

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 040 572

21 N° d'enregistrement national : 15 01780

51 Int Cl⁸ : H 03 H 7/38 (2017.01), H 04 B 3/14

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 26.08.15.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 03.03.17 Bulletin 17/09.

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 simpli-
fiée — FR.

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

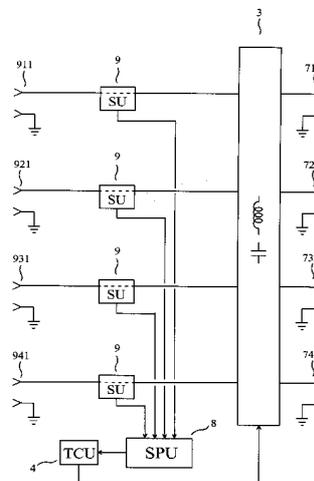
73 Titulaire(s) : TEKCEM Société par actions simplifiée.

74 Mandataire(s) : TEKCEM.

54 PROCÉDE POUR REGLER AUTOMATIQUEMENT UNE UNITÉ D'ACCORD, ET SYSTÈME D'ACCORD
AUTOMATIQUE UTILISANT CE PROCÉDE.

57 L'invention concerne un procédé pour régler automa-
tiquement 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-récepteur radio utilisant une pluralité d'antennes
simultanément. L'invention concerne aussi un système
d'accord automatique utilisant ce procédé.

Un système d'accord automatique a 4 accès utilisateur
(712) (722) (732) (742) et 4 accès cible (911) (921) (931)
(941), et comporte: 4 unités de détection (9); une unité de
traitement du signal (8) estimant des quantités réelles dé-
pendantes de la matrice impédance vue par les accès cible,
en utilisant des signaux de sortie d'unité de détection obte-
nus pour 4 excitations appliquées aux accès utilisateur,
l'unité de traitement du signal délivrant une instruction
d'accord; une unité d'accord à accès d'entrée multiples et
accès de sortie multiples (3) comportant des dispositifs à im-
pédance réglable; et une unité de contrôle d'accord (4) dé-
livrant des signaux de contrôle d'accord à l'unité d'accord à
accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples.



FR 3 040 572 - A1



Procédé pour régler automatiquement une unité d'accord, et système d'accord automatique 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-récepteur radio utilisant une pluralité d'antennes simultanément. L'invention concerne aussi un système d'accord automatique utilisant ce procédé.

10 ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Accorder une impédance signifie obtenir qu'une impédance présentée par un accès d'entrée d'un dispositif soit voisine d'une impédance recherchée, et offrir simultanément un transfert de puissance sans perte, ou presque sans perte, depuis l'accès d'entrée vers un accès de sortie du dispositif, dans un contexte où l'impédance vue par l'accès de sortie peut varier. Ainsi, si un
15 générateur de signal présentant une impédance égale au complexe conjugué de l'impédance recherchée est connecté à l'accès d'entrée, il fournira une puissance maximale à l'accès d'entrée, cette puissance maximale étant appelé "puissance disponible", et l'accès de sortie délivrera une puissance voisine de cette puissance maximale.

Une unité d'accord à accès d'entrée unique et accès de sortie unique se comporte, à toute
20 fréquence dans une bande de fréquences donnée, par rapport à son accès d'entrée et à son accès de sortie, sensiblement comme un dispositif linéaire passif à 2 accès. Ici, "passif" est utilisé au sens de la théorie des circuits, si bien que l'unité d'accord à accès d'entrée unique et accès de sortie unique ne procure pas d'amplification. Une unité d'accord à accès d'entrée unique et accès de sortie unique comporte un ou plusieurs dispositifs à impédance réglable ayant chacun
25 une réactance réglable. Régler une unité d'accord à accès d'entrée unique et accès de sortie unique signifie régler la réactance d'un ou plusieurs de ses dispositifs à impédance réglable. Deux exemples d'une unité d'accord à accès d'entrée unique et accès de sortie unique sont présentés dans la section sur l'état de l'art antérieur de la demande de brevet français n°
30 12/02542 du 25 septembre 2012, intitulée "Appareil d'accord d'antenne pour un réseau d'antennes à accès multiples", correspondant à la demande internationale n° PCT/IB2013/058423 du 10 septembre 2013, intitulée "Antenna tuning apparatus for a multiport antenna array", chacun de ces exemples étant désigné comme un appareil d'accord d'antenne qui pourrait être utilisé pour accorder une unique antenne. Une unité d'accord à accès d'entrée unique et accès de sortie unique peut être utilisée pour accorder une impédance. Pour accorder
35 une impédance, l'unité d'accord à accès d'entrée unique et accès de sortie unique doit être réglée convenablement.

De nombreux procédés et appareils pour accorder automatiquement une impédance ont été décrits, qui utilisent une ou plusieurs quantités réelles dépendantes de l'impédance présentée par l'accès d'entrée, ces quantités réelles étant traitées pour obtenir des "signaux de contrôle d'accord", les signaux de contrôle d'accord étant utilisés pour contrôler les réactances des dispositifs à impédance réglable d'une unité d'accord à entrée unique et sortie unique.

Par exemple, dans un appareil pour accorder automatiquement une impédance divulgué dans le brevet des États-Unis d'Amérique n° 2,523,791, intitulé "Automatic Tuning System", dans un appareil pour accorder automatiquement une impédance divulgué dans le brevet des États-Unis d'Amérique n° 2,745,067, intitulé "Automatic Impedance Matching Apparatus", et dans un appareil pour accorder automatiquement une impédance divulgué dans le brevet des États-Unis d'Amérique n° 3,443,231, intitulé "Impedance Matching System", l'impédance recherchée est une résistance. Nous utiliserons R_0 pour noter cette résistance. Dans chacun de ces appareils, une tension v et un courant i sont captés en un point donné d'un circuit, l'impédance présentée par l'accès d'entrée étant $Z = v / i$. Dans chacun de ces appareils, les quantités réelles dépendantes de l'impédance présentée par l'accès d'entrée sont une tension déterminée par la phase de v par rapport à i , cette phase étant égale à l'argument de Z , et une tension sensiblement proportionnelle à la différence $|v| - R_0 |i|$. Dans chacun de ces appareils, la deuxième quantité réelle dépendante de l'impédance présentée par l'accès d'entrée est sensiblement égale à zéro si l'impédance présentée par l'accès d'entrée est sensiblement égale à l'impédance recherchée, mais l'inverse n'est pas vrai. Dans le cas des dits brevets n° 2,745,067 et n° 3,443,231, les deux quantités réelles dépendantes de l'impédance présentée par l'accès d'entrée sont sensiblement égales à zéro si et seulement si l'impédance présentée par l'accès d'entrée est sensiblement égale à l'impédance recherchée. Dans le cas du dit brevet n° 3,443,231, deux autres quantités réelles représentatives d'une impédance autre que l'impédance présentée par l'accès d'entrée sont aussi utilisées pour obtenir les signaux de contrôle d'accord.

Par exemple, dans un appareil pour accorder automatiquement une impédance divulgué dans le brevet des États-Unis d'Amérique n° 4,356,458, intitulé "Automatic Impedance Matching Apparatus" et dans un appareil pour accorder automatiquement une impédance divulgué dans le brevet des États-Unis d'Amérique n° 5,225,847 intitulé "Automatic Antenna Tuning System", deux tensions sont captées : une tension sensiblement proportionnelle au module d'une tension incidente complexe (en anglais "tension incidente" se dit : "incident voltage" ou "forward voltage"), et une tension sensiblement proportionnelle au module d'une tension réfléchie complexe. En utilisant les mêmes notations que ci-dessus, v_F pour noter la tension incidente complexe, et v_R pour noter la tension réfléchie complexe, le spécialiste comprend que les dits modules sont donnés par $|v_F| = |v + R_0 i| / 2$ et par $|v_R| = |v - R_0 i| / 2$, respectivement. Dans chacun de ces appareils, une seule quantité réelle dépendante de l'impédance présentée par l'accès d'entrée est utilisée. C'est un nombre traité dans un circuit numérique. Dans l'un de ces appareils, ce nombre est sensiblement égal au rapport entre le module de la tension réfléchie

complexe et le module de la tension incidente complexe, c'est-à-dire à $|v_R| / |v_F|$. Dans l'autre de ces appareils, ce nombre est sensiblement égal au carré de l'inverse de ce rapport, c'est-à-dire à $|v_F|^2 / |v_R|^2$.

Par exemple, dans un appareil pour accorder automatiquement une impédance divulgué dans le brevet des États-Unis d'Amérique n° 4,493,112, intitulé "Antenna Tuner Discriminator", deux tensions complexes sont captées : une tension sensiblement proportionnelle à une tension incidente, et une tension sensiblement proportionnelle à une tension réfléchie. En utilisant la tension incidente comme référence de phase, une tension proportionnelle à la partie réelle de la tension réfléchie et une tension proportionnelle à la partie imaginaire de la tension réfléchie sont obtenues. Dans cet appareil, les quantités réelles dépendantes de l'impédance présentée par l'accès d'entrée sont la tension proportionnelle à la partie réelle de la tension réfléchie et la tension proportionnelle à la partie imaginaire de la tension réfléchie. Dans cet appareil, les deux quantités réelles dépendantes de l'impédance présentée par l'accès d'entrée sont sensiblement égales à zéro si et seulement si l'impédance présentée par l'accès d'entrée est sensiblement égale à l'impédance recherchée.

