

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 037 745

21 N° d'enregistrement national :

15 01290

51 Int Cl⁸ : H 03 H 7/38 (2016.01)

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 22.06.15.

30 Priorité :

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

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

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 23.12.16 Bulletin 16/51.

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 :

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

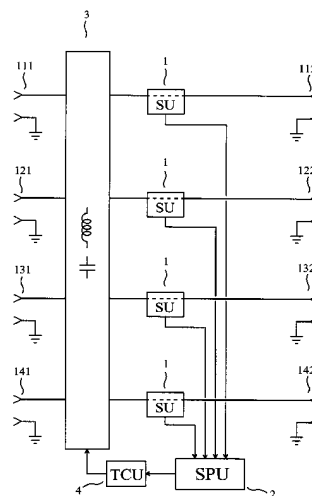
○ Demande(s) d'extension :

74 Mandataire(s) : TEKCEM.

54 PROCÉDE ET APPAREIL POUR ACCORD AUTOMATIQUE D'UNE MATRICE IMPEDANCE, ET EMETTEUR RADIO UTILISANT CET APPAREIL.

57 L'invention concerne un procédé et un appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance, par exemple la matrice impédance vue par les amplificateurs de puissance d'un émetteur radio utilisant une pluralité d'antennes simultanément. L'invention concerne aussi un émetteur radio utilisant cet appareil.

Un appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance à 4 accès utilisateur (112) (122) (132) (142) et 4 accès cible (111) (121) (131) (141), et comporte: 4 unités de détection (1); une unité de traitement du signal (2) estimant des quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, en utilisant des signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour 4 excitations appliquées aux accès utilisateur, au moins deux des excitations étant appliquées simultanément, 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 impédance réglable; et une unité de contrôle d'accord (4) délivrant des signaux de contrôle d'accord à l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples.



FR 3 037 745 - A1



Procédé et appareil pour accord automatique d'une matrice impédance, et émetteur radio utilisant cet appareil

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5 L'invention concerne un procédé et un appareil pour accord automatique d'une matrice impédance, par exemple la matrice impédance vue par les amplificateurs de puissance d'un émetteur radio utilisant une pluralité d'antennes simultanément. L'invention concerne aussi un émetteur radio utilisant cet appareil.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

10 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 générateur de signal présentant une impédance égale au complexe conjugué de l'impédance
15 recherchée est connecté à l'accès d'entrée, il fournira une puissance maximale à l'accès d'entrée, et l'accès de sortie délivrera une puissance voisine de cette puissance maximale. Dans la présente demande de brevet, un dispositif pour accorder une impédance est appelé "unité d'accord à accès d'entrée unique et accès de sortie unique". 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
20 antérieur de la demande de brevet français n° 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
25 unité d'accord à accès d'entrée unique et accès de sortie unique comporte un ou plusieurs dispositifs à impédance réglable ayant chacun une réactance réglable. Pour accorder l'impédance, les réactances des dispositifs à impédance réglable doivent être réglées en fonction de l'impédance vue par l'accès de sortie.

De nombreux procédés et appareils pour accorder automatiquement une impédance ont été
30 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
35 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 réfléchi et une tension proportionnelle à la partie imaginaire de la tension réfléchi 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 réfléchi et la tension proportionnelle à la partie imaginaire de la tension réfléchi. Dans cet appareil, les deux
5 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
10 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
15 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,
20 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 correspondant.

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
25 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
30 impedance matching module". Un appareil pour accorder automatiquement une impédance est effectivement adaptatif, dans le sens que 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.

Accorder une matrice impédance signifie obtenir qu'une matrice impédance présentée par
35 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 adjointe (c'est-à-dire une matrice égale à la matrice transposée de la matrice complexe conjuguée) de la matrice impédance recherchée sont convenablement connectés à la pluralité d'accès d'entrée, ledit générateur de signal à accès multiples fournit une puissance maximale à la pluralité d'accès d'entrée, et la pluralité d'accès de sortie délivre une puissance voisine de cette puissance maximale. Dans la présente demande de brevet, un dispositif pour accorder une matrice impédance est appelé "unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples". 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 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 comporte plusieurs dispositifs à impédance réglable ayant chacun une réactance réglable. Pour accorder la matrice impédance, les réactances des dispositifs à impédance réglable doivent être réglées en fonction de la matrice impédance vue par la pluralité d'accès de sortie.

