entrée. Comme conséquence de la passivité, le réseau à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ne procure pas d'amplification.

Le réseau à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3) permet, à la fréquence donnée, des transferts de puissance depuis ses accès d'entrée vers ses accès de sortie et depuis ses accès de sortie vers ses accès d'entrée, ces transferts de puissance étant idéalement sans pertes, ou presque sans pertes. Le réseau à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est tel que, à la fréquence donnée, une matrice impédance présentée par les accès d'entrée (les unités de détection sont telles que cette matrice impédance est voisine de \mathbf{Z}_U) est différente d'une matrice impédance vue par les accès de sortie. Ainsi, le réseau à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples contribue à l'objectif de conception de ce sixième mode de réalisation : être capable d'obtenir, à toute fréquence dans un intervalle de fréquences spécifié, une instruction d'accord telle qu'une matrice impédance présentée par les accès utilisateur soit voisine d'une matrice impédance recherchée \mathbf{Z}_W , la matrice impédance recherchée étant une matrice diagonale. Pour cette raison, le réseau à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples peut être vu comme un réseau d'accord ou comme un réseau de découplage et d'accord, et peut par exemple être appelé "réseau d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples".

Le spécialiste comprend que chacune des n antennes passives accordables est couplée, à travers le réseau à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples et au moins une unité de détection, à au moins un des accès utilisateur.

L'instruction d'accord peut être de n'importe quel type de message numérique. Dans ce sixième mode de réalisation, un processus adaptatif est mis en oeuvre par l'unité de traitement du signal, pendant une ou plusieurs séquences d'accord. Le processus adaptatif est le suivant : pendant chacune des dites séquences d'accord, l'unité de traitement du signal estime les q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, et utilise une table de consultation (en anglais: "lookup table" ou "look-up table") pour déterminer une instruction d'accord, en se basant sur la fréquence de fonctionnement, sur les q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, et sur l'instruction d'accord qui était applicable pendant que les unités de détection délivraient les signaux de sortie d'unité de détection utilisés pour estimer les q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Le spécialiste comprend comment construire et utiliser une telle table de consultation. La table de consultation est telle que le réglage des antennes passives accordables est toujours optimal ou presque optimal.

Dans ce sixième mode de réalisation, chacun des dispositifs de contrôle d'antenne est un dispositif à impédance réglable procurant une réactance réglable. La réactance d'un dispositif à impédance réglable peut dépendre de la température ambiante, pour certains types de dispositifs à impédance réglable. Si un tel type de dispositif à impédance réglable est utilisé dans les antennes passives accordables, il est possible que les signaux de contrôle d'accord soient déterminés en fonction de l'instruction d'accord et en fonction d'une ou plusieurs températures, pour compenser l'effet de la température sur la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable des antennes passives accordables. Si un tel type de dispositif à impédance réglable est utilisé dans les antennes passives accordables, il est également possible qu'une ou plusieurs températures soient prises en compte pour obtenir l'instruction d'accord, pour compenser l'effet de la température sur la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable des antennes passives accordables. Dans ce cas, l'unité de traitement du signal délivre une instruction d'accord en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, et en fonction des dites une ou plusieurs températures.

Comme montré sur la figure 7, il est possible de considérer que chacune des unités de détection (91) (92) (93) (94) inclut : un premier accès connecté à un des dits accès d'entrée ; et un deuxième accès qui est un des accès utilisateur (912) (922) (932) (942).

A titre d'exemple, la figure 8 montre le schéma-bloc d'un émetteur pour communication radio (ou d'un émetteur-récepteur pour communication radio) utilisant le réseau d'antennes automatiquement accordable montré sur la figure 7. L'émetteur pour communication radio (ou l'émetteur-récepteur pour communication radio) montré sur la figure 8 comporte :

les antennes passives accordables (11) (12) (13) (14) formant un réseau d'antennes à accès multiples (1) de la figure 7 ;

les unités de détection (91) (92) (93) (94) de la figure 7 ;
 le réseau à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3) de la figure 7 ;
 les liaisons d'antenne (21) (22) (23) (24) de la figure 7 ;
 l'unité de traitement du signal (8) de la figure 7 ;
 5 l'unité de contrôle d'accord (4) de la figure 7 ; et

un dispositif radio (5) qui consiste en toutes les parties de l'émetteur (ou de l'émetteur-récepteur) qui ne sont pas montrées ailleurs sur la figure 8, le dispositif radio ayant $m = 4$ accès radio, le dispositif radio délivrant des "instructions de séquence d'accord" qui indiquent quand une séquence d'accord est en train d'être effectuée, m excitations étant délivrées par les accès radio pendant ladite séquence d'accord, une et une seule des excitations étant délivrée par chacun des accès radio.

Dans la figure 8, chacun des accès d'entrée du réseau à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3) est couplé à un et un seul des accès radio, à travers une et une seule des unités de détection. Les m accès radio voient, à la fréquence donnée, une matrice impédance appelée "la matrice impédance vue par les accès radio", qui peut clairement être considérée
 10 comme étant la matrice impédance présentée par les accès utilisateur et notée Z_U .

Le dispositif radio (5) remplit des fonctions qui étaient, dans les explications données plus haut à propos de la figure 7, assignées au dispositif externe. Les instructions de séquence d'accord sont délivrées à l'unité de traitement du signal (8). De plus, le dispositif radio procure
 20 d'autres signaux à l'unité de traitement du signal et/ou reçoit d'autres signaux de l'unité de traitement du signal.

Septième mode de réalisation.

Au titre d'un septième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 9 le schéma-bloc d'un réseau
 25 d'antennes automatiquement accordable ayant $m = 4$ accès utilisateur (912) (922) (932) (942), les m accès utilisateur présentant, à une fréquence donnée supérieure ou égale à 30 MHz, une matrice impédance appelée "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur" et notée Z_U , le réseau d'antennes automatiquement accordable comportant :

$n = 4$ antennes passives accordables (11) (12) (13) (14), chacune des antennes passives
 30 accordables comportant au moins un dispositif de contrôle d'antenne ayant au moins un paramètre ayant un effet sur une ou plusieurs caractéristiques de ladite chacune des antennes passives accordables, ledit au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique ;

m unités de détection (91) (92) (93) (94), chacune des unités de détection délivrant un ou
 35 plusieurs "signaux de sortie d'unité de détection", chacun des signaux de sortie d'unité de détection étant déterminé par une variable électrique mesurée (ou captée) à un des accès utilisateur ;

une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (6) ayant m accès d'entrée et n accès de sortie, chacun des m accès d'entrée étant couplé à un et un seul des accès utilisateur à travers une et une seule des unités de détection, l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples comportant p dispositifs à impédance réglable, où p est un entier supérieur ou égal à m , les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord" et étant tels que, à ladite fréquence donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une réactance, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ayant une influence sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant réglable par moyen électrique ;

n liaisons d'antenne (21) (22) (23) (24), chacune des liaisons d'antenne ayant une première extrémité couplée à un accès signal d'une et une seule des antennes passives accordables, chacune des liaisons d'antenne ayant une seconde extrémité couplée à un et un seul des n accès de sortie ;

une unité de traitement du signal (8), l'unité de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour m excitations appliquées par un dispositif externe aux accès utilisateur (le dispositif externe n'est pas représenté sur la figure 9), une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur, les excitations n'étant pas appliquées successivement, chacune des excitations étant un signal passe-bande, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction d'accord" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur ;

une unité de contrôle d'accord (4), l'unité de contrôle d'accord recevant l'instruction d'accord de l'unité de traitement du signal (8), l'unité de contrôle d'accord délivrant des "signaux de contrôle d'accord" aux antennes passives accordables (11) (12) (13) (14) et à l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (6), les signaux de contrôle d'accord étant déterminés en fonction de l'instruction d'accord, chacun des dits paramètres étant principalement déterminé par au moins un des signaux de contrôle d'accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant principalement déterminée par au moins un des signaux de contrôle d'accord.

L'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (6) se comporte, à la fréquence donnée, par rapport à ses accès d'entrée et à ses accès de sortie, sensiblement comme un dispositif linéaire passif, où "passif" est utilisé au sens de la théorie des circuits. Plus

précisément, l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples se comporte, à la fréquence donnée, par rapport aux n accès de sortie et aux m accès d'entrée, sensiblement comme un dispositif linéaire passif à $n + m$ accès. Comme conséquence de la linéarité, il est possible de définir la matrice impédance présentée par les accès d'entrée. Comme conséquence
 5 de la passivité, l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ne procure pas d'amplification.

L'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (6) permet, à la fréquence donnée, des transferts de puissance depuis ses accès d'entrée vers ses accès de sortie et depuis ses accès de sortie vers ses accès d'entrée, ces transferts de puissance étant idéalement
 10 sans pertes, ou presque sans pertes.