Dans les appareils divulgués dans les dits brevets n° 4,356,458 et n° 5,225,847, une boucle de rétroaction numérique impliquant de la logique séquentielle doit être utilisée pour obtenir les signaux de contrôle d'accord et accorder l'impédance présentée par l'accès d'entrée, parce que l'unique quantité réelle dépendante de l'impédance présentée par l'accès d'entrée ne procure pas une information complète sur l'impédance présentée par l'accès d'entrée. Dans les autres appareils considérés ci-dessus, un accord plus rapide peut être obtenu, car deux quantités réelles dépendantes de l'impédance présentée par l'accès d'entrée procurent une information complète sur l'impédance présentée par l'accès d'entrée, si bien qu'une simple boucle de rétroaction négative peut être utilisée pour obtenir les signaux de contrôle d'accord et accorder l'impédance présentée par l'accès d'entrée. Cependant, un appareil pour accorder automatiquement une impédance utilisant deux quantités réelles dépendantes de l'impédance présentée par l'accès d'entrée, procurant une information complète sur l'impédance présentée par l'accès d'entrée, pourrait obtenir l'accord le plus rapide si, en s'appuyant sur cette information complète obtenue à un instant donné, il calcule les valeurs des signaux de contrôle d'accord nécessaires pour obtenir un accord exact et délivre rapidement les signaux de contrôle d'accord correspondants.

Lorsque l'accès d'entrée est destiné à être couplé à l'accès signal radiofréquence d'un récepteur radio ou d'un émetteur radio, un appareil pour accorder automatiquement une impédance est parfois appelé "appareil d'accord d'antenne automatique" (en anglais : "automatic antenna tuner") ou "module d'adaptation d'impédance adaptatif" (en anglais : "adaptive impedance matching module"), par exemple dans le brevet des États-Unis d'Amérique n° 8,072,285, intitulé "Method for tuning an adaptive impedance matching network with a look-up table", ou dans le brevet des États-Unis d'Amérique n° 8,299,867, intitulé "Adaptive impedance matching module". Un appareil pour accorder automatiquement une impédance est

effectivement adaptatif, dans le sens où des paramètres de circuit, à savoir les réactances de dispositifs à impédance réglable, sont modifiés au cours du temps, en fonction de variables de circuit telles que des tensions ou courants captés.

5 Accorder une matrice impédance signifie obtenir qu'une matrice impédance présentée par une pluralité d'accès d'entrée d'un dispositif soit voisine d'une matrice impédance recherchée, et offrir simultanément un transfert de puissance 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 matrice
10 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, cette puissance maximale étant appelé "puissance disponible", et la pluralité d'accès de sortie délivre une puissance voisine de cette puissance maximale.

15 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 m accès d'entrée et à ses n accès de sortie, sensiblement comme un dispositif linéaire passif à $n + m$ accès. Ici, "passif" est utilisé au sens de la théorie des circuits, si bien que 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
20 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. Des exemples d'une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples sont divulgués dans ladite demande de brevet français n° 12/02542
25 et ladite demande internationale n° PCT/IB2013/058423, chacun de ces exemples étant désigné comme un "appareil d'accord d'antenne pour un réseau d'antennes à accès multiples". 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.

30 Le spécialiste comprend qu'une pluralité d'appareils pour accorder automatiquement une impédance peut être utilisée pour accorder automatiquement une matrice impédance, dans le cas particulier où les interactions entre les accès d'une charge à accès multiples couplée aux accès de sortie de la pluralité d'appareils sont très petites, et où la matrice impédance recherchée est diagonale. Cette approche ne peut pas être utilisée pour accorder automatiquement une matrice
35 impédance, dans le cas où les interactions entre les accès d'une charge à accès multiples couplée aux accès de sortie ne sont pas très petites, c'est-à-dire dans le cas où la matrice impédance vue par les accès de sortie n'est pas sensiblement diagonale.

La demande de brevet français n° 13/00878 du 15 avril 2013, intitulée "Procédé et appareil

pour accorder automatiquement une matrice impédance, et émetteur radio utilisant cet appareil”, correspondant à la demande internationale n° PCT/IB2014/058933 du 12 février 2014 et au brevet des États-Unis d’Amérique n° 9,077,317, tous deux intitulés “Method and apparatus for automatically tuning an impedance matrix, and radio transmitter using this apparatus”, divulgue
5 un procédé pour accorder automatiquement une matrice impédance. Pour accorder automatiquement une matrice impédance qui est une matrice complexe carrée d’ordre m , ce procédé estime des quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès d’entrée, en utilisant des excitations appliquées successivement aux accès d’entrée. Ce procédé peut être utilisé pour régler automatiquement une unité d’accord à accès d’entrée
10 multiples et accès de sortie multiples. Malheureusement, ce procédé exige des calculs très complexes ou de nombreuses itérations, parce qu’il n’existe pas de relation directe entre les quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès d’entrée et la valeur de réactance que chacun des dispositifs à impédance réglable doit prendre après avoir été réglé. De plus, il peut être montré qu’un réglage d’une unité d’accord à accès d’entrée multiples
15 et accès de sortie multiples obtenu en utilisant ce procédé n’est pas nécessairement optimal lorsque les pertes dans l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples ne sont pas très faibles.

Par conséquent, il n’y a pas de solution connue au problème d’accorder de façon optimale et automatique une unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples sans
20 des calculs très complexes, ou sans de nombreuses itérations, ou lorsque les pertes dans l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples ne sont pas très faibles.

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, dépourvus des limitations mentionnées ci-dessus
25 des techniques connues, et aussi un système d’accord automatique utilisant ce procédé.

Dans la suite, “ayant une influence” et “ayant un effet” ont le même sens.

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 étant une partie d’un système d’accord automatique ayant m “accès
30 utilisateur” et n “accès cible”, où m est un entier supérieur ou égal à 2 et où n est un entier supérieur ou égal à 2, le système d’accord automatique permettant, à une fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les accès utilisateur vers les accès cible, 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
35 “dispositifs à impédance réglable de l’unité d’accord” et étant tels que, à ladite fréquence donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l’unité d’accord a une réactance, la

réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ayant une influence sur une matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant réglable par moyen électrique, le procédé comportant les étapes suivantes :

- 5 appliquer m excitations aux accès utilisateur, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur ;
 estimer q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les dites m excitations ;
 utiliser les dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès
 10 cible, pour obtenir des "signaux de contrôle d'accord" ;
 appliquer chacun des signaux de contrôle d'accord à au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'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 signaux de contrôle d'accord.

- 15 Selon l'invention, la fréquence donnée est par exemple une fréquence supérieure ou égale à 150 kHz. Nous noterons Z_{Sant} la matrice impédance vue par les accès cible. Le spécialiste comprend que Z_{Sant} est une matrice complexe carrée d'ordre n . Ledit transfert de puissance depuis les accès utilisateur vers les accès cible peut être un transfert avec des pertes faibles ou négligeables ou nulles, cette caractéristique étant préférée.

- 20 Comme expliqué ci-dessous dans les présentations du deuxième mode de réalisation et du troisième mode de réalisation, les dites m excitations peuvent être utilisées pour estimer les q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible. Le spécialiste comprend que cette caractéristique de la méthode selon l'invention ne peut pas être obtenue avec une pluralité d'appareils pour accorder automatiquement une impédance, utilisée pour accorder
 25 une matrice impédance, comme mentionné plus haut dans la section sur l'état de l'art antérieur. Le spécialiste comprend aussi que cette caractéristique de la méthode selon l'invention évite les interférences qui font échouer le fonctionnement d'une pluralité d'appareils pour accorder automatiquement une impédance, utilisée pour accorder une matrice impédance, dans le cas où les interactions entre les accès d'une charge à accès multiples couplée à leurs accès de sortie ne
 30 sont pas très petites.

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

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

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

Le spécialiste comprend la différence fondamentale qui existe entre la méthode de l'état de l'art antérieur divulguée dans ladite demande de brevet français n° 13/00878, ladite demande internationale n° PCT/IB2014/058933 et ledit brevet des États-Unis d'Amérique n° 9,077,317, d'une part, et l'invention, d'autre part. Dans ladite méthode de l'état de l'art antérieur, des quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur sont utilisées pour accorder automatiquement la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, cette matrice étant une matrice carrée d'ordre m notée \mathbf{Z}_U . Ceci signifie que ladite méthode de l'état de l'art antérieur utilise une structure de commande en boucle fermée (asservissement), dans laquelle les quantités réelles dépendantes de \mathbf{Z}_U sont utilisées pour obtenir des signaux de contrôle d'accord, qui déterminent la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord, et qui par conséquent déterminent \mathbf{Z}_U . Au contraire, la méthode selon l'invention utilise une structure de commande en boucle ouverte, dans laquelle les quantités réelles dépendantes de \mathbf{Z}_{Sant} sont utilisées pour obtenir des signaux de contrôle d'accord, les signaux de contrôle d'accord n'ayant aucune influence sur \mathbf{Z}_{Sant} .

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

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

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

Selon l'invention, puisque les quantités réelles dépendantes de \mathbf{Z}_{Sant} sont utilisées pour

obtenir des signaux de contrôle d'accord et donc pour déterminer les variables réelles X_1, \dots, X_p , l'équation (1) indique que les signaux de contrôle d'accord peuvent être utilisés pour contrôler \mathbf{Z}_U , si l'application f_U est connue. Plus généralement, les signaux de contrôle d'accord peuvent être utilisés pour contrôler \mathbf{Z}_U , en utilisant un modèle convenable de l'unité d'accord à accès

5 d'entrée multiples et accès de sortie multiples. Ainsi, selon l'invention, il est possible que les signaux de contrôle d'accord soient tels que la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, calculée en utilisant l'équation (1), réduise ou minimise une norme de l'image de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur par une fonction matricielle, la fonction matricielle étant une fonction d'un ensemble de matrices complexes carrées vers le même

10 ensemble de matrices complexes carrées. Par exemple, cette norme peut être une norme vectorielle ou une norme matricielle. Par exemple, si nous définissons une matrice impédance recherchée, la matrice impédance recherchée étant notée \mathbf{Z}_W , ladite fonction matricielle peut être définie par

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

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

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

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

20 admittance, ou définie par

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

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

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

30 une pluralité de condensateurs et un ou plusieurs interrupteurs ou commutateurs utilisés pour faire contribuer différents condensateurs du réseau à la réactance, une inductance variable, un réseau comportant une pluralité d'inductances et un ou plusieurs interrupteurs ou commutateurs utilisés pour faire contribuer différentes inductances du réseau à la réactance, ou un réseau comportant une pluralité de tronçons de ligne de transmission en circuit ouvert ou en

35 court-circuit (en anglais: "stubs") et un ou plusieurs interrupteurs ou commutateurs utilisés pour

faire contribuer différents tronçons de ligne de transmission du réseau à la réactance. Nous notons que tous les exemples de cette liste, excepté la résistance variable, sont destinés à produire une réactance réglable.