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 à leurs accès de sortie sont très petites, et où la matrice impédance recherchée est diagonale. Cette approche ne peut pas être utilisée pour accorder automatiquement une matrice 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, intitulés "Method and apparatus for automatically tuning an impedance matrix, and radio transmitter using this apparatus", divulgue un procédé pour accorder automatiquement une matrice impédance qui est une matrice complexe carrée d'ordre m , ce procédé utilisant au moins m excitations différentes appliquées successivement aux accès d'entrée. Malheureusement, ce procédé n'est habituellement pas compatible avec la spécification d'un émetteur radio utilisé pour des communications radio MIMO, parce que la génération d'une séquence d'au moins m excitations différentes entraîne l'émission d'ondes électromagnétiques, qui n'est habituellement pas compatible avec les exigences de tous les modes d'émission MIMO des normes applicables, par exemple les normes LTE-Advanced. Ainsi, il n'y a pas de solution connue au problème d'accorder automatiquement une matrice impédance vue par un émetteur radio utilisé pour des communications radio MIMO, d'une façon qui respecte les normes typiquement applicables aux réseaux radio MIMO.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention a pour objet un procédé et un appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance, dépourvus des limitations mentionnées ci-dessus des techniques connues, et aussi un émetteur radio utilisant cet appareil.

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

Le procédé selon l'invention est un procédé pour accorder automatiquement une matrice impédance présentée, à une fréquence donnée, par m accès d'un appareil, où m est un entier supérieur ou égal à 2, chacun des dits m accès étant appelé "accès utilisateur", l'appareil ayant les dits m accès utilisateur et n autres accès, où n est un entier supérieur ou égal à 2, chacun des
10 dits n autres accès étant appelé "accès cible", ladite matrice impédance étant appelée "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur" et notée Z_U , l'appareil permettant, à ladite fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les accès utilisateur vers les accès cible, le procédé comportant les étapes suivantes :

appliquer m excitations aux accès utilisateur, une et une seule des excitations étant
15 appliquée à chacun des accès utilisateur, les m excitations n'étant pas appliquées successivement ;

estimer q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les dites m excitations ;

20 utiliser les dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, pour obtenir des "signaux de contrôle d'accord" ;

régler la matrice impédance présentée par les accès utilisateur en utilisant 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 $2m$, les p dispositifs à
25 impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord" et étant tels que, à ladite fréquence donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une réactance, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ayant une influence sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la réactance de n'importe
30 lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant réglable par moyen électrique ;

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
35 un des signaux de contrôle d'accord.

Selon l'invention, la fréquence donnée est par exemple une fréquence supérieure ou égale à 150 kHz. Le spécialiste comprend que la matrice impédance présentée par les accès utilisateur

est une matrice complexe carrée d'ordre m . 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.