L'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (6) est un appareil d'accord d'antenne divulgué dans la demande de brevet français n° 12/02542 et la demande internationale n° PCT/IB2013/058423, et expliqué dans : l'article de F. Broydé et E. Clavelier, intitulé "A New Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuner", publié dans
 15 *Proc. 2015 IEEE Radio & Wireless Week, RWW 2015*, aux pages 41 à 43, en janvier 2015 ; l'article de F. Broydé et E. Clavelier intitulé "Some Properties of Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuners", publié dans *IEEE Trans. on Circuits and Systems — I: Regular Papers*, Vol. 62, No. 2, aux pages 423-432, en février 2015 ; et l'article de F. Broydé et E. Clavelier intitulé "Two Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuners",
 20 publié dans *Proc. 9th European Conference on Antenna and Propagation, EuCAP 2015*, en avril 2015. Ainsi, l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est telle que la réactance de n importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a, à ladite fréquence donnée, si la matrice impédance vue par les accès de sortie est égale à une matrice impédance diagonale donnée, une influence sur la matrice impédance présentée par les
 25 accès d'entrée, et telle que la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a, à ladite fréquence donnée, si la matrice impédance vue par les accès de sortie est égale à la matrice impédance diagonale donnée, une influence sur au moins un élément non diagonal de la matrice impédance présentée par les accès d'entrée. Ceci doit être interprété comme signifiant : l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est
 30 telle que, à ladite fréquence donnée, il existe une matrice impédance diagonale appelée la matrice impédance diagonale donnée, la matrice impédance diagonale donnée étant telle que, si une matrice impédance vue par les accès de sortie est égale à la matrice impédance diagonale donnée, alors (a) la réactance de n importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une influence sur une matrice impédance présentée par les accès d'entrée, et (b) la
 35 réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une influence sur au moins un élément non diagonal de la matrice impédance présentée par les accès d'entrée.

Le spécialiste comprend que chacune des n antennes passives accordables est couplée, à travers l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples et au moins une

unité de détection, à au moins un des accès utilisateur, et qu'au moins une des n antennes passives accordables est couplée, à travers l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples et au moins deux unités de détection, à au moins deux des accès utilisateur. Par conséquent, chacune des n antennes passives accordables est couplée, indirectement, à au moins un des accès utilisateur, et au moins une des n antennes passives accordables est couplée, indirectement, à au moins deux des accès utilisateur.

Dans ce septième mode de réalisation, les dispositifs de contrôle d'antenne sont des interrupteurs micro-électromécaniques, et les antennes passives accordables sont utilisées pour obtenir un réglage grossier de Z_U , alors que l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est utilisée pour obtenir un réglage fin de Z_U .

Dans ce septième mode de réalisation, un processus adaptatif est mis en oeuvre par l'unité de traitement du signal, pendant une ou plusieurs séquences d'accord. Le processus adaptatif est le suivant : pendant chacune des dites séquences d'accord, l'unité de traitement du signal estime une norme de la matrice des coefficients de réflexion en tension aux accès utilisateur, pour un ensemble fini d'instructions d'accord, et une instruction d'accord produisant la plus petite norme est sélectionnée. Le spécialiste comprend que le processus adaptatif de ce septième mode de réalisation est plus simple dans le cas où chacune des unités de détection est telle que les deux signaux de sortie d'unité de détection délivrés par ladite chacune des unités de détection comportent : un premier signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une tension incidente à un des accès utilisateur ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une tension réfléchi au dit un des accès utilisateur.

Comme dit plus haut, la réactance d'un dispositif à impédance réglable peut dépendre de la température ambiante, pour certains types de dispositifs à impédance réglable. Si un tel type de dispositif à impédance réglable est utilisé dans l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, il est possible que les signaux de contrôle d'accord soient déterminés en fonction de l'instruction d'accord et en fonction d'une ou plusieurs températures, pour compenser l'effet de la température sur la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord. Si un tel type de dispositif à impédance réglable est utilisé dans l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, il est également possible qu'une ou plusieurs températures soient prises en compte pour obtenir l'instruction d'accord, pour compenser l'effet de la température sur la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord. Dans ce cas, l'unité de traitement du signal délivre une instruction d'accord en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, et en fonction des dites une ou plusieurs températures.

Comme montré sur la figure 9, il est possible de considérer que chacune des unités de détection (91) (92) (93) (94) inclut : un premier accès connecté à un des dits accès d'entrée ; et un deuxième accès qui est un des accès utilisateur (912) (922) (932) (942).

A titre d'exemple, la figure 10 montre le schéma-bloc d'un émetteur pour communication

radio (ou d'un émetteur-récepteur pour communication radio) utilisant le réseau d'antennes automatiquement accordable montré sur la figure 9. L'émetteur pour communication radio (ou l'émetteur-récepteur pour communication radio) montré sur la figure 10 comporte :

- les antennes passives accordables (11) (12) (13) (14) de la figure 9 ;
- 5 les unités de détection (91) (92) (93) (94) de la figure 9 ;
- l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (6) de la figure 9 ;
- les liaisons d'antenne (21) (22) (23) (24) de la figure 9 ;
- l'unité de traitement du signal (8) de la figure 9 ;
- l'unité de contrôle d'accord (4) de la figure 9 ; et
- 10 un dispositif radio (5) qui consiste en toutes les parties de l'émetteur (ou de l'émetteur-récepteur) qui ne sont pas montrées ailleurs sur la figure 10, le dispositif radio ayant $m = 4$ accès radio, le dispositif radio délivrant des "instructions de séquence d'accord" qui indiquent quand une séquence d'accord est en train d'être effectuée, m excitations étant délivrées par les accès radio pendant ladite séquence
- 15 d'accord, une et une seule des excitations étant délivrée par chacun des accès radio.

Dans la figure 10, chacun des accès d'entrée de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (6) est couplé à un et un seul des accès radio, à travers une et une seule des unités de détection. Les m accès radio voient, à la fréquence donnée, une matrice impédance appelée "la matrice impédance vue par les accès radio", qui peut clairement être

20 considérée comme étant la matrice impédance présentée par les accès utilisateur et notée Z_U .

Le dispositif radio (5) remplit des fonctions qui étaient, dans les explications données plus haut à propos de la figure 9, assignées au dispositif externe. Les instructions de séquence d'accord sont délivrées à l'unité de traitement du signal (8). De plus, le dispositif radio procure d'autres signaux à l'unité de traitement du signal et/ou reçoit d'autres signaux de l'unité de

25 traitement du signal.

Huitième mode de réalisation.

Au titre d'un huitième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 11 le schéma-bloc d'un réseau d'antennes automatiquement accordable ayant $m = 2$ accès utilisateur (912) (922), les m accès

30 utilisateur présentant, à une fréquence donnée supérieure ou égale à 300 MHz, une matrice impédance appelée "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur" et notée Z_U , le réseau d'antennes automatiquement accordable comportant :

- $n = 4$ antennes passives accordables (11) (12) (13) (14), les n antennes passives accordables formant un réseau d'antennes à accès multiples (1), chacune des antennes passives
- 35 accordables comportant au moins un dispositif de contrôle d'antenne, ledit au moins un dispositif de contrôle d'antenne ayant au moins un paramètre ayant un effet sur une ou plusieurs caractéristiques de ladite chacune des antennes passives accordables, ledit

au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique ;
 une unité de commutation (7), l'unité de commutation recevant une "instruction de configuration" délivrée par un dispositif externe (le dispositif externe n'est pas représenté sur la figure 11), l'unité de commutation comportant n accès antenne
 5 couplés chacun à une et une seule des antennes passives accordables à travers une liaison d'antenne (21) (22) (23) (24), l'unité de commutation comportant $N = 2$ accès réseau, l'unité de commutation opérant dans une configuration active déterminée par l'instruction de configuration, la configuration active étant l'une d'une pluralité de configurations autorisées, l'unité de commutation procurant, dans n'importe laquelle
 10 des configurations autorisées, pour des signaux dans une bande de fréquences donnée et pour n'importe lequel des accès réseau, un chemin bidirectionnel entre ledit n'importe lequel des accès réseau et un et un seul des accès antenne ;
 m unités de détection (91) (92), chacune des unités de détection délivrant au moins deux "signaux de sortie d'unité de détection", chacun des signaux de sortie d'unité de détection étant déterminé par une variable électrique ;
 15 une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (6) ayant m accès d'entrée et N accès de sortie, chacun des m accès d'entrée étant couplé à un et un seul des accès utilisateur à travers une et une seule des unités de détection, chacun des N accès de sortie étant couplé à un et un seul des accès réseau, l'unité d'accord à accès
 20 d'entrée multiples et accès de sortie multiples comportant p dispositifs à impédance réglable, où p est un entier supérieur ou égal à m , les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord" et étant tels que, à ladite fréquence donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une réactance, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance
 25 réglable de l'unité d'accord ayant une influence sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant réglable par moyen électrique ;
 une unité de traitement du signal (8), l'unité de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, où q
 30 est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour m excitations appliquées par ledit dispositif externe aux accès utilisateur, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur, les excitations n'étant pas appliquées successivement, chacune des excitations étant un signal passe-bande, l'unité de traitement du signal délivrant une
 35 "instruction d'accord" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur ; et
 une unité de contrôle d'accord (4), l'unité de contrôle d'accord recevant l'instruction d'accord de l'unité de traitement du signal (8), l'unité de contrôle d'accord délivrant

des “signaux de contrôle d’accord” aux antennes passives accordables (11) (12) (13) (14) et à l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples (6), les signaux de contrôle d’accord étant déterminés en fonction de l’instruction d’accord, chacun des dits paramètres étant principalement déterminé par au moins un des signaux de contrôle d’accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l’unité d’accord étant principalement déterminée par au moins un des signaux de contrôle d’accord.