Un dispositif à impédance réglable ayant une réactance réglable par moyen électrique peut être tel qu'il procure seulement, à ladite 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 (en anglais: "MEMS switches"), ou des diodes PIN ou des transistors à effet de champ à grille isolée (MOSFETs), 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 ladite 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").

Le procédé selon l'invention peut être tel que tout élément diagonal de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur soit influencé par la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord. Le procédé selon l'invention peut être tel que la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une influence sur au moins un élément non diagonal de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Le spécialiste comprend que cette caractéristique évite la faculté de réglage limitée d'une pluralité d'appareils pour accorder automatiquement une impédance, utilisée pour accorder la matrice impédance d'une pluralité d'accès, mentionnée plus haut dans la section sur l'état de l'art antérieur. Cette question sera explorée plus en détail dans les présentations du premier mode de réalisation et du quatrième mode de réalisation.

Un appareil mettant en oeuvre le procédé selon l'invention est un système d'accord automatique ayant m "accès utilisateur" et n "accès cible", où m est un entier supérieur ou égal à 2 et où n est un entier supérieur ou égal à 2, le système d'accord automatique permettant, à une fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les accès utilisateur vers les accès cible, le

système d'accord automatique comportant :

- au moins n unités de détection, chacune des unités de détection délivrant un ou plusieurs "signaux de sortie d'unité de détection", chacun des signaux de sortie d'unité de détection étant principalement déterminé par une ou plusieurs variables électriques ;
- 5 une unité de traitement du signal, l'unité de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour m excitations appliquées aux accès utilisateur, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur, l'unité de traitement du signal délivrant
- 10 une "instruction d'accord" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible ;
- 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 comportant p dispositifs à impédance réglable, où p est un entier supérieur ou égal à m , les p dispositifs à
- 15 impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord" et étant tels que, à ladite fréquence donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une réactance, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ayant une influence sur une matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la réactance de n'importe
- 20 lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant réglable par moyen électrique ;
- une unité de contrôle d'accord, l'unité de contrôle d'accord recevant l'instruction d'accord de l'unité de traitement du signal, l'unité de contrôle d'accord délivrant des "signaux de contrôle d'accord" à l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie
- 25 multiples, les signaux de contrôle d'accord étant déterminés en fonction de l'instruction d'accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant principalement déterminée par au moins un des signaux de contrôle d'accord.

Par exemple, chacune des dites variables électriques peut être une tension, ou une tension

30 incidente, ou une tension réfléchie, ou un courant, ou un courant incident, ou un courant réfléchi. Par exemple, chacune des dites variables électriques peut être captée à un des dits accès cible, ou à un accès de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, ou dans l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples.

Ladite unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples comporte m

35 accès d'entrée et n accès de sortie. Il est supposé que ladite unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples se comporte, à ladite fréquence donnée, par rapport à ses accès d'entrée et à ses accès de sortie, sensiblement comme un dispositif linéaire passif, où "passif" est utilisé au sens de la théorie des circuits. Plus précisément, ladite unité d'accord à

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

Il est possible que chacun des m accès d'entrée de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples soit couplé, directement ou indirectement, à un et un seul des m accès utilisateur, et que chacun des m accès utilisateur soit couplé, directement ou indirectement, à un et un seul des m accès d'entrée de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples
10 et accès de sortie multiples. Il est possible que chacun des n accès de sortie de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples soit couplé, directement ou indirectement, à un et un seul des n accès cible, et que chacun des n accès cible soit couplé, directement ou indirectement, à un et un seul des n accès de sortie de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples
15 et accès de sortie multiples. Ainsi, ledit transfert de puissance depuis les accès utilisateur vers les accès cible 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 $2m$.

Le spécialiste comprend que le système d'accord automatique selon l'invention est adaptatif dans le sens où des paramètres de circuit, à savoir les réactances des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord, sont modifiés au cours du temps en fonction des signaux de sortie
20 d'unité de détection, qui sont chacun principalement déterminés par une ou plusieurs variables électriques.

Le spécialiste comprend que l'instruction d'accord peut par exemple être déterminée comme étant une instruction d'accord qui, parmi un ensemble d'instructions d'accord possibles, produit une matrice impédance présentée par les accès utilisateur, calculée avec l'équation (1), qui réduit
25 ou minimise une norme de l'image de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur par une fonction matricielle, la fonction matricielle étant par exemple une des fonctions matricielles g telles que $g(\mathbf{Z}_U)$ est donnée par l'équation (2) ou par l'équation (3) ou par l'équation (4). Le spécialiste comprend aussi que l'instruction d'accord peut par exemple être déterminée comme étant une instruction d'accord qui procure une matrice impédance présentée
30 par les accès utilisateur, calculée avec l'équation (1), qui est sensiblement égale à la matrice impédance recherchée, par exemple une instruction d'accord telle que $\mathbf{Z}_U = \mathbf{Z}_W$.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

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
35 limitatifs, et représentés dans les dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente le schéma-bloc d'un système d'accord automatique ayant 4 accès

- utilisateur et 4 accès cible (premier mode de réalisation) ;
- la figure 2 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 utilisé dans le système d'accord automatique montré sur la figure 1 (quatrième mode de réalisation) ;
 - la figure 3 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 utilisé dans le système d'accord automatique montré sur la figure 1 (cinquième mode de réalisation) ;
 - la figure 4 représente le schéma-bloc d'un système d'accord automatique ayant 4 accès utilisateur et 4 accès cible (sixième mode de réalisation) ;
 - la figure 5 représente le schéma-bloc d'un émetteur-récepteur pour communication radio utilisant plusieurs antennes et comportant un système d'accord automatique (septième mode de réalisation) ;
 - la figure 6 représente le schéma-bloc d'un émetteur-récepteur pour communication radio utilisant plusieurs antennes et comportant un système d'accord automatique (huitième mode de réalisation).

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE CERTAINS MODES DE RÉALISATION

Premier mode de réalisation.

- Au titre d'un premier mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 1 le schéma bloc d'un système d'accord automatique ayant $m = 4$ accès utilisateur (712) (722) (732) (742) et $n = 4$ accès cible (911) (921) (931) (941), le système d'accord automatique permettant, à une fréquence donnée supérieure ou égale à 30 MHz, un transfert de puissance depuis les accès utilisateur vers les accès cible, le système d'accord automatique comportant :
- n unités de détection (9), 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 ;
 - une unité de traitement du signal (8), l'unité de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour m excitations appliquées aux accès utilisateur, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction d'accord" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible ;

- une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3), 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 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 ;
- une unité de contrôle d'accord (4), l'unité de contrôle d'accord recevant l'instruction d'accord de l'unité de traitement du signal (8), l'unité de contrôle d'accord délivrant des "signaux de contrôle d'accord" à l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3), les signaux de contrôle d'accord étant déterminés en fonction de l'instruction d'accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant déterminée par au moins un des signaux de contrôle d'accord.

Chacune des unités de détection (9) 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 cible ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une seconde variable électrique, la seconde variable électrique étant un courant sortant du dit un des accès cible. Ladite tension aux bornes d'un des accès cible peut être une tension complexe et ledit courant sortant du dit un des accès cible peut être un courant complexe. Alternativement, chacune des unités de détection (9) peut par exemple être telle que les deux signaux de sortie d'unité de détection délivrés par ladite chacune des unités de détection comportent : un premier signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une première variable électrique, la première variable électrique étant une tension incidente à un des accès cible ; 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 cible. Ladite tension incidente à un des accès cible peut être une tension incidente complexe et ladite tension réfléchie au dit un des accès cible peut être une tension réfléchie complexe.

Chacune des variables électriques est sensiblement nulle si aucune excitation n'est appliquée à un quelconque des accès utilisateur et si aucune excitation n'est appliquée à un quelconque des accès cible.

Un dispositif externe a m accès de sortie, chacun des accès de sortie du dispositif externe étant couplé à un et un seul des accès utilisateur, chacun des accès utilisateur étant couplé à un et un seul des accès de sortie du dispositif externe. Le dispositif externe n'est pas montré sur la figure 1. Le dispositif externe applique m excitations aux accès utilisateur et informe l'unité de

traitement du signal (8) de cette action. Le dispositif externe délivre aussi des “instructions du dispositif externe” à l’unité de traitement du signal (8), les dites instructions du dispositif externe informant l’unité de traitement du signal que les dites excitations ont été appliquées, ou sont en train d’être appliquées, ou seront appliquées. Par exemple, le dispositif externe peut initier une

5 séquence d’accord lorsqu’il informe l’unité de traitement du signal qu’il va appliquer les excitations aux accès utilisateur. Par exemple, l’unité de traitement du signal peut terminer la séquence d’accord lorsque, après que les excitations ont été appliquées, une instruction d’accord a été délivrée. De plus, le dispositif externe procure d’autres signaux à l’unité de traitement du signal et/ou reçoit d’autres signaux de l’unité de traitement du signal. Les liaisons électriques

10 nécessaires pour délivrer les dites instructions du dispositif externe et pour transporter de tels autres signaux ne sont pas montrées sur la figure 1.

