

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

①① N° de publication : **3 063 184**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②① N° d'enregistrement national : **17 70169**
⑤① Int Cl⁸ : **H 01 Q 3/36** (2017.01), H 01 Q 1/38

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PROCÉDE POUR REGLAGE AUTOMATIQUE D'ANTENNES PASSIVES ACCORDABLES ET D'UNE UNITE D'ACCORD, ET APPAREIL POUR COMMUNICATION RADIO UTILISANT CE PROCÉDE.

②② Date de dépôt : 21.02.17.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 24.08.18 Bulletin 18/34.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 28.02.20 Bulletin 20/09.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ 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 Société par actions simplifiée.*

FR 3 063 184 - B1



Procédé pour réglage automatique d'antennes passives accordables et d'une unité d'accord, et appareil pour communication radio utilisant ce procédé

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5 L'invention concerne un procédé pour régler automatiquement une pluralité d'antennes passives accordables et une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, par exemple une pluralité d'antennes passives accordables et une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples d'un émetteur radio utilisant plusieurs antennes simultanément. L'invention concerne aussi un appareil pour communication radio
10 utilisant ce procédé, par exemple un émetteur-récepteur radio.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

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
15 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 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
20 anglais : "reconfigurable antenna"). Certains auteurs considèrent trois classes d'antenne passive accordable : les antennes agiles en polarisation (en anglais : "polarization-agile antennas"), les 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
25 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, 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 :

- 30 - 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 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
35 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 caractérisées par une impédance qui peut dépendre de la fréquence, cette impédance étant réglable.

15 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 :

- 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.

30 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 premier 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 premier procédé est seulement applicable à un récepteur radio utilisant simultanément plusieurs antennes pour de la réception radio MIMO.

Un second procédé pour régler automatiquement une pluralité d’antennes passives accordables peut être dérivé de l’approche employée dans le brevet des États-Unis d’Amérique numéro 9,077,317, intitulé “Method and apparatus for automatically tuning an impedance matrix, and radio transmitter using this apparatus”, qui divulgue un procédé pour régler automatiquement une unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples, en utilisant des excitations différentes appliquées successivement. Ce second procédé est applicable à un émetteur radio utilisant une pluralité d’antennes simultanément. Ce second procédé peut être utilisé lorsque les interactions entre les antennes passives accordables ne sont pas négligeables. Un schéma-bloc d’un système d’antennes automatique mettant en oeuvre ce second procédé est montré sur la figure 1. Le système d’antennes automatique montré sur la figure 1 a $m = 4$ accès utilisateur (311) (321) (331) (341), les m accès utilisateur présentant, à une fréquence donnée, une matrice impédance appelée “la matrice impédance présentée par les accès utilisateur”, le système d’antennes automatique comportant :

$m = 4$ antennes passives accordables (11) (12) (13) (14), les m antennes passives accordables opérant simultanément dans une bande de fréquences donnée, les m 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 (31) (32) (33) (34), 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 ;

m 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 ;
 5 une unité de traitement du signal (5), 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 différentes appliquées successivement aux accès utilisateur, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction de réglage" en
 10 fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur ; et
 une unité de contrôle (6), l'unité de contrôle recevant l'instruction de réglage de l'unité de traitement du signal (5), l'unité de contrôle délivrant des "signaux de contrôle", les signaux de contrôle étant déterminés en fonction de l'instruction de réglage, chacun
 15 des dits paramètres étant principalement déterminé par au moins un des signaux de contrôle.

Malheureusement, il a été découvert que des antennes passives accordables ne procurent souvent qu'une médiocre faculté d'accord, si bien qu'il n'est souvent pas possible d'obtenir que le réseau d'antennes automatiquement accordable montré sur la figure 1 puisse réduire
 20 suffisamment ou annuler toute variation de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, causée par une variation d'une fréquence d'opération, et/ou causée par la fameuse interaction utilisateur.

Ce problème est résolu dans un procédé pour régler automatiquement une pluralité d'antennes passives accordables et une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de
 25 sortie multiples, divulgué dans la demande de brevet français numéro 14/00666 du 20 mars 2014 et dans la demande PCT numéro PCT/IB2015/051644 du 6 mars 2015 (WO 2015/140660). 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
 30 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 version de ce procédé, qui est applicable à un émetteur radio. Un schéma-bloc d'un système d'antennes automatique mettant en oeuvre cette version de ce procédé est montré sur la figure 2. Le système d'antennes automatique montré sur la figure 2 a $m = 4$ accès utilisateur (311) (321) (331) (341), les m accès
 35 utilisateur présentant, à une fréquence donnée, une matrice impédance appelée "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur", le système d'antennes automatique 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, 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 ;

5 m unités de détection (31) (32) (33) (34), chacune des unités de détection délivrant deux "signaux de sortie d'unité de détection", chacun des signaux de sortie d'unité de

10 détection étant déterminé par une variable électrique captée (ou mesurée) à un des accès utilisateur ;

une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) ayant m accès d'entrée et n accès de sortie, chacun des 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

15 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

20 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

25 et un seul des accès de sortie ;

une unité de traitement du signal (5), 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 différentes appliquées successivement aux accès

30 utilisateur, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction de réglage" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur ; et

une unité de contrôle (6), l'unité de contrôle recevant l'instruction de réglage de l'unité de traitement du signal (5), l'unité de contrôle délivrant des "signaux de contrôle", les

35 signaux de contrôle étant déterminés en fonction de l'instruction de réglage, 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, chacun des dits paramètres étant principalement déterminé par au moins un des signaux de contrôle.

Cette version de ce procédé peut procurer une excellente faculté d'accord. Malheureusement, il peut être montré qu'un réglage de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples obtenu en utilisant cette version de ce procédé n'est typiquement pas proche d'un accord optimal, lorsque les pertes dans l'unité d'accord à accès
5 d'entrée multiples et accès de sortie multiples ne sont pas très faibles.

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 procure : une bonne faculté d'accord, en utilisant une unité
10 d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ; et un réglage de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples qui est proche d'un accord optimal, lorsque ses pertes ne sont pas très faibles.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention a pour objet un procédé pour régler automatiquement une pluralité d'antennes passives accordables et une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie
15 multiples, dépourvu des limitations mentionnées ci-dessus des techniques connues, et aussi un appareil pour communication radio utilisant ce procédé.

Dans la suite, X et Y étant des quantités ou variables différentes, effectuer une action en fonction de X n'exclut pas la possibilité d'effectuer cette action en fonction de Y. Dans la suite, "ayant une influence" et "ayant un effet" ont le même sens. Dans la suite, "couplé", lorsque ce
20 terme est appliqué à deux accès (au sens de la théorie des circuits), peut indiquer que les accès sont directement couplés, chaque terminal d'un des accès étant dans ce cas connecté à (ou, de façon équivalente, en contact électrique avec) un et un seul des terminaux de l'autre accès, et/ou que les accès sont indirectement couplés, une interaction électrique différente du couplage direct existant dans ce cas entre les accès, par exemple à travers un ou plusieurs composants.

Le procédé selon l'invention est un procédé pour accorder automatiquement N antennes passives accordables et une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, où N est un entier supérieur ou égal à 2, l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ayant m accès d'entrée et n accès de sortie, où m et n sont chacun un
25 entier supérieur ou égal à 2, les antennes passives accordables et l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples étant des parties d'un appareil pour communication radio, l'appareil pour communication radio permettant, à une fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables, le procédé comportant les étapes suivantes :

généraliser un ou plusieurs "signaux de contrôle d'antenne", chacune des antennes passives
35 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 une influence sur
 les dites une ou plusieurs caractéristiques, ledit au moins un paramètre étant réglable
 par moyen électrique, ledit au moins un paramètre étant principalement déterminé par
 5 au moins un des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne ;
 appliquer m excitations aux m accès d'entrée, une et une seule des excitations étant
 appliquée à chacun des accès d'entrée ;
 estimer q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie,
 où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les dites m excitations ; et
 10 générer un ou plusieurs "signaux de contrôle d'accord", en fonction des dites q quantités
 réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie, 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
 15 l'unité d'accord" et étant tels que, à la 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 étant réglable par
 moyen électrique, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance
 réglable de l'unité d'accord étant principalement déterminée par au moins un des un
 20 ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, la réactance de n'importe lequel des
 dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ayant une influence sur une
 matrice impédance présentée par les accès d'entrée.

La fréquence donnée peut par exemple être une fréquence supérieure ou égale à 150 kHz.
 Le spécialiste comprend que la matrice impédance vue par les accès de sortie est une matrice
 25 complexe carrée d'ordre n , et que la matrice impédance présentée par les accès d'entrée est une
 matrice complexe carrée d'ordre m . Nous utiliserons \mathbf{Z}_{Sant} pour désigner la matrice impédance
 vue par les accès de sortie, et \mathbf{Z}_U pour désigner la matrice impédance présentée par les accès
 d'entrée.

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

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

10 Il est dit plus haut que l'appareil pour communication radio permet, à la fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables. En d'autres termes, l'appareil pour communication radio est tel que, si une puissance est reçue par les m accès d'entrée à la fréquence donnée, une partie de ladite puissance reçue par les m accès d'entrée est transférée à un champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables à la fréquence
15 donnée, si bien qu'une puissance du champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables à la fréquence donnée est égale à ladite partie de ladite puissance reçue par les m accès d'entrée. Par exemple, le spécialiste sait qu'une puissance du champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables (puissance rayonnée moyenne) peut être calculée comme le flux de la partie réelle d'un vecteur de Poynting complexe du champ
20 électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables, à travers une surface fermée contenant les antennes passives accordables.

Pour obtenir que l'appareil pour communication radio permette, à la fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables, comme expliqué ci-dessous dans la présentation du
25 premier mode de réalisation, chacune des antennes passives accordables peut, si $n = N$, par exemple être couplée, directement ou indirectement, à un et un seul des accès de sortie. Plus précisément, si $n = N$, pour chacune des antennes passives accordables, l'accès signal de l'antenne peut par exemple être couplé, directement ou indirectement, à un et un seul des accès de sortie. Par exemple, un couplage indirect peut être un couplage à travers une liaison
30 d'antenne et/ou à travers une unité de détection. Pour des valeurs convenables des signaux de contrôle d'accord et des signaux de contrôle d'antenne, ledit transfert de puissance depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables peut par exemple être un transfert de puissance avec des pertes faibles ou négligeables ou nulles, cette caractéristique étant préférée.

35 Comme expliqué ci-dessous dans les présentations du deuxième mode de réalisation et du troisième mode de réalisation, les dites m excitations peuvent être utilisées pour estimer les q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie.

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

5 Selon l'invention, chacune des dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie 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 vue par les accès de sortie, ou d'un élément de l'inverse de la matrice impédance vue par les accès de sortie (c'est-à-dire, la matrice admittance vue par les accès de sortie), ou d'un élément d'une matrice des coefficients de réflexion en tension aux accès de sortie, définie
10 comme étant égale à $(\mathbf{Z}_{Sant} - \mathbf{Z}_O) (\mathbf{Z}_{Sant} + \mathbf{Z}_O)^{-1}$, où \mathbf{Z}_O est une matrice impédance de référence.

Le spécialiste voit une différence fondamentale entre la méthode de l'état de l'art antérieur divulguée dans ledit neuvième mode de réalisation de la demande de brevet français numéro 14/00666 et de la demande PCT numéro PCT/IB2015/051644, mise en oeuvre dans le système d'antennes automatique montré sur la figure 2, d'une part, et l'invention, d'autre part. Dans
15 ladite méthode de l'état de l'art antérieur, des quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur sont utilisées pour accorder automatiquement la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Ceci signifie que ladite méthode de l'état de l'art antérieur utilise une structure de commande en boucle fermée (asservissement), dans laquelle les quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès
20 utilisateur sont utilisées pour obtenir des signaux de contrôle, qui déterminent la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord, et qui par conséquent déterminent la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Au contraire, la méthode selon l'invention utilise une structure de commande en boucle ouverte pour obtenir les un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, parce que les q quantités réelles dépendantes d'une
25 matrice impédance vue par les accès de sortie sont utilisées pour obtenir les un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, les un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord ayant une influence sur la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord, les un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord n'ayant aucune influence sur la matrice impédance vue par les accès de sortie.

30 La section III de l'article de F. Broyd 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, pages 423-432, en février 2015, explique qu'il existe une application (au sens mathématique) notée f_U et définie par

$$f_U(\mathbf{Z}_{Sant}, X_1, \dots, X_p) = \mathbf{Z}_U \quad (1)$$

35 où, les dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant numérotés de 1 à p , pour tout entier j supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à p , nous notons X_j la réactance du dispositif

à impédance réglable de l'unité d'accord numéro j , à la fréquence donnée. Ici, \mathbf{Z}_{Sant} est évidemment indépendante des variables réelles X_1, \dots, X_p , alors que l'équation (1) montre que \mathbf{Z}_U dépend des variables réelles X_1, \dots, X_p . Ceci nous permet de clarifier ladite différence fondamentale entre ladite méthode de l'état de l'art antérieur et l'invention, dans chacune
5 desquelles chacune des variables réelles X_1, \dots, X_p est principalement déterminée par au moins un des "signaux de contrôle" ou "signaux de contrôle d'accord". Ladite méthode de l'état de l'art antérieur utilise une structure de commande en boucle fermée (aussi appelée asservissement) parce qu'elle est telle que des quantités réelles dépendantes de \mathbf{Z}_U sont utilisées pour obtenir des signaux de contrôle et donc pour déterminer les variables réelles X_1, \dots, X_p , et
10 ainsi pour modifier \mathbf{Z}_U selon l'équation (1). Au contraire, l'invention utilise une structure de commande en boucle ouverte pour obtenir les un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, parce que des quantités réelles dépendantes de \mathbf{Z}_{Sant} sont utilisées pour obtenir des signaux de contrôle d'accord et donc pour déterminer les variables réelles X_1, \dots, X_p , qui n'ont aucune influence sur \mathbf{Z}_{Sant} .

15 Selon l'invention, puisque des quantités réelles dépendantes de \mathbf{Z}_{Sant} sont utilisées pour obtenir des signaux de contrôle d'accord et donc pour déterminer les variables réelles X_1, \dots, X_p , l'équation (1) indique que les signaux de contrôle d'accord peuvent être utilisés pour contrôler \mathbf{Z}_U , si l'application f_U est connue. Plus généralement, les signaux de contrôle d'accord peuvent être utilisés pour contrôler \mathbf{Z}_U , en utilisant un modèle convenable de l'unité d'accord à accès
20 d'entrée multiples et accès de sortie multiples. Ainsi, selon l'invention, il est possible que les signaux de contrôle d'accord soient tels que la matrice impédance présentée par les accès d'entrée, calculée en utilisant l'équation (1), réduise ou minimise une norme de l'image de la matrice impédance présentée par les accès d'entrée par une fonction matricielle, la fonction matricielle étant une fonction d'un ensemble de matrices complexes carrées vers le même
25 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 notée g et définie par

$$g(\mathbf{Z}_U) = \mathbf{Z}_U - \mathbf{Z}_W \quad (2)$$

30

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

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

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

$$g(\mathbf{Z}_U) = (\mathbf{Z}_U - \mathbf{Z}_W) (\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_W)^{-1} \quad (4)$$

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

5 Le spécialiste comprend que les un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne ont un effet sur chacun des dits paramètres, si bien qu'ils peuvent avoir une influence sur la matrice impédance vue par les accès de sortie, et sur la matrice impédance présentée par les accès d'entrée. 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
10 des antennes passives accordables".

Par exemple, il est possible qu'une commande en boucle ouverte soit utilisée pour générer chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne. De façon équivalente, il est par exemple possible qu'une structure de commande en boucle ouverte soit utilisée pour générer
15 chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne. Cette caractéristique possible sera expliquée ci-dessous dans les présentations du sixième mode de réalisation, du septième mode de réalisation, du douzième mode de réalisation et du quatorzième mode de réalisation.

Il a été expliqué plus haut que, dans la méthode selon l'invention, une commande en boucle ouverte est utilisée pour générer les un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord.

Le procédé selon l'invention peut être tel que tout élément diagonal de la matrice impédance
20 présentée par les accès d'entrée soit influencé par la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord. Le procédé selon l'invention peut être tel que la 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 cette caractéristique évite la médiocre faculté d'accord mentionnée
25 plus haut dans la section sur l'état de l'art antérieur.

Un appareil mettant en oeuvre le procédé selon l'invention est un appareil pour communication radio comportant :

- N antennes passives accordables, où N est un entier supérieur ou égal à 2, chacune des
30 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 une influence sur les dites une ou plusieurs caractéristiques, ledit au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique ;
- 35 une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ayant m accès d'entrée et n accès de sortie, où m et n sont chacun un entier supérieur ou égal à 2,

l'appareil pour communication radio permettant, à une fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables, l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples comportant p dispositifs à impédance réglable, où p est un

5 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 la 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

10 l'unité d'accord étant réglable par moyen électrique, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ayant une influence sur une matrice impédance présentée par les accès d'entrée ;

n 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 ;

15 une unité d'émission et de traitement du signal, l'unité d'émission et de traitement du signal délivrant une ou plusieurs "instructions de réglage d'antenne", l'unité d'émission et de traitement du signal appliquant m excitations aux m accès d'entrée, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès d'entrée, l'unité d'émission et de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance

20 vue par les accès de sortie, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour les dites m excitations, l'unité d'émission et de traitement du signal délivrant une ou plusieurs "instructions de réglage d'unité d'accord", les une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord étant déterminées en fonction des dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice

25 impédance vue par les accès de sortie ; et

une unité de contrôle, l'unité de contrôle délivrant un ou plusieurs "signaux de contrôle d'antenne" aux antennes passives accordables, chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne étant déterminé en fonction d'au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne, chacun des dits paramètres étant principalement

30 déterminé par au moins un des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne, l'unité de contrôle délivrant un ou plusieurs "signaux de contrôle d'accord" à l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord étant déterminé en fonction d'au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord, la réactance de chacun des

35 dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant principalement déterminée par au moins un des un ou plusieurs 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 antennes passives accordables”.

Par exemple, chacune des dites variables électriques peut être une tension, ou une tension
5 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 accès de sortie, ou dans l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples.

Comme expliqué ci-dessus, si $n = N$, il est par exemple possible que chacune des antennes
10 passives accordables soit couplée, directement ou indirectement, à un et un seul des accès de sortie. Comme expliqué ci-dessus, si $n = N$, il est par exemple possible que, pour chacune des antennes passives accordables, l’accès signal de l’antenne soit couplé, directement ou indirectement, à un et un seul des accès de sortie. Ainsi, ledit transfert de puissance (depuis les m accès d’entrée jusqu’à un champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables) peut se produire à travers l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de
15 sortie multiples. L’entier p peut être supérieur ou égal à $2m$.

Il est par exemple possible que chacun des m accès d’entrée soit couplé, directement ou indirectement, à un accès de l’unité d’émission et de traitement du signal, ledit accès de l’unité d’émission et de traitement du signal délivrant une et une seule des excitations.

Ladite unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples comporte m
20 accès d’entrée et n accès de sortie. Il est supposé que ladite unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples se comporte, à ladite 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, ladite unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples se comporte, à ladite fréquence donnée, par
25 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, l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples ne procure pas d’amplification.

Par exemple, il est possible que l’appareil pour communication radio soit tel qu’une
30 commande en boucle ouverte est utilisée pour déterminer chacune des une ou plusieurs instructions de réglage d’antenne.

