

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 079 373

21 N° d'enregistrement national : 18 70331

51 Int Cl⁸ : H 03 H 7/38 (2018.01), H 04 B 7/041

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 23.03.18.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 27.09.19 Bulletin 19/39.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

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

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

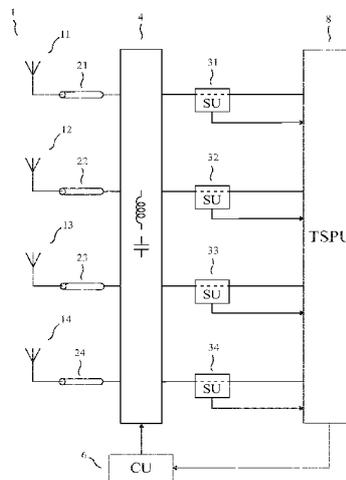
73 Titulaire(s) : TEKCEM Société par actions simplifiée.

74 Mandataire(s) : TEKCEM.

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

57 L'invention concerne un procédé pour régler automatiquement une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples. L'invention concerne aussi un appareil pour communication radio utilisant ce procédé.

Un appareil pour communication radio selon l'invention comporte : 4 antennes (11) (12) (13) (14) qui forment un réseau d'antennes à accès multiples (1); une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) ayant 4 accès d'entrée et 4 accès de sortie; 4 unités de détection (31) (32) (33) (34); 4 liaisons d'antenne (21) (22) (23) (24); une unité d'émission et de traitement du signal (8), qui applique 4 excitations aux accès d'entrée, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès d'entrée, et qui délivre des instructions de réglage d'unité d'accord; et une unité de contrôle (6), qui délivre un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord à l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples. Au moins une des instructions de réglage d'unité d'accord est une instruction de réglage d'unité d'accord initiale, et au moins une des instructions de réglage d'unité d'accord est une instruction de réglage d'unité d'accord ultérieure.



FR 3 079 373 - A1



Procédé pour réglage automatique 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 unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, par exemple 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 utilisant ce procédé, par exemple un émetteur-récepteur radio.

10 ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Dans la suite, en accord avec le "IEC multilingual dictionary of electricity" édité par le *Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale* en 1983, "commande en boucle ouverte" (traduction littérale de l'expression "open-loop control" de la langue anglaise), synonyme de "commande en chaîne ouverte", signifie une commande qui ne fait pas usage
15 d'une mesure de la grandeur commandée, et "commande en boucle fermée" (traduction littérale de l'expression "closed-loop control" de la langue anglaise), synonyme de "commande en chaîne fermée" et de "asservissement", signifie une commande où l'action sur le système commandé est rendue dépendante d'une mesure de la grandeur commandée.

Accorder une matrice impédance signifie obtenir qu'une matrice impédance présentée par
20 une pluralité d'accès d'entrée d'un dispositif soit voisine d'une matrice impédance recherchée, et offrir simultanément un transfert de puissance idéalement sans perte, ou presque sans perte, depuis la pluralité d'accès d'entrée vers une pluralité d'accès de sortie du dispositif, dans un contexte où la matrice impédance vue par la pluralité d'accès de sortie peut varier. Ainsi, si les accès d'un générateur de signal à accès multiples présentant une matrice impédance égale à la
25 matrice adjointe (c'est-à-dire une matrice égale à la matrice transposée de la matrice complexe conjuguée) de la matrice impédance recherchée sont convenablement connectés à la pluralité d'accès d'entrée, ledit générateur de signal à accès multiples fournit une puissance maximale à la pluralité d'accès d'entrée, et la pluralité d'accès de sortie délivre une puissance voisine de cette puissance maximale.

30 Une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples se comporte, à toute fréquence dans une bande de fréquences 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, une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples se comporte, à toute fréquence dans une bande de fréquences donnée,
35 par rapport à ses n accès de sortie et à ses m accès d'entrée, où n et m sont des entiers non nuls, 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. Une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples comporte plusieurs dispositifs à impédance réglable ayant chacun une réactance réglable. Régler une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples signifie régler la réactance d'un ou plusieurs de ses dispositifs à impédance réglable. Une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples peut être utilisée pour accorder une matrice impédance. Pour accorder une matrice impédance, l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples doit être réglée convenablement, c'est-à-dire que les réactances de ses dispositifs à impédance réglable doivent être réglées convenablement.

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.

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

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

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

35 Le brevet des États-Unis d'Amérique n° 9,077,317, intitulé "Method and apparatus for automatically tuning an impedance matrix, and radio transmitter using this apparatus", divulgue un premier procédé pour accorder automatiquement une matrice impédance, ce procédé utilisant au moins m excitations différentes appliquées successivement aux accès d'entrée. Malheureusement, ce procédé n'est habituellement pas compatible avec la spécification d'un

émetteur radio utilisé pour des communications radio MIMO, parce que la génération d'une séquence d'au moins m excitations différentes appliquées successivement entraîne une émission prolongée d'ondes électromagnétiques, qui n'est habituellement pas compatible avec les exigences de tous les modes d'émission MIMO des normes applicables, par exemple les normes
 5 LTE-Advanced.

Ce problème est résolu dans un deuxième procédé pour accorder automatiquement une matrice impédance, divulgué dans la demande internationale numéro PCT/IB2015/057131 du 16 septembre 2015 (WO 2016/207705), dans laquelle il n'est pas nécessaire que les excitations soient appliquées successivement.

10 Un schéma-bloc d'un système mettant en oeuvre le premier procédé pour accorder automatiquement une matrice impédance, ou le deuxième procédé pour accorder automatiquement une matrice impédance, est montré sur la figure 1. Ce système est une partie d'un appareil pour communication radio. Le système montré sur la figure 1 a $m = 4$ accès utilisateur (311) (321) (331) (341), les m accès utilisateur présentant, à une fréquence donnée,
 15 une matrice impédance appelée "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur", le système comportant :

$n = 4$ antennes (11) (12) (13) (14), les n antennes opérant simultanément dans une bande de fréquences donnée, les n antennes formant un réseau d'antennes à accès multiples (1) ;
 m unités de détection (31) (32) (33) (34), chacune des unités de détection délivrant deux
 20 "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 ;

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
 25 accès utilisateur à travers une et une seule des unités de détection, l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples comportant p dispositifs à impédance réglable, où p est un entier supérieur ou égal à m , les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord" et étant tels que, à ladite fréquence donnée, chacun des dispositifs à
 30 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 ;

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, chacune des
 35 liaisons d'antenne ayant une seconde extrémité couplée à un 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 causés par m excitations appliquées aux accès 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 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.

Le premier procédé pour accorder automatiquement une matrice impédance et le deuxième procédé pour accorder automatiquement une matrice impédance sont basés sur une commande en boucle fermée, et ils n'incluent pas la description d'une technique de commande rapide, si bien que l'on peut s'attendre à ce qu'un accord automatique procuré par un de ces procédés soit lent.

Ce problème est résolu dans un troisième procédé pour accorder automatiquement une matrice impédance, divulgué dans la demande internationale numéro PCT/IB2015/057161 du 17 septembre 2015 (WO 2017/033048). Un schéma-bloc d'un système mettant en oeuvre le troisième procédé pour accorder automatiquement une matrice impédance est montré sur la figure 2. Ce système est une partie d'un appareil pour communication radio. Le système montré sur la figure 2 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 comportant :

$n = 4$ antennes (11) (12) (13) (14), les n antennes opérant simultanément dans une bande de fréquences donnée, les n antennes formant un réseau d'antennes à accès multiples (1) ; 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, l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples comportant p dispositifs à impédance réglable, où p est un entier supérieur ou égal à m , les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord" et étant tels que, à ladite fréquence donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une réactance, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord 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 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, chacune des liaisons d'antenne ayant une seconde extrémité qui est indirectement couplée à un et un seul des accès de sortie, à travers une et une seule des unités de détection ;

une unité de traitement du signal (5), l'unité 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 causés par m excitations appliquées aux accès utilisateur, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction de réglage" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance vue par les accès de sortie ; 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, 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.

Le troisième procédé pour accorder automatiquement une matrice impédance est basé sur une commande en boucle ouverte, si bien qu'il peut être rapide, mais il est typiquement imprécis. Ainsi, l'état de l'art antérieur n'enseigne pas de procédé précis et rapide pour accorder automatiquement une matrice impédance.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention a pour objet un procédé pour régler automatiquement une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie 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 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 régler automatiquement une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, 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, 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 une 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 signal de contrôle d’accord, l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples étant une partie d’un appareil pour communication radio comportant N antennes, où N est un entier supérieur ou égal à 2, l’appareil pour communication radio permettant, à la fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les m accès d’entrée jusqu’à un champ électromagnétique rayonné par les antennes, le procédé comportant les étapes suivantes :

- sélectionner une fréquence appelée la “fréquence sélectionnée” ;
- 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 ;
- générer, pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord, une valeur initiale du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord, la valeur initiale du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord étant déterminée en fonction d’une ou plusieurs instructions de réglage d’unité d’accord initiales ;
- capter une ou plusieurs variables électriques à chacun des accès d’entrée, pour obtenir des “signaux de sortie d’unité de détection”, chacun des signaux de sortie d’unité de détection étant principalement déterminé par au moins une des variables électriques captées à un des accès d’entrée ;
- estimer q paramètres d’accord en utilisant les signaux de sortie d’unité de détection, où q est un entier supérieur ou égal à m , chacun des paramètres d’accord étant une quantité dépendante d’une matrice impédance présentée par les accès d’entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord sont générées ; et
- générer, pour un ou plusieurs des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord, au moins une valeur ultérieure de chacun des dits un ou plusieurs des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord, en fonction :
 - d’une ou plusieurs quantités dépendantes de la fréquence sélectionnée ;
 - d’une ou plusieurs variables dépendantes d’une ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d’unité d’accord initiales ; et
 - des q paramètres d’accord.

La fréquence donnée et la fréquence sélectionnée peuvent par exemple être des fréquences supérieures ou égales à 150 kHz. Le spécialiste comprend qu’une matrice impédance vue par les accès de sortie est une matrice complexe carrée d’ordre n , et qu’une 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 de ces matrices dépend de la fréquence, et \mathbf{Z}_U dépend aussi des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, si bien que l'expression "matrice impédance présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées" a une signification
5 claire.

Chacune des N antennes a un accès, appelé "accès signal" de l'antenne, qui peut être utilisé pour recevoir et/ou pour émettre des ondes électromagnétiques. Il est supposé que chacune des antennes se comporte, à la fréquence donnée, par rapport à l'accès signal de l'antenne, sensiblement comme une antenne passive, c'est-à-dire comme une antenne qui est linéaire et qui
10 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, dont la définition ne considère, pour chacune des antennes, 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, cette matrice n'est pas nécessairement diagonale. En
15 particulier, l'invention peut être telle que cette matrice n'est pas une matrice diagonale.

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. 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
20 puissance reçue par les m accès d'entrée est transférée à un champ électromagnétique rayonné par les antennes à la fréquence donnée, si bien qu'une puissance du champ électromagnétique rayonné par les antennes 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 (puissance rayonnée moyenne) peut être calculée
25 comme le flux de la partie réelle d'un vecteur de Poynting complexe du champ électromagnétique rayonné par les antennes, à travers une surface fermée contenant les antennes.

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, chacune des antennes peut, si $n = N$, par exemple être couplée, directement ou
30 indirectement, à un et un seul des accès de sortie, comme expliqué ci-dessous dans la présentation du premier mode de réalisation. Plus précisément, si $n = N$, pour chacune des antennes, 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 d'antenne. Pour des valeurs convenables des un ou plusieurs
35 signaux de contrôle d'accord, ledit transfert de puissance depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes peut par exemple être un transfert de puissance avec des pertes faibles ou négligeables ou nulles, cette caractéristique étant préférée.

Le procédé selon l'invention peut par exemple être tel que tout élément diagonal de la matrice impédance 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 par exemple 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.

5 Il est par exemple possible qu'au moins une des une ou plusieurs valeurs ultérieures soit générée en utilisant un modèle numérique, comme expliqué ci-dessous dans le sixième mode de réalisation.

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

- 10 N antennes, où N est un entier supérieur ou égal à 2 ;
 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
 15 par les antennes, 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
 20 n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant réglable par moyen électrique ;
 m unités de détection, chacune des unités de détection délivrant un ou plusieurs "signaux de sortie d'unité de détection", chacun des signaux de sortie d'unité de détection étant principalement déterminé par une ou plusieurs variables électriques captées à un des
 25 accès d'entrée ;
 une unité d'émission et de traitement du signal, l'unité d'émission et de traitement du signal délivrant des "instructions de réglage d'unité d'accord", au moins une des instructions de réglage d'unité d'accord étant une "instruction de réglage d'unité d'accord initiale", au moins une des instructions de réglage d'unité d'accord étant une "instruction de
 30 réglage d'unité d'accord ultérieure" ; et
 une unité de contrôle, l'unité de contrôle délivrant un ou plusieurs "signaux de contrôle d'accord", l'unité de contrôle générant, pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, une ou plusieurs valeurs du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, chacune des dites une ou plusieurs valeurs du dit chacun des un
 35 ou plusieurs signaux de contrôle d'accord étant déterminée en fonction d'au moins une des 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 ;

l'appareil pour communication radio étant caractérisé en ce que :

l'unité d'émission et de traitement du signal sélectionne une fréquence appelée la "fréquence sélectionnée" ;

5 l'unité d'émission et de traitement du signal applique 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 ; pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, les dites une ou plusieurs valeurs du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord comportent une valeur initiale déterminée en fonction d'une ou plusieurs des une ou plusieurs

10 instructions de réglage d'unité d'accord initiales ;

l'unité d'émission et de traitement du signal estime q paramètres d'accord en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection, où q est un entier supérieur ou égal à m , chacun des paramètres d'accord étant une quantité dépendante d'une matrice impédance présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs

15 signaux de contrôle d'accord sont générées ; et

au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord ultérieures est déterminée en fonction :

d'une ou plusieurs quantités dépendantes de la fréquence sélectionnée ;

d'une ou plusieurs variables dépendantes d'une ou plusieurs des une ou plusieurs

20 instructions de réglage d'unité d'accord initiales ; et

des q paramètres d'accord.

Par exemple, chacune des dites variables électriques peut être une tension, ou une tension incidente, ou une tension réfléchie, ou un courant, ou un courant incident, ou un courant réfléchi.

Par exemple, il est possible que l'unité de contrôle soit telle que :

25 pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, la valeur initiale du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord est déterminée en fonction d'une des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiales ; et

pour un ou plusieurs des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, les dites une ou plusieurs valeurs de chaque dit un ou plusieurs des un ou plusieurs signaux de contrôle

30 d'accord comportent au moins une valeur ultérieure déterminée en fonction d'une des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord ultérieures.