L’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples (3) est un appareil d’accord d’antenne divulgué dans ladite demande de brevet français n° 12/02542 et ladite demande internationale n° PCT/IB2013/058423. Ainsi, l’unité d’accord à accès d’entrée

15 multiples et accès de sortie multiples est telle que la réactance de n’importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l’unité d’accord a, à ladite fréquence donnée, si la matrice impédance vue par les accès cible est égale à une matrice impédance diagonale donnée, une influence sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, et telle que la réactance d’au moins un des dispositifs à impédance réglable de l’unité d’accord a, à ladite fréquence donnée, si la

20 matrice impédance vue par les accès cible est égale à la matrice impédance diagonale donnée, une influence sur au moins un élément non diagonal de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. 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 diagonale appelée la matrice impédance diagonale donnée, la matrice

25 impédance diagonale donnée étant telle que, si une matrice impédance vue par les accès cible est égale à la matrice impédance diagonale donnée, alors (a) la réactance de n’importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l’unité d’accord a une influence sur une matrice impédance présentée par les accès utilisateur, et (b) 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

30 de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur.

De plus, l’unité d’accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples (3) est telle que, à ladite fréquence donnée, si la matrice impédance vue par les accès cible est égale à une matrice impédance non diagonale donnée, une application (au sens mathématique) faisant correspondre la matrice impédance présentée par les accès utilisateur aux p réactances est

35 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'accès 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 cible est égale à la matrice impédance non diagonale donnée, alors une application faisant correspondre une matrice impédance présentée par les accès utilisateur 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.

Ainsi, le spécialiste comprend que toute petite variation de la matrice impédance vue par les accès cible peut être au moins partiellement compensée par un nouveau réglage automatique des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord.

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 ladite demande de brevet français n° 12/02542; dans ladite demande internationale n° PCT/IB2013/058423; et dans les sections I, III, VI, VII et VIII de l'article de F. Broydé et E. Clavelier intitulé "Some Properties of Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuners", publié dans *IEEE Trans. on Circuits and Systems — I: Regular Papers*, Vol. 62, No. 2, aux pages 423-432, en février 2015. Dans ledit article, ladite dimension du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles est appelée "local dimension of the user port impedance range" et est notée $D_{UR}(Z_{Sam})$. Un spécialiste comprend que, pour obtenir que toute matrice complexe diagonale d'ordre m ait les mêmes éléments diagonaux qu'au moins un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles, il est nécessaire que la dimension du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles considéré comme un espace vectoriel réel soit supérieure ou égale à la dimension du sous-espace vectoriel des matrices complexes diagonales d'ordre m considéré comme un espace vectoriel réel. Puisque la dimension du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles considéré comme un espace vectoriel réel est inférieure ou égale à p , et puisque la dimension du sous-espace vectoriel des matrices complexes diagonales d'ordre m considéré comme un espace vectoriel réel est égale à $2m$, la condition nécessaire implique que p est un entier supérieur ou égal à $2m$. C'est pourquoi l'exigence " p est un entier supérieur ou égal à $2m$ " est une caractéristique essentielle de ce mode de réalisation.

L'unité de traitement du signal (8) peut aussi estimer une ou plusieurs quantités dépendant chacune de la puissance fournie par les accès cible. Par exemple, de telles quantités dépendant

chacune de la puissance fournie par les accès cible peuvent être utilisées pour réguler la puissance fournie par les accès cible.

Les caractéristiques de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3) sont telles que le système d'accord automatique permet, à ladite fréquence donnée, un transfert de puissance à faibles pertes depuis les accès utilisateur vers les accès cible, et un transfert de puissance à faibles pertes depuis les accès cible vers les accès utilisateur.

Si le système d'accord automatique a chacun de ses accès cible couplé à un et un seul des accès d'un réseau d'antennes à accès multiples, le spécialiste comprend que Z_{Sant} dépend de la fréquence et des caractéristiques électromagnétiques du volume entourant les antennes. En particulier, si le réseau d'antennes à accès multiples est réalisé dans un émetteur-récepteur portable, par exemple un équipement utilisateur (en anglais: "user equipment" ou "UE") d'un réseau radio LTE, le corps de l'utilisateur a un effet sur Z_{Sant} , et 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 le système d'accord automatique peut être utilisé pour compenser une variation de Z_{Sant} causée par une variation de la fréquence d'utilisation, et/ou pour compenser l'interaction utilisateur.

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

Deuxième mode de réalisation.

Le deuxième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également au système d'accord automatique ayant $m = 4$ accès utilisateur et $n = 4$ accès cible représenté sur la figure 1, 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 utilisateur, c'est-à-dire : les m excitations sont appliquées l'une après l'autre aux accès utilisateur. 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 utilisateur 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 utilisateur, ledit un et un seul des accès utilisateur étant un accès utilisateur différent pour chacune des m excitations différentes. Chacune des m excitations appliquées successivement aux accès utilisateur peut par exemple comporter un signal sinusoïdal à une fréquence différente de ladite fréquence donnée, ou un signal non sinusoïdal.

Le dispositif externe applique successivement les m excitations aux accès utilisateur. Par exemple, si les accès utilisateur 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 utilisateur numéro a et aucune tension appliquée aux autres accès utilisateur, ou consister en un courant appliqué à l'accès utilisateur numéro a et aucun courant appliqué aux autres accès utilisateur.

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

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

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

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

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

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

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

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

Dans ce mode de réalisation, $m = n$, et l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès

de sortie multiples (3) est telle que \mathbf{I}_{TP} est inversible, si bien que

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

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

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

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

et le vecteur des tensions complexes mesurées par les unités de détection est donné par l'équation (6) dans laquelle $\mathbf{I}_{TP a}$ est donné par l'équation (9). Définissons à présent \mathbf{I}_{TP} comme étant la matrice complexe à n lignes et m colonnes dont les vecteurs colonne sont $\mathbf{I}_{TP 1}, \dots, \mathbf{I}_{TP m}$, et \mathbf{V}_{TP} comme étant la matrice complexe à n lignes et m colonnes dont les vecteurs colonne sont $\mathbf{V}_{TP 1}, \dots, \mathbf{V}_{TP m}$. Les matrices \mathbf{I}_{TP} et \mathbf{V}_{TP} de ce second exemple de traitement du signal peuvent être complètement différentes des matrices \mathbf{I}_{TP} et \mathbf{V}_{TP} du premier exemple de traitement du signal. Cependant, elles satisfont l'équation (7). L'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3) étant telle que \mathbf{I}_{TP} est inversible, les matrices \mathbf{I}_{TP} et \mathbf{V}_{TP} de ce second exemple de traitement du signal satisfont aussi l'équation (8), si bien que l'unité de traitement du signal peut utiliser l'équation (8) pour calculer \mathbf{Z}_{Sant} . Ainsi, dans le second exemple de traitement du signal, les dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible peuvent consister en n^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie réelle d'un élément de \mathbf{Z}_{Sant} et en n^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie imaginaire d'un élément de \mathbf{Z}_{Sant} . Alternativement, les dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible peuvent consister en n^2 nombres réels chacun proportionnel au module d'un élément de \mathbf{Z}_{Sant} et en n^2 nombres réels chacun proportionnel à l'argument d'un élément de \mathbf{Z}_{Sant} .

L'instruction d'accord peut être de n'importe quel type de message numérique. Dans ce deuxième mode de réalisation, un processus adaptatif est mis en oeuvre par l'unité de traitement du signal, pendant une ou plusieurs séquences d'accord. Le processus adaptatif est le suivant : pendant chacune des dites séquences d'accord, l'unité de traitement du signal estime les q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible, et utilise un algorithme pour déterminer l'instruction d'accord, l'instruction d'accord étant telle que la matrice impédance présentée par les accès utilisateur est sensiblement égale à une matrice impédance recherchée. L'algorithme est basé sur les q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible, et sur la fréquence de fonctionnement. Un algorithme possible, pour une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples ayant une structure particulière, 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". Le processus adaptatif effectué par l'unité de traitement du signal n'exige ni des calculs complexes ni aucune itération, parce que l'algorithme utilise directement les q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible, et la fréquence de fonctionnement, pour déterminer l'instruction d'accord (si bien qu'il y a une relation directe entre les quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible et la valeur de réactance que chacun des dispositifs à impédance réglable devrait prendre après avoir été réglé).

20 Troisième mode de réalisation.

Le troisième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également au système d'accord automatique ayant $m = 4$ accès utilisateur et $n = 4$ accès cible représenté sur la figure 1, 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 utilisateur, c'est-à-dire : les m excitations ne sont pas appliquées l'une après l'autre aux accès utilisateur. Ainsi, par exemple, il est possible qu'au moins deux des excitations soient appliquées simultanément. Ainsi, par exemple, il est possible que les m excitations soient appliquées simultanément.

30 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 $W < 2 f_c$. 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 :

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

L'intervalle de 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 utilisateur, au moins deux des excitations étant appliquées simultanément. Chacune des dites m excitations est un signal passe-bande ayant une bande passante qui contient ladite fréquence donnée. Ladite fréquence donnée étant considérée comme une fréquence porteuse, chacune des excitations a une 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.

Numérotons les accès utilisateur de 1 à m , et numérotons les excitations de 1 à m , de telle façon que, si a est un entier supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , l'excitation numéro a est appliquée à l'accès utilisateur numéro a . Par exemple, si nous utilisons t pour désigner le temps, les excitations peuvent être telles que, pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , l'excitation numéro a consiste en un courant $i_a(t)$, d'enveloppe complexe $i_{E a}(t)$,

appliqué à l'accès utilisateur numéro a , les enveloppes complexes $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ étant linéairement indépendantes dans E . 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 cible 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 cible 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 -ème 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 utilisateur. Le spécialiste voit que, une fois que ceci a été effectué, le premier exemple de traitement du signal du deuxième mode de réalisation peut être adapté au contexte de ce troisième mode de réalisation, pour obtenir les q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible.