Le spécialiste comprend que l’appareil pour communication radio selon l’invention est adaptatif dans le sens où les dits paramètres et les réactances des dispositifs à impédance réglable de l’unité d’accord sont modifiés au cours du temps en fonction des signaux de sortie
35 d’unité de détection, qui sont chacun principalement déterminés par une ou plusieurs variables électriques.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

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

- 5 - la figure 1 représente un schéma-bloc d'un système d'antennes automatique, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- la figure 2 représente un schéma-bloc d'un système d'antennes automatique, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- la figure 3 représente un schéma-bloc d'un appareil pour communication radio selon
10 l'invention (premier mode de réalisation) ;
- la figure 4 représente un algorithme mis en oeuvre dans un appareil pour communication radio selon l'invention (sixième mode de réalisation) ;
- la figure 5 représente le schéma d'une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ayant 4 accès d'entrée et 4 accès de sortie, qui peut être
15 utilisé dans l'appareil pour communication radio montré sur la figure 3 (sixième mode de réalisation) ;
- la figure 6 représente un algorithme mis en oeuvre dans un appareil pour communication radio selon l'invention (septième mode de réalisation) ;
- la figure 7 représente le schéma d'une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ayant 4 accès d'entrée et 4 accès de sortie, qui peut être
20 utilisé dans l'appareil pour communication radio montré sur la figure 3 (septième mode de réalisation) ;
- la figure 8 représente une première antenne passive accordable, qui comporte un seul dispositif de contrôle d'antenne (huitième mode de réalisation) ;
- 25 - la figure 9 représente une deuxième antenne passive accordable, qui comporte trois dispositifs de contrôle d'antenne (neuvième mode de réalisation) ;
- la figure 10 représente une troisième antenne passive accordable, qui comporte quatre dispositifs de contrôle d'antenne (dixième mode de réalisation) ;
- la figure 11 représente une quatrième antenne passive accordable, qui comporte un
30 seul dispositif de contrôle d'antenne (onzième mode de réalisation) ;
- la figure 12 représente un schéma-bloc d'un appareil pour communication radio selon l'invention (douzième mode de réalisation) ;
- la figure 13 montre les emplacements des 4 antennes d'un téléphone mobile (treizième mode de réalisation) ;
- 35 - la figure 14 montre une première configuration d'utilisation typique (configuration main droite et tête) ;
- la figure 15 montre une deuxième configuration d'utilisation typique (configuration deux mains) ;

- la figure 16 montre une troisième configuration d'utilisation typique (configuration main droite seulement) ;
- la figure 17 représente un schéma-bloc d'un appareil pour communication radio selon l'invention (quatorzième mode de réalisation).

5 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 3 le schéma-bloc d'un appareil pour communication radio comportant :

- 10 $N = 4$ antennes passives accordables (11) (12) (13) (14), les antennes passives accordables opérant simultanément dans une bande de fréquences donnée, les antennes passives accordables formant un réseau d'antennes à accès multiples, 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
- 15 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 ;
- une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) ayant $m = 4$
- 20 accès d'entrée et $n = N$ accès de sortie, 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 $2m = 8$, les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord" et étant tels que, à une fréquence donnée supérieure ou égale à 30 MHz, chacun des dispositifs à impédance
- 25 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 étant réglable par moyen électrique ;
- n unités de détection (31) (32) (33) (34), chacune des unités de détection délivrant deux "signaux de sortie d'unité de détection", chacun des signaux de sortie d'unité de
- 30 détection étant déterminé par une variable électrique captée (ou mesurée) à un des accès de sortie ;
- N liaisons d'antenne (21) (22) (23) (24), chacune des liaisons d'antenne ayant une première extrémité qui est directement couplée à un accès signal d'une et une seule des antennes passives accordables, chacune des liaisons d'antenne ayant une seconde extrémité qui
- 35 est indirectement couplée à un et un seul des accès de sortie, à travers une et une seule des unités de détection ;

une unité d'émission et de traitement du signal (8), l'unité d'émission et de traitement du signal délivrant une ou plusieurs "instructions de réglage d'antenne", l'unité d'émission et de traitement du signal appliquant m excitations aux m accès d'entrée, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès d'entrée, l'unité

5 d'émission et de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour les dites m excitations, l'unité d'émission et de traitement du signal délivrant une ou plusieurs "instructions de réglage d'unité d'accord", chacune des une ou plusieurs instructions

10 de réglage d'unité d'accord étant déterminée en fonction des dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie ; et

une unité de contrôle (6), l'unité de contrôle recevant les une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne, l'unité de contrôle délivrant un ou plusieurs "signaux de contrôle d'antenne" aux antennes passives accordables, chacun des un ou plusieurs signaux de

15 contrôle d'antenne étant déterminé en fonction d'au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne, chacun des dits paramètres étant principalement déterminé par au moins un des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne, l'unité de contrôle recevant les une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord, l'unité de contrôle délivrant un ou plusieurs "signaux de contrôle d'accord" à l'unité

20 d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord étant déterminé en fonction d'au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant principalement déterminée par au moins un des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord.

25 Chacune des antennes passives accordables est indirectement couplée à un et un seul des accès de sortie. Plus précisément, pour chacune des antennes passives accordables, l'accès signal de l'antenne est indirectement couplé à un et un seul des accès de sortie, à travers une et une seule des unités de détection et une et une seule des liaisons d'antenne. De plus, chacun des accès de sortie est indirectement couplé à une et une seule des antennes passives accordables.

30 Plus précisément, chacun des accès de sortie est indirectement couplé à l'accès signal d'une et une seule des antennes passives accordables, à travers une et une seule des unités de détection et une et une seule des liaisons d'antenne. La fréquence donnée est dans la bande de fréquences donnée. La bande de fréquences donnée ne contient que des fréquences supérieures ou égales à 30 MHz.

35 Chacune des unités de détection (31) (32) (33) (34) 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

de sortie ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une seconde variable électrique, la seconde variable électrique étant un courant sortant du dit un des accès de sortie. Ladite tension aux bornes d'un des accès de sortie peut être une tension complexe et ledit courant sortant du dit un des accès de sortie peut être un courant complexe. Alternativement, chacune des unités de détection (31) (32) (33) (34) 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 de sortie ; 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 de sortie. Ladite tension incidente à un des accès de sortie peut être une tension incidente complexe et ladite tension réfléchie au dit un des accès de sortie peut être une tension réfléchie complexe.

Chacun des m accès d'entrée est directement couplé à un accès de l'unité d'émission et de traitement du signal (8), ledit accès de l'unité d'émission et de traitement du signal délivrant une et une seule des excitations. Chacune des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne peut être de n'importe quel type de message numérique. Chacune des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord peut être de n'importe quel type de message numérique. Les une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne et les une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord sont délivrées pendant une ou plusieurs séquences de réglage. Deux séquences de réglage différentes sont décrites ci-dessous, dans le sixième mode de réalisation et dans le septième mode de réalisation. La durée d'une séquence de réglage est inférieure à 100 microsecondes.

L'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) est telle que, à ladite fréquence donnée, si la matrice impédance vue par les accès de sortie est égale à une matrice impédance non diagonale donnée, une application (au sens mathématique) faisant correspondre la matrice impédance présentée par les accès d'entrée aux p réactances est définie, l'application ayant, à une valeur donnée de chacune des p réactances, une dérivée partielle par rapport à chacune des p réactances, un sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles étant défini dans l'ensemble des matrices complexes carrées d'ordre m considéré comme un espace vectoriel réel, toute matrice complexe diagonale d'ordre m ayant les mêmes éléments diagonaux qu'au moins un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles. Ceci doit être interprété comme signifiant : l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est telle que, à ladite fréquence donnée, il existe une matrice impédance non diagonale appelée la matrice impédance non diagonale donnée, la matrice impédance non diagonale donnée étant telle que, si une matrice impédance vue par les accès de sortie est égale à la matrice impédance non diagonale donnée, alors une application faisant correspondre une matrice impédance présentée par les accès d'entrée aux p réactances est définie, l'application ayant, à une valeur donnée de chacune des p réactances, une dérivée

partielle par rapport à chacune des p réactances, un sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles étant défini dans l'ensemble des matrices complexes carrées d'ordre m considéré comme un espace vectoriel réel, toute matrice complexe diagonale d'ordre m ayant les mêmes éléments diagonaux qu'au moins un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles.

Le spécialiste sait que la dimension du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles considéré comme un espace vectoriel réel a été utilisée et expliquée : dans la demande de brevet français n° 12/02542; dans la demande internationale n° PCT/IB2013/058423; et dans les sections I, III, VI, VII et VIII de 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. Dans ledit article, ladite dimension du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles est appelée "local dimension of the user port impedance range" et est notée $D_{UR}(\mathbf{Z}_{Sam})$. Un spécialiste comprend que, pour obtenir que toute matrice complexe diagonale d'ordre m ait les mêmes éléments diagonaux qu'au moins un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles, il est nécessaire que la dimension du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles considéré comme un espace vectoriel réel soit supérieure ou égale à la dimension du sous-espace vectoriel des matrices complexes diagonales d'ordre m considéré comme un espace vectoriel réel. Puisque la dimension du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles considéré comme un espace vectoriel réel est inférieure ou égale à p , et puisque la dimension du sous-espace vectoriel des matrices complexes diagonales d'ordre m considéré comme un espace vectoriel réel est égale à $2m$, la condition nécessaire implique que p est un entier supérieur ou égal à $2m$. C'est pourquoi l'exigence " p est un entier supérieur ou égal à $2m$ " est une caractéristique essentielle de ce mode de réalisation.

L'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) est telle qu'elle peut procurer, à ladite fréquence donnée, pour des valeurs convenables des signaux de contrôle d'accord, un transfert de puissance à faibles pertes depuis les accès d'entrée jusqu'aux accès de sortie, et un transfert de puissance à faibles pertes depuis les accès de sortie jusqu'aux accès d'entrée.

Le spécialiste voit que l'appareil pour communication radio permet, à la fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables. En d'autres termes, l'appareil pour communication radio est tel que, si une puissance est reçue par les m accès d'entrée à la fréquence donnée, une partie de ladite puissance reçue par les m accès d'entrée est transférée à un champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables à la fréquence donnée, si bien qu'une puissance du champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables à la fréquence donnée est égale à ladite partie de ladite puissance reçue par les m accès d'entrée. L'appareil pour communication radio permet, à ladite fréquence donnée, un transfert de puissance depuis un champ électromagnétique incident sur les antennes passives

accordables jusqu'aux m accès d'entrée. De plus, l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) et les antennes passives accordables (11) (12) (13) (14) sont telles que, à ladite fréquence donnée, pour des valeurs convenables des signaux de contrôle d'accord et des signaux de contrôle d'antenne, un transfert de puissance à faibles pertes depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables peut être obtenu (pour l'émission radio), et un transfert de puissance à faibles pertes depuis un champ électromagnétique incident sur les antennes passives accordables jusqu'aux m accès d'entrée peut être obtenu (pour la réception radio). Ainsi, il est possible de dire que l'appareil pour communication radio permet, à ladite fréquence donnée, pour des valeurs convenables des signaux de contrôle d'accord et des signaux de contrôle d'antenne, un transfert de puissance à faibles pertes depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables, et un transfert de puissance à faibles pertes depuis un champ électromagnétique incident sur les antennes passives accordables jusqu'aux m accès d'entrée.

Les valeurs convenables des signaux de contrôle d'accord et des signaux de contrôle d'antenne sont procurées automatiquement. Ainsi, le spécialiste comprend que toute petite variation de la matrice impédance vue par les accès de sortie peut être au moins partiellement compensée par un nouveau réglage automatique des antennes passives accordables et des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord.

L'appareil pour communication radio est un émetteur-récepteur radio portable, si bien que l'unité d'émission et de traitement du signal (8) effectue aussi des fonctions qui n'ont pas été mentionnées plus haut, et qui sont bien connues des spécialistes. Par exemple, l'appareil pour communication radio peut être un équipement utilisateur (en anglais: "user equipment" ou "UE") d'un réseau radio LTE.

Le spécialiste comprend que \mathbf{Z}_{Sant} dépend de la fréquence et des caractéristiques électromagnétiques du volume entourant les antennes passives accordables. En particulier, le corps de l'utilisateur a un effet sur \mathbf{Z}_{Sant} , et \mathbf{Z}_{Sant} dépend de la position du corps de l'utilisateur. Ceci est appelé "interaction utilisateur" (en anglais: "user interaction"), ou "effet de main" (en anglais: "hand effect") ou "effet de doigt" (en anglais: "finger effect"). Le spécialiste comprend que l'appareil pour communication radio peut compenser automatiquement une variation de \mathbf{Z}_{Sant} causée par une variation d'une fréquence d'opération, et/ou compenser automatiquement l'interaction utilisateur.

De façon à répondre à des variations des caractéristiques électromagnétiques du volume entourant les antennes passives accordables et/ou de la fréquence d'opération, une nouvelle séquence de réglage débute rapidement après chaque changement de la fréquence d'opération, et pas plus tard que 10 millisecondes après le début de la séquence de réglage précédente.

Dans ce premier mode de réalisation, $N = n = m = 4$. 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 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.

Deuxième mode de réalisation.

Le deuxième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple
 5 non limitatif, correspond également à l'appareil pour communication radio représenté sur la
 figure 3, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables
 à ce deuxième mode de réalisation. De plus, dans ce deuxième mode de réalisation, les m
 excitations sont appliquées successivement aux accès d'entrée, c'est-à-dire : les m excitations
 sont appliquées l'une après l'autre aux accès d'entrée. Ainsi, par exemple, il n'est pas possible
 10 qu'au moins deux des excitations soient appliquées simultanément. Chacune des m excitations
 appliquées successivement aux accès d'entrée peut par exemple comporter un signal sinusoïdal
 à ladite fréquence donnée, par exemple un courant sinusoïdal à ladite fréquence donnée appliqué
 à un et un seul des accès d'entrée, ledit un et un seul des accès d'entrée étant un accès d'entrée
 différent pour chacune des m excitations différentes. Chacune des m excitations appliquées
 15 successivement aux accès d'entrée peut par exemple comporter un signal sinusoïdal à une
 fréquence différente de ladite fréquence donnée, ou un signal non sinusoïdal.

L'unité d'émission et de traitement du signal applique successivement les m excitations aux
 accès d'entrée. Par exemple, si les accès d'entrée sont numérotés de 1 à m , si les différentes
 excitations sont numérotées de 1 à m , et si a est n'importe quel entier supérieur ou égal à 1 et
 20 inférieur ou égal à m , l'excitation numéro a peut consister en une tension appliquée à l'accès
 d'entrée numéro a et aucune tension appliquée aux autres accès d'entrée, ou consister en un
 courant appliqué à l'accès d'entrée numéro a et aucun courant appliqué aux autres accès
 d'entrée.

Dans ce deuxième mode de réalisation, $q = 2n^2$ et les q quantités réelles dépendantes d'une
 25 matrice impédance vue par les accès de sortie déterminent complètement la matrice impédance
 vue par les accès de sortie. De plus, 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 de sortie et à un courant complexe sortant du dit un des accès de sortie,
 comme expliqué plus haut. Pour expliquer comment l'unité d'émission et de traitement du signal
 30 (8) peut utiliser les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour m excitations différentes
 appliquées successivement aux accès d'entrée, pour estimer q quantités réelles dépendantes
 d'une matrice impédance vue par les accès de sortie, nous allons considérer deux exemples de
 traitement du signal.

Dans le premier exemple de traitement du signal, nous supposons que, pour tout entier a
 35 supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , l'excitation numéro a consiste en un courant
 appliqué à l'accès d'entrée numéro a et aucun courant appliqué aux autres accès d'entrée,
 comme expliqué plus haut. Pour une certaine instruction de réglage d'unité d'accord, les accès

de sortie présentent une matrice impédance \mathbf{Z}_{LIOC} , et l'excitation numéro a cause un vecteur des tensions de circuit ouvert aux accès de sortie, noté $\mathbf{V}_{TPOC a}$. Ici, \mathbf{Z}_{LIOC} est une matrice complexe carrée d'ordre n et $\mathbf{V}_{TPOC a}$ est un vecteur complexe à n lignes. Le spécialiste voit que, pendant que l'excitation numéro a est appliquée, le vecteur des courants complexes mesurés par les unités de détection est donné par

$$\mathbf{I}_{TP a} = (\mathbf{Z}_{Sant} + \mathbf{Z}_{LIOC})^{-1} \mathbf{V}_{TPOC a} \quad (5)$$

et le vecteur des tensions complexes mesurées par les unités de détection est donné par

$$\mathbf{V}_{TP a} = \mathbf{Z}_{Sant} \mathbf{I}_{TP a} \quad (6)$$

dans laquelle $\mathbf{I}_{TP a}$ est donné par l'équation (5).

Définissons à présent \mathbf{I}_{TP} comme étant la matrice complexe à n lignes et m colonnes dont les vecteurs colonne sont $\mathbf{I}_{TP 1}, \dots, \mathbf{I}_{TP m}$, et \mathbf{V}_{TP} comme étant la matrice complexe à n lignes et m colonnes dont les vecteurs colonne sont $\mathbf{V}_{TP 1}, \dots, \mathbf{V}_{TP m}$. Nous avons

$$\mathbf{V}_{TP} = \mathbf{Z}_{Sant} \mathbf{I}_{TP} \quad (7)$$

Dans ce mode de réalisation, $m = n$, et l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) est telle que \mathbf{I}_{TP} est inversible, si bien que

$$\mathbf{Z}_{Sant} = \mathbf{V}_{TP} \mathbf{I}_{TP}^{-1} \quad (8)$$

Puisque, pour chaque élément de \mathbf{V}_{TP} ou de \mathbf{I}_{TP} , un des signaux de sortie d'unité de détection est, pendant qu'une des excitations est appliquée, proportionnel à cet élément de \mathbf{V}_{TP} ou de \mathbf{I}_{TP} , l'unité d'émission et de traitement du signal peut utiliser l'équation (8) pour calculer \mathbf{Z}_{Sant} . Ainsi, dans le premier exemple de traitement du signal, les dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie peuvent consister en n^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie réelle d'un élément de \mathbf{Z}_{Sant} et en n^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie imaginaire d'un élément de \mathbf{Z}_{Sant} .

Dans le second exemple de traitement du signal, nous supposons que, pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , l'excitation numéro a consiste en une tension appliquée à l'accès d'entrée numéro a et aucune tension appliquée aux autres accès d'entrée, comme expliqué plus haut. Pour une certaine instruction de réglage d'unité d'accord, les accès de sortie présentent une matrice impédance \mathbf{Z}_{LISC} , et l'excitation numéro a cause un vecteur des tensions de circuit ouvert aux accès de sortie, noté $\mathbf{V}_{TPSC a}$. Ici, \mathbf{Z}_{LISC} est une matrice complexe carrée d'ordre n et $\mathbf{V}_{TPSC a}$ est un vecteur complexe à n lignes. Le spécialiste voit que, pendant que l'excitation numéro a est appliquée, le vecteur des courants complexes mesurés par les unités de détection est donné par

$$\mathbf{I}_{TP a} = (\mathbf{Z}_{Sant} + \mathbf{Z}_{LISC})^{-1} \mathbf{V}_{TPSC a} \quad (9)$$

et le vecteur des tensions complexes mesurées par les unités de détection est donné par l'équation (6) dans laquelle \mathbf{I}_{TPa} est donné par l'équation (9). Définissons à présent \mathbf{I}_{TP} comme étant la matrice complexe à n lignes et m colonnes dont les vecteurs colonne sont $\mathbf{I}_{TP1}, \dots, \mathbf{I}_{TPm}$, et \mathbf{V}_{TP} comme étant la matrice complexe à n lignes et m colonnes dont les vecteurs colonne sont

5 $\mathbf{V}_{TP1}, \dots, \mathbf{V}_{TPm}$. Les matrices \mathbf{I}_{TP} et \mathbf{V}_{TP} de ce second exemple de traitement du signal peuvent être complètement différentes des matrices \mathbf{I}_{TP} et \mathbf{V}_{TP} du premier exemple de traitement du signal. Cependant, elles satisfont l'équation (7). L'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) étant telle que \mathbf{I}_{TP} est inversible, les matrices \mathbf{I}_{TP} et \mathbf{V}_{TP} de ce

10 second exemple de traitement du signal satisfont aussi l'équation (8), si bien que l'unité d'émission et de traitement du signal peut utiliser l'équation (8) pour calculer \mathbf{Z}_{Sant} . Ainsi, dans le second exemple de traitement du signal, les dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie peuvent consister en n^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie réelle d'un élément de \mathbf{Z}_{Sant} et en n^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie imaginaire d'un élément de \mathbf{Z}_{Sant} . Alternativement, les dites q quantités réelles

15 dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie peuvent consister en n^2 nombres réels chacun proportionnel au module d'un élément de \mathbf{Z}_{Sant} et en n^2 nombres réels chacun proportionnel à l'argument d'un élément de \mathbf{Z}_{Sant} .