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

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

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

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

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

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

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

- 15 Selon l'invention, pour un choix donné de la constante réelle k , il est possible que, ladite fréquence donnée étant considérée comme une fréquence porteuse, chacune des excitations ait une et une seule enveloppe complexe, les m enveloppes complexes des m excitations étant linéairement indépendantes dans l'ensemble des fonctions complexes d'une variable réelle, considéré comme un espace vectoriel sur le corps des nombres complexes. Il a été découvert que
- 20 cette caractéristique peut être utilisée de manière telle que les effets de chacune des excitations peuvent être identifiés avec un traitement du signal convenable, comme si les excitations avaient été appliquées successivement aux accès utilisateurs, si bien que, comme expliqué ci-dessous dans la présentation du premier mode de réalisation, les dites m excitations peuvent être utilisées
- 25 utilisateur. Le spécialiste comprend que cette caractéristique ne peut pas être obtenue avec une pluralité d'appareils pour accorder automatiquement une impédance, utilisée pour accorder une matrice impédance, comme mentionné plus haut dans la section sur l'état de l'art antérieur. Le spécialiste comprend aussi que cette caractéristique évite les interférences qui font échouer le fonctionnement d'une pluralité d'appareils pour accorder automatiquement une impédance,
- 30 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 sont pas très petites. De plus, comme discuté ci-dessous dans la présentation du premier mode de réalisation, cette caractéristique est compatible avec les exigences de spécifications typiques d'émetteurs radio utilisés pour des communications radio MIMO, parce que la génération d'excitations ayant cette
- 35 caractéristique est compatible avec les exigences des normes typiquement applicables aux réseaux radio MIMO. Par conséquent, l'invention surmonte les limitations mentionnées ci-dessus des techniques connues.

Selon l'invention, pour un choix donné de la constante réelle k , il est possible que, ladite

fréquence donnée étant considérée comme une fréquence porteuse, chacune des excitations ait une et une seule enveloppe complexe, les m enveloppes complexes étant orthogonales les unes aux autres pour un produit scalaire donné.

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

Selon l'invention, chacune des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur peut par exemple être sensiblement proportionnelle au module, ou à la phase, ou à la partie réelle, ou à la partie imaginaire d'un élément de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, ou d'un élément de l'inverse de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur (c'est-à-dire, la matrice admittance présentée par les accès utilisateur), ou d'un élément d'une matrice des coefficients de réflexion en tension aux accès utilisateur, définie comme étant égale à $(\mathbf{Z}_U - \mathbf{Z}_O) (\mathbf{Z}_U + \mathbf{Z}_O)^{-1}$, où \mathbf{Z}_O est une matrice impédance de référence.

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

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

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

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

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

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

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

Un 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
5 mécanique, par exemple une résistance variable, un condensateur variable, un réseau comportant 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
10 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 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.

15 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 :

- 20 - un réseau comportant une pluralité de condensateurs ou de tronçons de ligne de transmission en circuit ouvert et un ou plusieurs interrupteurs ou commutateurs contrôlés électriquement, comme des relais électromécaniques, ou des interrupteurs micro-électromécaniques (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
- 25 - un réseau comportant une pluralité de bobines ou de tronçons de ligne de transmission en court-circuit et un ou plusieurs interrupteurs ou commutateurs contrôlés électriquement utilisés pour faire contribuer différentes bobines ou différents tronçons de ligne de transmission en court-circuit du réseau à la réactance.

Un dispositif à impédance réglable ayant une réactance réglable par moyen électrique peut
30 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:
35 "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
 5 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 la discussion du premier mode et du deuxième mode de réalisation.

Un appareil mettant en oeuvre le procédé selon l'invention est un appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance présentée, à une fréquence donnée, par m accès de
 10 l'appareil, où m est un entier supérieur ou égal à 2, chacun des dits m accès étant appelé "accès utilisateur", l'appareil ayant les dits m accès utilisateur et n autres accès, où n est un entier supérieur ou égal à 2, chacun des dits n autres accès étant appelé "accès cible", ladite matrice impédance étant appelée "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur" et notée Z_U , l'appareil permettant, à ladite fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les accès
 15 utilisateur vers les accès cible, l'appareil comportant :

au moins m unités de détection, chacune des unités de détection délivrant un ou plusieurs "signaux de sortie d'unité de détection", chacun des signaux de sortie d'unité de détection étant principalement déterminé par une ou plusieurs variables électriques ;
 une unité de traitement du signal, l'unité de traitement du signal estimant q quantités réelles
 20 dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour m excitations appliquées aux accès utilisateur, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur, les m excitations n'étant pas appliquées successivement, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction d'accord"
 25 en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur ;

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 $2m$, les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord" et étant tels que, à ladite fréquence donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une réactance, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ayant une influence sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant réglable par
 35 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 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

5 contrôle d'accord.