Dans ce cas, il est par exemple possible de dire que l'unité de contrôle génère : pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, une valeur initiale déterminée en fonction d'une des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiales ; et, pour un ou

35 plusieurs des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, au moins une valeur ultérieure déterminée en fonction d'une des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord ultérieures. Dans ce cas, il est par exemple possible de dire qu'au moins une valeur ultérieure de chacun des dits un ou plusieurs des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord est générée

en fonction :

- d'une ou plusieurs quantités dépendantes de la fréquence sélectionnée ;
- d'une ou plusieurs variables dépendantes d'une ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiales ; et
- 5 des q paramètres d'accord.

Comme expliqué ci-dessus, si $n = N$, il est par exemple possible que chacune des antennes 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, l'accès signal de l'antenne soit couplé, directement ou indirectement, à un et un seul des accès de sortie. Ainsi, 10 ledit transfert de puissance (depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes) peut se produire à travers l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de 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 15 d'émission et de traitement du signal délivrant une et une seule des excitations.

Par exemple, il est possible que la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ait une influence sur une matrice impédance présentée par les accès d'entrée.

Il est par exemple possible qu'au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord ultérieures soit déterminée en utilisant un modèle numérique, comme expliqué 20 ci-dessous dans le sixième mode de réalisation.

Le spécialiste comprend que l'appareil pour communication radio selon l'invention est adaptatif dans le sens où les réactances des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord sont modifiées au cours du temps en fonction des signaux de sortie d'unité de détection, qui sont 25 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 :

- 30 - la figure 1 représente un schéma-bloc d'un système de réglage 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 de réglage 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 35 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 utilisée dans l'appareil pour communication radio montré sur la figure 3 (septième mode de réalisation) ;
- 5 - la figure 6 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 utilisée dans l'appareil pour communication radio montré sur la figure 3 (huitième mode de réalisation) ;
- la figure 7 représente un algorithme mis en oeuvre dans un appareil pour communication radio selon l'invention (neuvième mode de réalisation) ;
- 10 - la figure 8 représente un schéma-bloc d'un appareil pour communication radio selon l'invention (dixième mode de réalisation) ;
- la figure 9 montre les emplacements des 4 antennes d'un téléphone mobile (onzième mode de réalisation) ;
- 15 - la figure 10 montre une première configuration d'utilisation typique (configuration main droite et tête) ;
- la figure 11 montre une deuxième configuration d'utilisation typique (configuration deux mains) ;
- la figure 12 montre une troisième configuration d'utilisation typique (configuration main droite seulement) ;
- 20 - la figure 13 représente un schéma-bloc d'un appareil pour communication radio selon l'invention (douzième mode de réalisation).

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE CERTAINS MODES DE RÉALISATION

Premier mode de réalisation.

25 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 :

$N = 4$ antennes (11) (12) (13) (14), les antennes opérant simultanément dans une bande de fréquences donnée, les antennes formant un réseau d'antennes à accès multiples (1) ;

30 une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) ayant $m = 4$ 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

35 fréquence donnée supérieure ou égale à 30 MHz, 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 ;

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 d'entrée ;

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, chacune des liaisons d'antenne ayant une seconde extrémité qui est directement couplée à un et un seul des accès de sortie ;

une unité d'émission et de traitement du signal (8), l'unité d'émission et de traitement du signal sélectionnant une fréquence appelée la "fréquence sélectionnée", 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 délivrant des "instructions de réglage d'unité d'accord", au moins une des instructions de réglage d'unité d'accord étant une "instruction de réglage d'unité d'accord initiale", au moins une des instructions de réglage d'unité d'accord étant une "instruction de réglage d'unité d'accord ultérieure" ; et

une unité de contrôle (6), l'unité de contrôle recevant les instructions de réglage d'unité d'accord, 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, l'unité de contrôle générant, pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, une ou plusieurs valeurs du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, chacune des dites une ou plusieurs valeurs du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord étant déterminée en fonction d'au moins une des 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 ;

dans lequel :

pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, les dites une ou plusieurs valeurs du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord comportent une valeur initiale déterminée en fonction d'une ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiales ;

l'unité d'émission et de traitement du signal estime q paramètres d'accord, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection, chacun des paramètres d'accord étant une quantité réelle dépendante d'une matrice impédance

présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées ; et au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord ultérieures est déterminée en fonction :

- 5 d'une ou plusieurs quantités dépendantes de la fréquence sélectionnée ;
 d'une ou plusieurs variables dépendantes d'une ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiales ; et
 des q paramètres d'accord.

Chacune des antennes est couplée à un et un seul des accès de sortie. Plus précisément, pour
 10 chacune des antennes, 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 liaisons d'antenne. De plus, chacun des accès de sortie est couplé à une et une seule des antennes. Plus précisément, chacun des accès de sortie est indirectement couplé à l'accès signal d'une et une seule des antennes, à travers une et une seule des liaisons d'antenne. La fréquence donnée est dans la bande de fréquences donnée. La
 15 bande de fréquences donnée ne contient que des fréquences supérieures ou égales à 30 MHz.

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

Chacun des m accès d'entrée est indirectement couplé à un accès de l'unité d'émission et de traitement du signal (8), à travers une et une seule des unités de détection, ledit accès de
 35 l'unité d'émission et de traitement du signal délivrant une et une seule des excitations. Chacune des instructions de réglage d'unité d'accord peut être de n'importe quel type de message numérique. Les 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 neuvième mode de réalisation. La durée d'une séquence de réglage est inférieure à 100 microsecondes.

Par exemple, il est possible qu'au moins une des excitations soit une porteuse non modulée, la fréquence porteuse de ladite au moins une des excitations étant la fréquence de ladite porteuse. Par exemple, il est possible qu'au moins une des excitations soit une porteuse modulée en amplitude, la fréquence porteuse de ladite au moins une des excitations étant la fréquence de ladite porteuse. Par exemple, il est possible qu'au moins une des excitations soit une porteuse modulée en fréquence, la fréquence porteuse de ladite au moins une des excitations étant la fréquence de ladite porteuse. Par exemple, comme expliqué dans la présentation du troisième mode de réalisation, il est possible qu'au moins une des excitations soit un signal passe-bande, la fréquence porteuse de ladite au moins une des excitations étant une fréquence porteuse du dit signal passe-bande.

La valeur de la fréquence sélectionnée est un élément d'un "ensemble de valeurs possibles de la fréquence sélectionnée", qui comporte plusieurs éléments. Par exemple, il est possible que la fréquence sélectionnée puisse prendre n'importe quelle valeur sélectionnée dans l'ensemble de valeurs possibles de la fréquence sélectionnée. Ainsi, il est possible que la fréquence porteuse de chacune des excitations puisse prendre n'importe quelle valeur sélectionnée dans l'ensemble de valeurs possibles de la fréquence sélectionnée.

Le spécialiste comprend que, pour estimer les q paramètres d'accord, il est nécessaire d'utiliser des signaux de sortie d'unité de détection, dont chacun est principalement déterminé par une ou plusieurs variables électriques captées à un des accès d'entrée pendant qu'au moins une des excitations est appliquée, et pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées.

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 internationale n° PCT/IB2013/058423 (WO 2014/049475) ; 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 $D_{UR}(\mathbf{Z}_{San})$. 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 un ou plusieurs 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. 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 à la fréquence donnée, si bien qu'une puissance du champ électromagnétique rayonné par les antennes 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 aussi, à ladite fréquence

donnée, un transfert de puissance depuis un champ électromagnétique incident sur les antennes 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 (11) (12) (13) (14) sont telles que, à ladite fréquence donnée, pour des valeurs convenables des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, un transfert de puissance à faibles pertes depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes peut être obtenu (pour l'émission radio), et un transfert de puissance à faibles pertes depuis un champ électromagnétique incident sur les antennes 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 un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, un transfert de puissance à faibles pertes depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes, et un transfert de puissance à faibles pertes depuis un champ électromagnétique incident sur les antennes jusqu'aux m accès d'entrée.

Les valeurs convenables des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord 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 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-advanced.

Le spécialiste comprend que \mathbf{Z}_{Sant} dépend de la fréquence et des caractéristiques électromagnétiques du volume entourant les antennes. 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 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 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 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. Chacune des m excitations appliquées 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 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, $q = 2m^2$ et les q paramètres d'accord déterminent complètement la matrice impédance présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées. 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 d'entrée et à un courant complexe entrant dans ledit un des accès d'entrée, comme expliqué plus haut. Pour expliquer comment l'unité d'émission et de traitement du signal (8) peut utiliser les signaux de sortie d'unité de détection causés par m excitations appliquées successivement aux accès d'entrée, pour estimer q paramètres d'accord, chacun des paramètres d'accord étant une quantité réelle dépendante d'une matrice impédance présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées, nous allons considérer deux exemples de traitement du signal.

Dans le premier exemple de traitement du signal, nous supposons que, pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées, pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , l'excitation numéro a consiste en un courant à la fréquence donnée appliqué à l'accès d'entrée numéro a et aucun courant appliqué aux autres accès d'entrée. Les accès d'entrée voient une matrice impédance \mathbf{Z}_{LOC} , et l'excitation numéro

a cause un vecteur des tensions de circuit ouvert aux accès de l'unité d'émission et de traitement du signal, noté $\mathbf{V}_{UPOC a}$. Ici, \mathbf{Z}_{LOC} est une matrice complexe carrée d'ordre m et $\mathbf{V}_{UPOC a}$ est un vecteur complexe à m lignes qui est proportionnel à la colonne a de \mathbf{Z}_{LOC} . 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

$$\mathbf{I}_{UP a} = (\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_{LOC})^{-1} \mathbf{V}_{UPOC a} \quad (1)$$

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

$$\mathbf{V}_{UP a} = \mathbf{Z}_U \mathbf{I}_{UP a} \quad (2)$$

dans laquelle $\mathbf{I}_{UP a}$ est donné par l'équation (1).

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

$$\mathbf{V}_{UP} = \mathbf{Z}_U \mathbf{I}_{UP} \quad (3)$$

15 Les matrices \mathbf{Z}_{LOC} et $\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_{LOC}$ étant chacune la matrice impédance d'un réseau strictement passif, leurs parties hermitiennes sont définies positives, si bien que, selon l'inégalité de Ostrowski-Taussky, leurs déterminants sont strictement supérieurs à zéro. Ainsi, \mathbf{Z}_{LOC} et $\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_{LOC}$ sont inversibles. Ainsi, \mathbf{I}_{UP} est correctement défini par l'équation (1). De plus, il peut être aisément montré que \mathbf{I}_{UP} est le produit de trois termes : l'inverse de $\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_{LOC}$, \mathbf{Z}_{LOC} et une matrice diagonale inversible. Ainsi, \mathbf{I}_{UP} est inversible, si bien que

20
$$\mathbf{Z}_U = \mathbf{V}_{UP} \mathbf{I}_{UP}^{-1} \quad (4)$$

Puisque, pour chaque élément de \mathbf{V}_{UP} ou de \mathbf{I}_{UP} , un des signaux de sortie d'unité de détection est, pendant qu'une des excitations est appliquée, proportionnel à cet élément de \mathbf{V}_{UP} ou de \mathbf{I}_{UP} , l'unité d'émission et de traitement du signal peut utiliser l'équation (4) pour calculer \mathbf{Z}_U . Ainsi, dans le premier exemple de traitement du signal, les dits q paramètres d'accord peuvent consister en m^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie réelle d'un élément de \mathbf{Z}_U et en m^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie imaginaire d'un élément de \mathbf{Z}_U .

25 Dans le second exemple de traitement du signal, nous supposons que, pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées, pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , l'excitation numéro a consiste en une tension à la fréquence donnée appliquée à l'accès d'entrée numéro a et une tension nulle appliquée aux autres accès d'entrée. Les accès d'entrée voient une matrice impédance \mathbf{Z}_{LSC} , et l'excitation numéro a cause un vecteur des tensions de circuit ouvert aux accès de l'unité d'émission et de traitement du signal, noté $\mathbf{V}_{UPSC a}$. Ici, \mathbf{Z}_{LSC} est une matrice complexe carrée d'ordre m et $\mathbf{V}_{UPSC a}$ est un vecteur complexe à m lignes dont les éléments sont nuls excepté l'élément de la ligne a .

30

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

$$\mathbf{I}_{UPa} = (\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_{LSC})^{-1} \mathbf{V}_{UPSCa} \quad (5)$$

et le vecteur des tensions complexes mesurées par les unités de détection est donné par l'équation (2) dans laquelle \mathbf{I}_{UPa} est donné par l'équation (5).

Définissons \mathbf{I}_{UP} comme étant la matrice complexe à m lignes et m colonnes dont les vecteurs colonne sont $\mathbf{I}_{UP1}, \dots, \mathbf{I}_{UPm}$, et \mathbf{V}_{UP} comme étant la matrice complexe à m lignes et m colonnes dont les vecteurs colonne sont $\mathbf{V}_{UP1}, \dots, \mathbf{V}_{UPm}$. Les matrices \mathbf{I}_{UP} et \mathbf{V}_{UP} de ce second exemple de traitement du signal peuvent être complètement différentes des matrices \mathbf{I}_{UP} et \mathbf{V}_{UP} du premier exemple de traitement du signal. Cependant, elles satisfont l'équation (3). La matrice $\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_{LSC}$ étant la matrice impédance d'un réseau strictement passif, $\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_{LSC}$ est inversible (comme expliqué plus haut pour \mathbf{Z}_{LOC} et $\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_{LOC}$), si bien que \mathbf{I}_{UP} est correctement défini par l'équation (5). Il peut être aisément montré que \mathbf{I}_{UP} est le produit de l'inverse de $\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_{LSC}$ et d'une matrice diagonale inversible. Ainsi, \mathbf{I}_{UP} est inversible, si bien que les matrices \mathbf{I}_{UP} et \mathbf{V}_{UP} de ce second exemple de traitement du signal satisfont aussi l'équation (4). Ainsi, l'unité d'émission et de traitement du signal peut utiliser l'équation (4) pour calculer \mathbf{Z}_U . Ainsi, dans le second exemple de traitement du signal, les dits q paramètres d'accord peuvent consister en m^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie réelle d'un élément de \mathbf{Z}_U et en m^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie imaginaire d'un élément de \mathbf{Z}_U . Alternativement, les dits q paramètres d'accord peuvent consister en m^2 nombres réels chacun proportionnel au module d'un élément de \mathbf{Z}_U et en m^2 nombres réels chacun proportionnel à l'argument d'un élément de \mathbf{Z}_U .

Troisième mode de réalisation.

Le troisième 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 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 est possible qu'au moins deux des excitations soient appliquées simultanément aux accès d'entrée. Ainsi, par exemple, il est possible que les m excitations soient appliquées simultanément aux accès d'entrée.

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 :

“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 $[-f_c - W/2, -f_c + W/2]$ 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 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 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.

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.

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 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.

Numérotions les accès d'entrée de 1 à m , et numérotions 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 $i_{E_a}(t)$, 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 d'entrée 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 d'entrée 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 paramètres d'accord, chacun des paramètres d'accord étant une quantité réelle dépendante d'une matrice impédance présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées.