Troisième mode de réalisation.

Le troisième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple

20 non limitatif, correspond également à l'appareil pour communication radio représenté sur la figure 3, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables à ce troisième mode de réalisation. De plus, dans ce troisième mode de réalisation, les m excitations ne sont pas appliquées successivement aux accès d'entrée, c'est-à-dire : les m excitations ne sont pas appliquées l'une après l'autre aux accès d'entrée. Ainsi, par exemple, il

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

De plus, dans ce troisième mode de réalisation, chacune des excitations est 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 :

30 "narrow-band 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 fréquence $[f_c - W/2, f_c + W/2]$, où f_c est une fréquence appelée la "fréquence porteuse" et où W est une fréquence appelée "largeur de bande", qui satisfait $W < 2f_c$. Ainsi, la transformée de Fourier de $s(t)$, notée $S(f)$, est non négligeable seulement à l'intérieur des intervalles de fréquence $[-f_c - W/2, -f_c + W/2]$

35 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 fréquence $[-W/2, W/2]$ 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

5 être obtenu :

- 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

10 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 ;

- d'autres façons, par exemple sans utiliser aucune porteuse, par exemple en utilisant directement une sortie filtrée d'un convertisseur numérique-analogique.

15 L'intervalle de fréquence $[f_C - W/2, f_C + W/2]$ 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.

20 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 .

Une et une seule des dites m excitations est appliquée à chacun des accès d'entrée, au moins deux des excitations étant appliquées simultanément. Chacune des dites m excitations est un

25 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 et une seule enveloppe complexe, les m enveloppes complexes des m excitations étant 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.

30 Numérotons les accès d'entrée 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 d'entrée numéro a . Par exemple, si nous utilisons t pour désigner le 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 $i_{E_a}(t)$,

35 appliqué à l'accès d'entrée numéro a , les enveloppes complexes $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ étant linéairement indépendantes dans E . 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, alors pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , toute tension ou tout courant mesuré à n'importe lequel des

accès de sortie et causé par l'excitation numéro a est un signal passe-bande dont l'enveloppe complexe est proportionnelle à $i_{E_a}(t)$, le coefficient de proportionnalité étant complexe et indépendant du temps. Ainsi, si nous notons S le sous-espace vectoriel engendré par $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ dans E , nous pouvons dire que: $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ est une base de S ; toute tension ou tout courant mesuré à n'importe lequel des accès de sortie et causé par les excitations est un signal passe-bande dont l'enveloppe complexe appartient à S ; et, pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , le produit de la a -ième coordonnée de l'enveloppe complexe de cette tension ou ce courant dans la base $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ et du vecteur $i_{E_a}(t)$ est égal à la partie de l'enveloppe complexe de cette tension ou ce courant qui est causée par l'excitation numéro a .

Par conséquent, les contributions des différentes excitations peuvent être identifiées avec un traitement du signal convenable, comme si les différentes excitations avaient été appliquées successivement aux accès d'entrée. Le spécialiste voit que, une fois que ceci a été effectué, le premier exemple de traitement du signal du deuxième mode de réalisation peut être adapté au contexte de ce troisième mode de réalisation, pour obtenir les q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie.

Plus précisément, dans un exemple de traitement du signal, nous supposons que, comme ci-dessus, 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 d'entrée numéro a , les enveloppes complexes $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ étant linéairement indépendantes dans E . Pour une certaine instruction de réglage d'unité d'accord, les accès de sortie présentent une matrice impédance \mathbf{Z}_{LIOC} , et les excitations causent, aux accès de sortie : n tensions de circuit ouvert, d'enveloppes complexes $v_{TPOC_1}(t), \dots, v_{TPOC_n}(t)$; n courants sortant des accès de sortie, d'enveloppes complexes $i_{TP_1}(t), \dots, i_{TP_n}(t)$; et n tensions aux bornes des accès de sortie, d'enveloppes complexes $v_{TP_1}(t), \dots, v_{TP_n}(t)$. Comme expliqué plus haut, si la largeur de bande des enveloppes complexes $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ est suffisamment étroite, pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , le produit de la a -ième coordonnée de chacune de ces enveloppes complexes dans la base $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ et du vecteur $i_{E_a}(t)$ est égal à la partie de ladite chacune de ces enveloppes complexes qui est causée par l'excitation numéro a . Nous pouvons noter \mathbf{u}_{TPOC_a} le vecteur colonne des a -ième coordonnées des enveloppes complexes $v_{TPOC_1}(t), \dots, v_{TPOC_n}(t)$ dans cette base. De la même façon, nous pouvons noter \mathbf{j}_{TP_a} le vecteur colonne des a -ième coordonnées des enveloppes complexes $i_{TP_1}(t), \dots, i_{TP_n}(t)$ dans cette base. De la même façon, nous pouvons noter \mathbf{u}_{TP_a} le vecteur colonne des a -ième coordonnées des enveloppes complexes $v_{TP_1}(t), \dots, v_{TP_n}(t)$ dans cette base. Ici, \mathbf{Z}_{LIOC} est une matrice carrée d'ordre n , et \mathbf{u}_{TPOC_a} , \mathbf{j}_{TP_a} , et \mathbf{u}_{TP_a} sont des vecteurs complexes à n lignes. Le spécialiste voit que

$$\mathbf{j}_{TP_a} = (\mathbf{Z}_{Sant} + \mathbf{Z}_{LIOC})^{-1} \mathbf{u}_{TPOC_a} \quad (10)$$

et

$$\mathbf{u}_{TP_a} = \mathbf{Z}_{Sant} \mathbf{j}_{TP_a} \quad (11)$$

Définissons à présent \mathbf{J}_{TP} comme étant la matrice complexe à n lignes et m colonnes dont les vecteurs colonne sont $\mathbf{j}_{TP1}, \dots, \mathbf{j}_{TPm}$, et définissons \mathbf{U}_{TP} comme étant la matrice complexe à n lignes et m colonnes dont les vecteurs colonne sont $\mathbf{u}_{TP1}, \dots, \mathbf{u}_{TPm}$. Nous avons

$$\mathbf{U}_{TP} = \mathbf{Z}_{Sant} \mathbf{J}_{TP} \quad (12)$$

5 Dans ce mode de réalisation, $m = n$, et l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) est telle que \mathbf{J}_{TP} est inversible, si bien que

$$\mathbf{Z}_{Sant} = \mathbf{U}_{TP} \mathbf{J}_{TP}^{-1} \quad (13)$$

Le spécialiste comprend comment les signaux de sortie d'unité de détection peuvent être traités pour obtenir les éléments de \mathbf{U}_{TP} et de \mathbf{J}_{TP} . Par exemple, supposons que, pour tout entier
 10 b supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à n , l'unité de détection numéro b délivre : un premier signal de sortie d'unité de détection proportionnel à la tension aux bornes de l'accès de sortie numéro b ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel au courant sortant de cet accès de sortie. L'unité d'émission et de traitement du signal peut par exemple effectuer une "in-phase/quadrature (I/Q) demodulation" (réception homodyne) de ces signaux de sortie
 15 d'unité de détection, pour obtenir, pour tout entier b supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à n , quatre signaux analogiques : la partie réelle de $v_{TPb}(t)$; la partie imaginaire de $v_{TPb}(t)$; la partie réelle de $i_{TPb}(t)$; et la partie imaginaire de $i_{TPb}(t)$. Ces signaux analogiques peuvent alors être convertis en signaux numériques et être ensuite traités dans le domaine numérique, pour estimer les coordonnées de l'enveloppe complexe de la tension aux bornes de l'accès de sortie
 20 numéro b dans la base $i_{E1}(t), \dots, i_{Em}(t)$, c'est-à-dire la ligne b de \mathbf{U}_{TP} , et pour estimer les coordonnées de l'enveloppe complexe du courant sortant de l'accès de sortie numéro b dans la base $i_{E1}(t), \dots, i_{Em}(t)$, c'est-à-dire la ligne b de \mathbf{J}_{TP} . De cette façon, tous les éléments de \mathbf{U}_{TP} et de \mathbf{J}_{TP} peuvent être obtenus.

Une fois que les éléments de \mathbf{U}_{TP} et de \mathbf{J}_{TP} ont été obtenus, l'équation (13) peut être utilisée
 25 pour calculer \mathbf{Z}_{Sant} et/ou son inverse \mathbf{Y}_{Sant} . Ainsi, dans cet exemple de traitement du signal, les dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie peuvent consister en n^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie réelle d'un élément de \mathbf{Y}_{Sant} et en n^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie imaginaire d'un élément de \mathbf{Y}_{Sant} .

Cet exemple de traitement du signal montre que, dans un mode de réalisation où les m
 30 excitations ne sont pas appliquées successivement, 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 d'entrée, si bien que les m excitations peuvent être utilisées pour estimer la matrice impédance vue par les accès de sortie, et toute quantité réelle dépendante de la matrice impédance vue par les accès de sortie.

35 Nous observons que, dans les normes typiquement applicables aux réseaux radio MIMO, 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 d'entrée, peuvent être utilisés comme des excitations ayant des enveloppes complexes qui sont linéairement indépendantes dans E . Par conséquent, ce troisième mode de réalisation est compatible avec les exigences des normes typiquement applicables aux réseaux radio MIMO. Cette question sera examinée plus en détail ci-dessous, dans le cinquième mode de réalisation.

Dans ce troisième mode de réalisation, $q = 2n^2$ et les q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie déterminent complètement la matrice impédance vue par les accès de sortie. Par exemple, comme dit plus haut, les dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie peuvent consister en n^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie réelle d'un élément de \mathbf{Y}_{Sant} et en n^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie imaginaire d'un élément de \mathbf{Y}_{Sant} . Par exemple, les dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie peuvent consister en n^2 nombres réels chacun proportionnel au module d'un élément de \mathbf{Y}_{Sant} et en n^2 nombres réels chacun proportionnel à l'argument d'un élément de \mathbf{Y}_{Sant} .

Quatrième mode de réalisation.

Le quatrième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également à l'appareil pour communication radio représenté sur la figure 3, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation et le troisième mode de réalisation sont applicables à ce quatrième mode de réalisation. De plus, dans ce quatrième mode de réalisation, les enveloppes complexes des m excitations sont orthogonales les unes aux autres. Plus précisément, les enveloppes complexes des m excitations sont orthogonales les unes aux autres, pour un produit scalaire donné. De plus, le produit scalaire de l'une quelconque des m enveloppes complexes et d'elle-même n'est pas nul, si bien que les exigences d'orthogonalité impliquent que les m enveloppes complexes sont linéairement indépendantes. On peut noter $\langle f | g \rangle$ le produit scalaire de deux fonctions f et g , qui peut être n'importe quel produit scalaire satisfaisant les propriétés de symétrie conjuguée, linéarité dans le second argument, et positivité (nous n'exigeons pas la définie positivité). Par exemple, nous pouvons considérer que chacune des dites enveloppes complexes est de carré sommable, et que le produit scalaire est le produit scalaire habituel de l'espace de Hilbert des fonctions de carré sommable d'une variable réelle, qui, pour deux fonctions f et g de carré sommable, est donné par

$$\langle f | g \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \overline{f(x)} g(x) dx \quad (14)$$

où le trait au-dessus de $f(x)$ indique le complexe conjugué. Alternativement, nous pouvons par

exemple considérer que deux fonctions f et g sont échantillonnées aux mêmes instants, pour obtenir les échantillons $f[j]$ de f et les échantillons $g[j]$ de g , où j est un entier, et que le produit scalaire est le produit scalaire habituel de suites d'énergie finie, qui est donné par

$$\langle f | g \rangle = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \overline{f[j]} g[j] \quad (15)$$

5 Considérons par 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 d'entrée numéro a , les enveloppes complexes $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ étant orthogonales les unes aux autres. Dans ce cas, l'équation (13) s'applique, et les éléments de \mathbf{U}_{TP} et de \mathbf{J}_{TP} peuvent être aisément calculés, puisque, pour tout
10 entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , et pour tout entier b supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à n , l'élément de la ligne b et de la colonne a de \mathbf{J}_{TP} , c'est-à-dire le b -ième élément du vecteur \mathbf{j}_{TPa} , c'est-à-dire la a -ième coordonnée de l'enveloppe complexe $i_{TPb}(t)$ dans la base $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$, est clairement donné par

$$j_{ba} = \frac{\langle i_{E_a} | i_{TPb} \rangle}{\langle i_{E_a} | i_{E_a} \rangle} \quad (16)$$

15 et l'élément de la ligne b et de la colonne a de \mathbf{U}_{TP} , c'est-à-dire le b -ième élément du vecteur \mathbf{u}_{TPa} , c'est-à-dire la a -ième coordonnée de l'enveloppe complexe $v_{TPb}(t)$ dans ladite base, est clairement donné par

$$u_{ba} = \frac{\langle i_{E_a} | v_{TPb} \rangle}{\langle i_{E_a} | i_{E_a} \rangle} \quad (17)$$

Par exemple, supposons que, pour tout entier b supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à
20 n , l'unité de détection numéro b délivre : un premier signal de sortie d'unité de détection proportionnel à la tension aux bornes de l'accès de sortie numéro b ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel au courant sortant de cet accès de sortie. L'unité d'émission et de traitement du signal peut par exemple effectuer une "in-phase/quadrature (I/Q) demodulation" (réception hétérodyne), pour obtenir, pour tout entier b supérieur ou égal à 1 et
25 inférieur ou égal à n , quatre signaux analogiques : la partie réelle de $v_{TPb}(t)$; la partie imaginaire de $v_{TPb}(t)$; la partie réelle de $i_{TPb}(t)$; et la partie imaginaire de $i_{TPb}(t)$. Ces signaux analogiques peuvent alors être convertis en signaux numériques et être traités plus avant dans le domaine numérique, en se basant sur les équations (16) et (17), pour estimer tous les éléments de \mathbf{U}_{TP} et de \mathbf{J}_{TP} .

30 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 d'entrée numéro a , les enveloppes complexes $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ étant orthogonales les unes aux autres. Nous avons montré que, dans ce cas, les effets des différentes excitations peuvent être identifiés aisément, comme si les différentes excitations avaient été appliquées successivement aux accès d'entrée, si bien que les m excitations peuvent être utilisées pour estimer la matrice impédance vue par les accès de sortie, et toute quantité réelle dépendante de la matrice impédance vue par les accès de sortie. Alternativement les excitations pourraient par exemple être telles que, pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , l'excitation numéro a consiste en une tension $v_a(t)$, d'enveloppe complexe $v_{E_a}(t)$, appliquée à l'accès d'entrée numéro a , les enveloppes complexes $v_{E_1}(t), \dots, v_{E_m}(t)$ étant orthogonales les unes aux autres. 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 aisément, comme si les différentes excitations avaient été appliquées successivement aux accès d'entrée, si bien que les m excitations peuvent être utilisées pour estimer la matrice impédance vue par les accès de sortie, et toute quantité réelle dépendante de la matrice impédance vue par les accès de sortie.

Le spécialiste comprend comment générer m excitations ayant des enveloppes complexes qui sont orthogonales les unes aux autres. Par exemple, considérons m séquences arbitraires de symboles de données (en anglais : "data symbols"), chaque séquence étant modulée sur une unique sous-porteuse d'un signal OFDM (sigle anglais de : Orthogonal Frequency Division Multiplexing), différentes séquences étant modulées sur différentes sous-porteuses. Ces m sous-porteuses modulées sont orthogonales les unes aux autres, de telle sorte que chacune de ces sous-porteuses modulées pourrait être utilisée comme l'enveloppe complexe de l'une des m excitations. Par exemple, l'orthogonalité existe aussi entre n'importe quel couple de ressources élémentaires différentes d'un signal OFDM (une ressource élémentaire signifie une sous-porteuse OFDM pendant la durée d'un symbole OFDM), si bien que m ressources élémentaires différentes pourraient chacune être utilisée pour obtenir l'enveloppe complexe de l'une des m excitations.

Cinquième mode de réalisation.

Le cinquième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également à l'appareil pour communication radio représenté sur la figure 3, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation et le troisième mode de réalisation sont applicables à ce cinquième mode de réalisation. De plus, dans ce cinquième mode de réalisation, chacune des enveloppes complexes des m excitations est la somme d'un premier signal complexe et d'un deuxième signal complexe, le premier signal complexe étant appelé la première composante de l'enveloppe complexe, le deuxième signal complexe étant appelé la deuxième composante de l'enveloppe complexe, les premières composantes des m enveloppes complexes étant orthogonales les unes aux autres, chacune des

premières composantes des m enveloppes complexes étant orthogonale à chacune des deuxièmes composantes des m enveloppes complexes. Plus précisément, les premières composantes des m enveloppes complexes sont orthogonales les unes aux autres, pour un produit scalaire donné, et chacune des premières composantes des m enveloppes complexes est orthogonale à chacune des
 5 deuxièmes composantes des m enveloppes complexes, pour le produit scalaire donné. De plus, le produit scalaire de l'une quelconque des premières composantes des m enveloppes complexes par elle-même est non nul, si bien que les exigences d'orthogonalité impliquent que les m enveloppes complexes sont linéairement indépendantes.