L’unité de commutation opère (ou est utilisée) dans une configuration active déterminée par l’instruction de configuration, la configuration active étant une configuration autorisée parmi une pluralité de configurations autorisées, l’unité de commutation procurant, dans n’importe laquelle des configurations autorisées, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée et pour n’importe lequel des accès réseau, un chemin entre ledit n’importe lequel des accès réseau et un des accès antenne. Ainsi, l’unité de commutation opère dans une configuration active qui est une des configurations autorisées, et chaque configuration autorisée correspond à une sélection de N accès antenne parmi les n accès antenne. Il est aussi possible de dire que l’unité de commutation opère dans une configuration active correspondant à une sélection de N accès antenne parmi les n accès antenne.

Chaque configuration autorisée correspond à une sélection de N accès antenne parmi les n accès antenne, l’unité de commutation procurant, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée et pour n’importe lequel des accès réseau, un chemin entre ledit n’importe lequel des accès réseau et un des accès antenne sélectionnés. Ce chemin peut préférentiellement être un chemin à faibles pertes pour des signaux dans la bande de fréquences donnée. Le spécialiste comprend qu’une unité de commutation convenable peut comporter un ou plusieurs interrupteurs et/ou commutateurs contrôlés électriquement (ici, “contrôlés électriquement” signifie “contrôlés par moyen électrique”). Dans ce cas, un ou plusieurs des dits interrupteurs et/ou commutateurs contrôlés électriquement peut par exemple être un relais électromécanique, ou un commutateur micro-électromécanique, ou un circuit utilisant une ou plusieurs diodes PIN et/ou un ou plusieurs transistors à effet de champ à grille isolée comme dispositifs de commutation.

A titre d’exemple, la figure 12 montre le schéma-bloc d’un émetteur pour communication radio (ou d’un émetteur-récepteur pour communication radio) utilisant le réseau d’antennes automatiquement accordable montré sur la figure 11. L’émetteur pour communication radio (ou l’émetteur-récepteur pour communication radio) montré sur la figure 12 comporte :

- les antennes passives accordables (11) (12) (13) (14) formant un réseau d’antennes à accès multiples (1) de la figure 11 ;
- l’unité de commutation (7) de la figure 11 ;
- les liaisons d’antenne (21) (22) (23) (24) de la figure 11 ;
- les unités de détection (91) (92) de la figure 11 ;

l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (6) de la figure 11 ;
 l'unité de traitement du signal (8) de la figure 11 ;
 l'unité de contrôle d'accord (4) de la figure 11 ; et

un dispositif radio (5) qui consiste en toutes les parties de l'émetteur (ou de
 5 l'émetteur-récepteur) qui ne sont pas montrées ailleurs sur la figure 12, le dispositif
 radio ayant $m = 2$ accès radio, le dispositif radio délivrant l'instruction de
 configuration, le dispositif radio délivrant des "instructions de séquence d'accord" qui
 indiquent quand une séquence d'accord est en train d'être effectuée, m excitations
 étant délivrées par les accès radio pendant ladite séquence d'accord, une et une seule
 10 des excitations étant délivrée par chacun des accès radio.

Dans la figure 12, chacun des accès d'entrée de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples
 et accès de sortie multiples (6) est couplé à un et un seul des accès radio, à travers une et une
 seule des unités de détection. Les m accès radio voient, à la fréquence donnée, une matrice
 impédance appelée "la matrice impédance vue par les accès radio", qui peut clairement être
 15 considérée comme étant la matrice impédance présentée par les accès utilisateur et notée Z_U .

Le dispositif radio (5) remplit des fonctions qui étaient, dans les explications données plus
 haut à propos de la figure 11, assignées au dispositif externe. L'instruction de configuration est
 délivrée à l'unité de commutation (7). Les instructions de séquence d'accord sont délivrées à
 l'unité de traitement du signal (8). De plus, le dispositif radio procure d'autres signaux à l'unité
 20 de traitement du signal et/ou reçoit d'autres signaux de l'unité de traitement du signal.

INDICATIONS SUR LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Le procédé selon l'invention est adapté pour régler automatiquement et de façon optimale
 une pluralité d'antennes passives accordables, et le réseau d'antennes automatiquement
 accordable selon l'invention peut régler automatiquement et de façon optimale ses antennes
 25 passives accordables.

Le réseau d'antennes automatiquement accordable selon l'invention peut par exemple être
 une partie d'un émetteur radio utilisant une pluralité d'antennes simultanément, ou d'un
 émetteur-récepteur radio utilisant une pluralité d'antennes simultanément. Dans de telles
 applications, chaque accès utilisateur du réseau d'antennes automatiquement accordable selon
 30 l'invention peut être couplé à un des accès de sortie signal radiofréquence de l'émetteur radio
 utilisant une pluralité d'antennes simultanément, ou à un des accès d'entrée-sortie signal
 radiofréquence de l'émetteur-récepteur radio utilisant une pluralité d'antennes simultanément.
 Ainsi, le procédé et le réseau d'antennes automatiquement accordable selon l'invention sont
 adaptés à la communication radio MIMO.

Le procédé et le réseau d'antennes automatiquement accordable selon l'invention procurent
 les meilleures caractéristiques possibles en utilisant des antennes passives accordables très
 proches, présentant donc une forte interaction entre elles. L'invention est donc particulièrement

adaptée aux émetteurs et émetteurs-récepteurs radio mobiles, par exemple ceux utilisés dans les radiotéléphones portables ou les ordinateurs portables.

Le procédé et le réseau d'antennes automatiquement accordable selon l'invention procurent les meilleures caractéristiques possibles en utilisant un très grand nombre d'antennes passives
5 accordables dans un volume donné, présentant donc une forte interaction entre elles. L'invention est donc particulièrement adaptée aux émetteurs et émetteurs-récepteurs radio à hautes performances, par exemple ceux utilisés dans les stations fixes des réseaux cellulaires de radiotéléphonie.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour accorder automatiquement n antennes passives accordables (11) (12) (13) (14), où n est un entier supérieur ou égal à 2, chacune des n antennes passives accordables comportant au moins un dispositif de contrôle d'antenne, une ou plusieurs caractéristiques de ladite chacune
 5 des n antennes passives accordables étant contrôlées en utilisant ledit au moins un dispositif de contrôle d'antenne, ledit au moins un dispositif de contrôle d'antenne ayant au moins un paramètre ayant une influence sur les dites une ou plusieurs caractéristiques, ledit au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique, le procédé comportant les étapes suivantes :

appliquer des excitations à m accès utilisateur (912) (922) (932) (942), où m est un entier
 10 supérieur ou égal à 2, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur, les excitations n'étant pas appliquées successivement, chacune des excitations ayant une et une seule enveloppe complexe, les m enveloppes complexes des m excitations étant linéairement indépendantes dans l'ensemble des fonctions complexes d'une variable réelle, considéré comme un espace vectoriel sur le corps des
 15 nombres complexes, les m accès utilisateur présentant, à une fréquence donnée, une matrice impédance appelée "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur" ;
 estimer q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les dites m excitations ;
 utiliser les dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les
 20 accès utilisateur, pour obtenir des "signaux de contrôle d'accord" ; et
 appliquer chacun des signaux de contrôle d'accord à au moins un des dispositifs de contrôle d'antenne, chacun des dits paramètres étant principalement déterminé par au moins un des signaux de contrôle d'accord.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel au moins deux des excitations sont appliquées
 25 simultanément.