Plus précisément, dans un exemple de traitement du signal, nous supposons que, pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées, 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 . Les accès d'entrée voient une matrice impédance \mathbf{Z}_{LOC} , et les excitations causent : m tensions de circuit ouvert aux accès de l'unité d'émission et de traitement du signal, d'enveloppes complexes $v_{UPOC1}(t), \dots, v_{UPOCm}(t)$; m courants entrant dans les accès d'entrée, d'enveloppes complexes $i_{UP1}(t), \dots, i_{UPm}(t)$; et m tensions aux bornes des accès d'entrée, d'enveloppes complexes $v_{UP1}(t), \dots, v_{UPm}(t)$. 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}_{UPOC_a} le vecteur colonne des a -ième coordonnées des enveloppes complexes $v_{UPOC_1}(t), \dots, v_{UPOC_m}(t)$ dans cette base. De la même façon, nous pouvons noter \mathbf{j}_{UP_a} le vecteur colonne des a -ième coordonnées des enveloppes complexes $i_{UP_1}(t), \dots, i_{UP_m}(t)$ dans cette base. De la même façon, nous pouvons noter \mathbf{u}_{UP_a} le vecteur colonne des a -ième coordonnées des enveloppes complexes $v_{UP_1}(t), \dots, v_{UP_m}(t)$ dans cette base. Ici, \mathbf{Z}_{LOC} est une matrice carrée d'ordre m , et \mathbf{u}_{UPOC_a} , \mathbf{j}_{UP_a} , et \mathbf{u}_{UP_a} sont des vecteurs complexes à m lignes. Le spécialiste voit que

$$\mathbf{j}_{UP_a} = (\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_{LOC})^{-1} \mathbf{u}_{UPOC_a} \quad (6)$$

10 et

$$\mathbf{u}_{UP_a} = \mathbf{Z}_U \mathbf{j}_{UP_a} \quad (7)$$

Définissons \mathbf{J}_{UP} comme étant la matrice complexe à m lignes et m colonnes dont les vecteurs colonne sont $\mathbf{j}_{UP_1}, \dots, \mathbf{j}_{UP_m}$, et définissons \mathbf{U}_{UP} comme étant la matrice complexe à m lignes et m colonnes dont les vecteurs colonne sont $\mathbf{u}_{UP_1}, \dots, \mathbf{u}_{UP_m}$. Nous avons

$$\mathbf{U}_{UP} = \mathbf{Z}_U \mathbf{J}_{UP} \quad (8)$$

Comme expliqué dans le deuxième mode de réalisation, \mathbf{Z}_{LOC} et $\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_{LOC}$ sont inversibles. Ainsi, \mathbf{J}_{UP} est correctement défini par l'équation (6). De plus, il peut être aisément montré que \mathbf{J}_{UP} est le produit de trois termes : l'inverse de $\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_{LOC}$, \mathbf{Z}_{LOC} et une matrice inversible. Ainsi, \mathbf{J}_{UP} est inversible, si bien que

$$\mathbf{Z}_U = \mathbf{U}_{UP} \mathbf{J}_{UP}^{-1} \quad (9)$$

Le spécialiste comprend comment les signaux de sortie d'unité de détection peuvent être traités pour obtenir les éléments de \mathbf{U}_{UP} et de \mathbf{J}_{UP} . Par exemple, supposons que, pour tout entier b supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , 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 d'entrée numéro b ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel au courant entrant dans cet accès d'entrée. 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 d'unité de détection, pour obtenir, pour tout entier b supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , quatre signaux analogiques : la partie réelle de $v_{UP_b}(t)$; la partie imaginaire de $v_{UP_b}(t)$; la partie réelle de $i_{UP_b}(t)$; et la partie imaginaire de $i_{UP_b}(t)$. 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 d'entrée numéro b dans la base $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$, c'est-à-dire la ligne b de \mathbf{U}_{UP} , et pour estimer les coordonnées de l'enveloppe complexe du courant entrant dans l'accès d'entrée

numéro b dans la base $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$, c'est-à-dire la ligne b de \mathbf{J}_{UP} . De cette façon, tous les éléments de \mathbf{U}_{UP} et de \mathbf{J}_{UP} peuvent être obtenus.

Une fois que les éléments de \mathbf{U}_{UP} et de \mathbf{J}_{UP} ont été obtenus, l'équation (9) peut être utilisée pour calculer \mathbf{Z}_U et/ou son inverse \mathbf{Y}_U . Ainsi, dans cet exemple de traitement du signal, les dits 5 q paramètres d'accord peuvent consister en m^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie réelle d'un élément de \mathbf{Y}_U et en m^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie imaginaire d'un élément de \mathbf{Y}_U .

Cet exemple de traitement du signal montre que, dans un mode de réalisation où les m excitations ne sont pas appliquées successivement, les effets des différentes excitations peuvent 10 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 présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées, et toute quantité réelle dépendante de la matrice impédance présentée par les accès d'entrée pendant que les 15 valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées.

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 20 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, $q = 2m^2$ et les q paramètres d'accord déterminent complètement la matrice impédance présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées. Par exemple, comme dit plus haut, les dits q paramètres d'accord peuvent consister en m^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie réelle d'un élément de \mathbf{Y}_U et en m^2 nombres réels chacun proportionnel 30 à la partie imaginaire d'un élément de \mathbf{Y}_U . Par exemple, les dits q paramètres d'accord peuvent consister en m^2 nombres réels chacun proportionnel au module d'un élément de \mathbf{Y}_U et en m^2 nombres réels chacun proportionnel à l'argument d'un élément de \mathbf{Y}_U .

Quatrième mode de réalisation.

Le quatrième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple 35 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

$$\langle f | g \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \overline{f(x)} g(x) dx \quad (10)$$

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

$$\langle f | g \rangle = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \overline{f[j]} g[j] \quad (11)$$

Considérons par exemple le cas dans lequel les excitations sont telles que, pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées, 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 (9) s'applique, et les éléments de \mathbf{U}_{UP} et de \mathbf{J}_{UP} peuvent être aisément calculés, puisque, pour 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 m , l'élément de la ligne b et de la colonne a de \mathbf{J}_{UP} , c'est-à-dire le b -ième élément du vecteur $\mathbf{j}_{UP a}$, c'est-à-dire la a -ième coordonnée de l'enveloppe complexe $i_{UP b}(t)$ dans la base $i_{E 1}(t), \dots, i_{E m}(t)$, est clairement donné par

$$j_{ba} = \frac{\langle i_{E a} | i_{UP b} \rangle}{\langle i_{E a} | i_{E a} \rangle} \quad (12)$$

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

$$u_{ba} = \frac{\langle i_{Ea} | v_{UPb} \rangle}{\langle i_{Ea} | i_{Ea} \rangle} \quad (13)$$

Par exemple, supposons que, pour tout entier b supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , 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 d'entrée numéro b ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel au courant entrant dans cet accès d'entrée. L'unité d'émission et de traitement du signal peut par exemple effectuer une conversion de fréquence vers le bas de tous les signaux de sortie d'unité de détection, suivie d'une "in-phase/quadrature (I/Q) demodulation" (réception hétérodyne), pour obtenir, pour tout entier b supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , quatre signaux analogiques : la partie réelle de $v_{UPb}(t)$; la partie imaginaire de $v_{UPb}(t)$; la partie réelle de $i_{UPb}(t)$; et la partie imaginaire de $i_{UPb}(t)$. 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 (12) et (13), pour estimer tous les éléments de \mathbf{U}_{UP} et de \mathbf{J}_{UP} .

Nous venons juste de considérer, comme un exemple, le cas dans lequel les excitations sont telles que, pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées, 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 $i_{Ea}(t)$, appliqué à l'accès d'entrée numéro a , les enveloppes complexes $i_{E1}(t), \dots, i_{Em}(t)$ 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 présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées, et toute quantité réelle dépendante de la matrice impédance présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées. Alternativement, les excitations pourraient par exemple être telles que, pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées, 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 $v_{Ea}(t)$, appliquée à l'accès d'entrée numéro a , les enveloppes complexes $v_{E1}(t), \dots, v_{Em}(t)$ 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 présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées, et toute quantité réelle dépendante de la matrice impédance présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées.

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 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, pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord sont générées, pour chaque 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 $i_{Ea}(t)$, appliqué à l’accès d’entrée numéro a , l’enveloppe complexe $i_{Ea}(t)$ étant de la forme

$$i_{Ea}(t) = i_{Ca}(t) + i_{Da}(t) \quad (14)$$

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, et chacune des premières composantes $i_{C_1}(t), \dots, i_{C_m}(t)$ des m enveloppes complexes étant orthogonale à chacune des
 5 deuxièmes composantes $i_{D_1}(t), \dots, i_{D_m}(t)$ des m enveloppes complexes. Dans ce cas, l'équation (9) s'applique, et les éléments de \mathbf{U}_{UP} et de \mathbf{J}_{UP} peuvent être aisément calculés, puisque, pour 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 m , l'élément de la ligne b et de la colonne a de \mathbf{J}_{UP} , c'est-à-dire le b -ième élément du vecteur \mathbf{j}_{UP_a} , c'est-à-dire la a -ième coordonnée de l'enveloppe complexe
 10 $i_{UP_b}(t)$ dans la base $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$, est clairement donné par

$$j_{ba} = \frac{\langle i_{Ca} | i_{UP_b} \rangle}{\langle i_{Ca} | i_{Ca} \rangle} \quad (15)$$

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

$$u_{ba} = \frac{\langle i_{Ca} | v_{UP_b} \rangle}{\langle i_{Ca} | i_{Ca} \rangle} \quad (16)$$

Par exemple, supposons que, pour tout entier b supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , 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 d'entrée numéro b ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel au courant entrant dans cet accès d'entrée. Dans ce cas,
 20 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 m ,
 25 quatre signaux numériques : les échantillons de la partie réelle de $v_{UP_b}(t)$; les échantillons de la partie imaginaire de $v_{UP_b}(t)$; les échantillons de la partie réelle de $i_{UP_b}(t)$; et les échantillons de la partie imaginaire de $i_{UP_b}(t)$. Ces signaux numériques peuvent alors être traités plus avant, en se basant sur les équations (15) et (16), pour estimer tous les éléments de \mathbf{U}_{UP} et de \mathbf{J}_{UP} .

Nous venons juste de considérer, comme un exemple, le cas dans lequel les excitations sont
 30 telles que, pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées, 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 présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées, et toute quantité réelle dépendante de la matrice impédance présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées. Alternativement, les excitations pourraient par exemple être telles que, pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées, 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 présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées, et toute quantité réelle dépendante de la matrice impédance présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées.

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.

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-
 5 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
 10 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
 15 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
 20 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
 25 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
 30 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.

35 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 (801) et du symbole de fin (808), ledit algorithme comporte :

- 5 un traitement "choisir la fréquence sélectionnée" (802), dans lequel l'unité d'émission et de traitement du signal choisit la fréquence sélectionnée, dans l'ensemble de valeurs possibles de la fréquence sélectionnée ;
- 10 un traitement "commencer à appliquer les excitations" (803), dans lequel l'unité d'émission et de traitement du signal commence à appliquer au moins une des excitations aux accès d'entrée, chacune des excitations ayant une fréquence porteuse qui est égale à la fréquence sélectionnée, si bien que les unités de détection deviennent capables de délivrer des signaux de sortie d'unité de détection tels que chacun des signaux de sortie d'unité de détection est déterminé par une variable électrique captée à un des accès d'entrée pendant qu'au moins une des excitations est appliquée ;
- 15 un traitement "valeurs initiales des signaux de contrôle d'accord" (804), dans lequel l'unité d'émission et de traitement du signal délivre une instruction de réglage d'unité d'accord initiale, et dans lequel, pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, l'unité de contrôle génère une valeur du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, ladite valeur étant appelée valeur initiale, ladite valeur initiale étant déterminée en fonction de l'instruction de réglage d'unité d'accord initiale, et seulement en fonction de l'instruction de réglage d'unité d'accord initiale ;
- 20 un traitement "matrice impédance présentée par les accès d'entrée" (805), dans lequel l'unité d'émission et de traitement du signal estime $q = 2m^2$ paramètres d'accord, qui déterminent complètement la matrice impédance présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées, par exemple comme expliqué dans le cinquième mode de réalisation ;
- 25 un traitement "valeurs ultérieures des signaux de contrôle d'accord" (806), dans lequel l'unité d'émission et de traitement du signal délivre une instruction de réglage d'unité d'accord ultérieure, et dans lequel, pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, l'unité de contrôle génère une valeur du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, ladite valeur étant appelée valeur ultérieure, ladite valeur ultérieure étant déterminée en fonction de ladite instruction de réglage d'unité d'accord ultérieure, et seulement en fonction de ladite instruction de réglage d'unité d'accord ultérieure ; et
- 30 un traitement "arrêter d'appliquer les excitations" (807), dans lequel l'unité d'émission et de traitement du signal cesse d'appliquer une ou plusieurs des excitations aux accès d'entrée.
- 35

Ladite une des une ou plusieurs séquences de réglage est destinée à être telle que, à la fin de ladite une des une ou plusieurs séquences de réglage, la matrice impédance présentée par les

accès d'entrée soit proche d'une matrice impédance recherchée, notée \mathbf{Z}_W , ladite matrice impédance recherchée pouvant dépendre de la fréquence sélectionnée.

Considérons une norme de l'image de la matrice impédance présentée par les accès d'entrée par une fonction matricielle notée h , la fonction matricielle étant une fonction d'un ensemble de matrices complexes carrées vers le même ensemble de matrices complexes carrées, la fonction matricielle étant continue là où elle est définie et telle que $h(\mathbf{Z}_W)$ est une matrice nulle. Par exemple, la norme peut être une norme vectorielle ou une norme matricielle. Par exemple la fonction matricielle peut être définie par

$$h(\mathbf{Z}_U) = \mathbf{Z}_U - \mathbf{Z}_W \quad (17)$$

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

$$h(\mathbf{Z}_U) = \mathbf{Z}_U^{-1} - \mathbf{Z}_W^{-1} \quad (18)$$

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

$$h(\mathbf{Z}_U) = (\mathbf{Z}_U - \mathbf{Z}_W) (\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_W)^{-1} \quad (19)$$

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. Dans le contexte de ce mode de réalisation, nous disons que la matrice impédance présentée par les accès d'entrée est proche de la matrice impédance recherchée, si et seulement si ladite norme de $h(\mathbf{Z}_U)$ est proche de zéro ; nous disons que la matrice impédance présentée par les accès d'entrée est grossièrement proche de la matrice impédance recherchée, si et seulement si ladite norme de $h(\mathbf{Z}_U)$ est grossièrement proche de zéro ; nous disons que la matrice impédance présentée par les accès d'entrée est aussi proche que possible de la matrice impédance recherchée, si et seulement si ladite norme de $h(\mathbf{Z}_U)$ est aussi proche que possible de zéro ; nous disons que la matrice impédance présentée par les accès d'entrée est très proche de la matrice impédance recherchée, si et seulement si ladite norme de $h(\mathbf{Z}_U)$ est très proche de zéro ; etc.