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

Il est par exemple possible que chacune des excitations soit un signal passe-bande. Il est par

10 exemple possible que chacun de ces signaux passe-bande ait une bande passante qui contienne ladite fréquence donnée.

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

15 utilisateur, ou 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 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

20 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

25 passif à $n + m$ accès. Comme conséquence de la linéarité, il est possible de définir la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Comme conséquence de la passivité, l'unité 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

30 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 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

35 indirectement, à un et un seul des n accès de sortie de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples. Ainsi, ledit transfert de puissance depuis les accès utilisateur vers les accès cible peut être obtenu à travers l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples.

Le spécialiste comprend que : l'accord de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur est principalement déterminé par les signaux de contrôle d'accord, chacun des signaux de contrôle d'accord étant déterminé en fonction des dites quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur ; et que l'appareil selon l'invention est adaptatif dans le sens que 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 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 qui réduit ou minimise une norme de l'image de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur par une fonction matricielle, la fonction matricielle étant par exemple une des fonctions matricielles f telles que $f(\mathbf{Z}_U)$ est donné par l'équation (1) ou par l'équation (2) ou par l'équation (3). Le spécialiste comprend aussi que l'instruction d'accord peut par exemple être déterminée comme étant une instruction d'accord qui procure une matrice impédance présentée par les accès utilisateur qui est sensiblement égale à la matrice impédance recherchée, par exemple une instruction d'accord telle que $\mathbf{Z}_U = \mathbf{Z}_W$.

L'invention concerne aussi un émetteur pour communication radio utilisant un appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance. Un émetteur pour communication radio selon l'invention est un émetteur pour communication radio avec une pluralité d'antennes dans une bande de fréquences donnée, comportant :

n accès de sortie antenne, où n est un entier supérieur ou égal à 2 ;

m amplificateurs de puissance, où m est un entier supérieur ou égal à 2, chacun des amplificateurs de puissance ayant un accès de sortie, chacun des amplificateurs de puissance pouvant délivrer une puissance dans ladite bande de fréquences donnée, une partie de ladite puissance étant transférée aux accès de sortie antenne, les accès de sortie des amplificateurs de puissance voyant, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, une matrice impédance appelée "la matrice impédance vue par les accès de sortie des amplificateurs de puissance", la matrice impédance vue par les accès de sortie des amplificateurs de puissance étant une matrice complexe carrée d'ordre m ;

au moins m unités de détection, chacune des unités de détection délivrant un ou plusieurs "signaux de sortie d'unité de détection", chacun des signaux de sortie d'unité de détection étant principalement déterminé par une ou plusieurs variables électriques ; une unité de traitement du signal, l'unité de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance vue par les accès de sortie des amplificateurs de puissance, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie

d'unité de détection obtenus pour m excitations appliquées par les amplificateurs de puissance aux accès de sortie des amplificateurs de puissance, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès de sortie des amplificateurs de puissance, les m excitations n'étant pas appliquées successivement, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction d'accord" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance vue par les accès de sortie des amplificateurs de puissance ;

une 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 $2m$, 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 dans ladite 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 ayant une influence sur la matrice impédance vue par les accès de sortie des amplificateurs de puissance, 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, 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.

Ladite unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples de l'émetteur pour communication radio selon l'invention comporte m accès d'entrée et n accès de sortie. 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 dits accès de sortie des amplificateurs de puissance, et que chacun des dits accès de sortie des amplificateurs de puissance 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 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 de sortie antenne, et que chacun des n accès de sortie antenne 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 et accès de sortie multiples. Ainsi, une partie de ladite puissance délivrée par les amplificateurs de puissance peut être transférée aux accès de sortie antenne. Ladite partie de ladite puissance peut être sensiblement égale à ladite puissance, cette caractéristique étant préférée.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