3. Réseau d'antennes automatiquement accordable ayant m "accès utilisateur" (912) (922) (932) (942), où m est un entier supérieur ou égal à 2, les m accès utilisateur présentant, à une fréquence donnée, une matrice impédance appelée "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur", le réseau d'antennes automatiquement accordable comportant :

30 n antennes passives accordables (11) (12) (13) (14), où n est un entier supérieur ou égal à 2, chacune des n antennes passives accordables comportant au moins un dispositif de contrôle d'antenne, une ou plusieurs caractéristiques de ladite chacune des n antennes passives accordables étant contrôlées en utilisant ledit au moins un dispositif de contrôle d'antenne, ledit au moins un dispositif de contrôle d'antenne ayant au moins
 35 un paramètre ayant une influence sur les dites une ou plusieurs caractéristiques, ledit

- au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique ;
- au moins m unités de détection (91) (92) (93) (94), chacune des unités de détection délivrant un ou plusieurs "signaux de sortie d'unité de détection", chacun des signaux de sortie d'unité de détection étant principalement déterminé par une ou plusieurs variables électriques ;
- 5 une unité de traitement du signal (8), l'unité de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour m excitations appliquées aux accès utilisateur, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur, les m excitations n'étant pas appliquées successivement, chacune des excitations ayant une et une seule enveloppe complexe, les m enveloppes complexes des m excitations étant linéairement indépendantes dans l'ensemble des fonctions complexes d'une variable réelle, considéré comme un espace vectoriel sur le corps des nombres complexes, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction d'accord" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur ; et
- 10 une unité de contrôle d'accord (4), l'unité de contrôle d'accord recevant l'instruction d'accord de l'unité de traitement du signal, l'unité de contrôle d'accord délivrant des "signaux de contrôle d'accord" aux antennes passives accordables, les signaux de contrôle d'accord étant déterminés en fonction de l'instruction d'accord, chacun des dits paramètres étant principalement déterminé par au moins un des signaux de contrôle d'accord.
- 20
4. Réseau d'antennes automatiquement accordable selon la revendication 3, dans lequel les signaux de sortie d'unité de détection délivrés par chacune des unités de détection comportent : un premier signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une première variable électrique, la première variable électrique étant une tension aux bornes d'un des accès utilisateur ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une seconde variable électrique, la seconde variable électrique étant un courant entrant dans ledit un des accès utilisateur.
- 25
5. Réseau d'antennes automatiquement accordable selon la revendication 3, dans lequel les signaux de sortie d'unité de détection délivrés par chacune des unités de détection comportent : un premier signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une première variable électrique, la première variable électrique étant une tension incidente à un des accès utilisateur ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une seconde variable électrique, la seconde variable électrique étant une tension réfléchie au dit un des accès utilisateur.
- 30
- 35

6. Réseau d'antennes automatiquement accordable selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, comportant en outre n liaisons d'antenne (21) (22) (23) (24), chacune des liaisons d'antenne ayant une première extrémité couplée à un accès signal d'une et une seule des antennes passives accordables, chacune des liaisons d'antenne ayant une seconde extrémité
5 couplée à un et un seul des accès utilisateur, à travers une et une seule des unités de détection.
7. Réseau d'antennes automatiquement accordable selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, comportant en outre un réseau à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3) ayant m accès d'entrée, chacun des m accès d'entrée étant couplé à un et un seul des accès utilisateur, à travers une et une seule des unités de détection.
- 10 8. Réseau d'antennes automatiquement accordable selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, comportant en outre une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (6) ayant m accès d'entrée, chacun des m accès d'entrée étant couplé à un et un seul des accès utilisateur à travers une et une seule des unités de détection, l'unité d'accord à accès
15 d'entrée multiples et accès de sortie multiples comportant p dispositifs à impédance réglable, où p est un entier supérieur ou égal à m , les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord" et étant tels que, à ladite fréquence donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une réactance, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ayant une influence sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la réactance de n'importe
20 lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant réglable par moyen électrique, le réseau d'antennes automatiquement accordable étant tel que l'unité de contrôle d'accord délivre des signaux de contrôle d'accord à l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant principalement déterminée par au moins un des signaux de contrôle
25 d'accord.
9. Réseau d'antennes automatiquement accordable selon l'une quelconque des revendications 3 à 8, dans lequel au moins deux des excitations sont appliquées simultanément.
10. Réseau d'antennes automatiquement accordable selon l'une quelconque des revendications 3 à 9, dans lequel l'instruction d'accord est telle que la matrice impédance présentée par les
30 accès utilisateur est voisine d'une matrice impédance recherchée.