Dans le traitement "valeurs initiales des signaux de contrôle d'accord" (804), l'instruction de réglage d'unité d'accord initiale est déterminée en fonction de la fréquence sélectionnée.

Par exemple, dans le traitement "valeurs initiales des signaux de contrôle d'accord" (804), il est possible que l'unité d'émission et de traitement du signal utilise une table de consultation (en anglais: "lookup table" ou "look-up table") pour déterminer et délivrer l'instruction de réglage d'unité d'accord initiale, en fonction de la fréquence sélectionnée. Le spécialiste comprend comment 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 \mathbf{Z}_{Sant} causées par des

variations des caractéristiques électromagnétiques du volume entourant les antennes. Par conséquent, dans ce cas, à la fin du traitement “valeurs initiales des signaux de contrôle d’accord” (804), il est très probable que la matrice impédance présentée par les accès d’entrée ne soit que très grossièrement proche de la matrice impédance recherchée \mathbf{Z}_W .

5 Par exemple, dans le traitement “valeurs initiales des signaux de contrôle d’accord” (804), il est possible que l’unité d’émission et de traitement du signal détermine en premier lieu si une séquence de réglage précédente (c’est-à-dire, une séquence de réglage qui a été achevée avant le commencement de ladite une des une ou plusieurs séquences de réglage), qui utilisait la même fréquence sélectionnée que ladite une des une ou plusieurs séquences de réglage, a son
10 instruction de réglage d’unité d’accord ultérieure enregistrée en mémoire, auquel cas cette instruction de réglage d’unité d’accord ultérieure enregistrée en mémoire est utilisée pour déterminer et délivrer l’instruction de réglage d’unité d’accord initiale, alors que, dans le cas contraire, une table de consultation est utilisée pour déterminer et délivrer l’instruction de réglage d’unité d’accord initiale, en fonction de la fréquence sélectionnée (comme expliqué plus
15 haut). Le spécialiste comprend qu’une instruction de réglage d’unité d’accord ultérieure d’une séquence de réglage précédente ne peut pas prendre en compte les variations actuelles de \mathbf{Z}_{Sant} causées par des variations des caractéristiques électromagnétiques du volume entourant les antennes, si bien que, à la fin du traitement “valeurs initiales des signaux de contrôle d’accord” (804), il est probable que la matrice impédance présentée par les accès d’entrée ne soit que
20 grossièrement proche de la matrice impédance recherchée \mathbf{Z}_W .

Nous allons maintenant expliquer comment, en utilisant un modèle numérique, le traitement “valeurs ultérieures des signaux de contrôle d’accord” (806) procure une matrice impédance présentée par les accès d’entrée, notée \mathbf{Z}_U , qui est très proche, ou aussi proche que possible, de la matrice impédance recherchée \mathbf{Z}_W . Ici, le modèle numérique est un modèle de l’unité
25 d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples et de l’unité de contrôle. Le spécialiste comprend qu’un modèle numérique précis de l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples et de l’unité de contrôle peut être mis sous la forme d’une application (au sens mathématique) notée g_U et définie par

$$g_U(f, \mathbf{Z}_{Sant}, t_C, \mathbf{a}_T) = \mathbf{Z}_U \quad (20)$$

30 où f est la fréquence, où t_C est l’instruction de réglage d’unité d’accord applicable, t_C étant un élément d’un ensemble d’instructions de réglage d’unité d’accord possibles, cet ensemble étant noté T_C , et où \mathbf{a}_T est un vecteur réel de températures, qui est suffisant pour caractériser les effets de la température sur \mathbf{Z}_U . Par exemple, si l’impédance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l’unité d’accord dépend de sa température et si les caractéristiques de l’unité de
35 contrôle ne dépendent pas significativement de la température, les éléments de \mathbf{a}_T pourraient par exemple être les températures des dispositifs à impédance réglable de l’unité d’accord, ou \mathbf{a}_T pourrait par exemple n’avoir qu’un seul élément, ce seul élément étant une température

commune applicable à chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord, si une telle température commune existe.

Nous supposons que l'unité d'émission et de traitement du signal connaît l'application g_U , par exemple en se basant sur une ou plusieurs équations et/ou une ou plusieurs tables de consultation convenables. Le traitement "valeurs ultérieures des signaux de contrôle d'accord" (806) utilise les q paramètres d'accord, pour obtenir la valeur de \mathbf{Z}_U pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées, notée \mathbf{Z}_{UI} . Le traitement "valeurs ultérieures des signaux de contrôle d'accord" (806) utilise alors la fréquence sélectionnée (qui est une quantité dépendante de la fréquence sélectionnée), notée f_C , et l'instruction de réglage d'unité d'accord initiale (qui est une variable dépendante de l'instruction de réglage d'unité d'accord initiale), notée t_{CI} , pour résoudre l'équation

$$g_U(f_C, \mathbf{Z}_{Sant}, t_{CI}, \mathbf{a}_T) = \mathbf{Z}_{UI} \quad (21)$$

par rapport à l'inconnue \mathbf{Z}_{Sant} . Quand ceci est fait, \mathbf{Z}_{Sant} a été calculé, et le traitement "valeurs ultérieures des signaux de contrôle d'accord" (806) peut utiliser un algorithme pour trouver une instruction de réglage d'unité d'accord ultérieure, notée t_{CS} , telle que la matrice impédance présentée par les accès d'entrée \mathbf{Z}_U donnée par

$$g_U(f_C, \mathbf{Z}_{Sant}, t_{CS}, \mathbf{a}_T) = \mathbf{Z}_U \quad (22)$$

soit très proche, ou aussi proche que possible, de la matrice impédance recherchée \mathbf{Z}_W .

Ladite une des une ou plusieurs séquences de réglage utilise le modèle de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples et de l'unité de contrôle deux fois, la première fois quand elle utilise l'équation (21) et la seconde fois quand elle utilise l'équation (22). Il peut être démontré que cette caractéristique est telle que des imprécisions éventuelles du modèle de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples et de l'unité de contrôle ont un effet réduit sur la précision du \mathbf{Z}_U résultant. Ainsi, ladite une des une ou plusieurs séquences de réglage est précise.

Nous voyons que, selon nos explications, l'unité d'émission et de traitement du signal peut déterminer une instruction de réglage d'unité d'accord ultérieure telle que \mathbf{Z}_U est très proche, ou aussi proche que possible, de \mathbf{Z}_W , en utilisant un modèle numérique de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples et de l'unité de contrôle, et en fonction :

- (a) d'une ou plusieurs quantités dépendantes de la fréquence sélectionnée ;
- (b) d'une ou plusieurs variables dépendantes d'une ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiales ; et
- (c) des q paramètres d'accord.

Le spécialiste comprend que, pour compenser les effets de la température, l'instruction de réglage d'unité d'accord ultérieure (et, par conséquent, les valeurs ultérieures des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord) peut aussi être déterminée en fonction :

(d) d'un ou plusieurs signaux de température chacun principalement déterminé par une ou plusieurs températures mesurées en un ou plusieurs emplacements dans l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ; et/ou

5 (e) d'un ou plusieurs signaux de température chacun principalement déterminé par une ou plusieurs températures mesurées en un ou plusieurs emplacements dans l'unité de contrôle.

Le spécialiste comprend que l'utilisation possible des données (d) et (e) est par exemple pertinente si l'impédance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord dépend significativement de sa température et/ou si les caractéristiques de l'unité de contrôle
10 dépendent significativement de la température.

Le spécialiste comprend que, dans les étapes du traitement "valeurs ultérieures des signaux de contrôle d'accord" (806), l'utilisation combinée des données (a), (b) et (c), et éventuellement des données (d) et (e), a permis à l'unité d'émission et de traitement du signal de calculer Z_{Sant} en utilisant l'équation (21), et de déterminer ensuite l'instruction de réglage d'unité d'accord
15 ultérieure en utilisant un algorithme basé sur l'équation (22), si bien que chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord peut directement varier de sa valeur initiale à sa valeur ultérieure, les valeurs ultérieures des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord étant telles que Z_U est très proche, ou aussi proche que possible, de Z_W . Ainsi, ladite une des une ou plusieurs séquences de réglage est très rapide.

20 Par conséquent, nous voyons que l'invention surmonte les limitations de l'état de l'art antérieur, parce qu'elle procure un procédé précis et rapide pour accorder automatiquement une matrice impédance.

Le spécialiste comprend que l'invention est complètement différente du premier procédé pour accorder automatiquement une matrice impédance et du deuxième procédé pour accorder
25 automatiquement une matrice impédance, mentionnés ci-dessus dans la section "état de l'art antérieur", parce que l'invention est caractérisée en ce qu'au moins une instruction de réglage d'unité d'accord ultérieure est déterminée en fonction des données (a), (b) et (c), qui permettent à l'unité d'émission et de traitement du signal d'utiliser deux fois un modèle numérique de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples et de l'unité de contrôle,
30 pour obtenir un procédé précis et rapide pour accorder automatiquement une matrice impédance. Le spécialiste comprend que l'invention est complètement différente du troisième procédé pour accorder automatiquement une matrice impédance, mentionné ci-dessus dans la section "état de l'art antérieur", parce que l'invention n'est pas basée sur l'utilisation de variables électriques captées aux accès de sortie.

35 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 à l'algorithme représenté sur la figure 4, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation et pour le sixième mode de réalisation sont applicables à ce septième mode de réalisation.

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 septième mode de réalisation. Cette unité d'accord à accès 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 ;

$n = m$ 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.

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 septième mode de réalisation, nous utilisons $p = 2m = 8$ dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord.

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.

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 spécialiste comprend que, puisque $p = 2m = 8$, l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ne peut pas avoir une faculté d'accord complète (en anglais, "a full

tuning capability”), dont la définition est donnée dans la section III du dit article intitulé “Some Properties of Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuners”. Par conséquent, si une instruction de réglage d’unité d’accord ultérieure t_{CS} est telle que \mathbf{Z}_U donnée par l’équation (22) est aussi proche que possible de \mathbf{Z}_W , alors l’instruction de réglage d’unité d’accord ultérieure t_{CS} n’est pas nécessairement telle que \mathbf{Z}_U donnée par l’équation (22) soit très proche de \mathbf{Z}_W .

Le spécialiste comprend que nous pouvons utiliser :

$\mathbf{Y}_{401}(f_C, t_C, \mathbf{a}_T)$ pour noter une matrice admittance des 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 ;

$\mathbf{Z}_{403}(f_C, \mathbf{a}_T)$ pour noter une matrice impédance des $n = m$ 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

$\mathbf{Y}_{404}(f_C, t_C, \mathbf{a}_T)$ pour noter une matrice admittance des 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.

Le spécialiste comprend que nous obtenons

$$g_U(f, \mathbf{Z}_{Sant}, t_C, \mathbf{a}_T) = \left((\mathbf{Z}_{Sant}^{-1} + \mathbf{Y}_{401}(f_C, t_C, \mathbf{a}_T))^{-1} + \mathbf{Z}_{403}(f_C, \mathbf{a}_T) \right)^{-1} + \mathbf{Y}_{404}(f_C, t_C, \mathbf{a}_T) \quad (23)$$

L’unité d’émission et de traitement du signal connaît ledit modèle numérique, qui comporte l’équation (23) relative à l’application g_U , une table de consultation décrivant $\mathbf{Y}_{401}(f_C, t_C, \mathbf{a}_T)$, une table de consultation décrivant $\mathbf{Z}_{403}(f_C, \mathbf{a}_T)$ et une table de consultation décrivant $\mathbf{Y}_{404}(f_C, t_C, \mathbf{a}_T)$. Ainsi, la solution de l’équation (21) par rapport à l’inconnue \mathbf{Z}_{Sant} est donnée par

$$\mathbf{Z}_{Sant} = \left((\mathbf{Z}_{UI}^{-1} - \mathbf{Y}_{404}(f_C, t_{CI}, \mathbf{a}_T))^{-1} - \mathbf{Z}_{403}(f_C, \mathbf{a}_T) - \mathbf{Y}_{401}(f_C, t_{CI}, \mathbf{a}_T) \right)^{-1} \quad (24)$$

si bien qu’elle est calculée rapidement et précisément par l’unité d’émission et de traitement du signal. Nous notons qu’un tel calcul n’existe dans aucun des procédés pour accorder automatiquement une matrice impédance mentionnés ci-dessus dans la section “état de l’art antérieur”.

Huitième mode de réalisation.

Le huitième 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 à l’algorithme représenté sur la figure 4, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation et pour le sixième mode de réalisation sont applicables à ce huitième mode de réalisation.

Nous avons représenté sur la figure 6 l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) utilisée dans ce huitième mode de réalisation. Cette unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples comporte :

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

5 $m = 4$ 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 ;

10 $n(n-1)/2$ 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 ;

15 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

$m(m-1)/2$ 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.

20 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 contrôler la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ne sont pas montrés sur la figure 6. Dans ce huitième mode de réalisation, nous avons $n = m$ et nous utilisons $p = m(m+1) = 20$ dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord.

25 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.

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 6 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, 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.

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 ; 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 spécialiste comprend que, comme expliqué dans la section VI du dit article intitulé "Some Properties of Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuners", l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples a une faculté d'accord complète. Ici, si une instruction de réglage d'unité d'accord ultérieure t_{CS} est telle que \mathbf{Z}_U donnée par l'équation (22) est aussi proche que possible de \mathbf{Z}_W , alors l'instruction de réglage d'unité d'accord ultérieure t_{CS} est aussi telle que \mathbf{Z}_U donnée par l'équation (22) est très proche de \mathbf{Z}_W .

Le spécialiste comprend que nous pouvons utiliser :

$\mathbf{Y}_{401}(f_C, t_C, \mathbf{a}_T)$ pour noter une matrice admittance des $n(n+1)/2$ dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (401) (402) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé à un ou plusieurs des accès de sortie ;

$\mathbf{Z}_{403}(f_C, \mathbf{a}_T)$ pour noter une matrice impédance des $n = m$ 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

$\mathbf{Y}_{404}(f_C, t_C, \mathbf{a}_T)$ pour noter une matrice admittance des $m(m+1)/2$ dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (404) (405) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé à un ou plusieurs des accès d'entrée.

Le spécialiste comprend que l'équation (23) est applicable. L'unité d'émission et de traitement du signal connaît ledit modèle numérique, qui comporte l'équation (23) relative à l'application g_U , une table de consultation décrivant $\mathbf{Y}_{401}(f_C, t_C, \mathbf{a}_T)$, une table de consultation décrivant $\mathbf{Z}_{403}(f_C, \mathbf{a}_T)$ et une table de consultation décrivant $\mathbf{Y}_{404}(f_C, t_C, \mathbf{a}_T)$. Ainsi, la solution de l'équation (21) par rapport à l'inconnue \mathbf{Z}_{Sant} est donnée par l'équation (24), si bien qu'elle est calculée rapidement et précisément par l'unité d'émission et de traitement du signal. Nous notons qu'un tel calcul n'existe dans aucun des procédés pour accorder automatiquement une matrice impédance mentionnés ci-dessus dans la section "état de l'art antérieur".