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

- 5 - la figure 1 représente le schéma-bloc d'un appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance présentée par 4 accès utilisateur (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 pour accorder simultanément 4 accès, qui peut être utilisé dans l'appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance montré sur la figure 1 (deuxième mode de réalisation) ;
- 10 - la figure 3 représente le schéma d'une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples pour accorder simultanément 4 accès, qui peut être utilisé dans l'appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance montré sur la figure 1 (troisième mode de réalisation) ;
- 15 - la figure 4 représente le schéma-bloc d'un appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance présentée par 4 accès utilisateur (quatrième mode de réalisation) ;
- la figure 5 représente le schéma-bloc d'un émetteur pour communication radio utilisant plusieurs antennes et l'appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance montré sur la figure 1 (cinquième mode de réalisation).
- 20

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE CERTAINS MODES DE RÉALISATION

Premier mode de réalisation.

Au titre d'un premier mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 1 le schéma bloc d'un appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance présentée par $m = 4$ accès utilisateur, à une fréquence donnée supérieure ou égale à 30 MHz, l'appareil ayant les dits m accès utilisateur (112) (122) (132) (142) et $n = 4$ accès cible (111) (121) (131) (141), la matrice impédance étant appelée "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur" et notée Z_U , l'appareil comportant :

- 30 m unités de détection (1), 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 (2), l'unité de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, où q

- est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour m excitations appliquées aux accès utilisateur, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur, chacune des excitations étant un signal passe-bande, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction d'accord" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur ;
- 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 (2), 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 (1) peut par exemple être telle que les deux signaux de sortie d'unité de détection délivrés par ladite chacune des unités de détection comportent : un premier signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une première variable électrique, la première variable électrique étant une tension aux bornes d'un des accès utilisateur ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une seconde variable électrique, la seconde variable électrique étant un courant entrant dans ledit un des accès utilisateur. Ladite tension aux bornes d'un des accès utilisateur peut être une tension complexe et ledit courant entrant dans ledit un des accès utilisateur peut être un courant complexe. Alternativement, chacune des unités de détection (1) peut par exemple être telle que les deux signaux de sortie d'unité de détection délivrés par ladite chacune des unités de détection comportent : un premier signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une première variable électrique, la première variable électrique étant une tension incidente à un des accès utilisateur ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une seconde variable électrique, la seconde variable électrique étant une tension réfléchi au dit un des accès utilisateur. Ladite tension incidente à un des accès utilisateur peut être une tension incidente complexe et ladite tension réfléchi au dit un des accès utilisateur peut être une tension réfléchi 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
 5 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 (2) de cette action. Une et une seule des excitations est appliquée à chacun des accès utilisateur, au moins deux des excitations étant appliquées simultanément. Chacune
 10 des dites m excitations est un signal passe-bande ayant une bande passante qui contient ladite fréquence donnée. Ladite fréquence donnée étant considérée comme une fréquence porteuse, chacune des excitations a une unique enveloppe complexe, les m enveloppes complexes étant linéairement indépendantes dans E , où E est l'ensemble des fonctions complexes d'une variable
 réelle, considéré comme un espace vectoriel sur le corps des nombres complexes.

Numérotions les accès utilisateur de 1 à m , et numérotions les excitations de 1 à m , de telle
 15 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
 20 linéairement indépendantes dans E . Notons $\mathbf{i}_E(t)$ le vecteur-colonne des enveloppes complexes $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$. Notons $u_a(t)$ la tension aux bornes de l'accès utilisateur numéro a , et notons $u_{E_a}(t)$ l'enveloppe complexe de $u_a(t)$. Notons $\mathbf{u}_E(t)$ le vecteur-colonne des enveloppes complexes $u_{E_1}(t), \dots, u_{E_m}(t)$. Il est possible de montrer que, si la largeur de bande des enveloppes complexes $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ est suffisamment étroite, nous avons