1 / 10

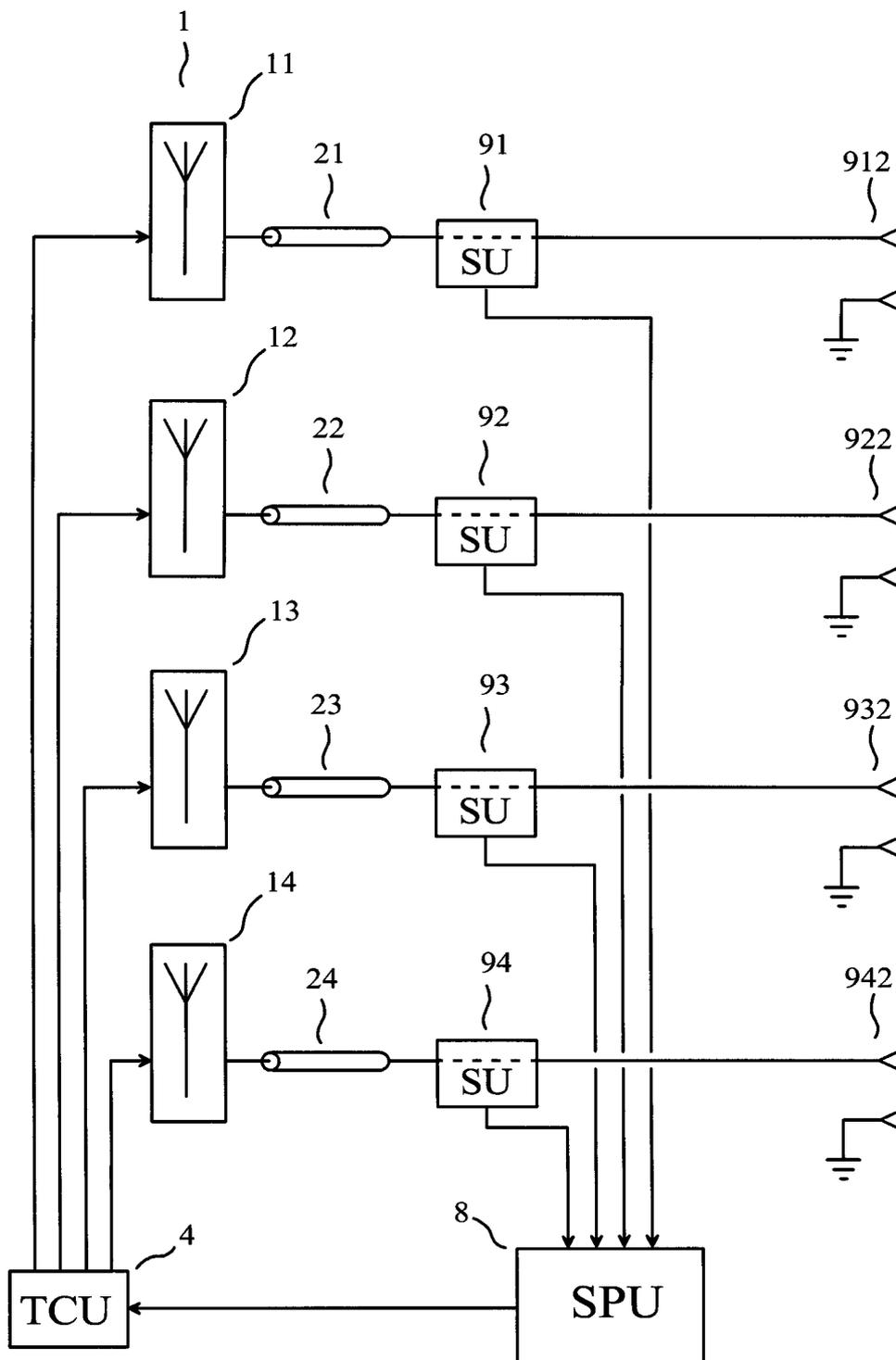


FIG. 1

2 / 10

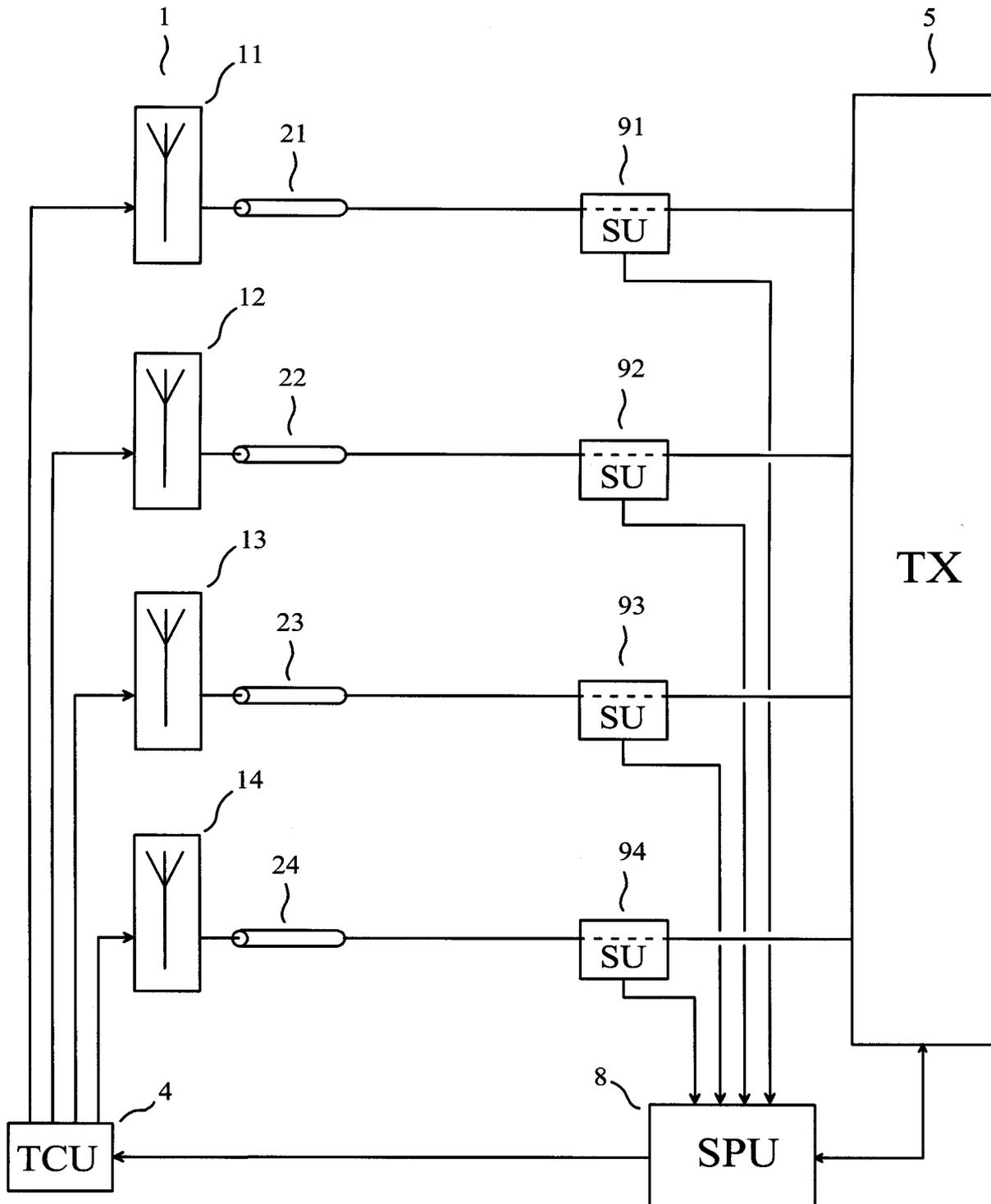


FIG. 2

3 / 10

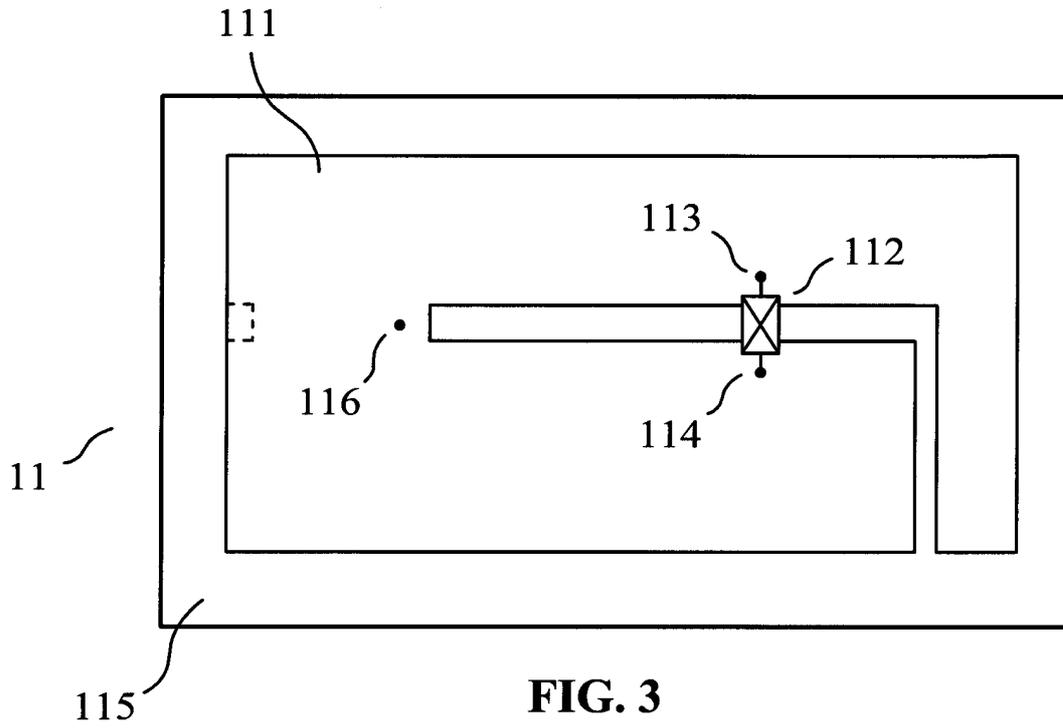


FIG. 3

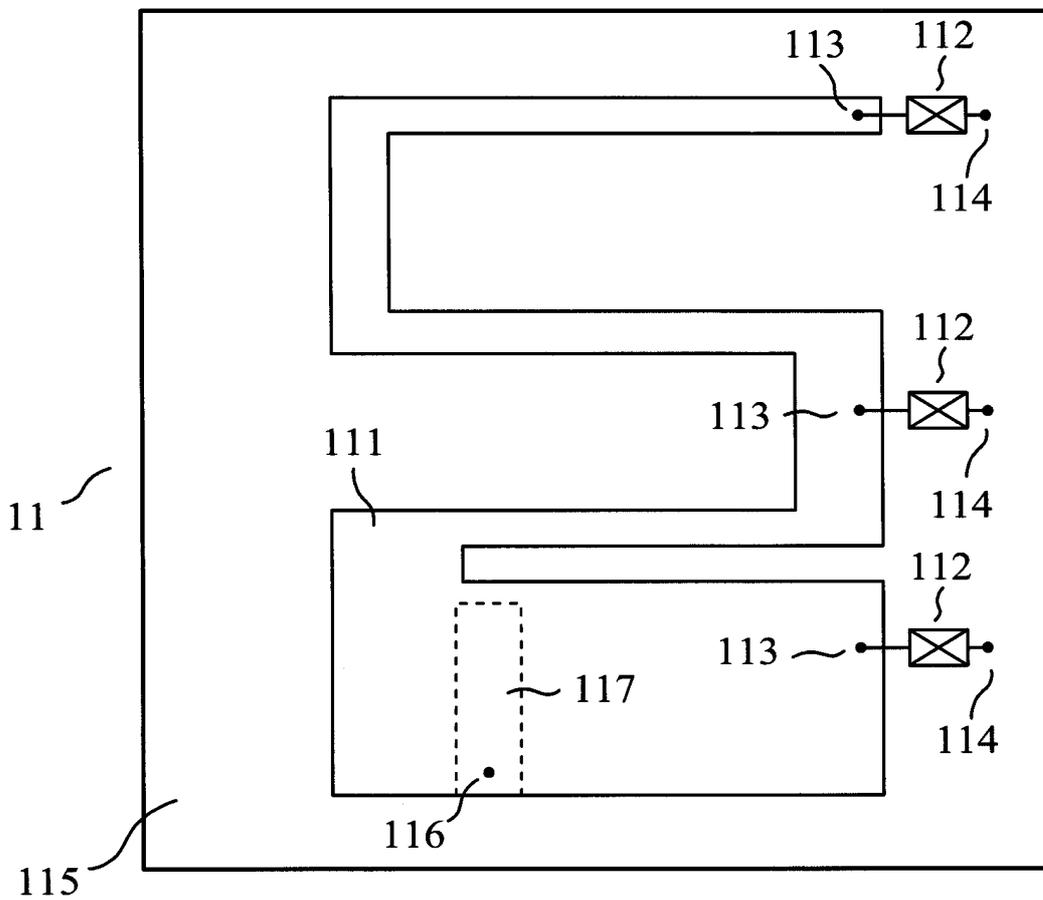


FIG. 4

4 / 10

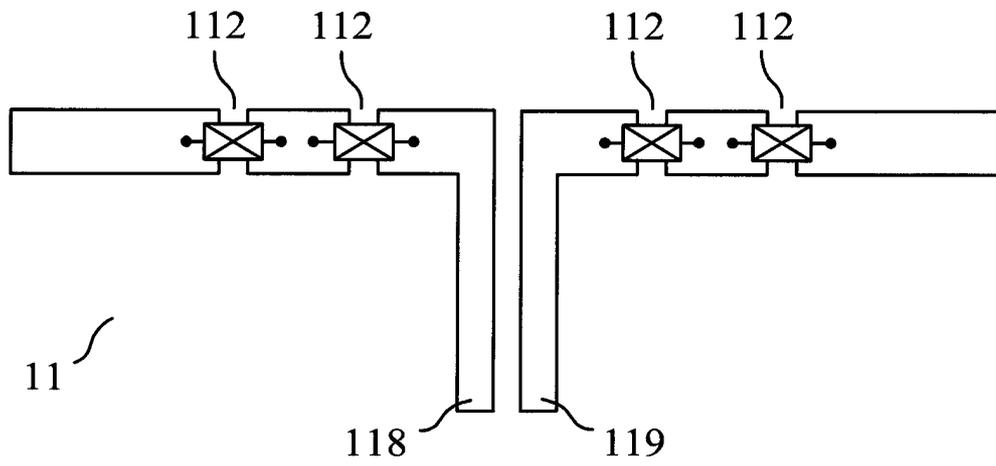