Pour trouver une instruction de réglage d'unité d'accord ultérieure t_{CS} telle que la matrice impédance présentée par les accès d'entrée \mathbf{Z}_U donnée par l'équation (22) soit aussi proche que possible de la matrice impédance recherchée \mathbf{Z}_W (auquel cas \mathbf{Z}_U est très proche de \mathbf{Z}_W , comme expliqué plus haut), l'unité d'émission et de traitement du signal utilise un algorithme. 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 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, qui utilise les dites tables de consultation. 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 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.

10 Neuvième mode de réalisation.

Le neuvième 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 neuvième mode de réalisation. Dans ce neuvième mode de réalisation, les excitations sont appliquées continûment, si bien que les unités de détection peuvent continûment délivrer les signaux de sortie d’unité de détection causés par les dites excitations. Un algorithme d’une des une ou plusieurs séquences de réglage utilisées dans ce neuvième mode de réalisation est représenté sur la figure 7. Avant ladite une des une ou plusieurs séquences de réglage, l’unité d’émission et de traitement du signal a choisi la fréquence sélectionnée, dans l’ensemble de valeurs possibles de la fréquence sélectionnée. Chacune des excitations a, pendant ladite une des une ou plusieurs séquences de réglage, une fréquence porteuse qui est égale à la fréquence sélectionnée. En plus du symbole de début (801) et du symbole de fin (808), cet algorithme comporte :

un traitement “valeurs initiales des signaux de contrôle d’accord” (804), dans lequel l’unité d’émission et de traitement du signal délivre une instruction de réglage d’unité d’accord initiale, et dans lequel, pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord, l’unité de contrôle génère une valeur du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord, ladite valeur étant appelée valeur initiale, ladite valeur initiale étant déterminée en fonction de l’instruction de réglage d’unité d’accord initiale, et seulement en fonction de l’instruction de réglage d’unité d’accord initiale ;

un traitement “initialisation” (809), dans lequel une condition est définie ;

un traitement “matrice impédance présentée par les accès d’entrée” (805), dans lequel l’unité d’émission et de traitement du signal estime $q = 2m^2$ paramètres d’accord, qui déterminent complètement la matrice impédance présentée par les accès d’entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord sont générées ;

un traitement “valeurs ultérieures des signaux de contrôle d’accord” (806), dans lequel l’unité d’émission et de traitement du signal délivre une instruction de réglage d’unité d’accord ultérieure en utilisant un modèle numérique, et dans lequel, pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord, l’unité de contrôle génère une valeur du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord, ladite valeur étant appelée

5 valeur ultérieure, ladite valeur ultérieure étant déterminée en fonction de ladite instruction de réglage d’unité d’accord ultérieure, et seulement en fonction de ladite instruction de réglage d’unité d’accord ultérieure ;

un traitement (810) dans lequel une valeur de test est déterminée ;

10 un branchement conditionnel (811) utilisé pour atteindre le symbole de fin (808) si la valeur de test satisfait la condition (qui correspond à un critère d’achèvement) ; et

un traitement “préparer l’itération” (812), dans lequel l’unité d’émission et de traitement du signal décide que l’instruction de réglage d’unité d’accord ultérieure la plus récente devient, pour les traitements suivants, l’instruction de réglage d’unité d’accord initiale,

15 et décide que, pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord, la valeur ultérieure du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord, qui a été déterminée en fonction de ladite instruction de réglage d’unité d’accord ultérieure la plus récente, devient, pour les traitements suivants, la valeur initiale du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d’accord.

20 Le branchement conditionnel (811) est tel que, pendant ladite une des une ou plusieurs séquences de réglage, le traitement “matrice impédance présentée par les accès d’entrée” (805) et le traitement “valeurs ultérieures des signaux de contrôle d’accord” (806) sont exécutés au moins deux fois, par exemple deux fois, ou par exemple trois fois.

Il peut être montré que, dans le cas où le modèle numérique de l’unité d’accord à accès

25 d’entrée multiples et accès de sortie multiples et de l’unité de contrôle n’est pas précis, et dans le cas où les effets de la température sont significatifs et ne sont pas précisément compensés, ladite une des une ou plusieurs séquences de réglage est précise, parce que le traitement “matrice impédance présentée par les accès d’entrée” (805) et le traitement “valeurs ultérieures des signaux de contrôle d’accord” (806) sont exécutés au moins deux fois.

30 Dixième mode de réalisation.

Au titre d’un dixième mode de réalisation de l’invention, donné à titre d’exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 8 le schéma-bloc d’un appareil pour communication radio comportant :

une unité de capteurs de localisation (7), l’unité de capteurs de localisation estimant une ou

35 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 ;

$N = 4$ antennes (11) (12) (13) (14), les antennes formant un réseau d'antennes à accès multiples (1) ;

N liaisons d'antenne (21) (22) (23) (24) ;

5 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, ayant $m = 4$ accès d'entrée et $n = N$ accès de sortie ;

10 m unités de détection (31) (32) (33) (34), chacune des unités de détection délivrant au moins deux "signaux de sortie d'unité de détection", chacun des signaux de sortie d'unité de détection étant principalement déterminé par une ou plusieurs variables électriques captées à un des accès d'entrée ;

une unité d'émission et de traitement du signal (8), l'unité d'émission et de traitement du signal délivrant des "instructions de réglage d'unité d'accord", au moins une des instructions de réglage d'unité d'accord étant une "instruction de réglage d'unité d'accord initiale", au moins une des instructions de réglage d'unité d'accord étant une
15 "instruction de réglage d'unité d'accord ultérieure" ; et

une unité de contrôle (6), l'unité de contrôle délivrant un ou plusieurs "signaux de contrôle d'accord", l'unité de contrôle générant, pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, une ou plusieurs valeurs du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, chacune des dites une ou plusieurs valeurs du dit chacun des un
20 ou plusieurs signaux de contrôle d'accord étant déterminée en fonction d'au moins une des 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 une valeur d'au moins un des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord ;

l'appareil pour communication radio étant caractérisé en ce que :

25 l'unité d'émission et de traitement du signal sélectionne une fréquence appelée la "fréquence sélectionnée" ;

au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiales est déterminée en fonction d'une ou plusieurs quantités dépendantes de la fréquence sélectionnée, et en fonction des une ou plusieurs variables de localisation ;

30 l'unité d'émission et de traitement du signal applique 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 ;
pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, les dites une ou plusieurs valeurs du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord comportent une
35 valeur initiale déterminée en fonction d'une ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiales ;

l'unité d'émission et de traitement du signal estime q paramètres d'accord, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection, chacun

des paramètres d'accord étant une quantité réelle dépendante d'une matrice impédance présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées ; et

5 au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord ultérieures est déterminée en utilisant un modèle numérique, en fonction d'une ou plusieurs quantités dépendantes de la fréquence sélectionnée, en fonction d'une ou plusieurs variables dépendantes d'une ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiales, et en fonction des q paramètres d'accord.

10 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
15 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
20 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
25 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
30 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
35 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
 5 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
 10 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
 15 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.
 20 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
 25 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
 30 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.

Onzième mode de réalisation.

Le onzième 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
 35 figure 8, et toutes les explications fournies pour le dixième mode de réalisation sont applicables à ce onzième mode de réalisation. De plus, dans ce onzième 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 9 est un dessin d'une vue d'arrière du téléphone mobile (800). La figure 9 montre : un point (71) où le premier des 4 capteurs de proximité est situé, près d'une des antennes (11) ; un point (72) où le deuxième des 4 capteurs de proximité est situé, près d'une des antennes (12) ; un point (73) où le troisième des 4 capteurs de proximité est situé, près d'une des antennes (13) ;
5 et un point (74) où le quatrième des 4 capteurs de proximité est situé, près d'une des antennes (14).

Un ensemble fini de configurations d'utilisation typiques est défini. Par exemple, la figure 10 montre une première configuration d'utilisation typique, qui peut être appelée "configuration main droite et tête" ; la figure 11 montre une deuxième configuration d'utilisation typique, qui
10 peut être appelée "configuration deux mains" ; et la figure 12 montre une troisième configuration d'utilisation typique, qui peut être appelée "configuration main droite seulement". Dans la figure 10, la figure 11 et la figure 12, 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 10, loin de sa tête avec ses deux mains dans la figure 11, et loin de sa tête
15 seulement avec sa main droite dans la figure 12. 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. Ladite au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiale est déterminée à partir d'un ensemble d'instructions de réglage d'unité d'accord prédéterminées qui
20 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
25 pertinents, et suffisamment petit pour éviter une table de consultation exagérément grande.

Il a été montré que, pour obtenir une bonne précision de ladite au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiale, plus de deux configurations d'utilisation typiques doivent être définies, et une unique variable de localisation ne peut pas être utilisée pour déterminer une configuration d'utilisation typique la plus proche. Par conséquent,
30 dans ce onzième 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
35 précisément, il est nécessaire qu'il existe deux des variables de localisation, notées A et B, la 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 préférablement telles que X et Y ont une intersection vide. Dans ce onzième mode de réalisation, ce résultat est obtenu en utilisant une unité de 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 9.

5 Douzième mode de réalisation.

Au titre d'un douzième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 13 le schéma-bloc d'un appareil pour communication radio comportant :

$N = 4$ antennes (11) (12) (13) (14) ;

- 10 une unité de commutation (9), l'unité de commutation comportant N accès antenne couplés chacun à une et une seule des antennes 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 par une ou plusieurs "instructions de configuration", la configuration active étant l'une d'une pluralité de
- 15 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 des accès antenne ;
- une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4) ayant $m = 2$
- 20 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 n'importe lequel des m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes, 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
- 25 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 ;
- 30 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 déterminé par une ou plusieurs variables électriques captées (ou mesurées) à un des accès d'entrée ;
- une unité d'émission et de traitement du signal (8), l'unité d'émission et de traitement du
- 35 signal sélectionnant une fréquence appelée la "fréquence sélectionnée", l'unité d'émission et de traitement du signal délivrant les une ou plusieurs instructions de configuration, 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 délivrant des "instructions de réglage d'unité d'accord", au moins une des instructions de réglage d'unité d'accord étant une "instruction de réglage d'unité d'accord initiale", au moins une des instructions de réglage d'unité d'accord étant une "instruction de réglage d'unité d'accord ultérieure" ; et

une unité de contrôle (6), 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, l'unité de contrôle générant, pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, une ou plusieurs valeurs du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, chacune des dites une ou plusieurs valeurs du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord étant déterminée en fonction d'au moins une des 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 d'émission et de traitement du signal et l'unité de contrôle étant caractérisées en ce que :

pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, les dites une ou plusieurs valeurs du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord comportent une valeur initiale déterminée en fonction d'une ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiales ;

l'unité d'émission et de traitement du signal estime q paramètres d'accord en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection, où q est un entier supérieur ou égal à m , chacun des paramètres d'accord étant une quantité dépendante d'une matrice impédance présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées ; et

au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord ultérieures est déterminée en utilisant un modèle numérique de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples et de l'unité de contrôle, en fonction d'une ou plusieurs quantités dépendantes de la fréquence sélectionnée, en fonction d'une ou plusieurs variables dépendantes d'une ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiales, et en fonction des q paramètres 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 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.

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 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 plusieurs diodes PIN et/ou un ou plusieurs transistors à effet de champ à grille isolée comme dispositifs de commutation.

Dans ce douzième mode de réalisation, il n'est pas possible de dire que, pour chacune des antennes, l'accès signal de l'antenne est couplé, directement ou indirectement, à un et un seul des accès de sortie. Cependant, dans ce douzième mode de réalisation, chacun des n accès de sortie est indirectement couplé à une et une seule des N antennes. Ou, plus précisément, chacun des n accès de sortie est indirectement couplé à l'accès signal d'une et une seule des N antennes, à travers l'unité de commutation et une et une seule des liaisons 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 parmi les N antennes, 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 dixième mode de réalisation ;
- de la fréquence sélectionnée, ou d'une fréquence utilisée pour la communication radio avec les antennes ;
- 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.

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 instructions de réglage d'unité d'accord peut être de n'importe quel type de message numérique. Les une ou plusieurs instructions de configuration et les 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 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 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 un procédé précis et rapide pour régler automatiquement une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, et un procédé précis et rapide pour accorder automatiquement une matrice impédance. L'appareil pour communication radio selon l'invention peut régler précisément, rapidement et automatiquement son unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, pour accorder précisément, rapidement et automatiquement une matrice impédance.

Tous les modes de réalisation décrits ci-dessus comportent $N = 4$ antennes, mais ceci n'est nullement une caractéristique de l'invention. Dans l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples utilisée dans le septième mode de réalisation, montrée sur la figure 5, et dans l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples utilisée dans le huitième mode de réalisation, montrée sur la figure 6, les dispositifs à impédance réglable de

l'unité d'accord présentent chacun une réactance négative, mais ceci n'est nullement une caractéristique de l'invention.

L'appareil pour communication radio selon l'invention peut par exemple être un émetteur radio utilisant une pluralité d'antennes simultanément, ou un émetteur-récepteur radio utilisant
5 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 meilleures caractéristiques possibles en utilisant des antennes très proches, présentant donc une forte interaction entre elles. L'invention est donc particulièrement adaptée aux émetteurs et
10 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 meilleures caractéristiques possibles en utilisant un très grand nombre d'antennes dans un volume donné, présentant donc une forte interaction entre elles. L'invention est donc
15 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 une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (4), 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
- 5 2, 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 une fréquence donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité
- 10 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 signal de contrôle d'accord, l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de
- 15 sortie multiples étant une partie d'un appareil pour communication radio comportant N antennes (11) (12) (13) (14), où N est un entier supérieur ou égal à 2, l'appareil pour communication radio permettant, à la fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les m accès d'entrée jusqu'à un champ électromagnétique rayonné par les antennes, le procédé comportant les étapes suivantes :
- sélectionner une fréquence appelée la "fréquence sélectionnée" ;
 - appliquer m excitations aux m accès d'entrée, une et une seule des excitations étant
 - 20 appliquée à chacun des accès d'entrée, chacune des excitations ayant une fréquence porteuse qui est égale à la fréquence sélectionnée ;
 - générer, pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, une valeur initiale du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, la valeur initiale du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord étant déterminée en
 - 25 fonction d'une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiales ;
 - capturer une ou plusieurs variables électriques à chacun des accès d'entrée, pour obtenir des "signaux de sortie d'unité de détection", chacun des signaux de sortie d'unité de détection étant principalement déterminé par au moins une des variables électriques captées à un des accès d'entrée ;
 - 30 estimer q paramètres d'accord en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection, où q est un entier supérieur ou égal à m , chacun des paramètres d'accord étant une quantité dépendante d'une matrice impédance présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées ; et
 - générer, pour un ou plusieurs des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, au moins
 - 35 une valeur ultérieure de chacun des dits un ou plusieurs des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, en utilisant un modèle numérique, en fonction :
 - d'une ou plusieurs quantités dépendantes de la fréquence sélectionnée ;

d'une ou plusieurs variables dépendantes d'une ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiales ; et des q paramètres d'accord.