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

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

et

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

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

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

Dans ce mode de réalisation, $m = n$, et l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3) est telle que \mathbf{J}_{TP} est inversible, si bien que

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

Le spécialiste comprend comment les signaux de sortie d'unité de détection peuvent être traités pour obtenir les éléments de \mathbf{U}_{TP} et de \mathbf{J}_{TP} . Par exemple, supposons que, pour tout entier b supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à n , l'unité de détection numéro b délivre : un premier signal de sortie d'unité de détection proportionnel à la tension aux bornes de l'accès cible numéro b ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel au courant sortant de cet accès cible. L'unité 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 n , quatre signaux analogiques : la partie réelle de $u_{TP b}(t)$; la partie imaginaire de $u_{TP b}(t)$; la partie réelle de $i_{TP b}(t)$; et la partie imaginaire de $i_{TP b}(t)$. 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 cible numéro b dans la base $i_{E1}(t), \dots, i_{Em}(t)$, c'est-à-dire la ligne b de \mathbf{U}_{TP} , et pour estimer les coordonnées de l'enveloppe complexe du courant sortant de l'accès cible numéro b dans la base $i_{E1}(t), \dots, i_{Em}(t)$, c'est-à-dire la ligne b de \mathbf{J}_{TP} . De cette façon, tous les éléments de \mathbf{U}_{TP} et de \mathbf{J}_{TP} peuvent être obtenus.

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

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 être identifiés avec un traitement du signal convenable, comme si les différentes excitations

avaient été appliquées successivement aux accès utilisateur, si bien que les m excitations peuvent être utilisées pour estimer la matrice impédance vue par les accès cible, et toute quantité réelle dépendante de la matrice impédance vue par les accès cible.

Nous observons que, dans les normes typiquement applicables aux réseaux radio MIMO, des signaux ayant des enveloppes complexes qui sont linéairement indépendantes dans E sont utilisés comme signaux de référence (aussi appelés signaux pilote) pour l'estimation du canal MIMO. Nous voyons que ces signaux utilisés comme signaux de référence, s'ils sont appliqués aux accès utilisateurs, 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.

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

L'instruction d'accord peut être de n'importe quel type de message numérique. Dans ce troisième mode de réalisation, un processus adaptatif est mis en oeuvre par l'unité de traitement du signal, pendant une ou plusieurs séquences d'accord. Le processus adaptatif est le suivant : pendant chacune des dites séquences d'accord, l'unité de traitement du signal estime les q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible, et utilise une table de consultation (en anglais: "lookup table" ou "look-up table") pour déterminer une instruction d'accord, en se basant sur les q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible, et sur la fréquence de fonctionnement. Le spécialiste comprend comment construire et utiliser une telle table de consultation. La table de consultation est telle que le réglage de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est toujours optimal ou presque optimal, en dépit des pertes dans l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples. De plus, le processus adaptatif effectué par l'unité de traitement du signal n'exige ni des calculs complexes ni aucune itération, parce que la table de consultation utilise directement les q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible et la fréquence de fonctionnement pour déterminer l'instruction d'accord (si bien qu'il y a une relation directe entre les quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible et la valeur de réactance que chacun des dispositifs à impédance réglable devrait prendre après avoir été réglé).

Quatrième mode de réalisation.

Le quatrième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également au système d'accord automatique ayant $m = 4$ accès utilisateur et $n = 4$ accès cible représenté sur la figure 1, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables à ce quatrième mode de réalisation. De plus, nous avons représenté sur la figure 2 l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3) utilisée dans ce quatrième mode de réalisation. Cette unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples comporte :

$n = 4$ accès de sortie (311) (321) (331) (341) ;

10 $m = 4$ accès d'entrée (312) (322) (332) (342) ;

n dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (301) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès de sortie ;

15 $n(n - 1)/2$ dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (302) 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 (303) ayant chacun une première borne couplée à un des accès de sortie et une deuxième borne couplée à un des accès d'entrée ;

20 m dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (304) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès d'entrée ;

$m(m - 1)/2$ dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (305) 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.

25 Comme montré sur les figures 1 et 2, chacun des accès de sortie (311) (321) (331) (341) est indirectement couplé à un et un seul des accès cible (911) (921) (931) (941) à travers une des unités de détection (9), et chacun des accès d'entrée (312) (322) (332) (342) est directement couplé à un et un seul des accès utilisateur (712) (722) (732) (742). Ainsi, à ladite fréquence donnée, la matrice impédance présentée par les accès d'entrée est égale à la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Les unités de détection sont telles que, à ladite fréquence donnée, la matrice impédance vue par les accès de sortie est voisine de la matrice impédance vue par les accès cible.

Il est possible que de l'induction mutuelle existe entre les enroulements (303). Dans ce cas, la matrice inductance des enroulements n'est pas une matrice diagonale.

35 Tous les dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (301) (302) (304) (305) 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 2. Dans ce quatrième mode de réalisation, nous avons $n = m$ et

nous utilisons $p = m(m + 1) = 20$ dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord.

Le spécialiste sait que les caractéristiques de l'unité d'accord représentée sur la figure 2 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"; et dans 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.

10 Le spécialiste comprend que, à une fréquence à laquelle l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est prévue pour fonctionner, si la matrice impédance vue par les accès cible est une matrice diagonale ayant tous ses éléments diagonaux égaux à 50Ω , 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 utilisateur, et la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une influence sur un ou plusieurs des éléments non diagonaux de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur.

La matrice impédance vue par les accès cible étant une matrice symétrique complexe donnée, il est possible de montrer que, pour des valeurs de composants convenables, les p dérivées partielles définies plus haut sont linéairement indépendantes dans l'espace vectoriel réel des matrices complexes carrées d'ordre m , cet espace vectoriel étant de dimension $2m^2$. Dans cet espace vectoriel, le sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles est un sous-espace vectoriel de dimension p égal à l'ensemble des matrices complexes symétriques d'ordre m . Ici, n'importe quelle matrice complexe symétrique d'ordre m est un élément de ce sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles. Par conséquent, toute matrice complexe diagonale d'ordre m a les mêmes éléments diagonaux qu'au moins un élément de ce sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles.

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

plusieurs températures. Par exemple, l'unité de traitement du signal pourrait utiliser une table de consultation pour déterminer l'instruction d'accord, en se basant sur les q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible, la fréquence de fonctionnement, et les dites une ou plusieurs températures. Le spécialiste comprend que, puisque, comme

5 expliqué plus haut, la méthode selon l'invention utilise une structure de commande en boucle ouverte, la compensation des variations de température peut être plus importante que dans une méthode de l'état de l'art antérieur qui utilise une structure de commande en boucle fermée.

Le spécialiste comprend que, si la matrice impédance vue par les accès cible est symétrique, toute petite variation de la matrice impédance vue par les accès cible peut être compensée par

10 un nouveau réglage des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord. Ainsi, il est toujours possible d'obtenir que Z_U soit voisine d'une matrice voulue symétrique.

Cinquième mode de réalisation.

Le cinquième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également au système d'accord automatique ayant $m = 4$ accès

15 utilisateur et $n = 4$ accès cible représenté sur la figure 1, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables à ce cinquième mode de réalisation. De plus, nous avons représenté sur la figure 3 l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3) utilisée dans ce cinquième mode de réalisation. Cette unité d'accord à accès

d'entrée multiples et accès de sortie multiples comporte :

- 20 $n = 4$ accès de sortie (311) (321) (331) (341) ;
 $m = 4$ accès d'entrée (312) (322) (332) (342) ;
 n dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (301) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès de sortie ;
 $n(n - 1)/2$ condensateurs (306) ayant chacun une première borne couplée à un des accès de
- 25 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 (303) ayant chacun une première borne couplée à un des accès de sortie et une deuxième borne couplée à un des accès d'entrée ;
 m dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (304) présentant chacun une
- 30 réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès d'entrée ;
 $m(m - 1)/2$ condensateurs (307) 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.

Comme montré sur les figures 1 et 3, chacun des accès de sortie (311) (321) (331) (341) est

35 indirectement couplé à un et un seul des accès cible (911) (921) (931) (941) à travers une des unités de détection (9), et chacun des accès d'entrée (312) (322) (332) (342) est directement couplé à un et un seul des accès utilisateur (712) (722) (732) (742). Ainsi, à ladite fréquence

donnée, la matrice impédance présentée par les accès d'entrée est égale à la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Les unités de détection sont telles que, à ladite fréquence donnée, la matrice impédance vue par les accès de sortie est voisine de la matrice impédance vue par les accès cible.

- 5 Il est possible que de l'induction mutuelle existe entre les enroulements. Dans ce cas, la matrice inductance des enroulements n'est pas une matrice diagonale. Tous les dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (301) (304) 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 3.
- 10 Le spécialiste comprend que, à une fréquence à laquelle l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est prévue pour fonctionner, si la matrice impédance vue par les accès cible est une matrice diagonale ayant tous ses éléments diagonaux égaux à 50Ω , la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une influence sur Z_U , et la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'unité
- 15 d'accord a une influence sur un ou plusieurs des éléments non diagonaux de Z_U . Pour des valeurs de composants convenables, il est possible de montrer que les $p = 8$ dérivées partielles définies plus haut sont linéairement indépendantes dans l'espace vectoriel réel de dimension 32 des matrices complexes carrées d'ordre 4. Dans cet espace vectoriel, le sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles est de dimension 8. Il est aussi possible de montrer que
- 20 toute matrice complexe diagonale d'ordre m a les mêmes éléments diagonaux qu'au moins un élément de ce sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles.

Le spécialiste comprend que toute petite variation de la matrice impédance vue par les accès cible peut être partiellement compensée par un nouveau réglage des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord, la compensation étant automatique et habituellement meilleure dans

25 le cas où la matrice impédance vue par les accès cible et la matrice impédance recherchée sont des matrices symétriques. Ainsi, il est toujours possible d'accorder automatiquement et approximativement la matrice impédance présentée par les accès utilisateur.

Si les condensateurs (306) (307) avaient une valeur égale à 0 pF (ou n'étaient pas présents dans le circuit de la figure 3), et si de l'induction mutuelle n'existait pas entre les enroulements

30 (303), nous voyons que l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3) serait en fait composée de $n = 4$ unités d'accord à accès d'entrée unique et accès de sortie unique, ces unités d'accord à accès d'entrée unique et accès de sortie unique étant indépendantes et non couplées. Plus généralement, un système d'accord automatique ayant m accès utilisateur et n accès cible peut, dans le cas $n = m$, être tel que son unité d'accord à accès d'entrée multiples

35 et accès de sortie multiples (3) 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, ou au moins deux des dits dispositifs à impédance réglable, ces unités d'accord à accès d'entrée unique et accès de sortie unique étant indépendantes et non couplées.