Considérons par exemple le cas où les excitations sont telles que, pour chaque entier a
 10 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 $i_{Ea}(t)$, appliqué à l'accès d'entrée numéro a , l'enveloppe complexe $i_{Ea}(t)$ étant de la forme

$$i_{Ea}(t) = i_{Ca}(t) + i_{Da}(t) \quad (18)$$

où $i_{Ca}(t)$ est la première composante de l'enveloppe complexe, et $i_{Da}(t)$ est la deuxième
 15 composante de l'enveloppe complexe, les premières composantes $i_{C1}(t), \dots, i_{Cm}(t)$ des m enveloppes complexes étant orthogonales les unes aux autres, et chacune des premières composantes $i_{C1}(t), \dots, i_{Cm}(t)$ des m enveloppes complexes étant orthogonale à chacune des deuxièmes composantes $i_{D1}(t), \dots, i_{Dm}(t)$ des m enveloppes complexes. Dans ce cas, l'équation (13) s'applique, et les éléments de \mathbf{U}_{TP} et de \mathbf{J}_{TP} peuvent être aisément calculés, puisque, pour
 20 tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , et pour tout entier b supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à n , l'élément de la ligne b et de la colonne a de \mathbf{J}_{TP} , c'est-à-dire le b -ième élément du vecteur \mathbf{j}_{TPa} , c'est-à-dire la a -ième coordonnée de l'enveloppe complexe $i_{TPb}(t)$ dans la base $i_{E1}(t), \dots, i_{Em}(t)$, est clairement donné par

$$j_{ba} = \frac{\langle i_{Ca} | i_{TPb} \rangle}{\langle i_{Ca} | i_{Ca} \rangle} \quad (19)$$

et l'élément de la ligne b et de la colonne a de \mathbf{U}_{TP} , c'est-à-dire le b -ième élément du vecteur
 25 \mathbf{u}_{TPa} , c'est-à-dire la a -ième coordonnée de l'enveloppe complexe $v_{TPb}(t)$ dans ladite base, est clairement donné par

$$u_{ba} = \frac{\langle i_{Ca} | v_{TPb} \rangle}{\langle i_{Ca} | i_{Ca} \rangle} \quad (20)$$

Par exemple, supposons que, pour tout entier b supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à
 30 n , l'unité de détection numéro b délivre : un premier signal de sortie d'unité de détection proportionnel à la tension aux bornes de l'accès de sortie numéro b ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel au courant sortant de cet accès de sortie. Dans ce cas, l'unité d'émission et de traitement du signal peut par exemple effectuer une conversion de

fréquence vers le bas (en anglais: “down-conversion”) de tous les signaux de sortie d’unité de détection, suivie par une conversion en signaux numériques utilisant le procédé appelé en anglais “bandpass sampling”, et par une démodulation appelée en anglais “digital quadrature demodulation”, pour obtenir, pour tout entier b supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à n , quatre signaux numériques : les échantillons de la partie réelle de $v_{TP_b}(t)$; les échantillons de la partie imaginaire de $v_{TP_b}(t)$; les échantillons de la partie réelle de $i_{TP_b}(t)$; et les échantillons de la partie imaginaire de $i_{TP_b}(t)$. Ces signaux numériques peuvent alors être traités plus avant, en se basant sur les équations (19) et (20), pour estimer tous les éléments de \mathbf{U}_{TP} et de \mathbf{J}_{TP} .

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 d’entrée numéro a , l’enveloppe complexe $i_{E_a}(t)$ étant la somme de $i_{C_a}(t)$ et $i_{D_a}(t)$, où $i_{C_a}(t)$ est la première composante de l’enveloppe complexe, et $i_{D_a}(t)$ est la deuxième composante de l’enveloppe complexe, les premières composantes $i_{C_1}(t), \dots, i_{C_m}(t)$ des m enveloppes complexes étant orthogonales les unes aux autres, chacune des premières composantes $i_{C_1}(t), \dots, i_{C_m}(t)$ des m enveloppes complexes étant orthogonale à chacune des deuxièmes composantes $i_{D_1}(t), \dots, i_{D_m}(t)$ des m enveloppes complexes. Nous avons montré que, dans ce cas, les effets des différentes excitations peuvent être identifiés aisément, comme si les différentes excitations avaient été appliquées successivement aux accès d’entrée, si bien que les m excitations peuvent être utilisées pour estimer la matrice impédance vue par les accès de sortie, et toute quantité réelle dépendante de la matrice impédance vue par les accès de sortie. Alternativement, les excitations pourraient par exemple être telles que, pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , l’excitation numéro a consiste en une tension $v_a(t)$, d’enveloppe complexe $v_{E_a}(t)$, appliquée à l’accès d’entrée numéro a , l’enveloppe complexe $v_{E_a}(t)$ étant la somme de $v_{C_a}(t)$ et $v_{D_a}(t)$, où $v_{C_a}(t)$ est la première composante de l’enveloppe complexe, et $v_{D_a}(t)$ est la deuxième composante de l’enveloppe complexe, les premières composantes $v_{C_1}(t), \dots, v_{C_m}(t)$ des m enveloppes complexes étant orthogonales les unes aux autres, chacune des premières composantes $v_{C_1}(t), \dots, v_{C_m}(t)$ des m enveloppes complexes étant orthogonale à chacune des deuxièmes composantes $v_{D_1}(t), \dots, v_{D_m}(t)$ des m enveloppes complexes. 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 aisément identifiés, comme si les différentes excitations avaient été appliquées successivement aux accès d’entrée, si bien que les m excitations peuvent être utilisées pour estimer la matrice impédance vue par les accès de sortie, et toute quantité réelle dépendante de la matrice impédance vue par les accès de sortie.

Nous observons que le type d’excitations utilisé dans le quatrième mode de réalisation est un cas particulier du type plus général d’excitations utilisé dans ce cinquième mode de réalisation, car des excitations utilisées dans ce cinquième mode de réalisation et ayant des deuxièmes composantes nulles peuvent être utilisées dans le quatrième mode de réalisation.

Le spécialiste comprend comment générer m excitations ayant des enveloppes complexes, chacune des dites enveloppes complexes étant la somme d'un premier signal complexe et d'un deuxième signal complexe, le premier signal complexe étant appelé la première composante de l'enveloppe complexe, le deuxième signal complexe étant appelé la deuxième composante de l'enveloppe complexe, les premières composantes des m enveloppes complexes étant orthogonales les unes aux autres, chacune des premières composantes des m enveloppes complexes étant orthogonale à chacune des deuxièmes composantes des m enveloppes complexes. Par exemple, considérons m séquences arbitraires de symboles de données (en anglais: "data symbols"), chaque séquence étant modulée sur une unique sous-porteuse d'un signal OFDM, différentes séquences étant modulées sur différentes sous-porteuses. Les sous-porteuses modulées par les m séquences arbitraires sont orthogonales les unes aux autres, et chacune d'elles est orthogonale à n'importe quelle combinaison de sous-porteuses qui ne sont pas modulées par l'une quelconque des m séquences arbitraires, et qui peuvent transporter n'importe quelles données. Ainsi, chacune des sous-porteuses modulées par les m séquences arbitraires pourrait être utilisée comme la première composante de l'enveloppe complexe de l'une des m excitations, et n'importe quelle combinaison des sous-porteuses qui ne sont pas modulées par l'une quelconque des m séquences arbitraires, et qui peuvent transporter n'importe quelles données, pourrait être utilisée comme la deuxième composante de l'enveloppe complexe de l'une quelconque des m excitations. Par exemple, considérons m ressources élémentaires différentes d'un signal OFDM. Les m ressources élémentaires différentes sont orthogonales les unes aux autres, et chacune des m ressources élémentaires différentes est orthogonale à n'importe quelle combinaison de ressources élémentaires qui ne sont pas l'une des dites m ressources élémentaires différentes. Ainsi, chacune des dites m ressources élémentaires différentes pourrait être utilisée pour obtenir la première composante de l'enveloppe complexe de l'une des m excitations, et n'importe quelle combinaison de ressources élémentaires qui ne sont pas l'une des dites m ressources élémentaires différentes pourrait être utilisée pour obtenir la deuxième composante de l'enveloppe complexe de l'une quelconque des m excitations.

Nous observons que, dans les normes typiquement applicables aux réseaux radio MIMO, l'OFDM ou le procédé appelé en anglais "single carrier frequency domain equalization" (SC-FDE) est utilisé pour l'émission, et différentes ressources élémentaires dans différentes couches spatiales (en anglais : "spatial layers" ou "spatial streams") sont utilisées comme signaux de référence (aussi appelés signaux pilote) pour l'estimation du canal MIMO. Un tel signal de référence, considéré dans une couche spatiale donnée, peut être utilisé comme la première composante de l'enveloppe complexe de l'une des m excitations, et n'importe quelle combinaison de ressources élémentaires qui ne sont pas utilisées par un tel signal de référence, considérées dans une couche spatiale donnée et transportant n'importe quels symboles de données, peut être utilisée pour obtenir la deuxième composante de l'enveloppe complexe de l'une quelconque des m excitations. C'est parce que les signaux de référence vérifient des

relations d'orthogonalité convenables. Par conséquent, ce cinquième mode de réalisation est compatible avec les exigences des normes typiquement applicables aux réseaux radio MIMO.

Sixième mode de réalisation.

Le sixième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également à l'appareil pour communication radio représenté sur la figure 3, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables à ce sixième mode de réalisation. Un algorithme d'une des une ou plusieurs séquences de réglage utilisées dans ce sixième mode de réalisation est représenté sur la figure 4. En plus du symbole de début (81) et du symbole de fin (86), cet algorithme comporte :

- 10 un traitement "délivrer des signaux de contrôle d'antenne aux antennes passives accordables" (82), dans lequel l'unité d'émission et de traitement du signal délivre une ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne, et dans lequel l'unité de contrôle délivre les dits un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne aux antennes passives accordables, chacune des dites une ou plusieurs des une ou plusieurs
- 15 instructions de réglage d'antenne étant déterminée en fonction d'une "fréquence sélectionnée" qui a été définie par l'unité d'émission et de traitement du signal ;
- un traitement "commencer à appliquer les excitations" (83), dans lequel l'unité d'émission et de traitement du signal commence à appliquer les m excitations aux accès d'entrée, si bien que l'unité d'émission et de traitement du signal devient capable d'estimer les
- 20 q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie, en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour les dites excitations, chacune des dites excitations ayant une fréquence porteuse qui est égale à la fréquence sélectionnée ;
- un traitement "délivrer des signaux de contrôle d'accord à l'unité d'accord" (84), dans lequel l'unité d'émission et de traitement du signal délivre une ou plusieurs des une
- 25 ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord, et dans lequel l'unité de contrôle délivre les dits un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord à l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ; et
- un traitement "arrêter d'appliquer les excitations" (85), dans lequel l'unité d'émission et de
- 30 traitement du signal cesse d'appliquer les excitations aux accès d'entrée.

La fréquence sélectionnée peut prendre n'importe quelle valeur dans un ensemble connu. Chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne n'a aucune influence sur la fréquence sélectionnée. Chacune des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne n'a aucune influence sur la fréquence sélectionnée. Chacune des dites une ou plusieurs des une ou plusieurs

35 instructions de réglage d'antenne étant déterminée en fonction de la fréquence sélectionnée, et seulement en fonction de la fréquence sélectionnée, il est clair qu'une commande en boucle ouverte est utilisée pour générer chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne.

De même, le traitement “délivrer des signaux de contrôle d'accord à l'unité d'accord” (84) utilise une structure de commande en boucle ouverte, puisque, comme expliqué plus haut, l'invention utilise une structure de commande en boucle ouverte pour obtenir les un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord.

5 Dans ce sixième mode de réalisation, les un ou plusieurs instructions de réglage d'antenne et les un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne sont tels que :

à la fin du traitement “délivrer des signaux de contrôle d'antenne aux antennes passives accordables” (82), la matrice impédance vue par les accès de sortie est voisine d'une matrice impédance spécifiée, qui peut dépendre de la fréquence;

10 chaque dit au moins un paramètre de chaque dit au moins un dispositif de contrôle d'antenne de chacune des antennes passives accordables a une valeur qui ne change pas depuis la fin du traitement “délivrer des signaux de contrôle d'antenne aux antennes passives accordables” (82) jusqu'à la fin de ladite une des une ou plusieurs séquences de réglage.

15 Pour obtenir que, à la fin du traitement “délivrer des signaux de contrôle d'antenne aux antennes passives accordables” (82), la matrice impédance vue par les accès de sortie soit voisine de la matrice impédance spécifiée, l'unité d'émission et de traitement du signal utilise un algorithme pour déterminer et délivrer les un ou plusieurs instructions de réglage d'antenne. L'algorithme est basé sur la fréquence sélectionnée et sur certaines propriétés des antennes
20 passives accordables. Le spécialiste sait comment écrire un tel algorithme, et il comprend qu'un tel algorithme ne peut pas prendre en compte les variations de Z_{Sant} causées par des variations des caractéristiques électromagnétiques du volume entourant les antennes passives accordables. De plus, comme dit plus haut dans la section sur l'état de la technique antérieure, des antennes passives accordables ne procurent souvent qu'une médiocre faculté d'accord. Par conséquent,
25 à la fin du traitement “délivrer des signaux de contrôle d'antenne aux antennes passives accordables” (82), la matrice impédance vue par les accès de sortie n'est typiquement que très grossièrement voisine de la matrice impédance spécifiée.

Nous avons représenté sur la figure 5 l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) utilisée dans ce sixième mode de réalisation. Cette unité d'accord à accès
30 d'entrée multiples et accès de sortie multiples comporte :

$n = 4$ accès de sortie (412) (422) (432) (442) ;

$m = 4$ accès d'entrée (411) (421) (431) (441) ;

n dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (401) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès de sortie ;

35 $n = m$ enroulements (403) ayant chacun une première borne couplée à un des accès de sortie et une deuxième borne couplée à un des accès d'entrée ; et

m dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (404) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès d'entrée.

Il est possible que de l'induction mutuelle existe entre les enroulements (403). Dans ce cas, la matrice inductance des enroulements n'est pas une matrice diagonale.

Si aucune induction mutuelle n'existe entre les enroulements, nous voyons que l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples montrée sur la figure 5 est composée de $n = m$ unités d'accord à accès d'entrée unique et accès de sortie unique, comportant chacune au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord, ou au moins deux des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord, ces unités d'accord à accès d'entrée unique et accès de sortie unique étant indépendantes et non couplées. Une telle unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est par exemple considérée dans la section III de l'article de F. Broydé et E. Clavelier intitulé "Two Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuners", publié dans *Proc. 9th European Conference on Antenna and Propagation, EuCAP 2015*, en avril 2015.

Tous les dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (401) (404) sont réglables par moyen électrique, mais les circuits et les liaisons de contrôle nécessaires pour déterminer la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ne sont pas montrés sur la figure 5. Dans ce sixième mode de réalisation, nous utilisons $p = 2m = 8$ dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord.

Le spécialiste comprend que l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est 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 la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une influence sur la matrice impédance présentée par les accès d'entrée.

Le traitement "délivrer des signaux de contrôle d'accord à l'unité d'accord" (84) utilise une table de consultation (en anglais: "lookup table" ou "look-up table") pour déterminer les une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord, en se basant sur la fréquence sélectionnée et sur les q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie. Le spécialiste comprend comment construire et utiliser une telle table de consultation. Le traitement adaptatif effectué par l'unité d'émission et de traitement du signal n'exige ni des calculs complexes ni aucune itération, parce que la table de consultation utilise directement la fréquence sélectionnée et les q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie pour déterminer les une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord (si bien qu'il y a une relation directe entre les quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie et la valeur de réactance que chacun des dispositifs à impédance réglable devrait prendre après avoir été réglé). La table de consultation est telle que le réglage de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est toujours optimal ou presque optimal, en dépit des pertes dans l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples.

Par conséquent, ce mode de réalisation est 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 procure : une bonne faculté d'accord, en utilisant une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ;
 5 et un réglage de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples qui est proche d'un accord optimal, lorsque ses pertes ne sont pas très faibles. De plus, ce mode de réalisation procure une plage d'accord beaucoup plus large qu'un système d'accord automatique qui comporterait l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples montrée sur la figure 5, mais aucune antenne passive accordable.

10 Septième mode de réalisation.

Le septième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également à l'appareil pour communication radio représenté sur la figure 3, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables à ce septième mode de réalisation. Dans ce septième mode de réalisation, les m excitations sont
 15 appliquées continûment, si bien que les unités de détection peuvent continûment délivrer les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour les dites excitations. Avant chacune des une ou plusieurs séquences de réglage, une "fréquence sélectionnée" a été définie par l'unité d'émission et de traitement du signal, chacune des excitations ayant, pendant ladite chacune des une ou plusieurs séquences de réglage, une fréquence porteuse qui est égale à la fréquence
 20 sélectionnée. Un algorithme d'une des une ou plusieurs séquences de réglage utilisées dans ce septième mode de réalisation est représenté sur la figure 6. En plus du symbole de début (81) et du symbole de fin (86), cet algorithme comporte :

un traitement "délivrer des signaux de contrôle d'antenne aux antennes passives accordables" (82), dans lequel l'unité d'émission et de traitement du signal délivre une
 25 ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne, et dans lequel l'unité de contrôle délivre les dits un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne aux antennes passives accordables, chacune des dites une ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne étant déterminée en fonction de la "fréquence sélectionnée" ; et

30 un traitement "délivrer des signaux de contrôle d'accord à l'unité d'accord" (84), dans lequel l'unité d'émission et de traitement du signal délivre une ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord, et dans lequel l'unité de contrôle délivre les dits un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord à l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples.

35 La fréquence sélectionnée peut prendre n'importe quelle valeur dans un ensemble connu. Chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne n'a aucune influence sur la fréquence sélectionnée. Chacune des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne n'a aucune

influence sur la fréquence sélectionnée. Chacune des dites une ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne étant déterminée en fonction de la fréquence sélectionnée, et seulement en fonction de la fréquence sélectionnée, il est clair qu'une commande en boucle ouverte est utilisée pour générer chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne.

5 Dans ce septième mode de réalisation, les une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne et les un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne sont tels que :

à la fin du traitement "délivrer des signaux de contrôle d'antenne aux antennes passives accordables" (82), la matrice impédance vue par les accès de sortie est voisine d'une matrice impédance spécifiée, qui peut dépendre de la fréquence;

10 chaque dit au moins un paramètre de chaque dit au moins un dispositif de contrôle d'antenne de chacune des antennes passives accordables a une valeur qui ne change pas depuis la fin du traitement "délivrer des signaux de contrôle d'antenne aux antennes passives accordables" (82) jusqu'au début d'une séquence de réglage qui suit la fin de ladite une des une ou plusieurs séquences de réglage.

15 Pour obtenir que, à la fin du traitement "délivrer des signaux de contrôle d'antenne aux antennes passives accordables" (82), la matrice impédance vue par les accès de sortie soit voisine de la matrice impédance spécifiée, l'unité d'émission et de traitement du signal utilise une table de consultation pour déterminer et délivrer les une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne, en se basant sur la fréquence sélectionnée. Le spécialiste comprend comment
 20 construire et utiliser une telle table de consultation, et il comprend qu'une telle table de consultation ne peut pas prendre en compte les variations de Z_{sant} causées par des variations des caractéristiques électromagnétiques du volume entourant les antennes passives accordables. De plus, comme dit plus haut dans la section sur l'état de la technique antérieure, des antennes passives accordables ne procurent souvent qu'une médiocre faculté d'accord. Par conséquent,
 25 à la fin du traitement "délivrer des signaux de contrôle d'antenne aux antennes passives accordables" (82), la matrice impédance vue par les accès de sortie n'est typiquement que très grossièrement voisine de la matrice impédance spécifiée.

Nous avons représenté sur la figure 7 l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) utilisée dans ce septième mode de réalisation. Cette unité d'accord à accès
 30 d'entrée multiples et accès de sortie multiples comporte :

$n = 4$ accès de sortie (412) (422) (432) (442) ;

$m = 4$ accès d'entrée (411) (421) (431) (441) ;

n dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (401) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès de sortie ;

35 $n(n - 1)/2$ dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (402) présentant chacun une réactance négative et ayant chacun une première borne couplée à un des accès de sortie et une deuxième borne couplée à un des accès de sortie qui est différent de l'accès de sortie auquel la première borne est couplée ;

$n = m$ enroulements (403) ayant chacun une première borne couplée à un des accès de sortie et une deuxième borne couplée à un des accès d'entrée ;

m dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (404) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès d'entrée ; et

5 $m(m - 1)/2$ dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (405) présentant chacun une réactance négative et ayant chacun une première borne couplée à un des accès d'entrée et une deuxième borne couplée à un des accès d'entrée qui est différent de l'accès d'entrée auquel la première borne est couplée.

10 Il est possible que de l'induction mutuelle existe entre les enroulements (403). Dans ce cas, la matrice inductance des enroulements n'est pas une matrice diagonale.