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 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 (11) (12) (13) (14), où N est un entier supérieur ou égal à 2 ;
 - 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, 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 ;
 - m 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 captées à un des accès d'entrée ;
 - une unité d'émission et de traitement du signal (8), l'unité d'émission et de traitement du signal délivrant des "instructions de réglage d'unité d'accord", au moins une des instructions de réglage d'unité d'accord étant une "instruction de réglage d'unité d'accord initiale", au moins une des instructions de réglage d'unité d'accord étant une "instruction de réglage d'unité d'accord ultérieure" ; et
 - une unité de contrôle (6), l'unité de contrôle délivrant un ou plusieurs "signaux de contrôle d'accord", l'unité de contrôle générant, pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, une ou plusieurs valeurs du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, chacune des dites une ou plusieurs valeurs du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord étant déterminée en fonction d'au moins une

des 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 ;

l'appareil pour communication radio étant caractérisé en ce que :

5 l'unité d'émission et de traitement du signal sélectionne une fréquence appelée la "fréquence sélectionnée" ;

l'unité d'émission et de traitement du signal applique 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 ;

10 pour chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord, les dites une ou plusieurs valeurs du dit chacun des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord comportent une valeur initiale déterminée en fonction d'une ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiales ;

l'unité d'émission et de traitement du signal estime q paramètres d'accord en utilisant les
15 signaux de sortie d'unité de détection, où q est un entier supérieur ou égal à m , chacun des paramètres d'accord étant une quantité dépendante d'une matrice impédance présentée par les accès d'entrée pendant que les valeurs initiales des un ou plusieurs signaux de contrôle d'accord sont générées ; et

au moins une des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord ultérieures est
20 déterminée en utilisant un modèle numérique, en fonction :

d'une ou plusieurs quantités dépendantes de la fréquence sélectionnée ;

d'une ou plusieurs variables dépendantes d'une ou plusieurs des une ou plusieurs instructions de réglage d'unité d'accord initiales ; et

des q paramètres d'accord.

25 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 première variable électrique étant une tension aux bornes d'un des accès d'entrée ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une seconde variable électrique, la seconde
30 variable électrique étant un courant entrant dans ledit un des accès d'entrée.

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 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 d'entrée ; et un second
35 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 d'entrée.

7. Appareil pour communication radio selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, dans 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 dits dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord.
- 5 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 la 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 :
- 10 la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une influence sur une matrice impédance présentée par les accès d'entrée ; et 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
- 15 lequel les m excitations sont appliquées successivement aux accès d'entrée.
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
- 20 complexes.