Sixième mode de réalisation.

Au titre d'un sixième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 4 le schéma bloc d'un système d'accord automatique ayant $m = 4$ accès utilisateur (712) (722) (732) (742) et $n = 4$ accès cible (911) (921) (931) (941), le système d'accord automatique permettant, à une fréquence donnée supérieure ou égale à 300 MHz, un transfert de puissance depuis les accès utilisateur vers les accès cible, le système d'accord automatique comportant :

- 10 n unités de détection (9), 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 ;
- m unités de détection additionnelles (7), chacune des unités de détection additionnelles délivrant deux "signaux de sortie d'unité de détection additionnelle", chacun des signaux de sortie d'unité de détection additionnelle étant déterminé par une variable électrique ;
- 15 une unité de traitement du signal (8), l'unité de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour m excitations appliquées aux accès utilisateur, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur, l'unité de traitement du signal délivrant
- 20 une "instruction d'accord" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible, en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection additionnelle ;
- une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3), l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples comportant
- 25 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 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
- 30 moyen électrique ;
- une unité de contrôle d'accord (4), l'unité de contrôle d'accord recevant l'instruction d'accord de l'unité de traitement du signal (8), l'unité de contrôle d'accord délivrant des "signaux de contrôle d'accord" à l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3), les signaux de contrôle d'accord étant déterminés en
- 35 fonction de l'instruction d'accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant déterminée par au moins un des signaux de contrôle d'accord.

Septième mode de réalisation.

Au titre d'un septième mode de réalisation de l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 5 le schéma bloc d'un émetteur-récepteur pour communication radio utilisant un système d'accord automatique selon l'invention.

5 L'émetteur-récepteur pour communication radio représenté sur la figure 5 est un émetteur-récepteur pour communication radio avec une pluralité d'antennes dans une bande de fréquences donnée, comportant :

$n = 4$ antennes (11) (12) (13) (14), les n antennes opérant simultanément dans la bande de fréquences donnée, les n antennes formant un réseau d'antennes (1) ;

10 $n = 4$ liaisons d'antenne (21) (22) (23) (24), chacune des liaisons d'antenne ayant une extrémité lointaine et une extrémité proche, chacune des antennes étant couplée à l'extrémité lointaine d'une et une seule des liaisons d'antenne, les extrémités proches des liaisons d'antenne présentant, à une fréquence dans la bande de fréquences donnée, une matrice impédance appelée "la matrice impédance présentée par les extrémités proches des liaisons d'antenne" ;

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

20 délivrée par chacun des accès radio ;

n unités de détection (9), 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 ;

25 une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3), l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples comportant $n = 4$ accès de sortie, chacun des accès de sortie étant indirectement couplé à l'extrémité proche d'une et une seule des liaisons d'antenne à travers une des unités de détection (9), l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples comportant

30 $m = 4$ accès d'entrée, chacun des accès d'entrée étant directement couplé à un des accès radio du dispositif radio (5), 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 ladite

35 fréquence dans la bande de fréquences 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 ;

une unité de traitement du signal (8), l'unité de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les extrémités proches des liaisons d'antenne, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les instructions de séquence d'accord et en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pendant que les m excitations furent délivrées par les accès radio pendant une séquence d'accord, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction d'accord" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les extrémités proches des liaisons d'antenne ;

une unité de contrôle d'accord (4), l'unité de contrôle d'accord recevant l'instruction d'accord de l'unité de traitement du signal (8), l'unité de contrôle d'accord délivrant des "signaux de contrôle d'accord" à l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3), les signaux de contrôle d'accord étant déterminés en fonction de l'instruction d'accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant déterminée par au moins un des signaux de contrôle d'accord.

Le spécialiste comprend que la "matrice impédance présentée par les extrémités proches des liaisons d'antenne" de ce septième mode de réalisation correspond à la "matrice impédance vue par les accès cible" du premier mode de réalisation, évaluée à ladite fréquence dans la bande de fréquences donnée.

20 Huitième mode de réalisation.

Au titre d'un huitième mode de réalisation de l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 6 le schéma bloc d'un émetteur-récepteur pour communication radio utilisant un système d'accord automatique selon l'invention. L'émetteur-récepteur pour communication radio représenté sur la figure 6 est un émetteur-récepteur pour communication radio avec une pluralité d'antennes dans une bande de fréquences donnée, comportant :

$N = 4$ antennes (11) (12) (13) (14), chacune des N antennes étant telle qu'elle peut opérer à toute fréquence dans la bande de fréquences donnée ;

un dispositif radio (5) qui consiste en toutes les parties de l'émetteur-récepteur qui ne sont pas montrées ailleurs sur la figure 6, le dispositif radio ayant $m = 2$ accès radio, le dispositif radio délivrant des "instructions de séquence d'accord" qui indiquent quand une séquence d'accord est en train d'être effectuée, m excitations étant délivrées par les accès radio pendant ladite séquence d'accord, une et une seule des excitations étant délivrée par chacun des accès radio ;

une unité de commutation (6), l'unité de commutation recevant une "instruction de configuration" générée automatiquement par le dispositif radio, 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, l'unité de commutation opérant dans une configuration active déterminée par l'instruction de configuration, la configuration active étant l'une d'une pluralité de configurations autorisées, l'unité de commutation procurant, dans

5 n'importe laquelle des configurations autorisées, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée et pour n'importe lequel des accès réseau, un chemin bidirectionnel entre ledit n'importe lequel des accès réseau et un et un seul des accès antenne ;

n unités de détection (9), chacune des unités de détection délivrant deux "signaux de sortie d'unité de détection", chacun des signaux de sortie d'unité de détection étant

10 déterminé par une variable électrique ;

une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3), l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples comportant $n = 2$ accès de sortie, chacun des accès de sortie étant indirectement couplé à un et un seul des accès réseau de l'unité de commutation (6) à travers une des unités de détection (9),

15 l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples comportant $m = 2$ accès d'entrée, chacun des accès d'entrée étant directement couplé à un des accès radio du dispositif radio (5), 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 $2m = 4$, les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les

20 "dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord" et étant tels que, à une fréquence dans la bande de fréquences 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 ;

une unité de traitement du signal (8), l'unité de traitement du signal estimant q quantités

25 réelles dépendantes d'une matrice impédance présentée par les accès réseau, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les instructions de séquence d'accord et en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pendant que les m excitations furent délivrées par les accès radio pendant une séquence d'accord, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction d'accord" en fonction des dites q

30 quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès réseau ;

une unité de contrôle d'accord (4), l'unité de contrôle d'accord recevant l'instruction d'accord de l'unité de traitement du signal (8), l'unité de contrôle d'accord délivrant des "signaux de contrôle d'accord" à l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3), les signaux de contrôle d'accord étant déterminés en

35 fonction de l'instruction d'accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant déterminée par au moins un des signaux de contrôle d'accord.

Le spécialiste comprend que la "matrice impédance présentée par les accès réseau" de ce

huitième mode de réalisation correspond à la “matrice impédance vue par les accès cible” du premier mode de réalisation.

Il est possible que ce huitième mode de réalisation utilise certains aspects de la technique divulguée dans la demande française no. 14/01221 du 28 mai 2014, intitulée “Communication radio utilisant une pluralité d’antennes sélectionnées”, correspondant à la demande internationale no. PCT/IB2015/052974 du 23 avril 2015, intitulée “Radio communication using a plurality of selected antennas”.

INDICATIONS SUR LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Le procédé selon l’invention est adapté pour régler automatiquement et de façon optimale une unité d'accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples, et le système d'accord automatique selon l’invention peut régler automatiquement et de façon optimale son unité d'accord à accès d’entrée multiples et accès de sortie multiples. Le système d'accord automatique selon l’invention peut être une partie d’un récepteur radio utilisant une pluralité d’antennes simultanément, ou d’un émetteur radio utilisant une pluralité d’antennes simultanément. Dans de telles applications, chaque accès cible du système d'accord automatique selon l’invention peut être couplé à une antenne, et chaque accès utilisateur du système d'accord automatique selon l’invention peut être couplé à un des accès d’entrée signal radiofréquence du récepteur radio utilisant une pluralité d’antennes simultanément, ou à un des accès de sortie signal radiofréquence de l’émetteur radio utilisant une pluralité d’antennes simultanément. Ainsi, le procédé et le système d'accord automatique selon l’invention sont adaptés à la communication radio MIMO.

Le procédé et le système d'accord automatique selon l’invention procurent les meilleures caractéristiques possibles en utilisant des antennes très proches, présentant donc une forte interaction entre les antennes. L’invention est donc particulièrement adaptée aux émetteurs radio mobiles, par exemple ceux utilisés dans les radiotéléphones portables ou les ordinateurs portables.