FIG. 5

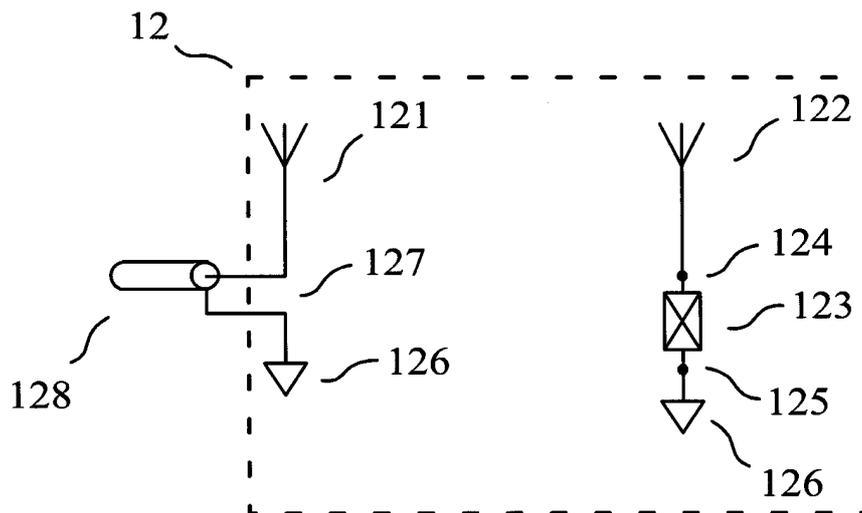


FIG. 6

5 / 10

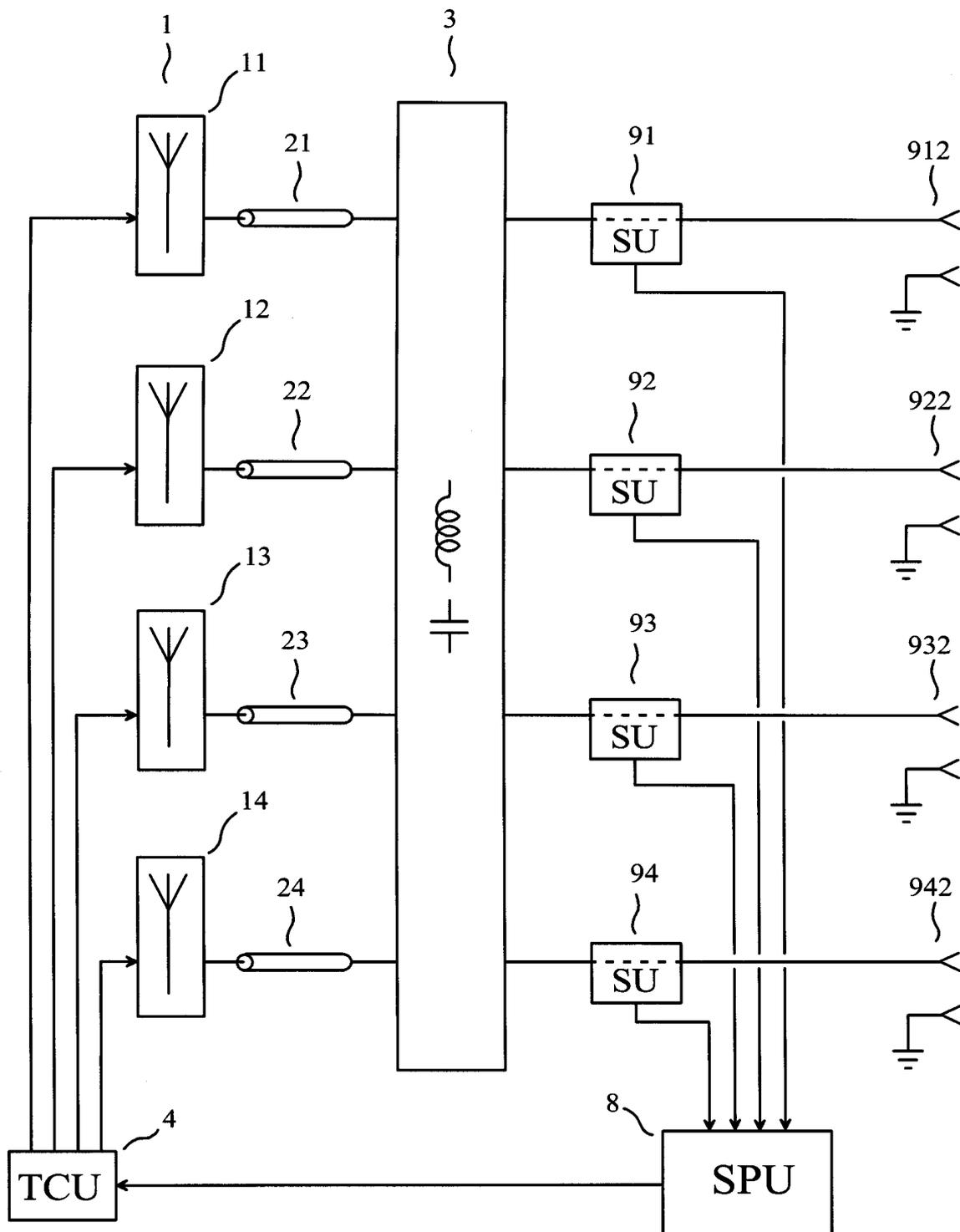


FIG. 7

6 / 10

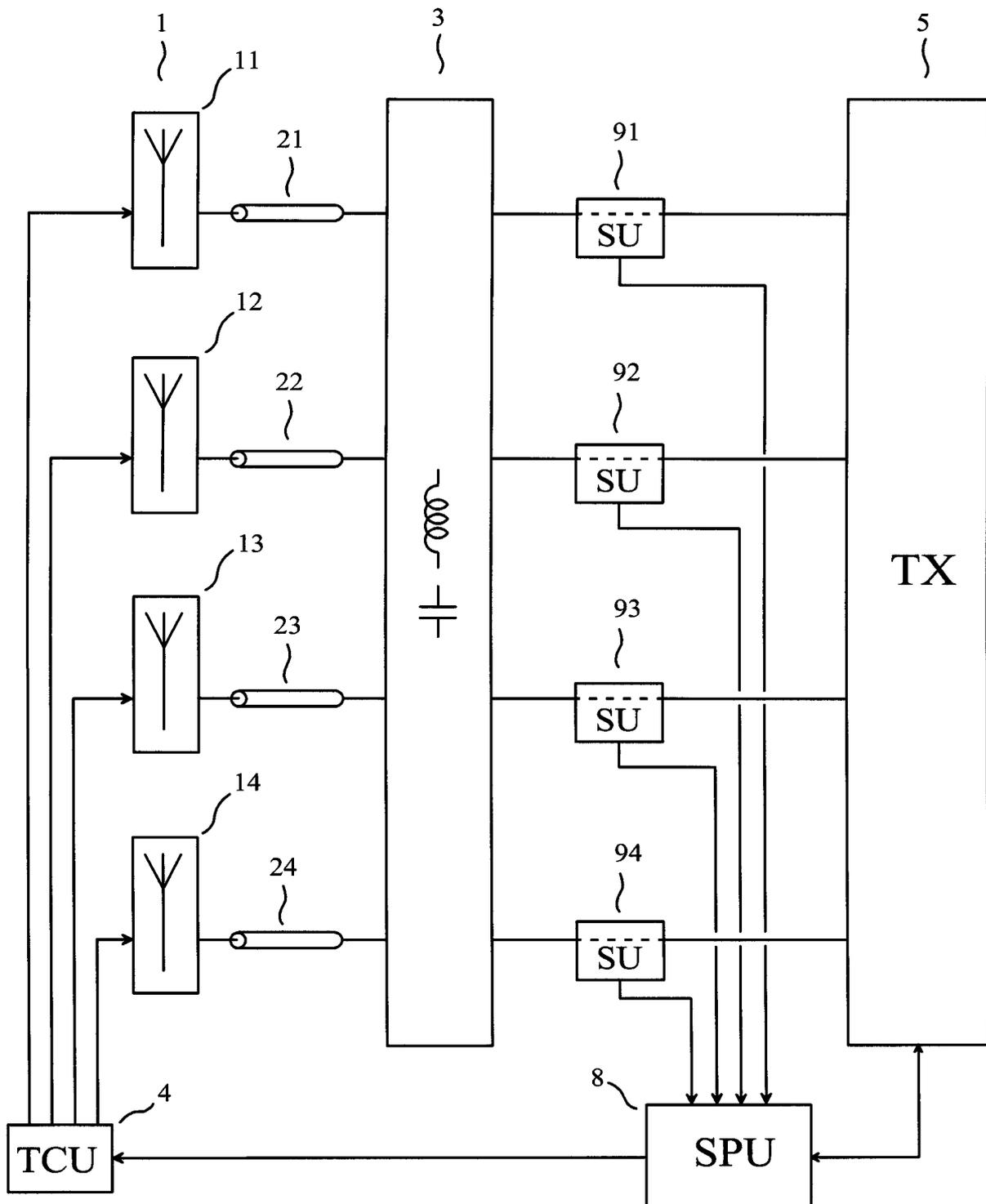


FIG. 8

7 / 10

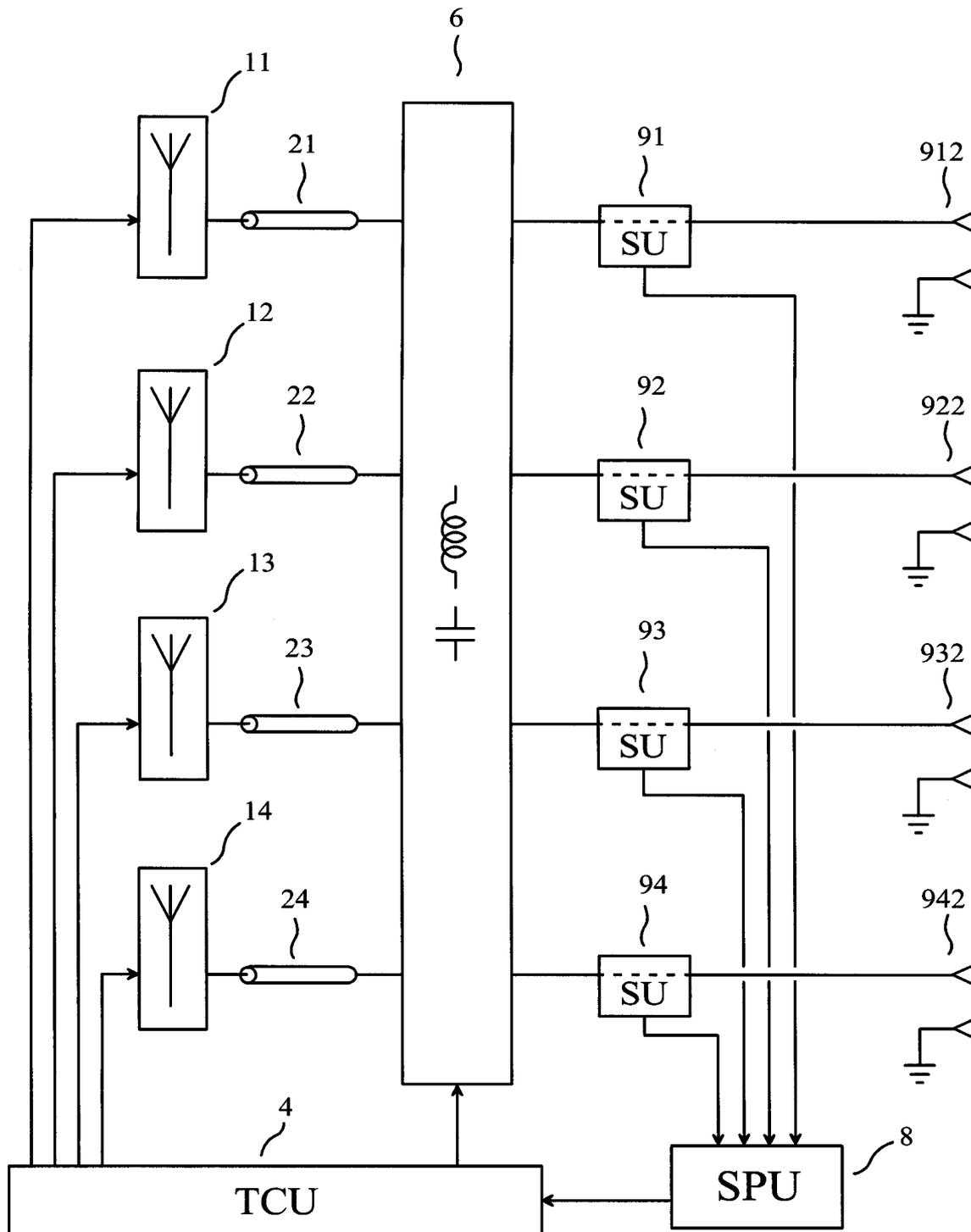


FIG. 9

8 / 10