Tous les dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (401) (402) (404) (405) sont réglables par moyen électrique, mais les circuits et les liaisons de contrôle nécessaires pour déterminer la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ne sont pas montrés sur la figure 7. Dans ce septième mode de réalisation, nous avons $n = m$ et nous
15 utilisons $p = m(m + 1) = 20$ dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord.

Le spécialiste sait que les caractéristiques de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples représentée sur la figure 7 ont été examinées dans : l'article de F. Broydé et E. Clavelier, intitulé "A New Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuner", publié dans *Proc. 2015 IEEE Radio & Wireless Week, RWW 2015*, aux pages 41 à 43,
20 en janvier 2015; ledit article intitulé "Some Properties of Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuners"; ledit article intitulé "Two Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuners" ; et dans l'article de F. Broydé et E. Clavelier intitulé "A Tuning Computation Technique for a Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuner", publié dans *International Journal of Antennas and Propagation*, en 2016.

25 Le spécialiste comprend que l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est 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 : la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable
30 de l'unité d'accord a une influence sur la matrice impédance présentée par les accès d'entrée ; et la 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 traitement "délivrer des signaux de contrôle d'accord à l'unité d'accord" (84) utilise un
35 algorithme pour déterminer les une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord. L'algorithme est basé sur la fréquence sélectionnée et sur les q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie. Un premier algorithme possible peut par exemple utiliser les formules montrées dans la section VI du dit article intitulé "Some Properties

of Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuners”. Ce premier algorithme possible ne prend pas en compte les pertes dans l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples. Un deuxième algorithme possible peut par exemple utiliser la technique de calcul itérative présentée dans la section 4 du dit article intitulé “A Tuning
 5 Computation Technique for a Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuner”. Ce deuxième algorithme possible est plus précis que le premier algorithme possible, parce qu’il prend en compte les pertes dans l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples. Le spécialiste sait comment écrire un tel algorithme. Nous voyons que l’algorithme peut être tel que le réglage de l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie
 10 multiples est toujours optimal ou presque optimal, en dépit des pertes dans l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples.

Par conséquent, ce mode de réalisation est 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 procure : une bonne faculté
 15 d’accord, en utilisant une unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples ; et un réglage de l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples qui est proche d’un accord optimal, lorsque ses pertes ne sont pas très faibles. De plus, ce mode de réalisation procure une plage d’accord beaucoup plus large qu’un système d’accord automatique qui comporterait l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples montrée
 20 sur la figure 7, mais aucune antenne passive accordable.

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 une ou plusieurs des antennes passives accordables, et/ou dans l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples, il est possible qu’au moins un
 25 des un ou plusieurs signaux de contrôle d’antenne soit déterminé en fonction d’au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d’antenne et en fonction d’une ou plusieurs températures, et/ou il est possible qu’au moins un des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord soit déterminé en fonction d’au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d’unité d’accord et en fonction d’une ou plusieurs températures, pour compenser l’effet de la
 30 température. Si un tel type de dispositif à impédance réglable est utilisé dans une ou plusieurs des antennes passives accordables, et/ou 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 au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d’antenne et/ou pour obtenir au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d’unité
 35 d’accord, pour compenser l’effet de la température. Dans ce cas, il est possible que l’unité d’émission et de traitement du signal délivre les une ou plusieurs instructions de réglage d’unité d’accord en fonction des dites q quantités réelles dépendantes d’une matrice impédance vue par les accès de sortie, et en fonction des dites une ou plusieurs températures.

Huitième mode de réalisation.

Le huitième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également à l'appareil pour communication radio représenté sur la figure 3, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables à ce huitième mode de réalisation.

Une antenne passive accordable (11) utilisée dans ce huitième mode de réalisation est montrée sur la figure 8. Les autres antennes passives accordables (12) (13) (14) utilisées dans ce huitième mode de réalisation peuvent être identiques à l'antenne passive accordable montrée sur la figure 8. L'antenne passive accordable montrée sur la figure 8 comporte une structure métallique plane (111) réalisée au-dessus d'un plan de masse (115), l'accès signal de l'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 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 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. 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 contrôle nécessaires pour déterminer l'état du dispositif de contrôle d'antenne ne sont pas montrés sur la figure 8.

Neuvième mode de réalisation.

Le neuvième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également à l'appareil pour communication radio représenté sur la figure 3, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables à ce neuvième mode de réalisation.

Une antenne passive accordable (11) utilisée dans ce neuvième mode de réalisation est montrée sur la figure 9. Les autres antennes passives accordables (12) (13) (14) utilisées dans ce neuvième mode de réalisation peuvent être identiques à l'antenne passive accordable montrée sur la figure 8 ou à l'antenne passive accordable montrée sur la figure 9. L'antenne passive accordable montrée sur la figure 9 comporte une structure métallique plane (111) réalisée au-

dessus d'un plan de masse (115), l'accès signal de l'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 la fréquence donnée, comportant une première borne (113) connectée à la structure métallique (111), et une
5 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
10 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
15 réactance de chacun des dispositifs de contrôle d'antenne ne sont pas montrés sur la figure 9.

Dixième mode de réalisation.

Le dixième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également à l'appareil pour communication radio représenté sur la figure 3, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables à ce
20 dixième mode de réalisation.

Une antenne passive accordable (11) utilisée dans ce dixième mode de réalisation est montrée sur la figure 10. Les autres antennes passives accordables (12) (13) (14) utilisées dans ce dixième mode de réalisation peuvent être identiques à l'antenne passive accordable montrée sur la figure 8, ou à l'antenne passive accordable montrée sur la figure 9, ou à l'antenne passive
25 accordable montrée sur la figure 10. L'antenne passive accordable (11) montrée sur la figure 10 a un plan de symétrie orthogonal au dessin. Ainsi, l'antenne passive accordable a une première demi-antenne, à gauche dans la figure 10, et une seconde demi-antenne, à droite dans la figure 10. L'accès signal de l'antenne 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
30 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 la fréquence donnée, comportant une première borne connectée à un segment d'une demi-antenne, et une seconde borne connectée à un autre segment
35 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
5 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 10.

Onzième mode de réalisation.

Le onzième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non
10 limitatif, correspond également à l'appareil pour communication radio représenté sur la figure 3, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables à ce onzième mode de réalisation.

Une antenne passive accordable (12) utilisée dans ce onzième mode de réalisation est
montrée sur la figure 11. Les autres antennes passives accordables (11) (13) (14) utilisées dans
15 ce onzième mode de réalisation peuvent être identiques à l'antenne passive accordable montrée sur la figure 11. L'antenne passive accordable (12) montrée sur la figure 11 comporte une antenne principale (121), une antenne parasite (122), l'accès signal de l'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
20 à impédance réglable ayant une réactance à la 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
25 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
30 contrôle d'antenne ne sont pas montrés sur la figure 11.

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
35 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.

Douzième mode de réalisation.

Au titre d'un douzième mode de réalisation de l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous considérons un procédé pour accorder automatiquement N antennes passives accordables et une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, où N est un entier supérieur ou égal à 2, l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ayant m accès d'entrée et n accès de sortie, où m et n sont chacun un entier supérieur ou égal à 2, les antennes passives accordables et l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples étant des parties d'un appareil pour communication radio, l'appareil pour communication radio permettant, à une fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables, le procédé comportant les étapes suivantes :

- estimer une ou plusieurs "variables de localisation", chacune des une ou plusieurs variables de localisation dépendant d'une distance entre une partie d'un corps humain et une zone de l'appareil pour communication radio ;
- générer un ou plusieurs "signaux de contrôle d'antenne", en fonction d'une "fréquence sélectionnée" et en fonction de chacune des une ou plusieurs variables de localisation, 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 une influence sur les dites une ou plusieurs caractéristiques, ledit au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique, ledit au moins un paramètre étant principalement déterminé par au moins un des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne ;
- appliquer m excitations aux m accès d'entrée, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès d'entrée, chacune des excitations ayant une fréquence porteuse qui est égale à la fréquence sélectionnée ;
- estimer q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les dites m excitations ; et
- générer un ou plusieurs "signaux de contrôle d'accord", en fonction des dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie, 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 la 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 étant réglable par moyen électrique, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance

réglable de l'unité d'accord étant principalement déterminée par au moins un des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ayant une influence sur une matrice impédance présentée par les accès d'entrée.

- 5 Nous avons représenté sur la figure 12 le schéma-bloc d'un appareil pour communication radio mettant en oeuvre ce procédé, l'appareil pour communication radio comportant :
- une unité de capteurs de localisation (7), l'unité de capteurs de localisation estimant une ou plusieurs "variables de localisation", chacune des une ou plusieurs variables de localisation dépendant d'une distance entre une partie d'un corps humain et une zone
 - 10 de l'appareil pour communication radio ;
 - $N = 4$ antennes passives accordables (11) (12) (13) (14), 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
 - 15 au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique ;
 - N liaisons d'antenne (21) (22) (23) (24) ;
 - une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) similaire à celle utilisée dans le premier mode de réalisation ;
 - n unités de détection (31) (32) (33) (34), chacune des unités de détection délivrant un ou
 - 20 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 d'émission et de traitement du signal (8), l'unité d'émission et de traitement du signal délivrant une ou plusieurs "instructions de réglage d'antenne", chacune des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne étant déterminée en fonction d'une
 - 25 "fréquence sélectionnée" et en fonction de chacune des une ou plusieurs variables de localisation, l'unité d'émission et de traitement du signal appliquant m excitations aux m accès d'entrée, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès d'entrée, chacune des excitations ayant une fréquence porteuse qui est égale à la fréquence sélectionnée, l'unité d'émission et de traitement du signal estimant q
 - 30 quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour les dites m excitations, l'unité d'émission et de traitement du signal délivrant une ou plusieurs "instructions de réglage d'unité d'accord", les une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord étant déterminées en fonction des
 - 35 dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie ; et
 - une unité de contrôle (6) similaire à celle utilisée dans le premier mode de réalisation.

Bien entendu, l'exigence "les une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord étant déterminées en fonction des dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie" de la phrase précédente ne signifie pas que chacune des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord est déterminée en fonction des dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie.

Il est possible qu'au moins une des une ou plusieurs variables de localisation soit une sortie d'un capteur sensible à une pression exercée par une partie d'un corps humain. Ainsi, il est possible qu'au moins une des une ou plusieurs variables de localisation soit la sortie d'un circuit comportant un commutateur utilisant un système mécanique à simple pression sans enclenchement, dont l'état change pendant qu'une pression suffisante est exercée par une partie d'un corps humain. Il est aussi possible qu'au moins une des une ou plusieurs variables de localisation soit la sortie d'un circuit comportant un autre type de capteur électromécanique sensible à une pression exercée par une partie d'un corps humain, par exemple un capteur micro-électromécanique (en anglais: "MEMS sensor").

Il est possible qu'au moins une des une ou plusieurs variables de localisation soit une sortie d'un capteur de proximité, tel qu'un capteur de proximité dédié à la détection d'un corps humain. Un tel capteur de proximité peut par exemple être un capteur de proximité capacitif, ou un capteur de proximité infrarouge utilisant des mesures d'intensité de lumière réfléchie, ou un capteur de proximité infrarouge utilisant des mesures de temps de vol (en anglais: time-of-flight), qui sont bien connus des spécialistes.

Il est possible que l'ensemble des valeurs possibles d'au moins une des une ou plusieurs variables de localisation soit un ensemble fini. Il est possible qu'au moins une des une ou plusieurs variables de localisation soit une variable binaire, c'est-à-dire telle que l'ensemble des valeurs possibles de ladite au moins une des une ou plusieurs variables de localisation a exactement deux éléments. Par exemple, un capteur de proximité capacitif dédié à la détection d'un corps humain (par exemple le dispositif SX9300 de Semtech) peut être utilisé pour obtenir une variable binaire, qui indique si oui ou non un corps humain a été détecté à proximité d'une zone de l'appareil pour communication radio. Il est possible que l'ensemble des valeurs possibles de n'importe laquelle des une ou plusieurs variables de localisation soit un ensemble fini. Cependant, il est possible que l'ensemble des valeurs possibles d'au moins une des une ou plusieurs variables de localisation soit un ensemble infini, et il est possible que l'ensemble des valeurs possibles d'au moins une des une ou plusieurs variables de localisation soit un ensemble continu.

Il est possible que l'ensemble des valeurs possibles d'au moins une des une ou plusieurs variables de localisation ait au moins trois éléments. Par exemple, un capteur de proximité infrarouge utilisant des mesures de temps de vol et dédié à l'évaluation de la distance à un corps humain (par exemple le dispositif VL6180 de STMicroelectronics) peut être utilisé pour obtenir une variable de localisation telle que l'ensemble des valeurs possibles de la variable de

localisation a au moins trois éléments, une des valeurs signifiant qu'aucun corps humain n'a été détecté, chacune des autres valeurs correspondant à une distance différente entre une zone de l'appareil pour communication radio et la partie la plus proche d'un corps humain détecté. Il est possible que l'ensemble des valeurs possibles de n'importe laquelle des une ou plusieurs variables de localisation ait au moins trois éléments.

Il est possible qu'au moins une des une ou plusieurs variables de localisation soit une sortie d'un capteur qui n'est pas dédié à la détection d'un corps humain. Par exemple, il est possible qu'au moins une des une ou plusieurs variables de localisation soit déterminée par un changement d'état d'un commutateur d'un clavier, qui révèle la position d'un doigt humain. Par exemple, il est possible qu'au moins une des une ou plusieurs variables de localisation soit déterminée par un changement d'état d'une sortie d'un écran tactile, qui révèle la position d'un doigt humain. Un tel écran tactile peut utiliser n'importe laquelle des technologies disponibles, tel qu'un écran tactile résistif, un écran tactile capacitif ou un écran tactile à ondes acoustiques de surface, etc.

Il est dit plus haut que chacune des une ou plusieurs variables de localisation dépend de la distance entre une partie d'un corps humain et une zone de l'appareil pour communication radio. Ceci doit être interprété comme signifiant: chacune des une ou plusieurs variables de localisation est telle qu'il existe au moins une configuration dans laquelle la distance entre une partie d'un corps humain et une zone de l'appareil pour communication radio a un effet sur ladite chacune des une ou plusieurs variables de localisation. Cependant, il est possible qu'il existe une ou plusieurs configurations dans lesquelles la distance entre une partie d'un corps humain et une zone de l'appareil pour communication radio n'a pas d'effet sur ladite chacune des une ou plusieurs variables de localisation. Par exemple, la distance entre une partie d'un corps humain et une zone de l'appareil pour communication radio n'a pas d'effet sur un commutateur s'il n'y a pas de force exercée directement ou indirectement par le corps humain sur le commutateur. Par exemple, la distance entre une partie d'un corps humain et une zone de l'appareil pour communication radio n'a pas d'effet sur un capteur de proximité si le corps humain est en dehors de la portée du capteur de proximité.

La fréquence sélectionnée peut prendre n'importe quelle valeur dans un ensemble connu. Chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne n'a aucune influence sur la fréquence sélectionnée et sur les une ou plusieurs variables de localisation. Chacune des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne n'a aucune influence sur la fréquence sélectionnée et sur les une ou plusieurs variables de localisation. Chacune des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne étant déterminée en fonction de la fréquence sélectionnée et des une ou plusieurs variables de localisation, et seulement en fonction de la fréquence sélectionnée et des une ou plusieurs variables de localisation, il est clair qu'une commande en boucle ouverte est utilisée pour générer chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne.

Treizième mode de réalisation.

Le treizième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également à l'appareil pour communication radio représenté sur la figure 12, et toutes les explications fournies pour le douzième mode de réalisation sont applicables à ce treizième mode de réalisation. De plus, dans ce treizième mode de réalisation, l'appareil pour communication radio est un téléphone mobile, et l'unité de capteurs de localisation comporte 4 capteurs de proximité.

La figure 13 est un dessin d'une vue d'arrière du téléphone mobile (800). La figure 13 montre : un point (71) où le premier des 4 capteurs de proximité est situé, près d'une des antennes passives accordables (11) ; un point (72) où le deuxième des 4 capteurs de proximité est situé, près d'une des antennes passives accordables (12) ; un point (73) où le troisième des 4 capteurs de proximité est situé, près d'une des antennes passives accordables (13) ; et un point (74) où le quatrième des 4 capteurs de proximité est situé, près d'une des antennes passives accordables (14).

Un ensemble fini de configurations d'utilisation typiques est défini. Par exemple, la figure 14 montre une première configuration d'utilisation typique, qui peut être appelée "configuration main droite et tête" ; la figure 15 montre une deuxième configuration d'utilisation typique, qui peut être appelée "configuration deux mains" ; et la figure 16 montre une troisième configuration d'utilisation typique, qui peut être appelée "configuration main droite seulement". Dans la figure 14, la figure 15 et la figure 16, le téléphone mobile (800) est tenu par un utilisateur. Plus précisément, l'utilisateur tient le téléphone mobile près de sa tête avec sa main droite dans la figure 14, loin de sa tête avec ses deux mains dans la figure 15, et loin de sa tête seulement avec sa main droite dans la figure 16. Dans une configuration d'utilisation réelle, les variables de localisation évaluées par les 4 capteurs de proximité sont utilisées pour déterminer la configuration d'utilisation typique la plus proche de la configuration d'utilisation réelle. Chacune des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne est déterminée à partir d'un ensemble d'instructions de réglage d'antenne prédéterminées qui sont mémorisées dans une table de consultation réalisée dans l'unité d'émission et de traitement du signal, en se basant sur la configuration d'utilisation typique la plus proche et sur la fréquence sélectionnée. Le spécialiste comprend comment construire et utiliser une telle table de consultation. Le spécialiste comprend l'avantage de définir et d'utiliser un ensemble de configurations d'utilisation typiques, qui doit être suffisamment grand pour couvrir tous les cas pertinents, et suffisamment petit pour éviter une table de consultation exagérément grande.

Il a été montré que, pour obtenir une bonne précision de chacune des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne, plus de deux configurations d'utilisation typiques doivent être définies, si bien qu'une unique variable de localisation ne peut pas être utilisée pour déterminer une configuration d'utilisation typique la plus proche. Par conséquent, dans ce treizième mode de réalisation, il est important qu'une pluralité de variables de localisation soit estimée.

De plus, pour être capable de déterminer une configuration d'utilisation typique la plus proche, il est nécessaire d'utiliser des variables de localisation dépendant de la distance entre une partie d'un corps humain et différentes zones de l'appareil pour communication radio. Plus précisément, il est nécessaire qu'il existe deux des variables de localisation, notées A et B, la

5 variable de localisation A dépendant de la distance entre une partie d'un corps humain et une zone X de l'appareil pour communication radio, la variable de localisation B dépendant de la distance entre une partie d'un corps humain et une zone Y de l'appareil pour communication radio, telles que X et Y sont distinctes, ou préféablement telles que X et Y ont une intersection vide. Dans ce treizième mode de réalisation, ce résultat est obtenu en utilisant une unité de

10 capteurs de localisation comportant une pluralité de capteurs de proximité, localisés en différents endroits de l'appareil pour communication radio, comme montré sur la figure 13.

Quatorzième mode de réalisation.