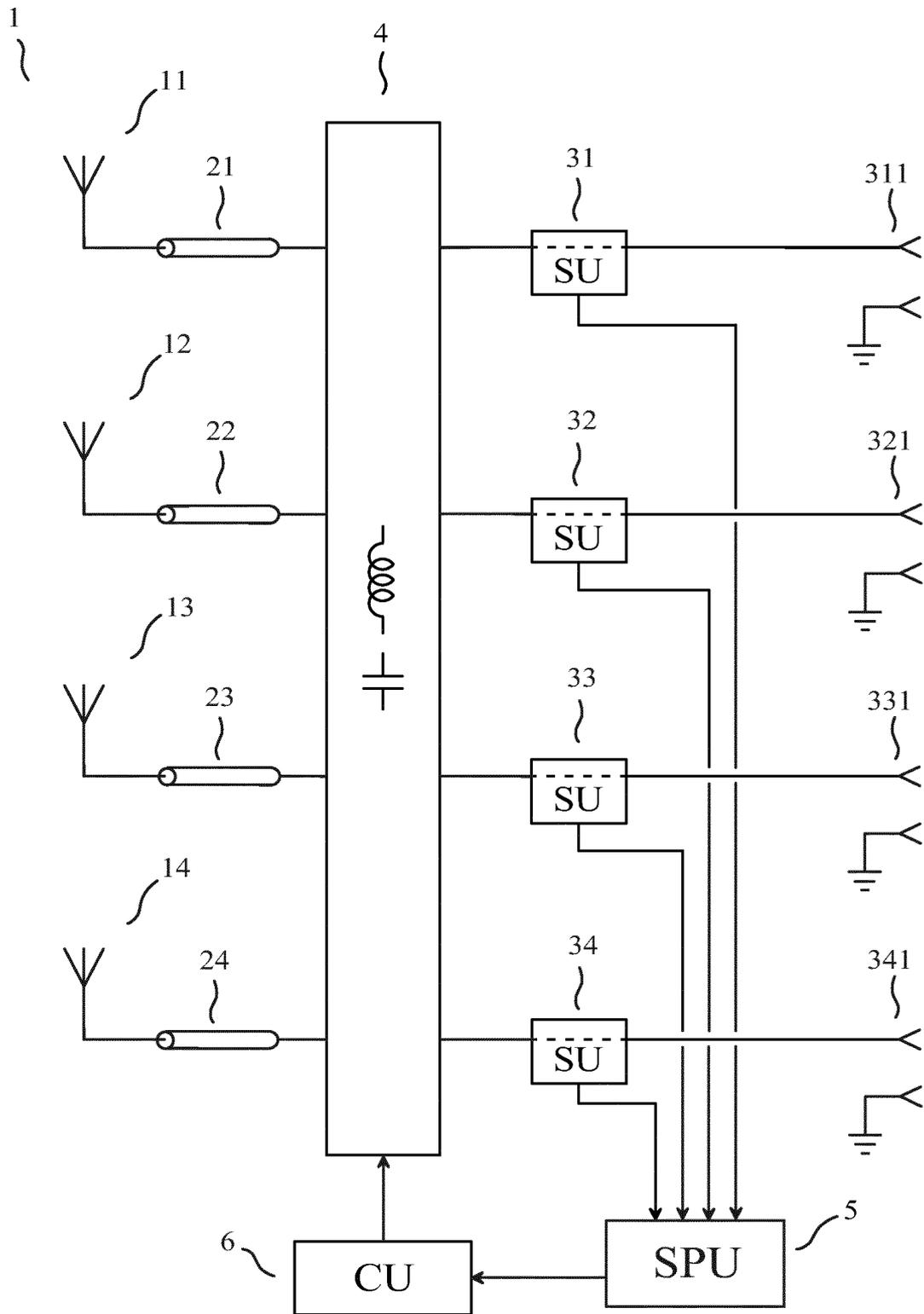


FIG. 1

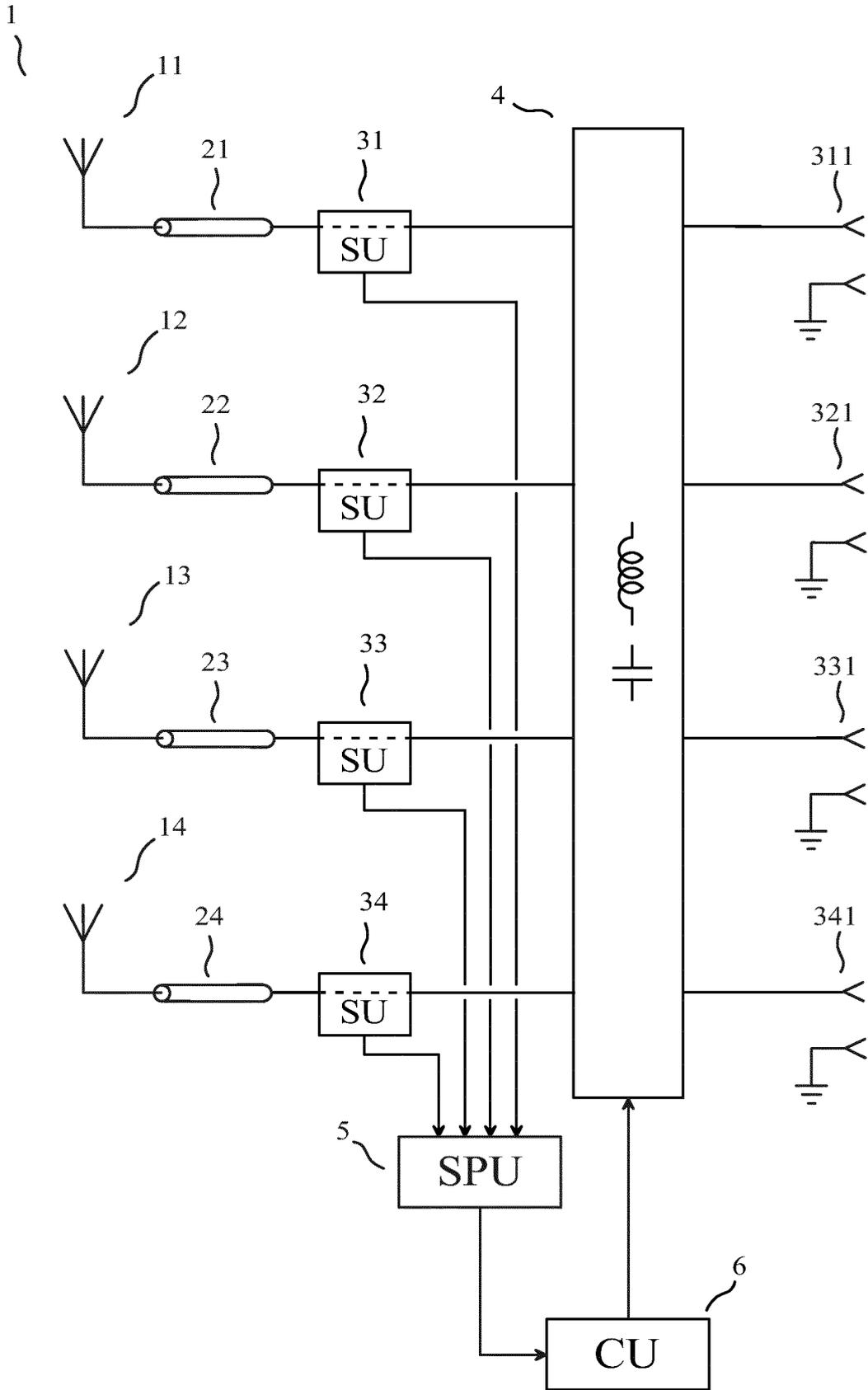


FIG. 2

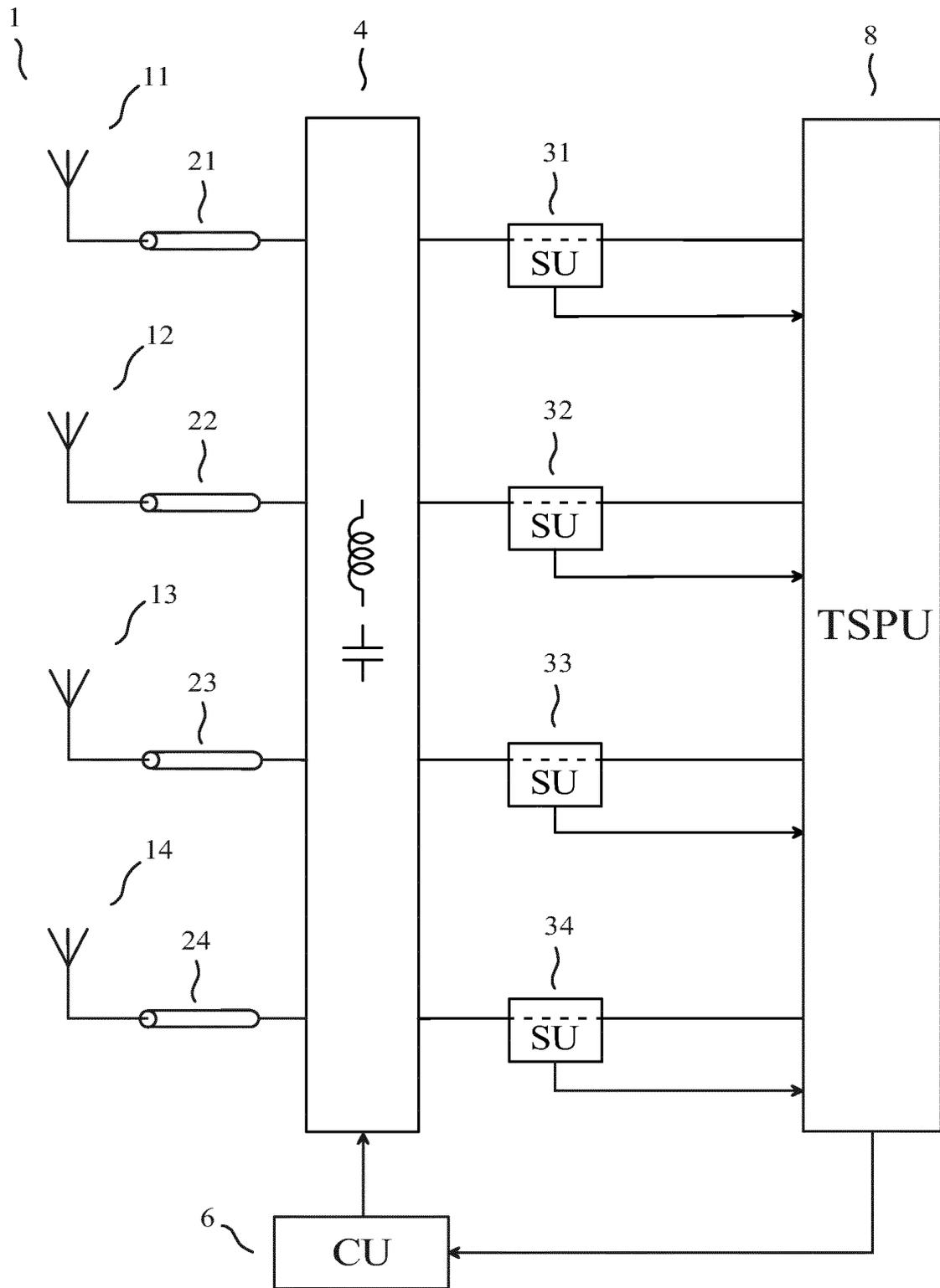


FIG. 3

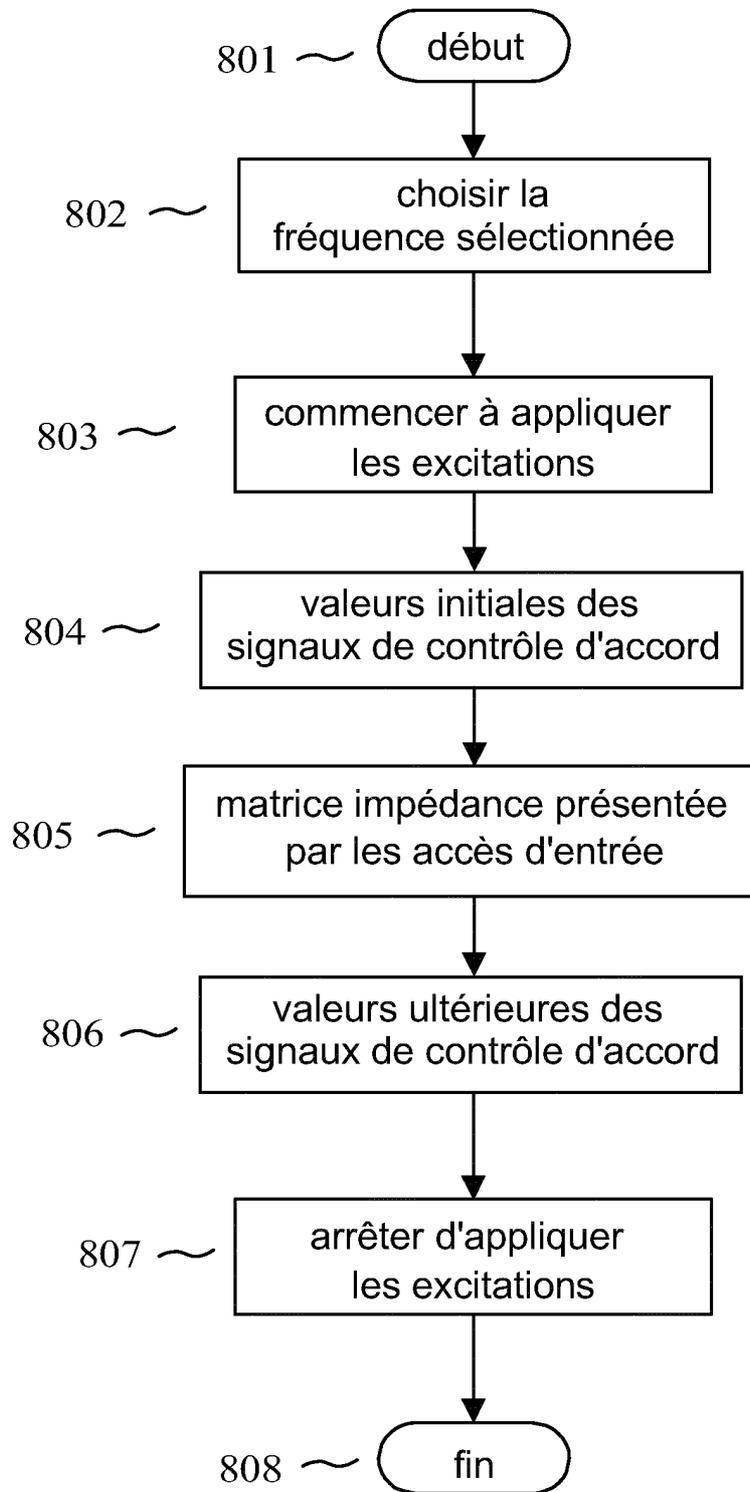


FIG. 4

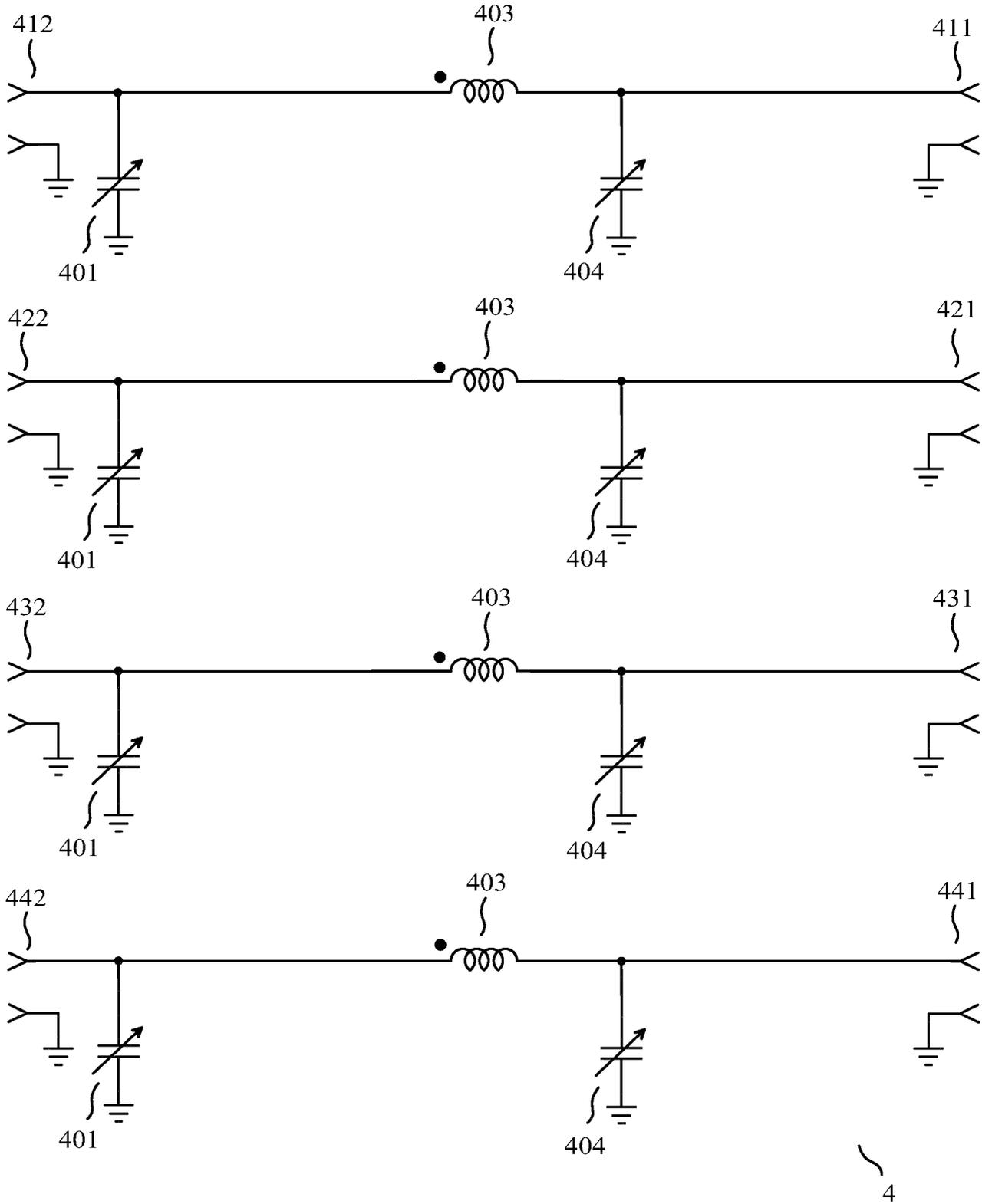


FIG. 5

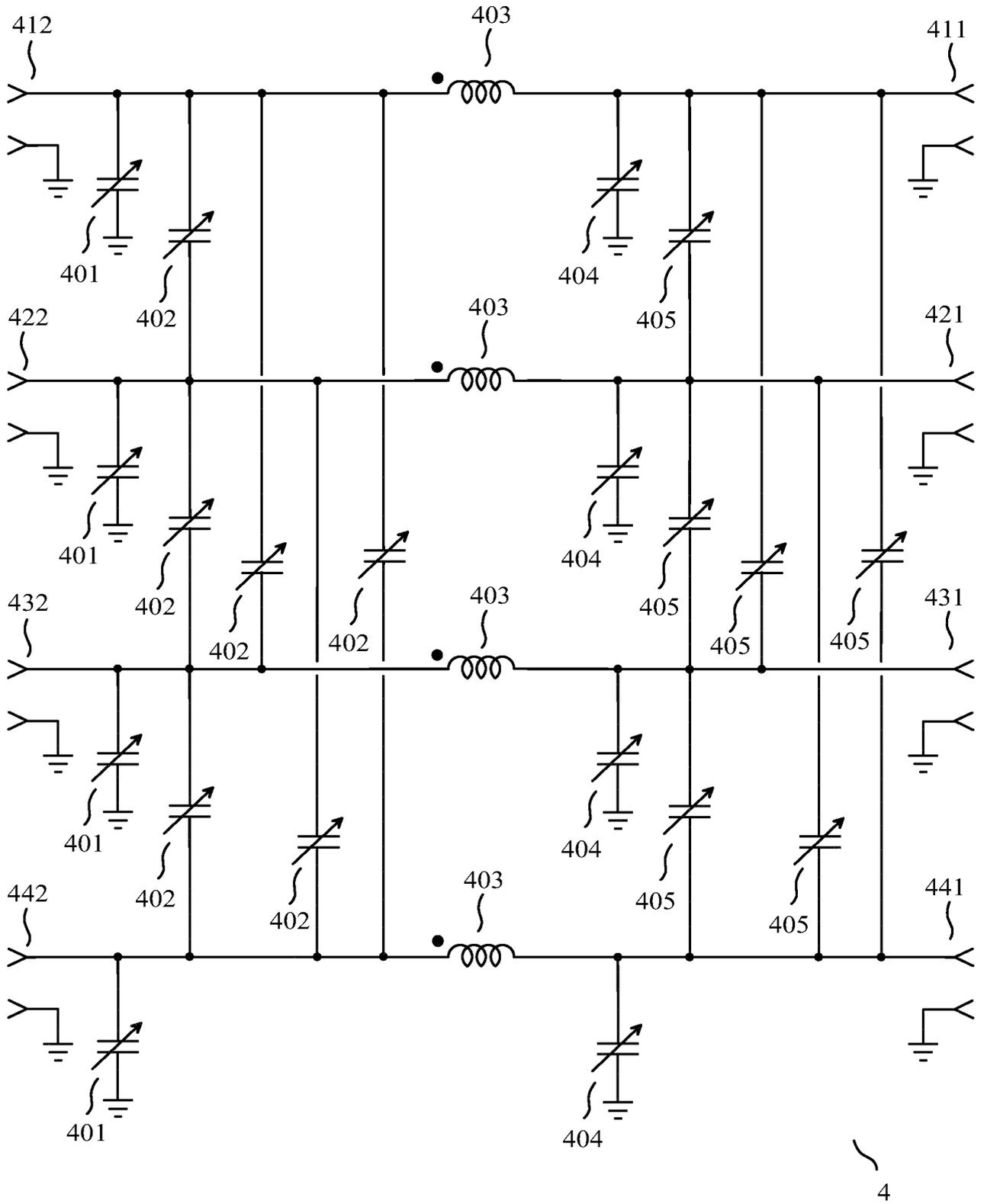


FIG. 6

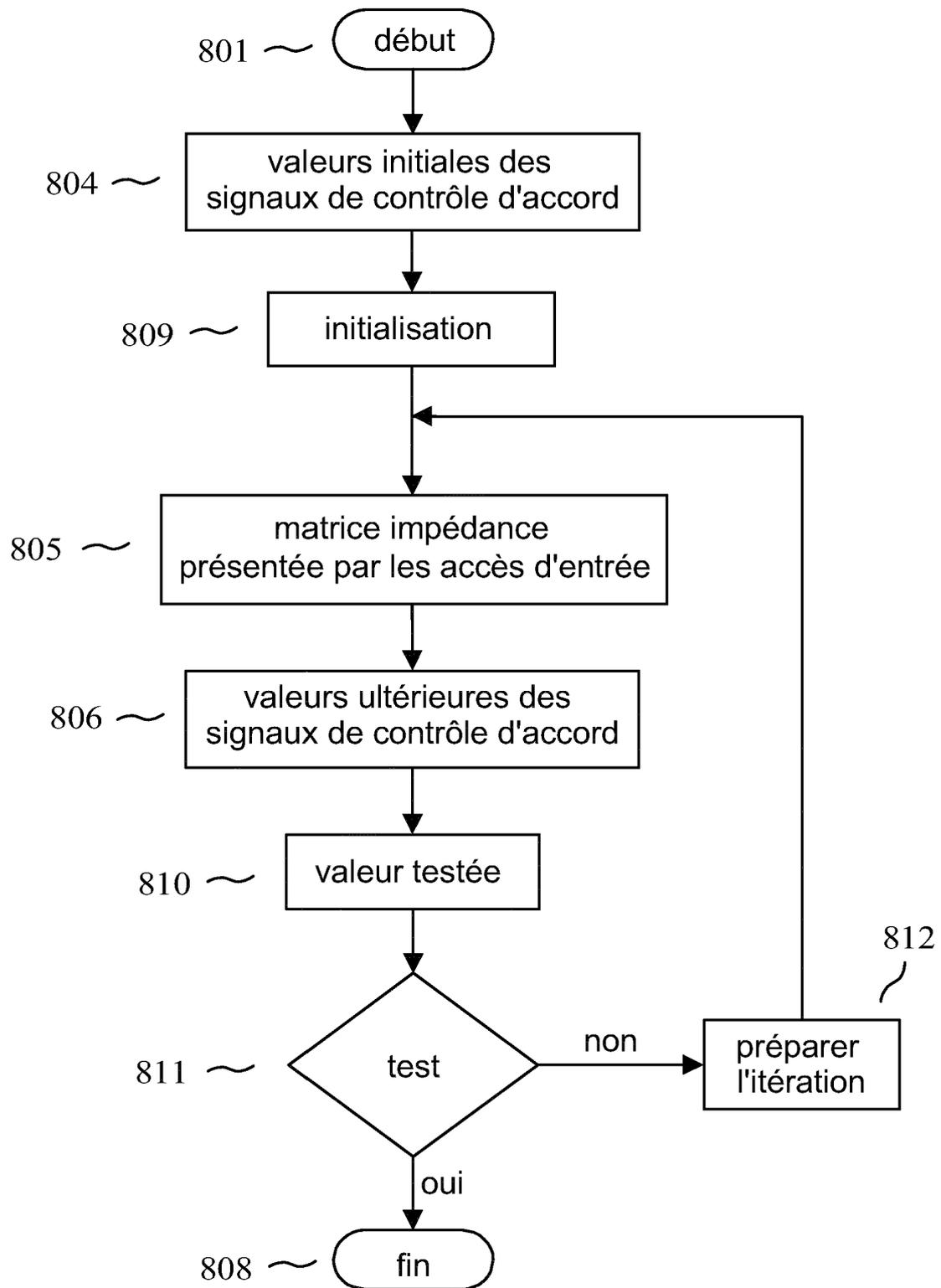


FIG. 7

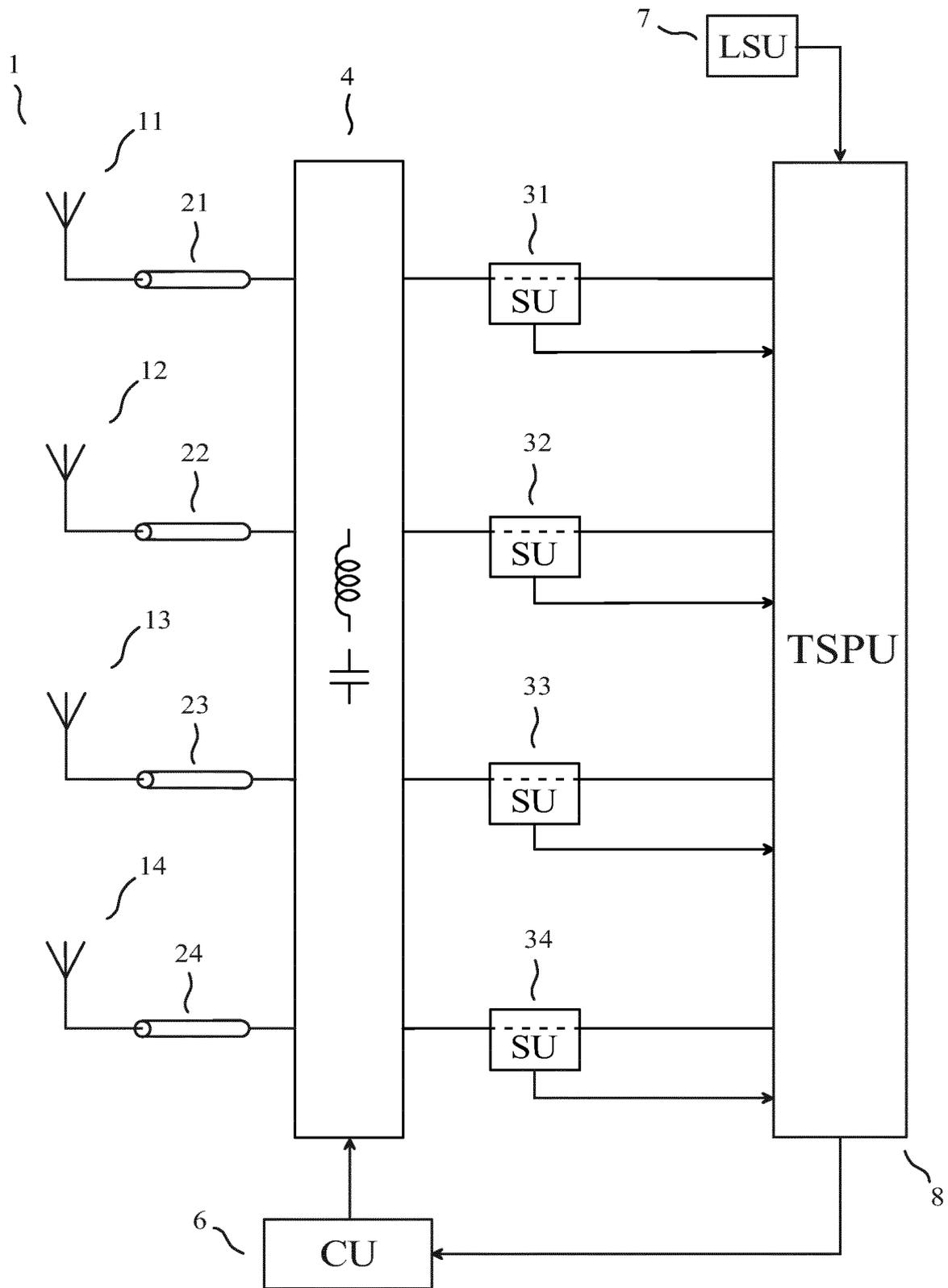


FIG. 8

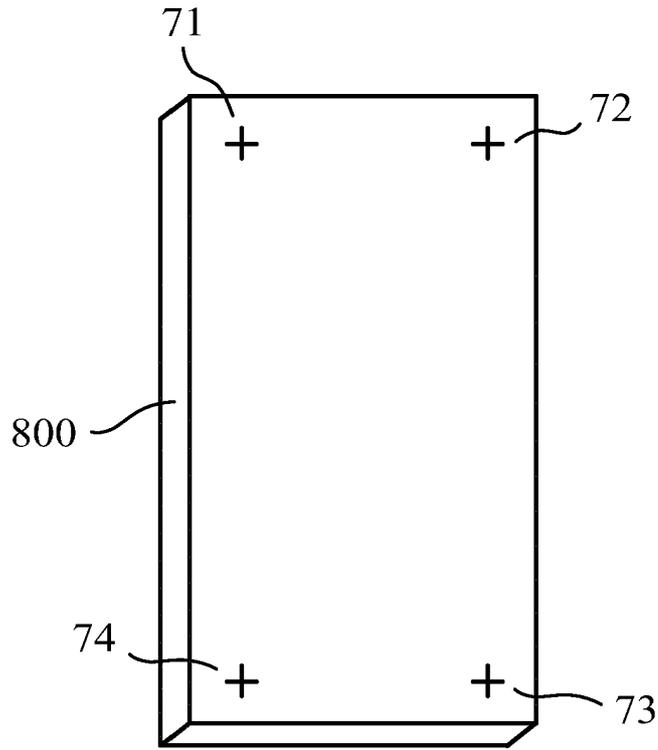


FIG. 9

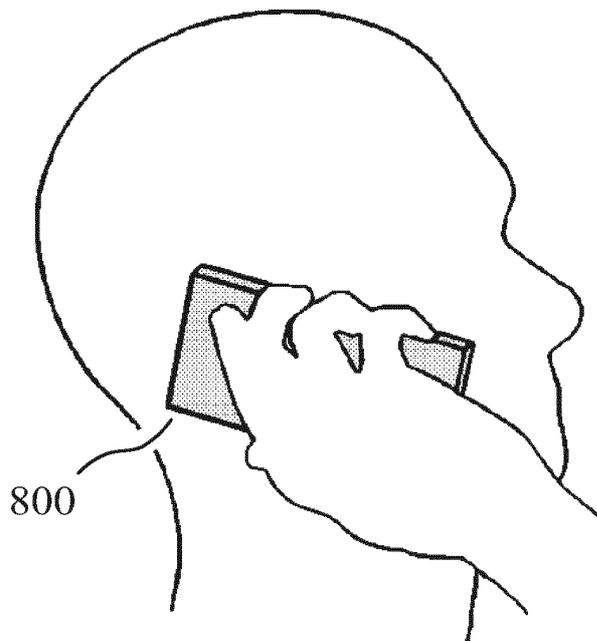


FIG. 10

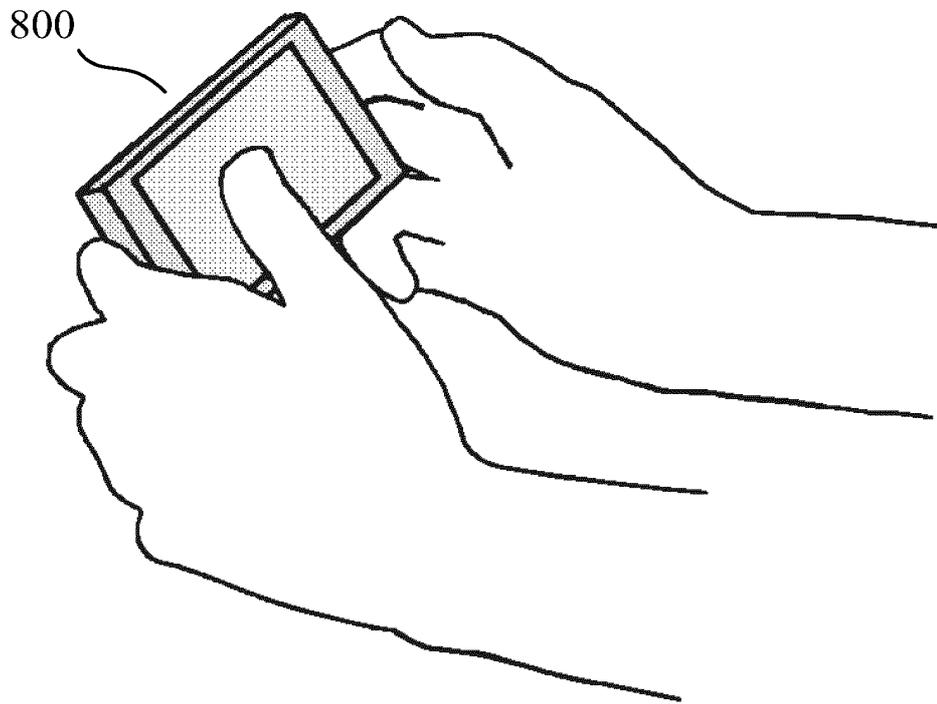


FIG. 11

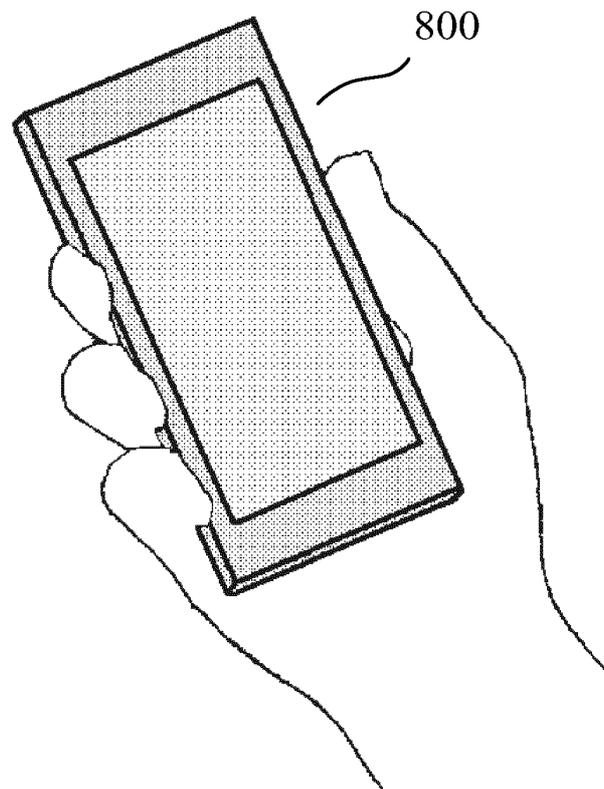


FIG. 12

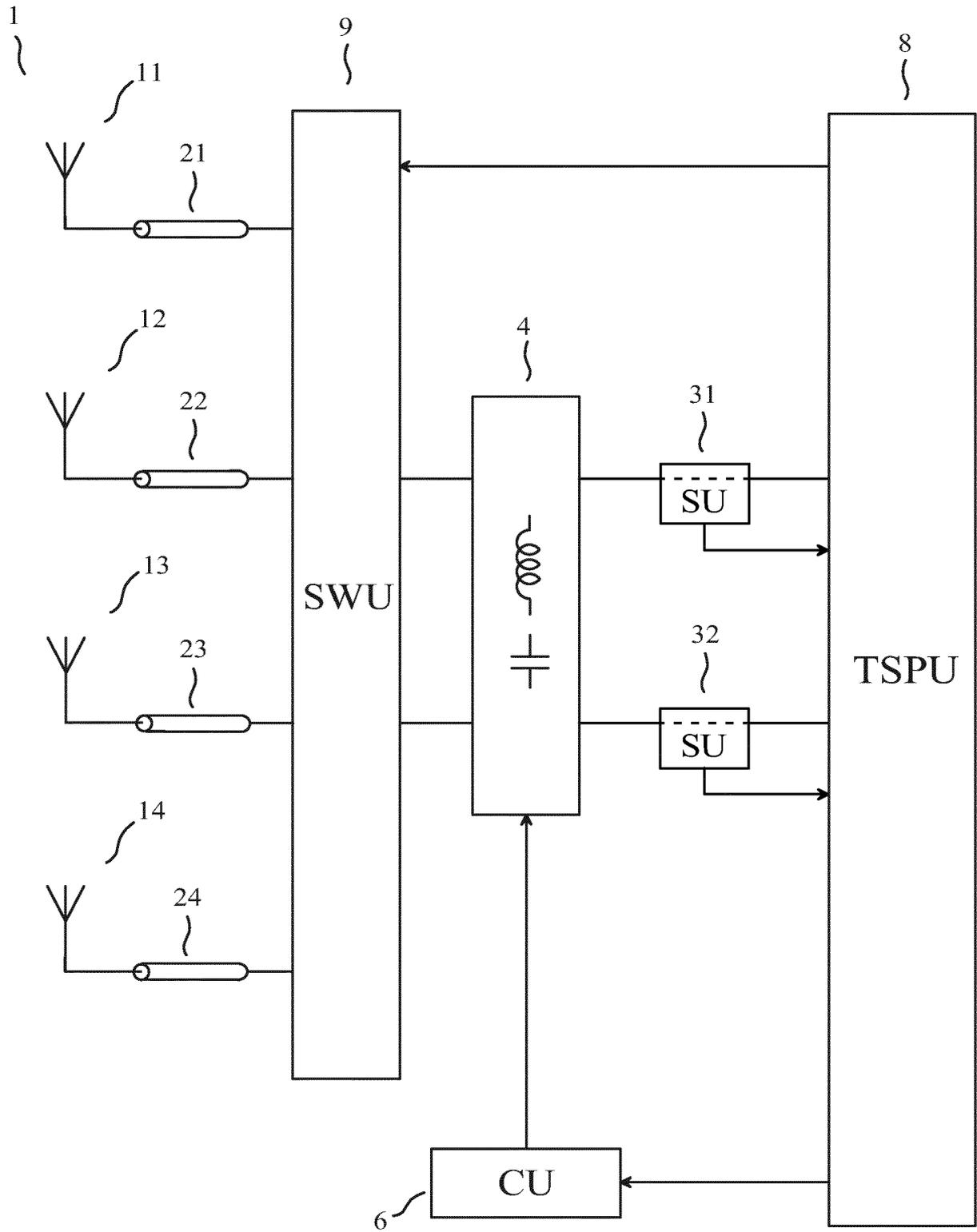


FIG. 13



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 854547
FR 1870331

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	FR 3 037 745 A1 (TEKCEM [FR]) 23 décembre 2016 (2016-12-23) * page 12 - page 19; figures 1, 5 *	1,3-8,10	H03H7/38 H04B7/0413
X	FR 3 004 604 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD) 17 octobre 2014 (2014-10-17) * page 12 - page 26 *	1-10	
A	FR 3 053 185 A1 (TEKCEM [FR]) 29 décembre 2017 (2017-12-29) * figure 11 *	1-10	
A	FRÉDÉRIC BROYDÉ ET AL: "A Tuning Computation Technique for a Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuner", INTERNATIONAL JOURNAL OF ANTENNAS AND PROPAGATION, vol. 2016, 1 janvier 2016 (2016-01-01), pages 1-15, XP055537781, ISSN: 1687-5869, DOI: 10.1155/2016/4758486 * section 4, 5, 7 *	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H03F H03H H04B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
21 décembre 2018		Naumann, Olaf	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1870331 FA 854547**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **21-12-2018**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 3037745	A1	23-12-2016	EP 3311485 A1	25-04-2018
			FR 3037745 A1	23-12-2016
			KR 20180020173 A	27-02-2018
			US 2017040704 A1	09-02-2017
			WO 2016207705 A1	29-12-2016

FR 3004604	A1	17-10-2014	CN 105122642 A	02-12-2015
			EP 2987238 A1	24-02-2016
			FR 3004604 A1	17-10-2014
			KR 20150143733 A	23-12-2015
			US 2015078485 A1	19-03-2015
WO 2014170766 A1	23-10-2014			

FR 3053185	A1	29-12-2017	FR 3053185 A1	29-12-2017
			US 2018041184 A1	08-02-2018
			WO 2017221089 A1	28-12-2017