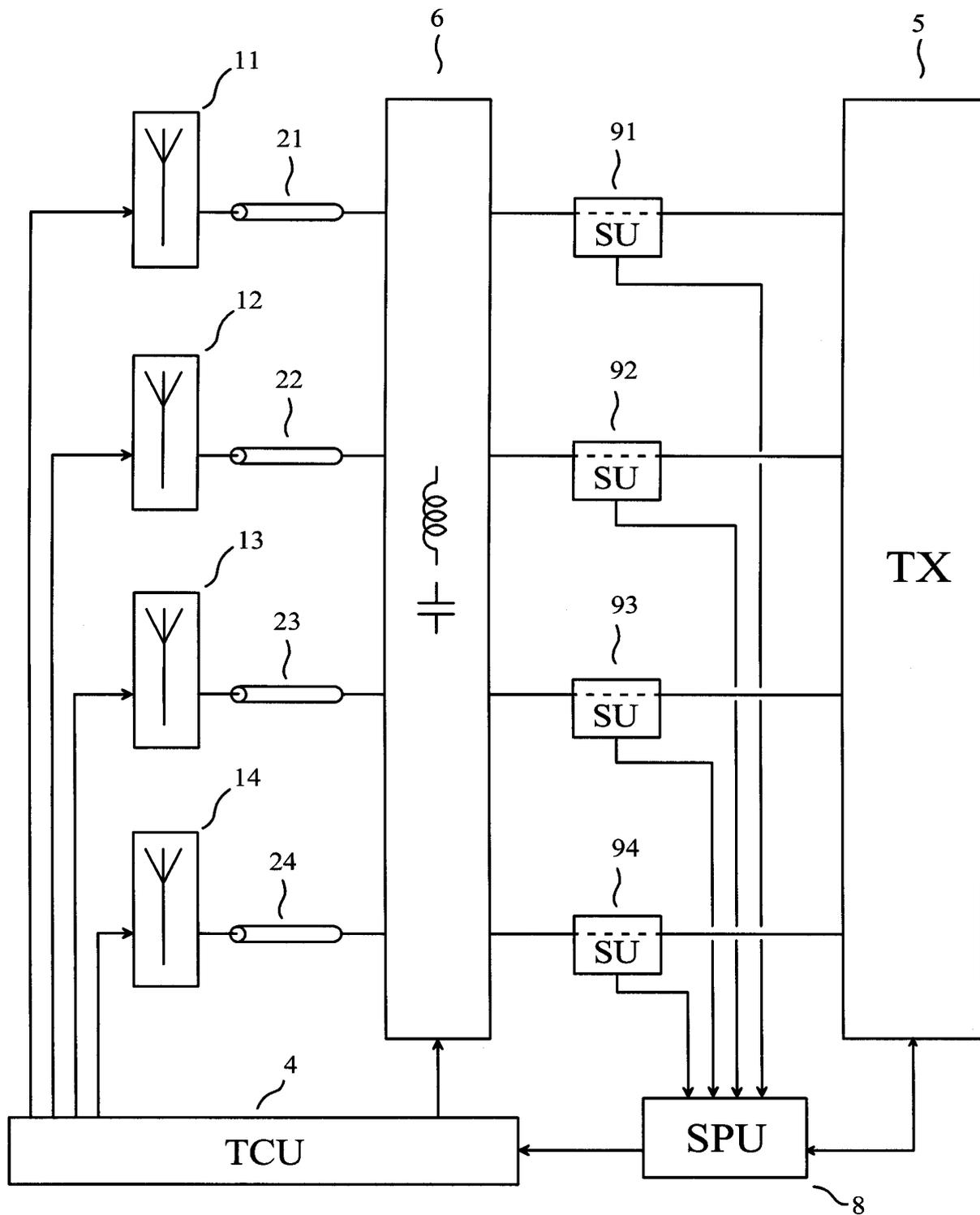


FIG. 10

9 / 10

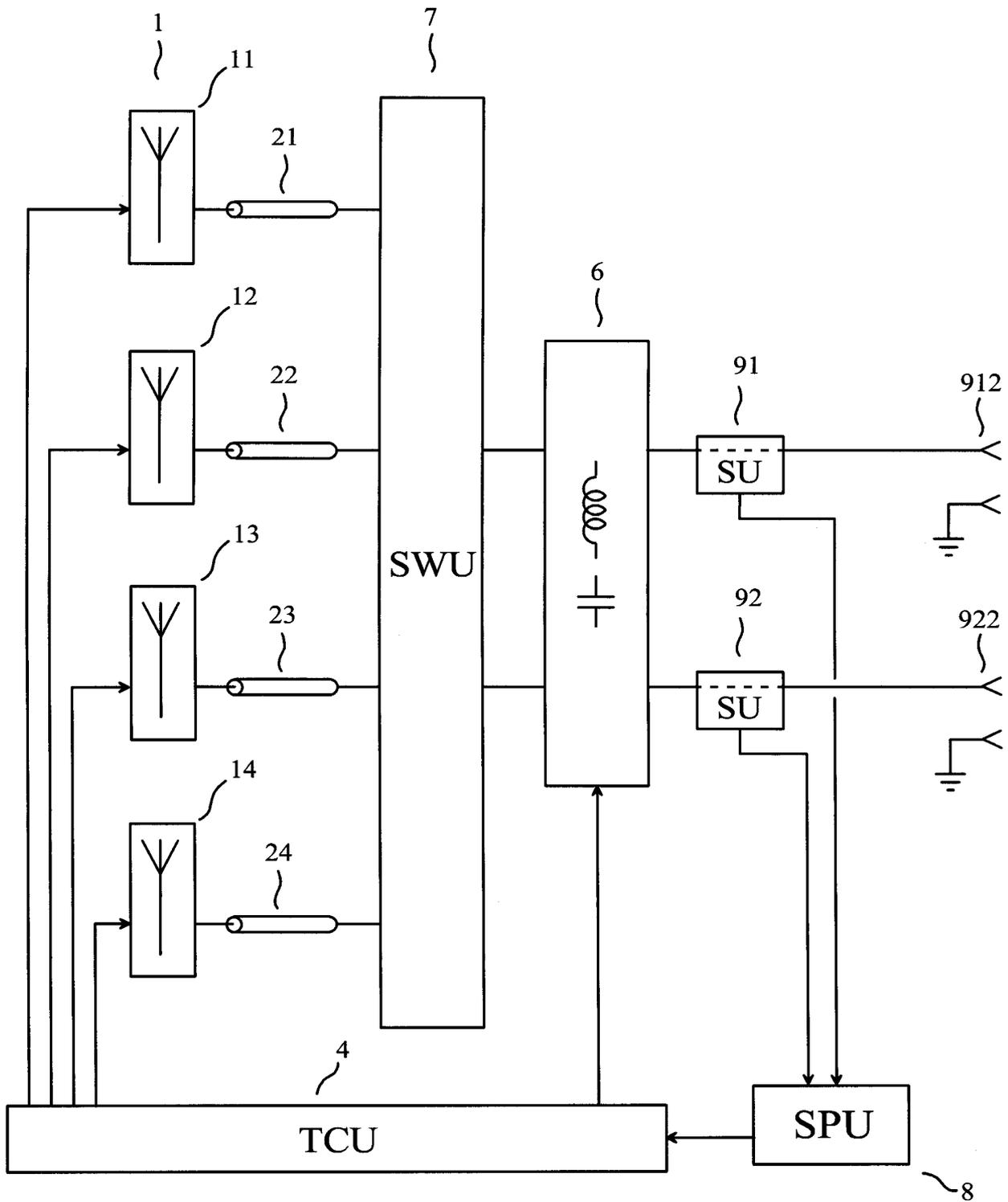


FIG. 11

10 / 10

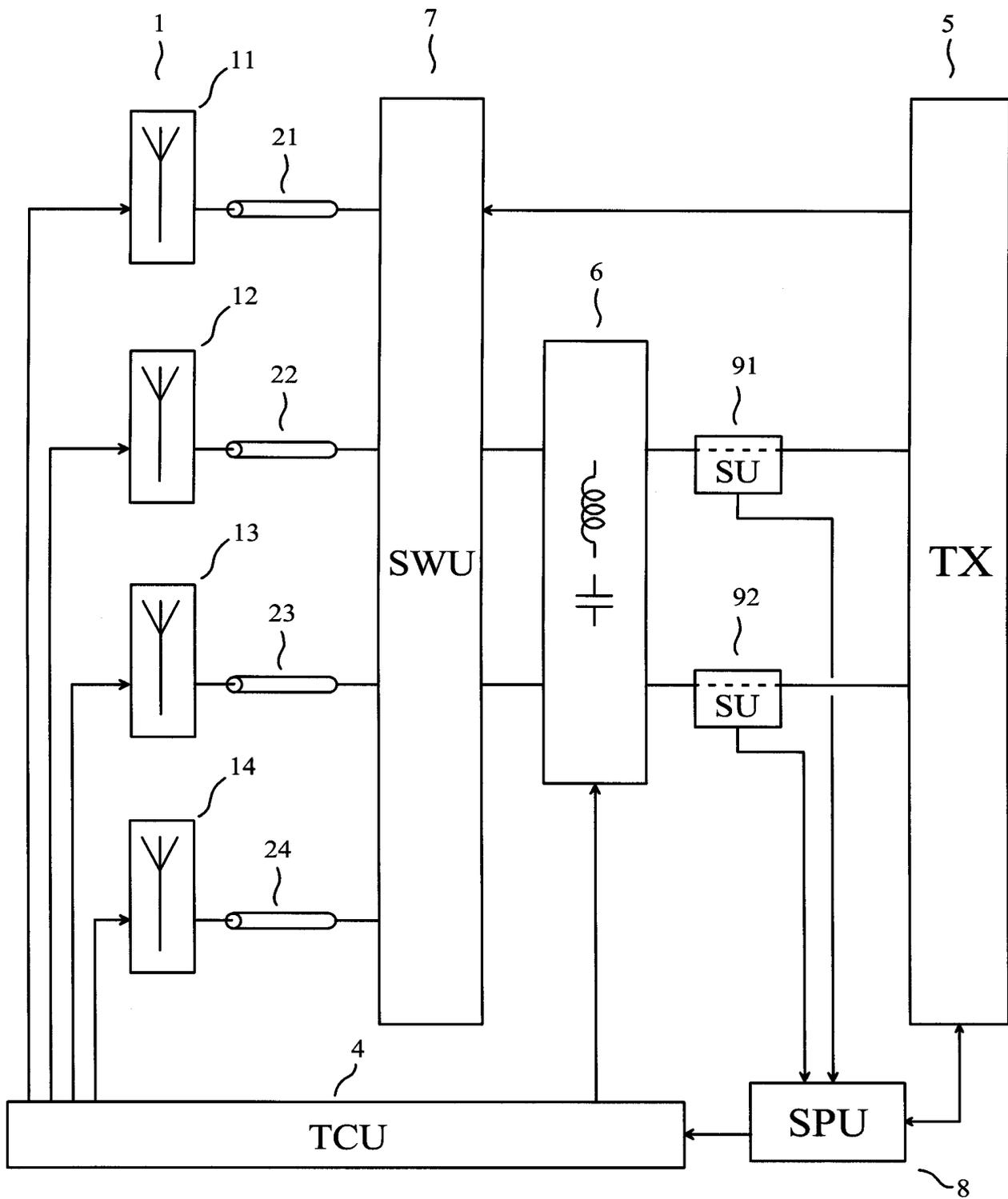


FIG. 12

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

WO 2015/140660 A1 (TEKCEM [FR]; BROYDE FREDERIC [FR]; CLAVELIER EVELYNE [FR])
24 septembre 2015 (2015-09-24)

US 2015/078485 A1 (BROYDE FRÉDÉRIC [FR] ET AL)
19 mars 2015 (2015-03-19)

US 8 102 830 B2 (YOKOI ATSUYA [JP] ET AL)
24 janvier 2012 (2012-01-24)

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

NEANT