Au titre d'un quatorzième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 17 le schéma-bloc d'un appareil

15 pour communication radio comportant :

$N = 4$ antennes passives accordables (11) (12) (13) (14), 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

20 au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique ;

une unité de commutation (9), l'unité de commutation comportant N accès antenne 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 d'antennes, l'unité de commutation opérant dans une configuration active déterminée

25 par une ou plusieurs "instructions de configuration", la configuration active étant l'une d'une pluralité de configurations autorisées, l'unité de commutation procurant, dans n'importe laquelle des configurations autorisées, pour des signaux dans une bande de fréquences donnée et pour n'importe lequel des accès réseau d'antennes, un chemin bidirectionnel entre ledit n'importe lequel des accès réseau d'antennes et un et un seul

30 des accès antenne ;

une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) ayant $m = 2$ accès d'entrée et n accès de sortie, l'appareil pour communication radio permettant, à une fréquence donnée dans la bande de fréquences donnée, un transfert de puissance depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les

35 antennes passives accordables, 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 la 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 étant réglable par moyen électrique ;

5 n unités de détection (31) (32), 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 captées (ou mesurées) à un des accès de sortie ;

une unité d’émission et de traitement du signal (8), l’unité d’émission et de traitement du
 10 signal délivrant les une ou plusieurs instructions de configuration, l’unité d’émission et de traitement du signal délivrant une ou plusieurs “instructions de réglage d’antenne”, l’unité d’émission et de traitement du signal appliquant m excitations aux m accès d’entrée, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès d’entrée, l’unité d’émission et de traitement du signal estimant q quantités réelles
 15 dépendantes d’une matrice impédance vue par les accès de sortie, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d’unité de détection, l’unité d’émission et de traitement du signal délivrant une ou plusieurs “instructions de réglage d’unité d’accord”, chacune des une ou plusieurs instructions de réglage d’unité d’accord étant déterminée en fonction des dites q quantités réelles dépendantes d’une
 20 matrice impédance vue par les accès de sortie ; et

une unité de contrôle (6), l’unité de contrôle délivrant un ou plusieurs “signaux de contrôle d’antenne” aux antennes passives accordables, chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d’antenne étant déterminé en fonction d’au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d’antenne, chaque dit au moins un paramètre de chaque dit au
 25 moins un dispositif de contrôle d’antenne de chacune des antennes passives accordables étant déterminé par au moins un des un ou plusieurs signaux de contrôle d’antenne, l’unité de contrôle délivrant un ou plusieurs “signaux de contrôle d’accord” à l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples, chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord étant déterminé en fonction d’au moins
 30 une des une ou plusieurs instructions de réglage d’unité d’accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l’unité d’accord étant déterminée par au moins un des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord.

L’unité de commutation opère (ou est utilisée) dans une configuration active déterminée par les une ou plusieurs instructions de configuration, la configuration active étant une configuration
 35 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 d’antennes, un chemin entre ledit n’importe lequel des accès réseau d’antennes 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.

5 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 d'antennes, un chemin entre ledit n'importe lequel des accès réseau d'antennes et un des accès antenne sélectionnés. Ce chemin peut préférentiellement être un chemin à faibles pertes pour des signaux dans la bande de fréquences
10 donnée. Le spécialiste comprend qu'une unité de commutation convenable peut comporter un ou plusieurs interrupteurs et/ou commutateurs contrôlés électriquement (où "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
15 plusieurs diodes PIN et/ou un ou plusieurs transistors à effet de champ à grille isolée comme dispositifs de commutation.

Dans ce quatorzième mode de réalisation, il n'est pas possible de dire que, pour chacune des antennes passives accordables, l'accès signal de l'antenne est couplé, directement ou indirectement, à un et un seul des accès de sortie. Cependant, dans ce quatorzième mode de
20 réalisation, chacun des n accès de sortie est indirectement couplé à une et une seule des N antennes passives accordables. Ou, plus précisément, chacun des n accès de sortie est indirectement couplé à l'accès signal d'une et une seule des N antennes passives accordables, à travers une et une seule des unités de détection, l'unité de commutation et une et une seule des liaisons d'antenne.

25 L'appareil pour communication radio est tel qu'une commande en boucle ouverte est utilisée pour déterminer chacune des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne, et une commande en boucle ouverte est utilisée pour générer chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne. Le spécialiste comprend que cette caractéristique implique par exemple que les q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie ne sont
30 pas utilisées pour obtenir les un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne.

L'appareil pour communication radio est un émetteur radio ou un émetteur-récepteur radio, si bien que l'unité d'émission et de traitement du signal (8) effectue aussi des fonctions qui n'ont pas été mentionnées plus haut, et qui sont bien connues des spécialistes. L'appareil pour communication radio utilise simultanément, dans la bande de fréquences donnée, n antennes
35 passives accordables parmi les N antennes passives accordables, pour de l'émission radio MIMO et/ou pour de la réception radio MIMO. La bande de fréquences donnée ne contient que des fréquences supérieures ou égales à 300 MHz.

Par exemple, chacune des une ou plusieurs instructions de configuration peut être déterminée en fonction :

- d'une ou plusieurs variables de localisation, définies comme dans le douzième mode de réalisation ;
- 5 d'une fréquence utilisée pour la communication radio avec les antennes passives accordables ;
- d'une ou plusieurs variables additionnelles, chacune des variables additionnelles étant un élément d'un ensemble de variables additionnelles, les éléments de l'ensemble de variables additionnelles comportant : des variables de type de communication qui indiquent si une session de communication radio est une session de communication vocale, une session de communication de données ou un autre type de session de communication ; un indicateur d'activation de mode mains libres ; un indicateur d'activation de haut-parleur ; des variables obtenues en utilisant un ou plusieurs accéléromètres ; des variables d'identité d'utilisateur qui dépendent de l'identité de l'utilisateur actuel ; des variables de qualité de réception ; et des variables de qualité d'émission.

Les éléments du dit ensemble de variables additionnelles peuvent en outre comporter une ou plusieurs variables qui sont différentes des variables de localisation et qui caractérisent la manière dont un utilisateur tient l'appareil pour communication radio.

20 Chacune des une ou plusieurs instructions de configuration peut par exemple être déterminée en utilisant une table de consultation.

Chacune des une ou plusieurs instructions de configuration peut être de n'importe quel type de message numérique. Chacune des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne et chacune des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord peuvent être de n'importe quel type de message numérique. Les une ou plusieurs instructions de configuration, les une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne et les une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord sont délivrées pendant plusieurs séquences de réglage. L'unité d'émission et de traitement du signal débute une séquence de réglage lorsque une ou plusieurs instructions de configuration sont délivrées. L'unité d'émission et de traitement du signal termine la séquence de réglage lorsque, après que les excitations ont été appliquées, la dernière instruction de réglage d'unité d'accord de la séquence de réglage a été délivrée. La durée d'une séquence de réglage est inférieure à 100 microsecondes.

De façon à répondre à des variations des caractéristiques électromagnétiques du volume entourant les antennes passives accordables et/ou de la fréquence d'opération, des séquences de réglage peuvent avoir lieu de façon répétée. Par exemple, une nouvelle séquence de réglage peut débiter périodiquement, par exemple toutes les 10 millisecondes.

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 une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples. L'appareil pour communication radio selon l'invention peut régler
5 automatiquement et de façon optimale ses antennes passives accordables et son unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples.

Tous les modes de réalisation décrits ci-dessus comportent $N = 4$ antennes passives accordables, mais ceci n'est nullement une caractéristique de l'invention.

L'appareil pour communication radio selon l'invention peut par exemple être un émetteur
10 radio utilisant une pluralité d'antennes simultanément, ou un émetteur-récepteur radio utilisant une pluralité d'antennes simultanément. Ainsi, le procédé et l'appareil pour communication radio selon l'invention sont adaptés à la communication radio MIMO.

Le procédé et l'appareil pour communication radio selon l'invention procurent les
15 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 l'appareil pour communication radio selon l'invention procurent les
20 meilleures caractéristiques possibles en utilisant un très grand nombre d'antennes passives 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 régler automatiquement N antennes passives accordables (11) (12) (13) (14) et une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4), où N est un entier supérieur ou égal à 2, l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ayant m accès d'entrée et n accès de sortie, où m et n sont chacun un entier supérieur ou égal à 2, les antennes passives accordables et l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples étant des parties d'un appareil pour communication radio, l'appareil pour communication radio permettant, à une fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables, le procédé comportant les étapes suivantes :
- 5
- 10
- généraler un ou plusieurs "signaux de contrôle d'antenne", 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
- 15
- 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, ledit au moins un paramètre étant principalement déterminé par au moins un des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne ;
- appliquer m excitations aux m accès d'entrée, une et une seule des excitations étant
- 20
- appliquée à chacun des accès d'entrée ;
- estimer q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les dites m excitations ; et
- généraler un ou plusieurs "signaux de contrôle d'accord", en fonction des dites q quantités
- 25
- réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie, 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 la 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 étant réglable par
- 30
- moyen électrique, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant principalement déterminée par au moins un des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ayant une influence sur une
- 35
- matrice impédance présentée par les accès d'entrée.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les m excitations sont appliquées successivement aux m accès d'entrée.

3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel, chacune des excitations ayant une et une seule enveloppe complexe, les m enveloppes complexes des m excitations sont linéairement
5 indépendantes dans l'ensemble des fonctions complexes d'une variable réelle, considéré comme un espace vectoriel sur le corps des nombres complexes.

4. Appareil pour communication radio comportant :

N antennes passives accordables (11) (12) (13) (14), où N est un entier supérieur ou égal à
10 2, 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 une influence sur les dites une ou plusieurs caractéristiques, ledit au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique ;

15 une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) ayant m accès d'entrée et n accès de sortie, où m et n sont chacun un entier supérieur ou égal à 2, l'appareil pour communication radio permettant, à une fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes passives accordables, l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et
20 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 la 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
25 l'unité d'accord étant réglable par moyen électrique ;

n unités de détection (31) (32) (33) (34), 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 ;

30 une unité d'émission et de traitement du signal (8), l'unité d'émission et de traitement du signal délivrant une ou plusieurs "instructions de réglage d'antenne", l'unité d'émission et de traitement du signal appliquant m excitations aux m accès d'entrée, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès d'entrée, l'unité d'émission et de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie, où q est un entier supérieur ou égal à
35 m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection, l'unité d'émission et de traitement du signal délivrant une ou plusieurs "instructions de réglage d'unité

d'accord", les une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord étant déterminées en fonction des dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès de sortie ; et

5 une unité de contrôle (6), l'unité de contrôle délivrant un ou plusieurs "signaux de contrôle d'antenne" aux antennes passives accordables, chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne étant déterminé en fonction d'au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d'antenne, chaque dit au moins un paramètre de chaque dit au moins un dispositif de contrôle d'antenne de chacune des antennes passives accordables étant principalement déterminé par au moins un des un ou plusieurs signaux de contrôle d'antenne, l'unité de contrôle délivrant un ou plusieurs "signaux de contrôle d'accord" à l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord étant déterminé en fonction d'au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant
10 principalement déterminée par au moins un des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord.
15

5. Appareil pour communication radio selon la revendication 4, 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
20 première variable électrique étant une tension aux bornes d'un des accès de sortie ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une seconde variable électrique, la seconde variable électrique étant un courant sortant du dit un des accès de sortie.

6. Appareil pour communication radio selon la revendication 4, dans lequel les signaux de sortie d'unité de détection délivrés par chacune des unités de détection comportent : un premier
25 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 de sortie ; 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 de sortie.

7. Appareil pour communication radio selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, dans
30 lequel $n = m$ et dans lequel l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est composée de n unités d'accord à accès d'entrée unique et accès de sortie unique, comportant chacune au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord.

8. Appareil pour communication radio selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, dans lequel l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est 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 : la réactance de n’importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l’unité d’accord a une influence sur la matrice impédance présentée par les accès d’entrée ; et la 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.

9. Appareil pour communication radio selon l’une quelconque des revendications 4 à 8, dans lequel les m excitations sont appliquées successivement aux accès d’entrée.

10 10. Appareil pour communication radio selon l’une quelconque des revendications 4 à 8, dans lequel, chacune des excitations ayant une et une seule enveloppe complexe, les m enveloppes complexes des m excitations sont linéairement indépendantes dans l’ensemble des fonctions complexes d’une variable réelle, considéré comme un espace vectoriel sur le corps des nombres complexes.