Le procédé et le système d'accord automatique 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 les antennes. L’invention est donc particulièrement adaptée aux émetteurs 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 (3), l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples étant une partie d'un système d'accord automatique ayant m "accès utilisateur" (712) (722) (732) (742) et n "accès cible" (911) (921) (931) (941), où m est un entier supérieur ou égal à 2 et où n est un entier supérieur ou égal à 2, le système d'accord automatique permettant, à une fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les accès utilisateur vers les accès cible, l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples comportant p dispositifs à impédance réglable, où p est un entier supérieur ou égal à m , les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord" et étant tels que, à ladite fréquence donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une réactance, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ayant une influence sur une matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant réglable par moyen électrique, le procédé comportant les étapes suivantes :
- appliquer m excitations aux accès utilisateur, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur ;
 - estimer q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les dites m excitations ;
 - utiliser les dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible, pour obtenir des "signaux de contrôle d'accord" ;
 - appliquer chacun des signaux de contrôle d'accord à au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'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 signaux de contrôle d'accord.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les m excitations sont appliquées successivement aux accès utilisateur.
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. Système d'accord automatique ayant m "accès utilisateur" (712) (722) (732) (742) et n "accès cible" (911) (921) (931) (941), où m est un entier supérieur ou égal à 2 et où n est un entier supérieur ou égal à 2, le système d'accord automatique permettant, à une fréquence

donnée, un transfert de puissance depuis les accès utilisateur vers les accès cible, le système d'accord automatique comportant :

- 5 au moins n unités de détection (9), 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 ;
- 10 une unité de traitement du signal (8), l'unité de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour m excitations appliquées aux accès utilisateur, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction d'accord" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance vue par les accès cible ;
- 15 une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3), l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples comportant p dispositifs à impédance réglable, où p est un entier supérieur ou égal à m , les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord" et étant tels que, à ladite fréquence donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une réactance, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ayant une influence sur
- 20 une matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant réglable par moyen électrique ;
- 25 une unité de contrôle d'accord (4), l'unité de contrôle d'accord recevant l'instruction d'accord de l'unité de traitement du signal, l'unité de contrôle d'accord délivrant des "signaux de contrôle d'accord" à l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples, les signaux de contrôle d'accord étant déterminés en fonction de l'instruction d'accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant principalement déterminée par au moins un des signaux de contrôle d'accord.

- 30 5. Système d'accord automatique 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 cible ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une seconde variable électrique, la seconde variable
- 35 électrique étant un courant sortant du dit un des accès cible.

6. Système d'accord automatique 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 cible ; et un second signal de sortie
- 5 d'unité de détection proportionnel à une seconde variable électrique, la seconde variable électrique étant une tension réfléchie au dit un des accès cible.
7. Système d'accord automatique selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, dans lequel l'instruction d'accord est telle que la matrice impédance présentée par les accès utilisateur est sensiblement égale à une matrice impédance recherchée.
- 10 8. Système d'accord automatique selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, dans lequel tout élément diagonal de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur est influencé par la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord, et dans lequel 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
- 15 utilisateur.
9. Système d'accord automatique selon l'une quelconque des revendications 4 à 8, dans lequel les m excitations sont appliquées successivement aux accès utilisateur.
10. Système d'accord automatique selon l'une quelconque des revendications 4 à 8, dans lequel, chacune des excitations ayant une et une seule enveloppe complexe, les m enveloppes
- 20 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.

1 / 6

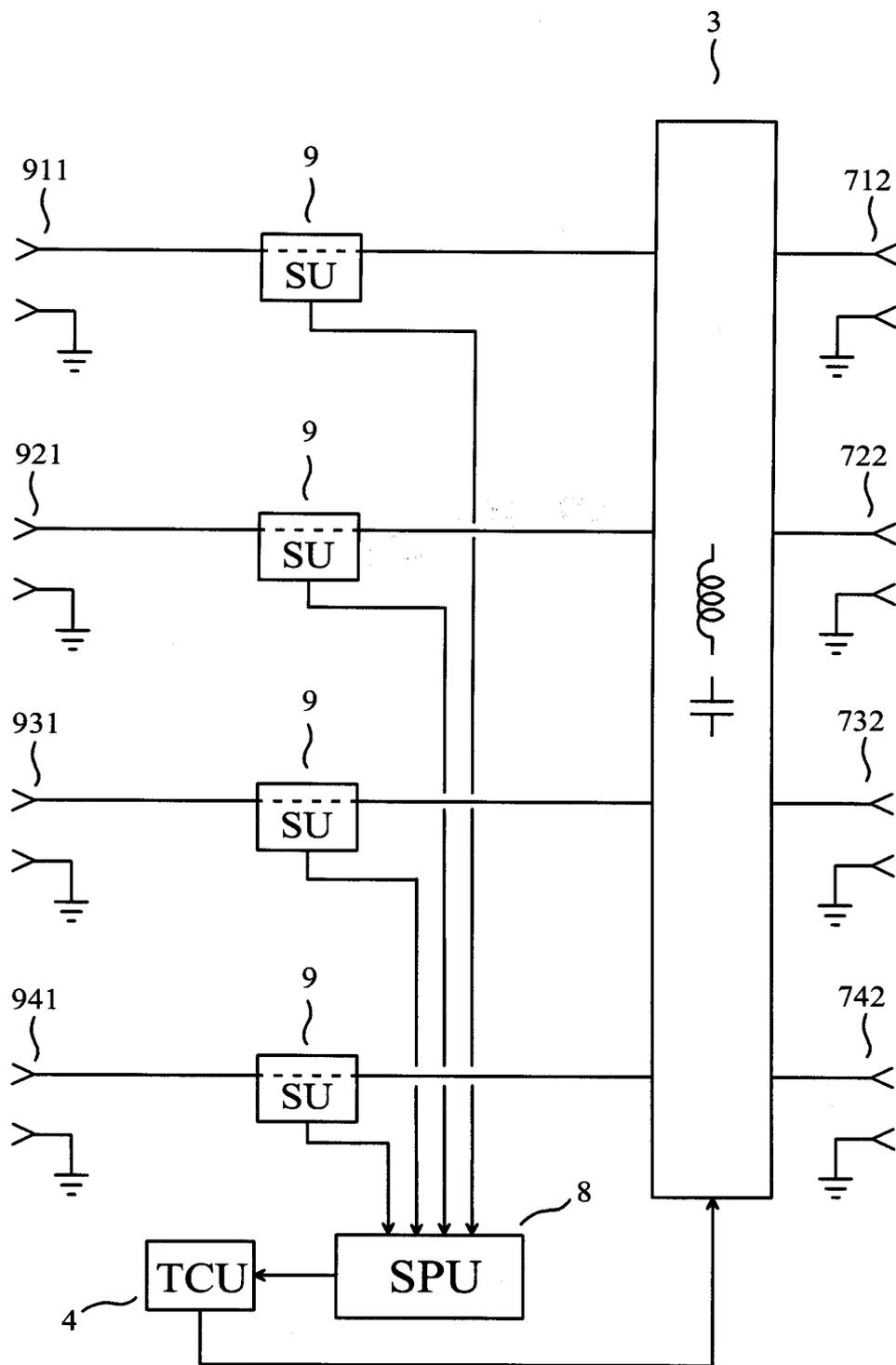


FIG. 1

4 / 6

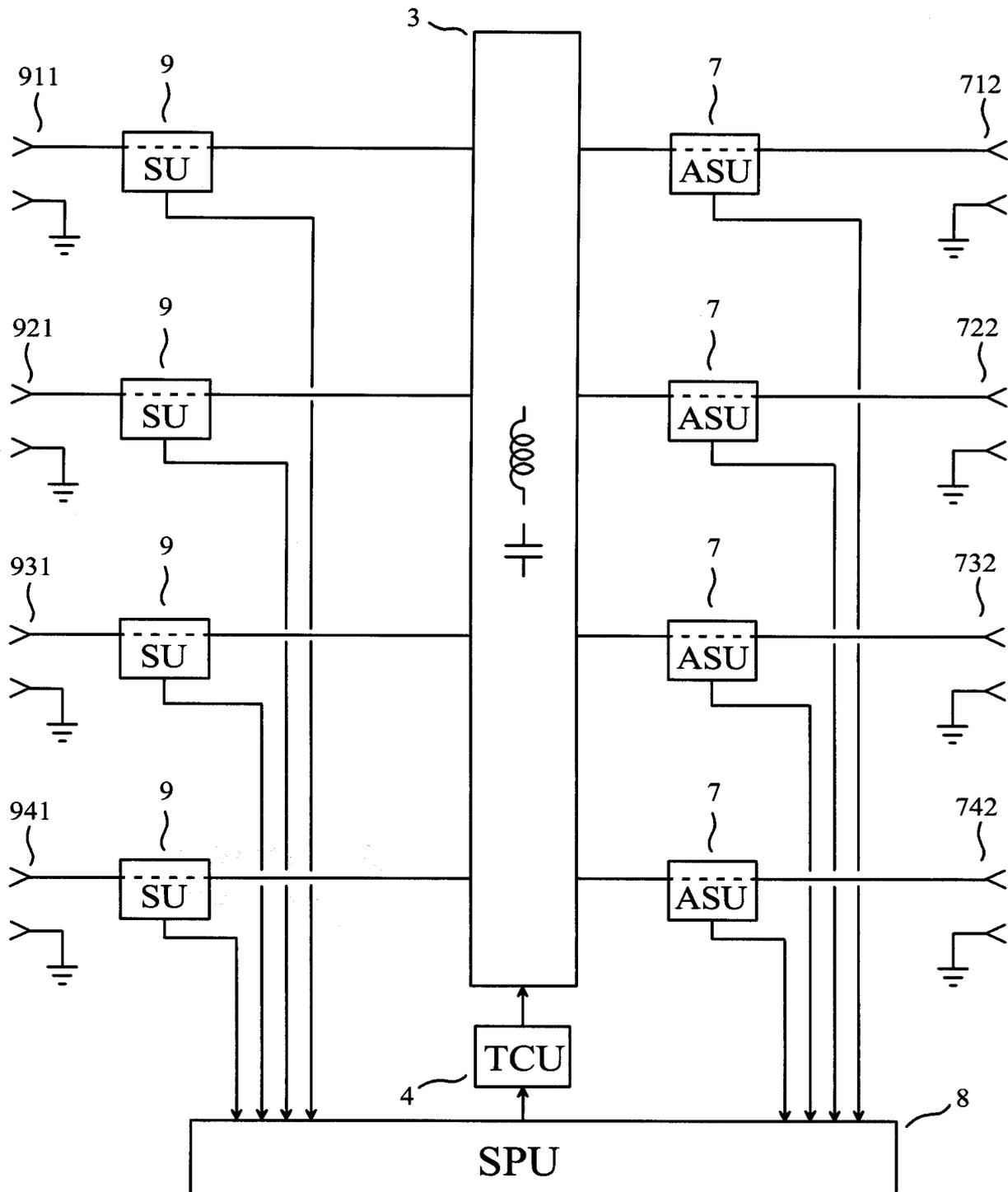


FIG. 4

5 / 6

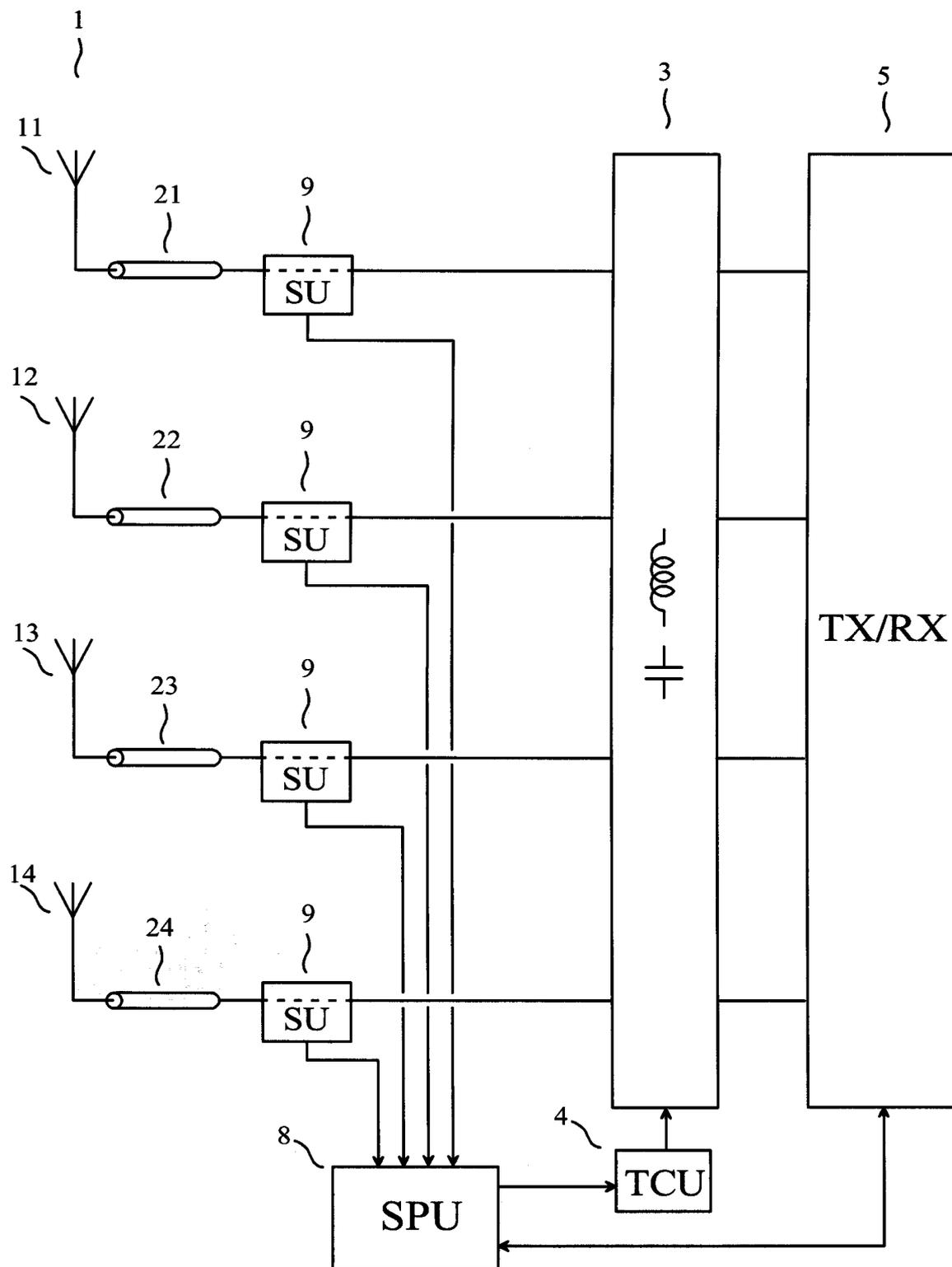


FIG. 5

6 / 6

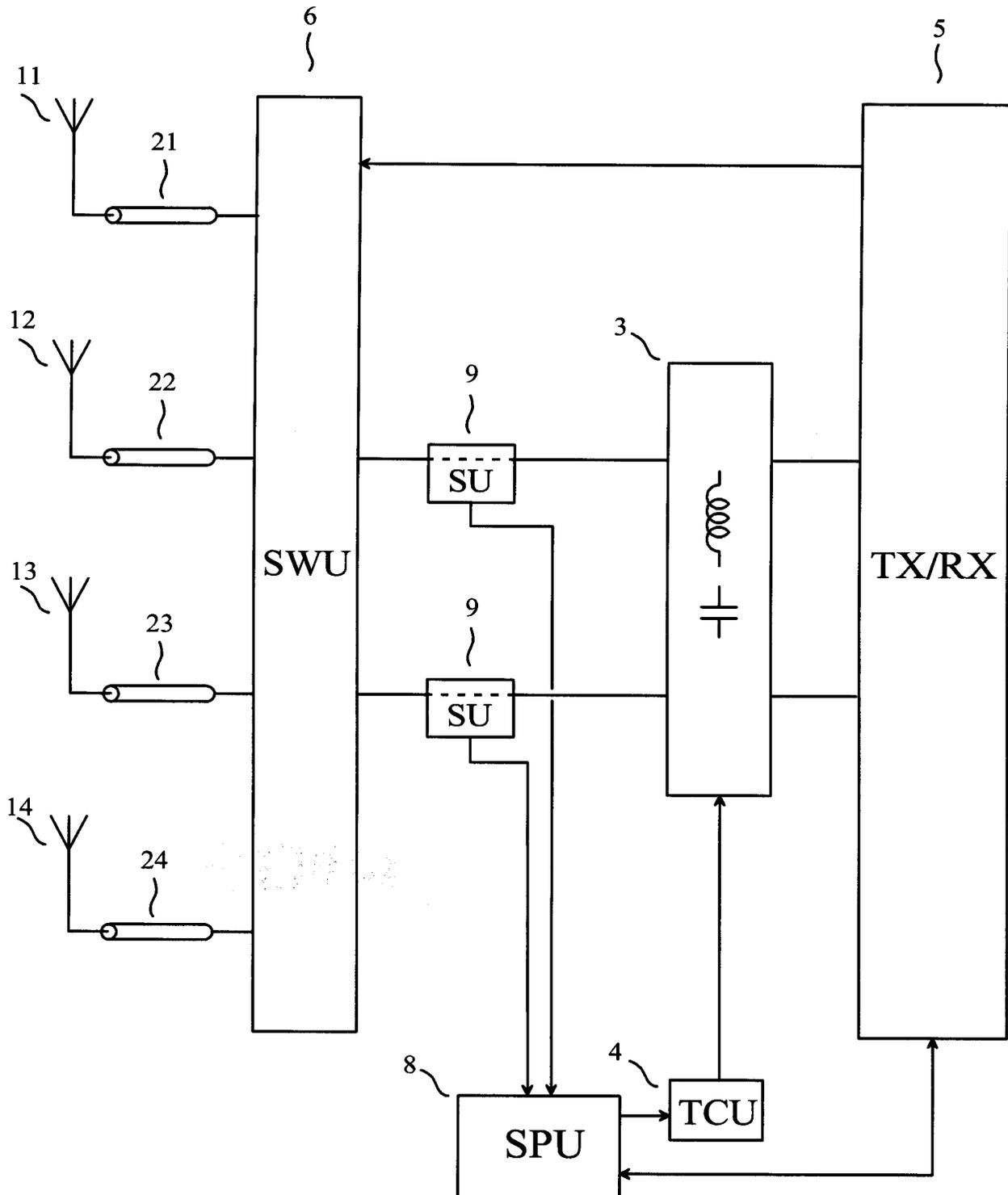


FIG. 6



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 816746
FR 1501780

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 A	FR 3 004 604 A1 (TEKCEM [FR]) 17 octobre 2014 (2014-10-17) * revendications 1-6; figures 2, 3 *	1,2,4-9 3,10	H03H7/38 H04B3/14
X A	US 2014/175895 A1 (ISHI TETSUYA [JP] ET AL) 26 juin 2014 (2014-06-26) * alinéas [0255] - [0276], [0282], [0080], [0070]; figures 4A, 24 *	1,2,4-9 3,10	
A	WO 2008/030165 A1 (LAU BUON KIONG [SE]; BACH ANDERSEN JOERGEN [DK]) 13 mars 2008 (2008-03-13) * fig. 3, p. 9, . 16 - p. 12, l. 6, p. 14, l. 8 - p. 16, l. 16 *	1-10	
A	BROYDE FREDERIC ET AL: "Some Properties of Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuners", IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS I: REGULAR PAPERS, IEEE, US, vol. 62, no. 2, 1 février 2015 (2015-02-01), pages 423-432, XP011571610, ISSN: 1549-8328, DOI: 10.1109/TCSI.2014.2363513 [extrait le 2015-01-26] * section VI; figures 6, 7 *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H03H H01Q H04B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
22 avril 2016		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 1501780 FA 816746**

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 **22-04-2016**

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 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

US 2014175895	A1	26-06-2014	CN 103582991 A	12-02-2014
			EP 2720349 A1	16-04-2014
			JP W02012169584 A1	23-02-2015
			KR 20140036197 A	25-03-2014
			US 2014175895 A1	26-06-2014
			WO 2012169584 A1	13-12-2012

WO 2008030165	A1	13-03-2008	EP 2084778 A1	05-08-2009
			JP 5002651 B2	15-08-2012
			JP 2010503261 A	28-01-2010
			US 2010201598 A1	12-08-2010
			WO 2008030165 A1	13-03-2008