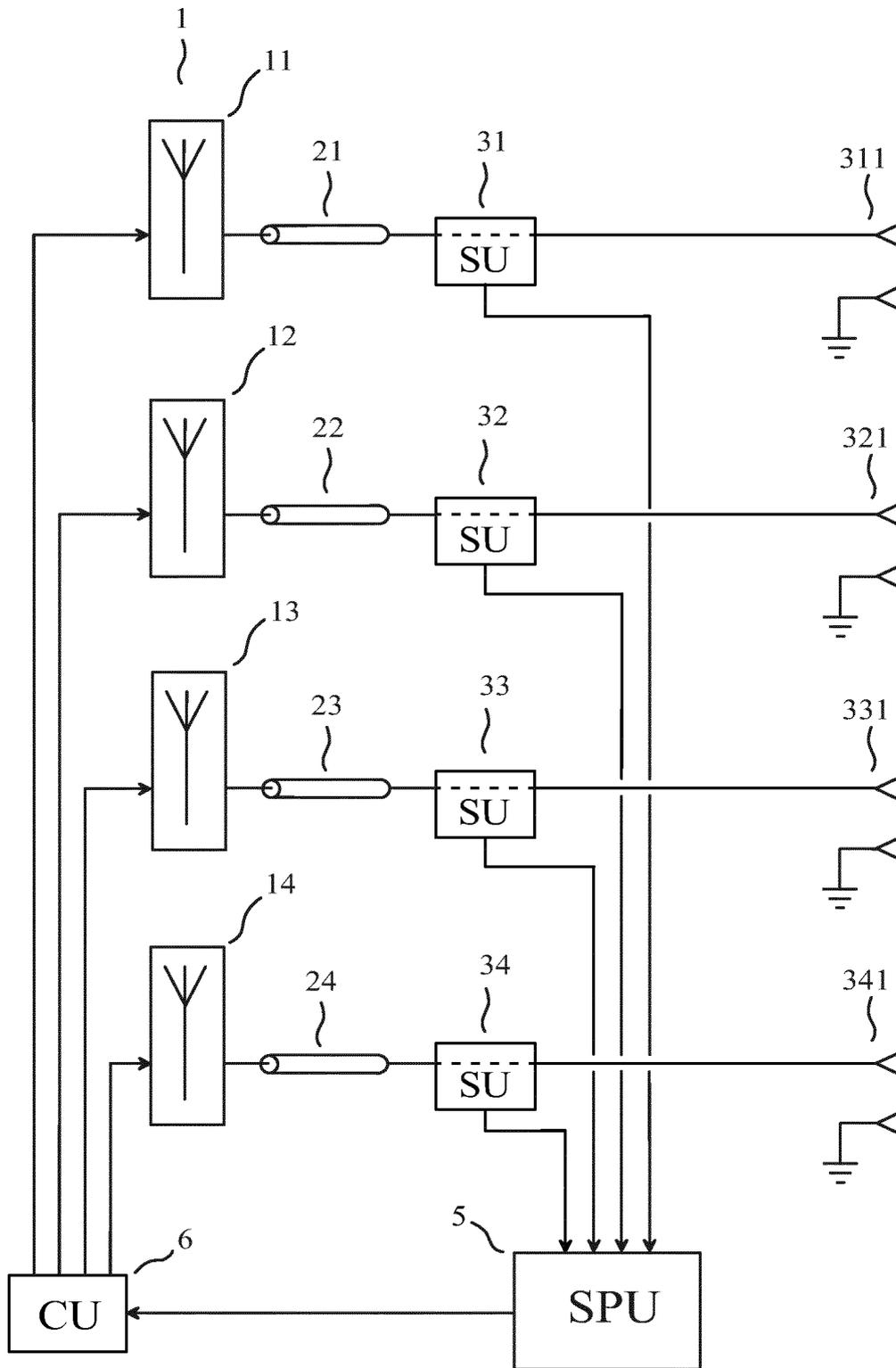


FIG. 1

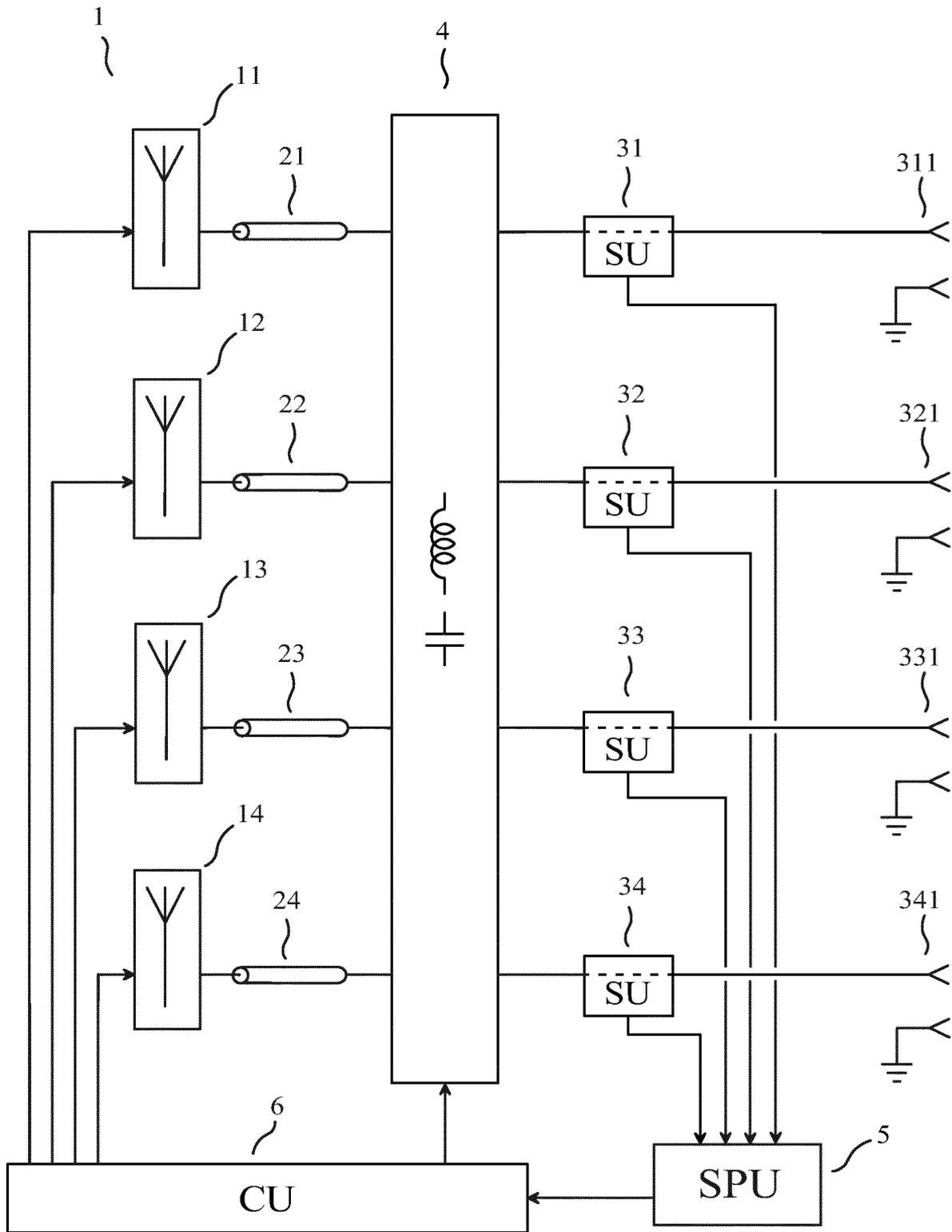


FIG. 2

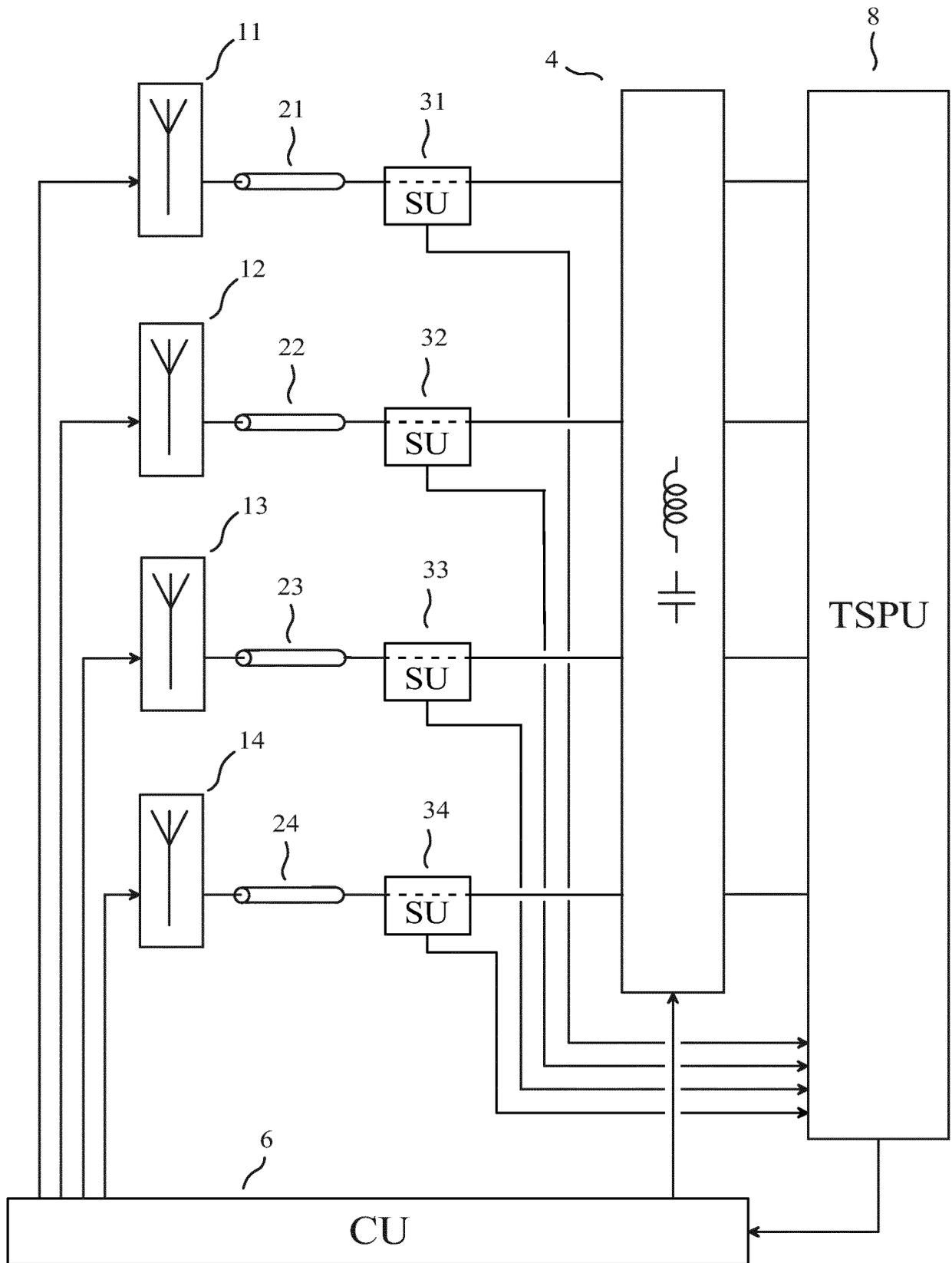


FIG. 3

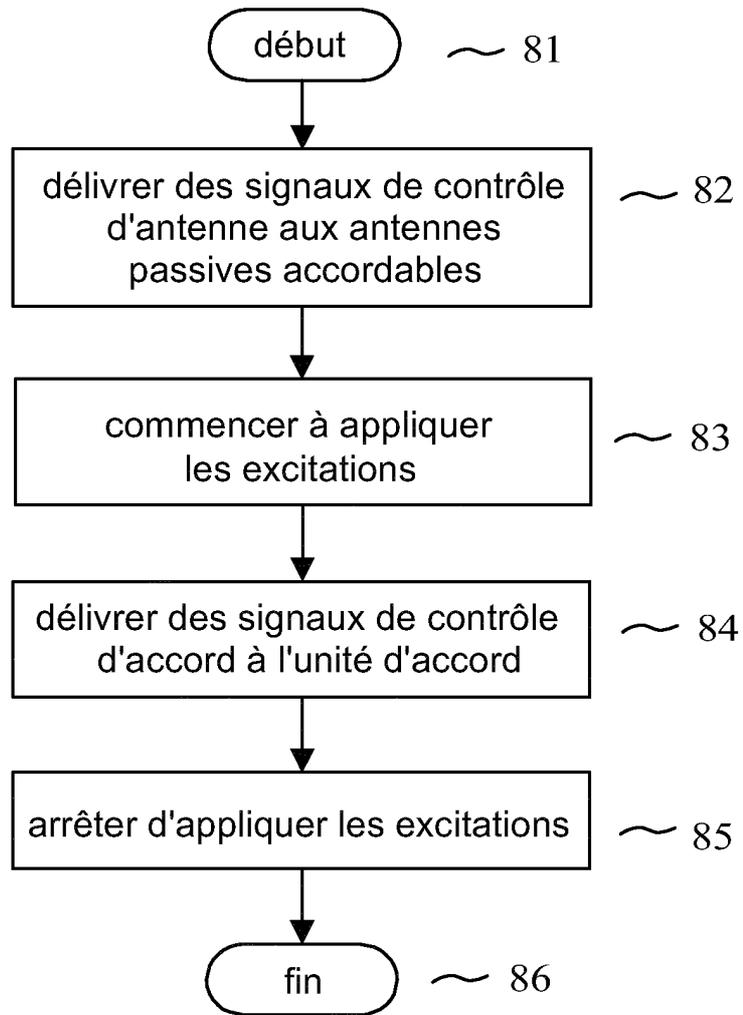


FIG. 4

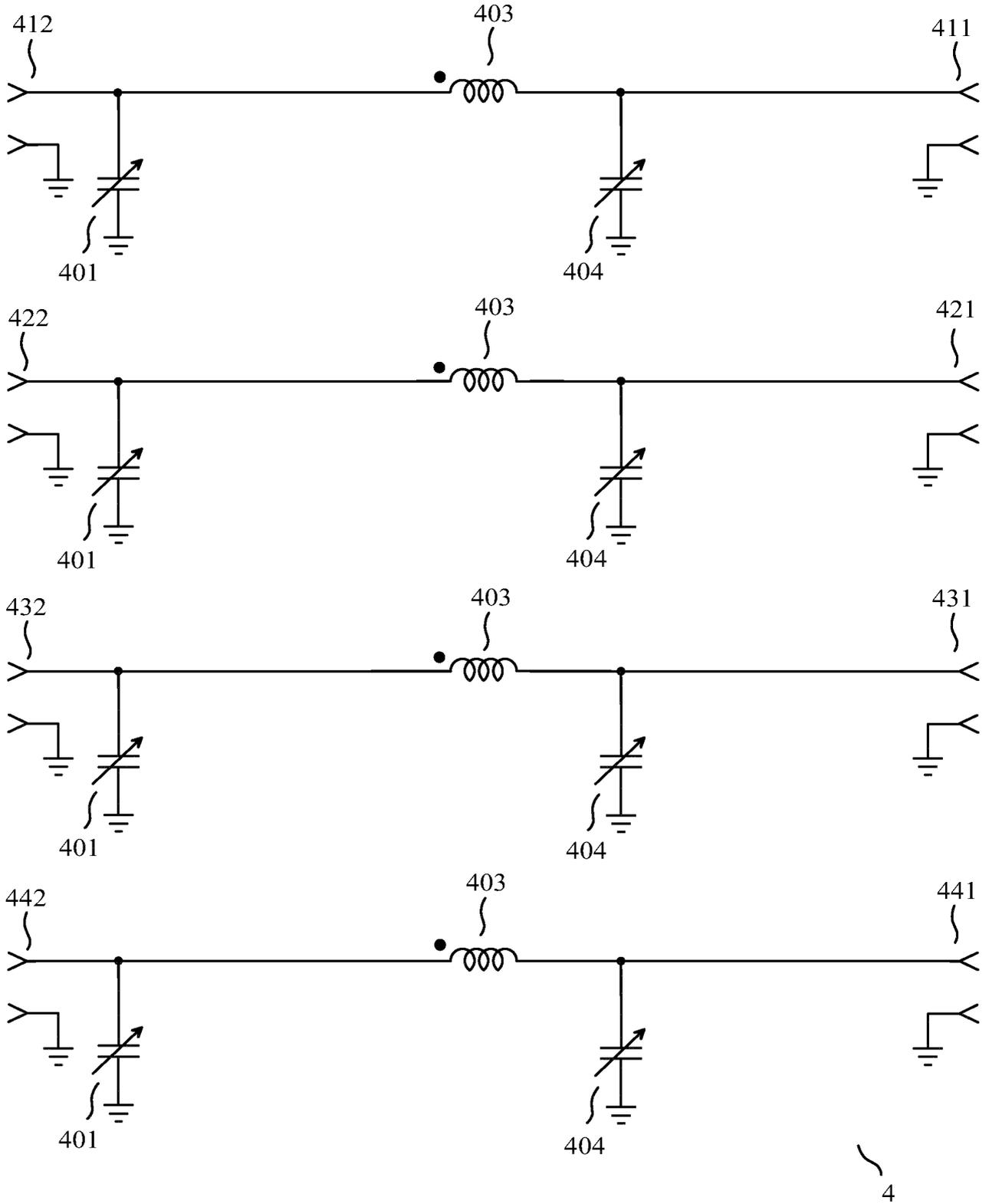


FIG. 5

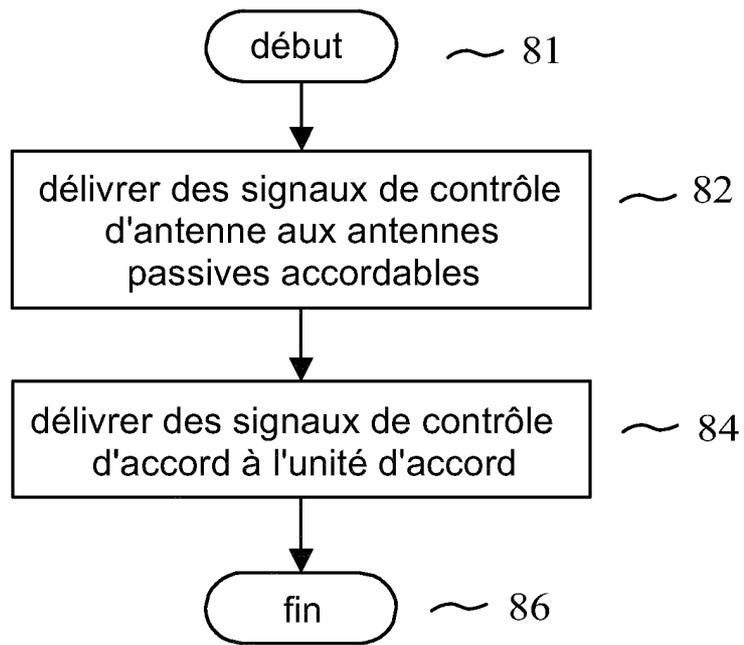


FIG. 6

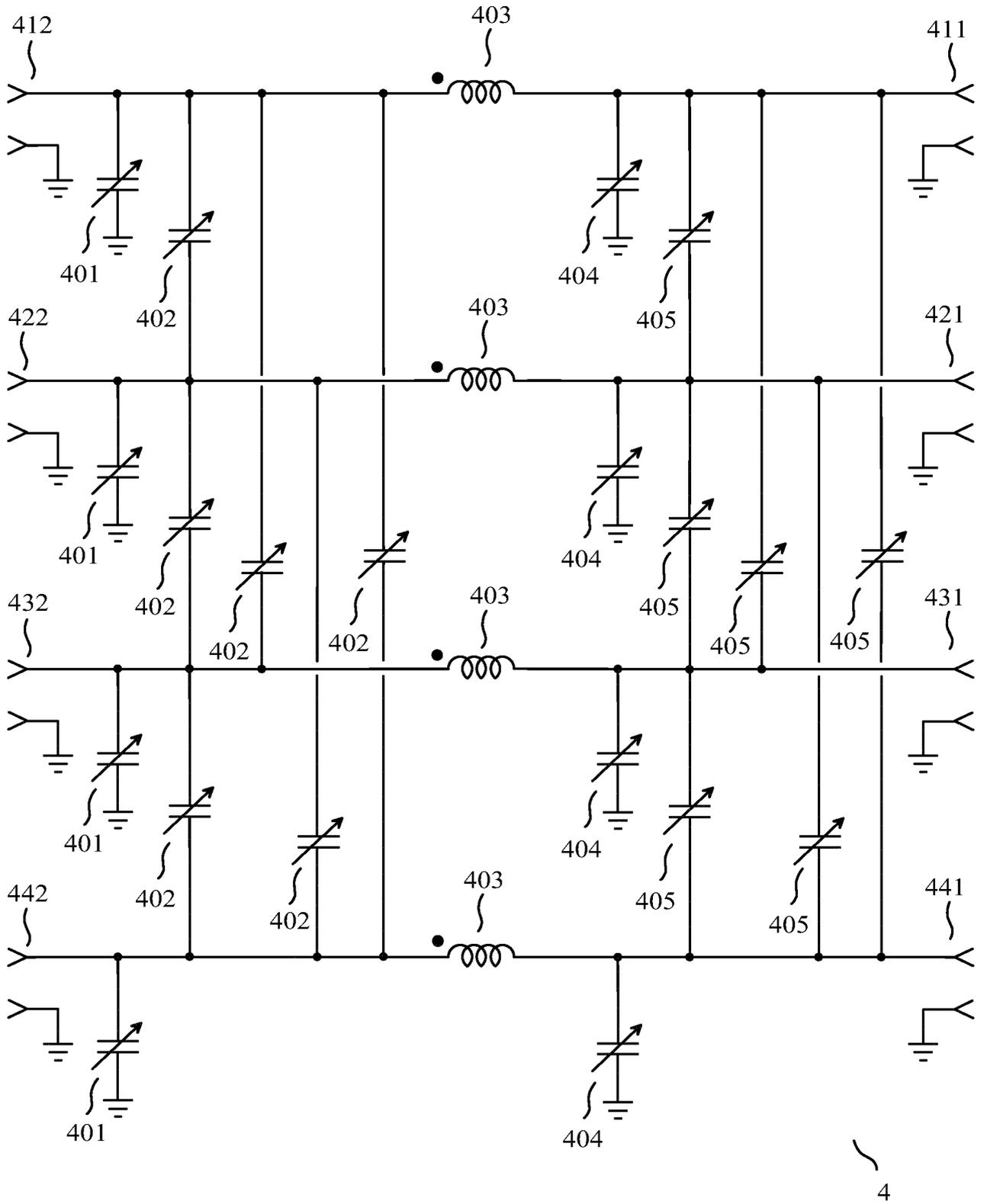


FIG. 7

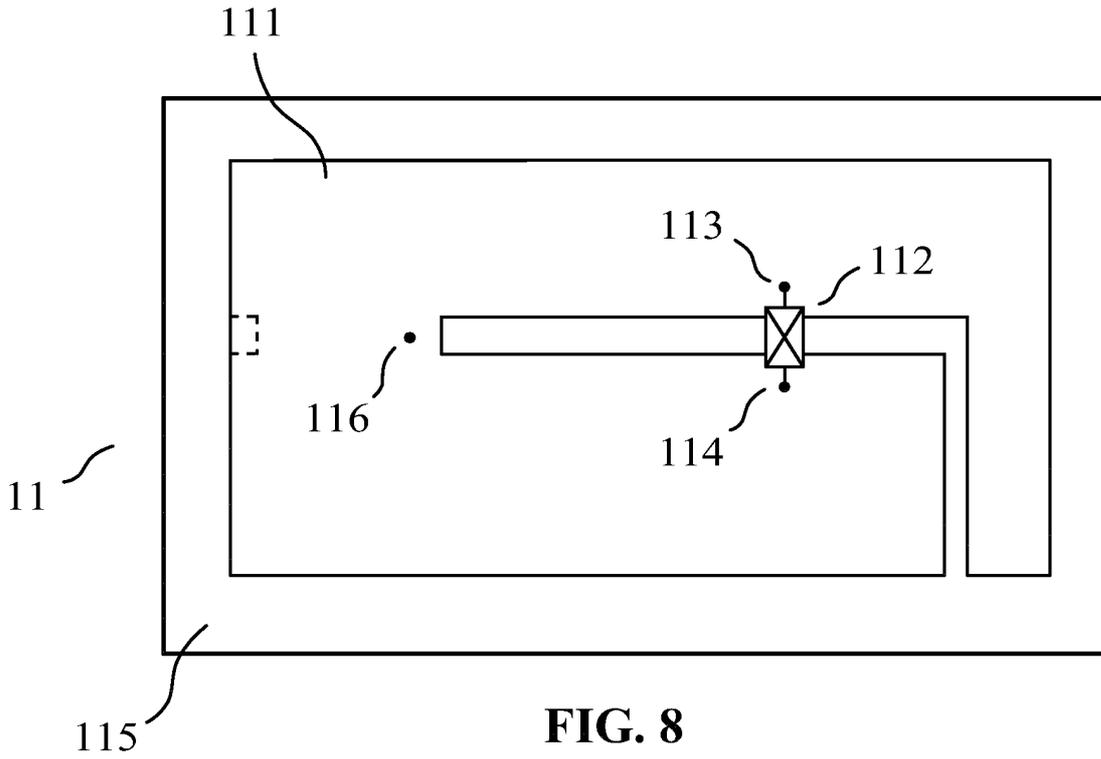


FIG. 8

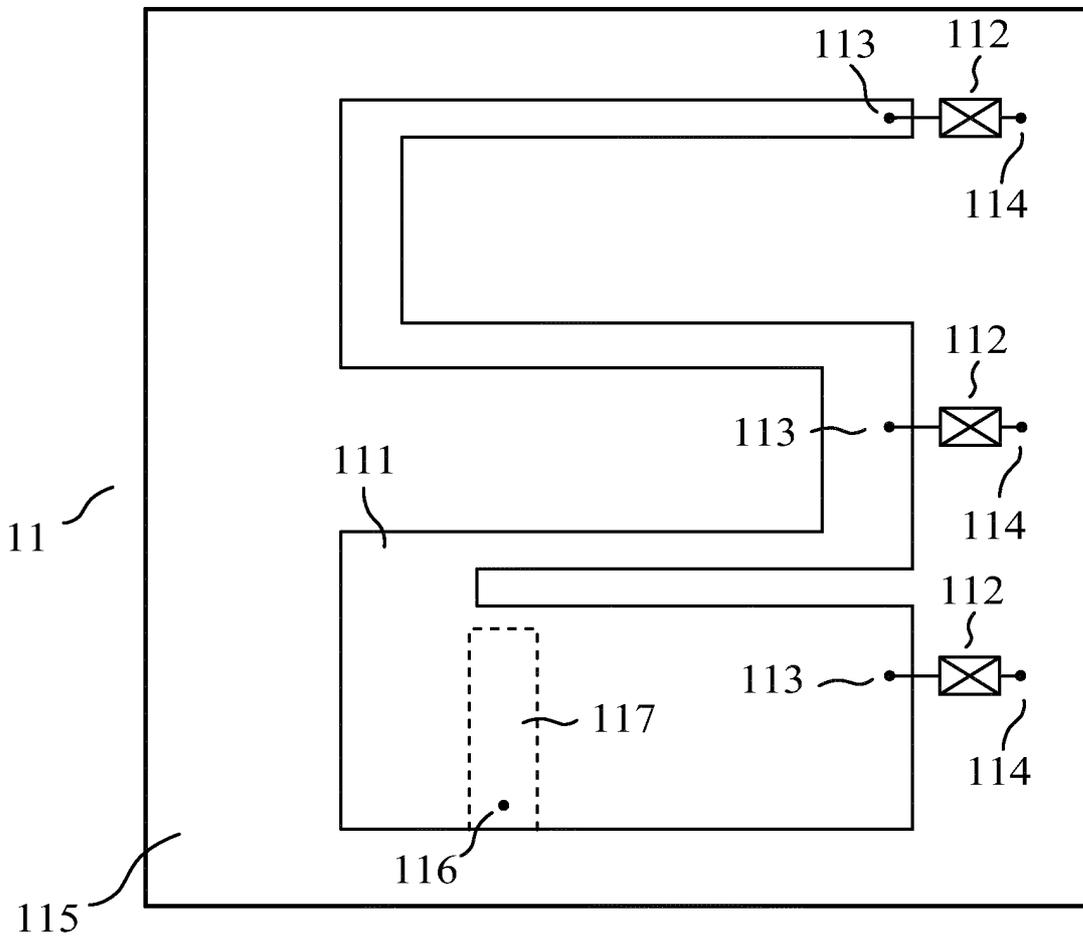


FIG. 9

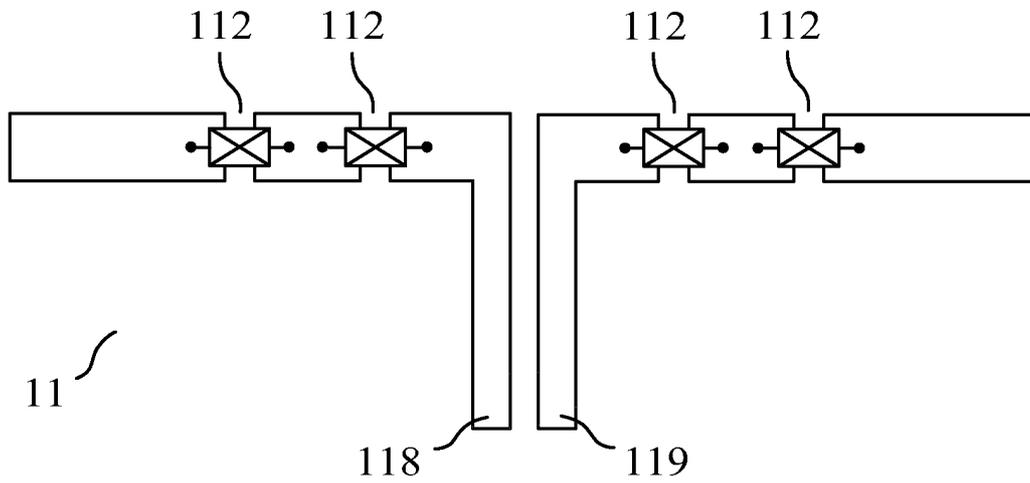


FIG. 10

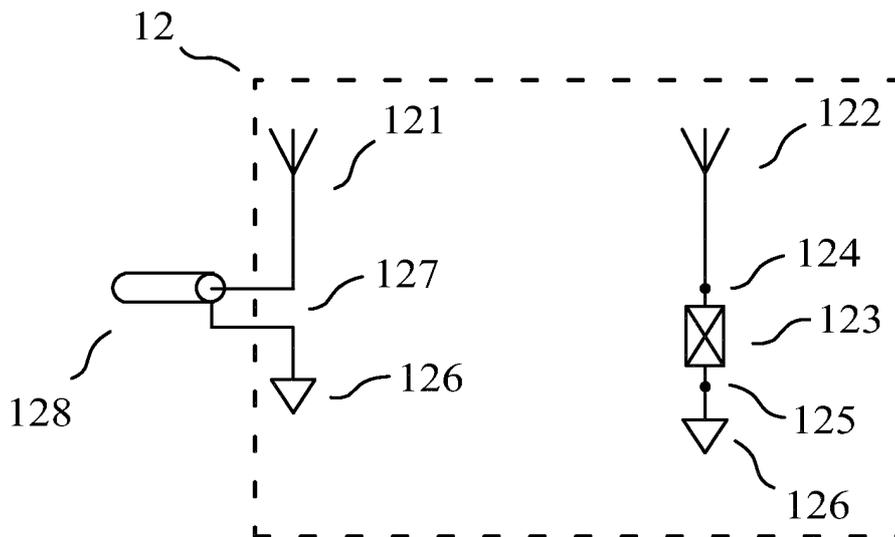


FIG. 11

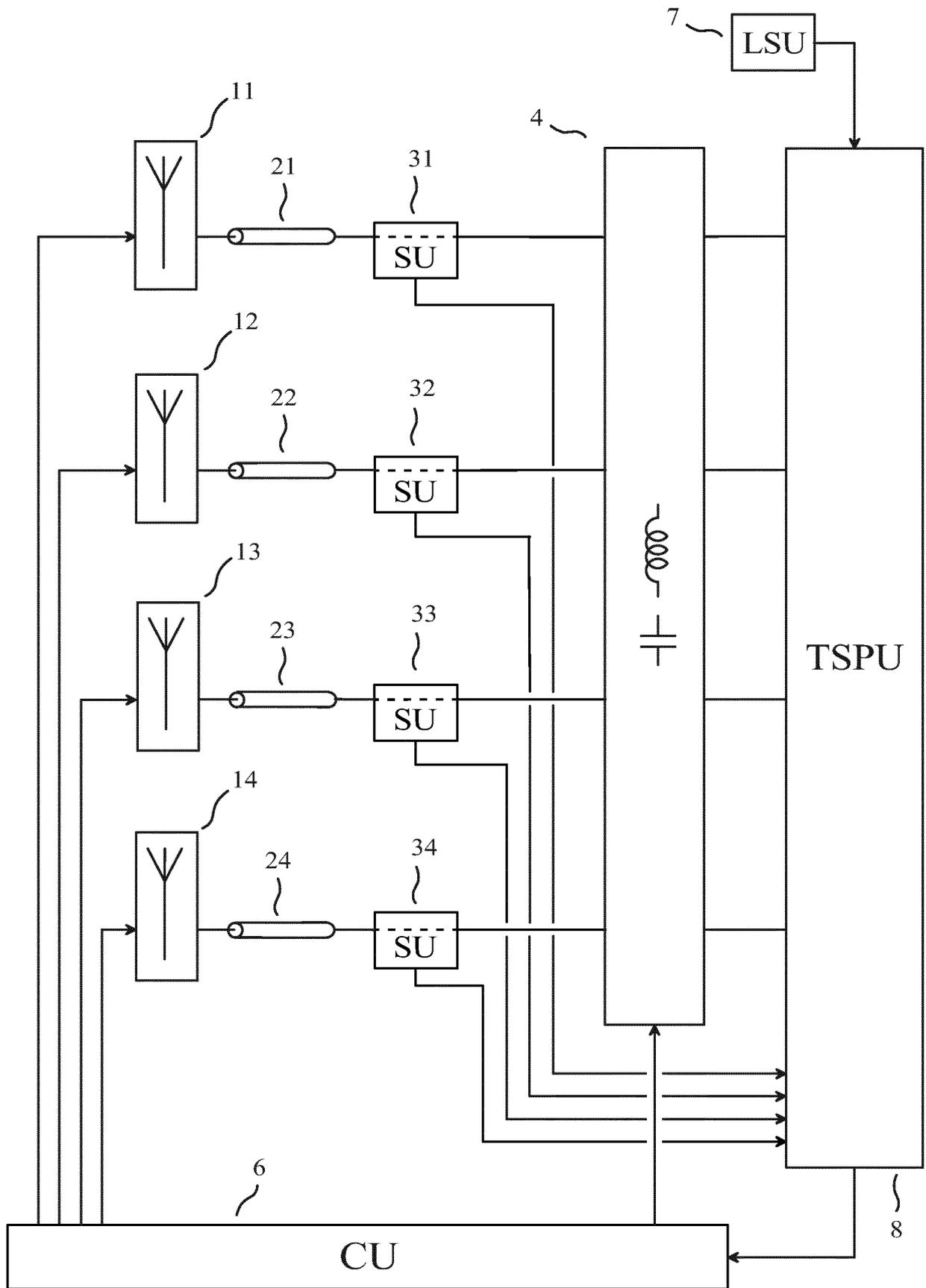


FIG. 12

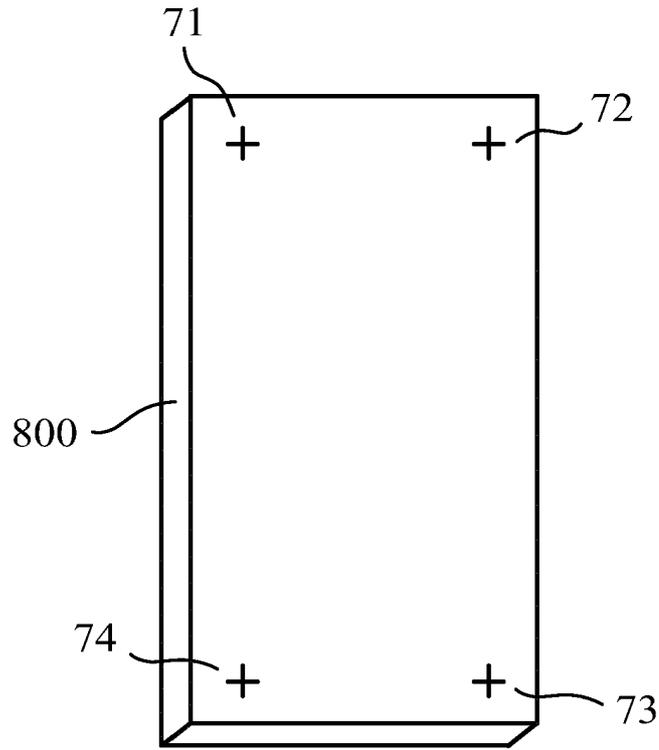


FIG. 13

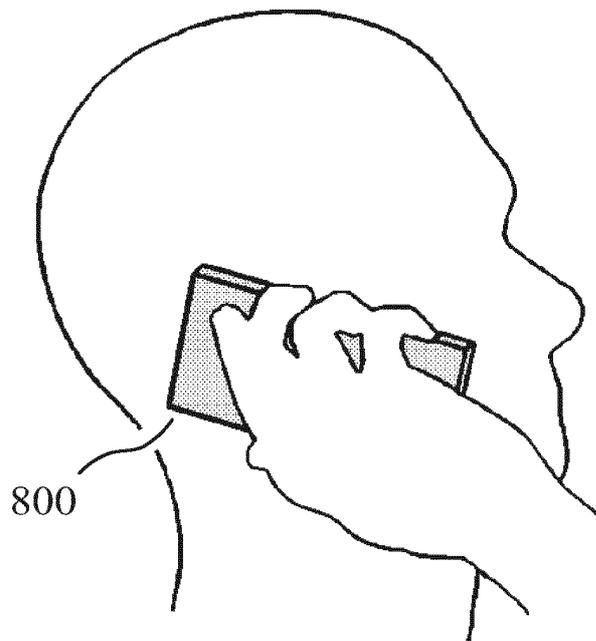


FIG. 14

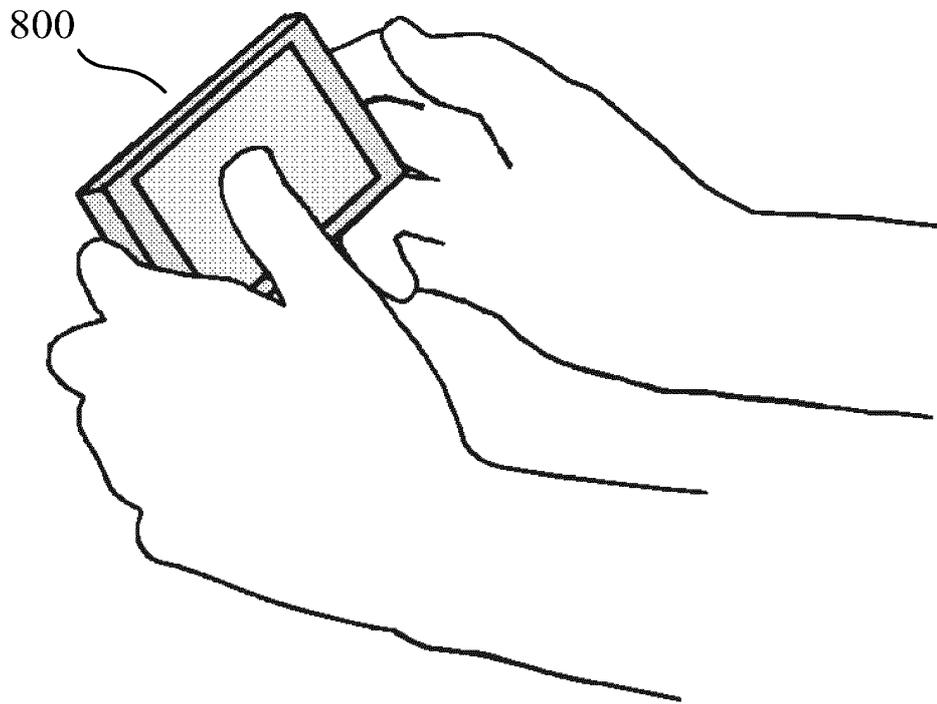


FIG. 15

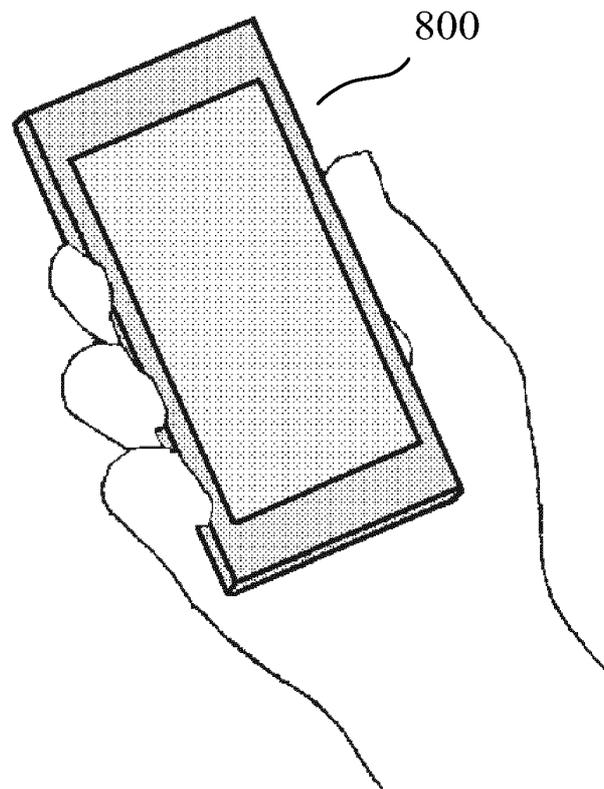


FIG. 16

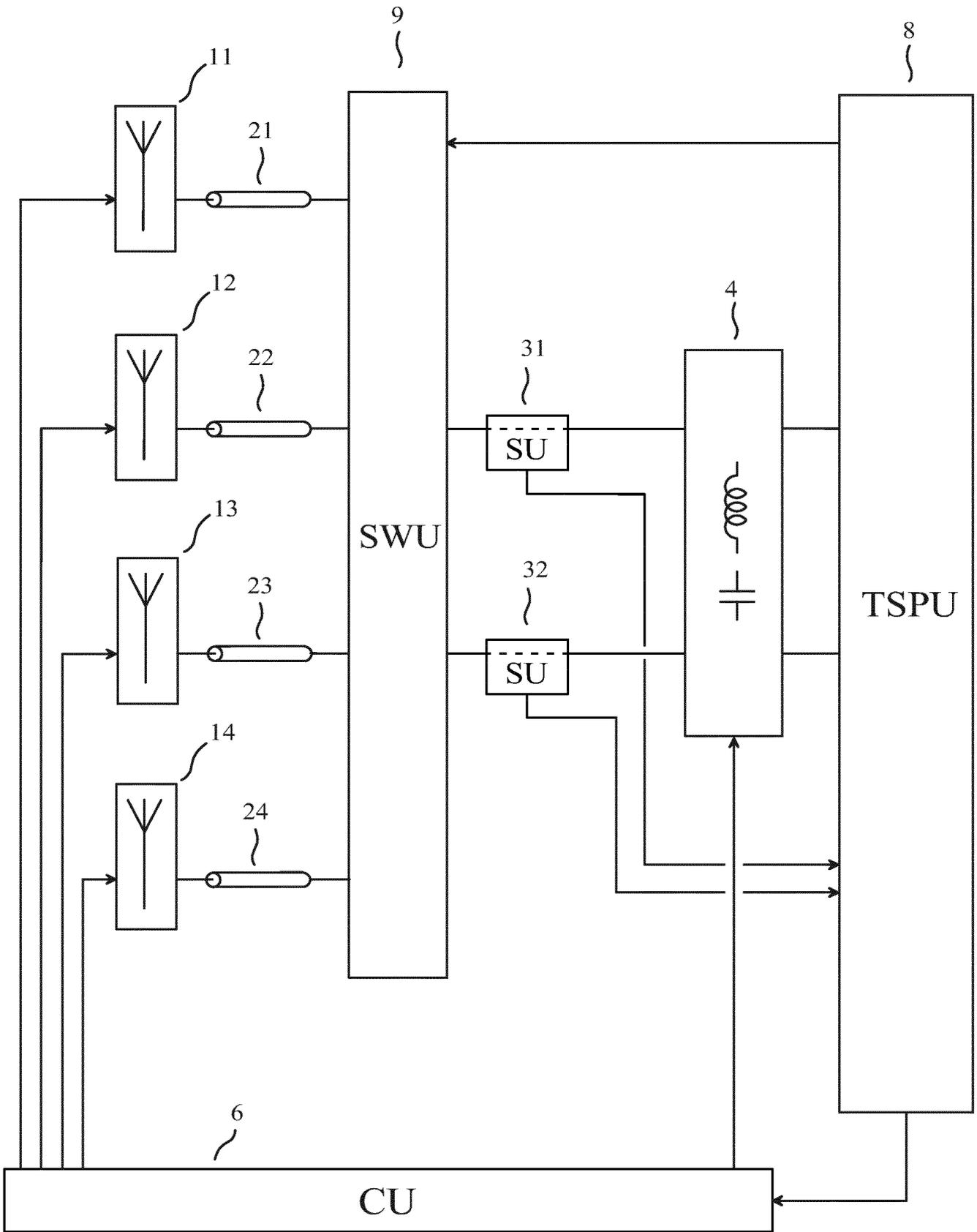


FIG. 17

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.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'ETABLISSEMENT DU PRESENT 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 CITES DANS LE PRESENT 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

US 2016/043751 A1 (BROYDE FRÉDÉRIC [FR] ET AL) 11 février 2016 (2016-02-11)

US 9 077 317 B2 (TEKCEM [FR]) 7 juillet 2015 (2015-07-07)

US 2017/040704 A1 (BROYDE FRÉDÉRIC [FR] ET AL) 9 février 2017 (2017-02-09)

BROYDE FREDERIC ET AL: "Some Properties of Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuners", IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS I: REGULAR PAPERS, IEEE, US, vol. 62, no. 2, 1 février 2015 (2015-02-01), pages 423-432, XP011571610, ISSN: 1549-8328, DOI: 10.1109/TCSI.2014.2363513 [extrait le 2015-01-26]

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

NEANT

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

NEANT