$$25 \quad \mathbf{u}_E(t) = \mathbf{Z}_U \mathbf{i}_E(t) \quad (4)$$

Si nous considérons l'équation (4) pour une valeur fixée de t , alors les éléments de $\mathbf{u}_E(t)$ et de $\mathbf{i}_E(t)$ sont des nombres complexes. Dans ce contexte, pour $m \geq 2$ il n'est pas possible de résoudre (4) pour obtenir \mathbf{Z}_U en se basant sur la connaissance de $\mathbf{u}_E(t)$ et $\mathbf{i}_E(t)$ pour une valeur
 30 fixée de t . Au contraire, si nous considérons l'équation (4) où t est une variable, alors les éléments de $\mathbf{i}_E(t)$ sont des vecteurs linéairement indépendants de E . Ainsi, si nous notons S le sous-espace vectoriel engendré par $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ dans E , nous trouvons que $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ est une base de S . Dans ce contexte, l'équation (4) enseigne que chaque élément de $\mathbf{u}_E(t)$ est un élément de S , et que, pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , les coordonnées du vecteur $u_{E_a}(t)$ dans la base $i_{E_1}(t), \dots, i_{E_m}(t)$ sont les éléments de la ligne a de \mathbf{Z}_U .
 35 Puisque ces coordonnées sont uniques, l'équation (4) peut être utilisée pour calculer \mathbf{Z}_U en se basant sur la connaissance de $\mathbf{u}_E(t)$ et de $\mathbf{i}_E(t)$, où t est une variable. Ainsi, les effets des différentes excitations peuvent être identifiés avec un traitement du signal convenable, comme

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

5 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
10 complexes qui sont linéairement indépendantes dans E . Par conséquent, ce premier mode de réalisation est compatible avec les exigences des normes typiquement applicables aux réseaux radio MIMO.

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

Par exemple, si les unités de détection (1) sont numérotées de 1 à m , nous pouvons considérer le cas particulier dans lequel, pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou
35 égal à m , l'unité de détection numéro a délivre : un premier signal de sortie d'unité de détection proportionnel à la tension $u_a(t)$ aux bornes de l'accès utilisateur numéro a ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel au courant $i_a(t)$ entrant dans cet accès utilisateur. Dans ce cas, l'unité de traitement du signal (2) peut par exemple effectuer une "in-

phase/quadrature (I/Q) down-conversion” de tous les signaux de sortie d’unité de détection, pour obtenir, pour tout entier a supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , quatre signaux analogiques : la partie réelle de $u_{Ea}(t)$; la partie imaginaire de $u_{Ea}(t)$; la partie réelle de $i_{Ea}(t)$; et la partie imaginaire de $i_{Ea}(t)$. Ces signaux analogiques peuvent alors être convertis en signaux

5 numériques et être ensuite traités dans le domaine numérique, pour estimer q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, qui caractérisent complètement la matrice impédance présentée par les accès utilisateur.

L’instruction d’accord peut être de n’importe quel type de message numérique.

Dans ce premier mode de réalisation, l’instruction d’accord est telle que la matrice

10 impédance présentée par les accès utilisateur est sensiblement égale à une matrice impédance recherchée donnée par

$$\mathbf{Z}_w = \begin{pmatrix} 50,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 50,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 50,0 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & 50,0 \end{pmatrix} \Omega \quad (5)$$

Puisque, comme expliqué plus haut, les q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur déterminent complètement \mathbf{Z}_U , l’unité de

15 traitement du signal détermine et délivre une instruction d’accord telle que les signaux de contrôle d’accord résultants produisent un \mathbf{Z}_U tel qu’une norme de $\mathbf{Z}_U - \mathbf{Z}_w$ soit petite ou nulle. Le spécialiste comprend comment l’instruction d’accord peut être déterminée. Le fonctionnement de l’unité de traitement du signal est tel qu’une instruction d’accord est générée à la fin d’une séquence d’accord, et est valide jusqu’à ce qu’une instruction d’accord suivante

20 soit générée à la fin d’une séquence d’accord suivante.

Le dispositif externe délivre aussi des “instructions du dispositif externe” à l’unité de traitement du signal (2), les dites instructions du dispositif externe informant l’unité de traitement du signal que les dites excitations ont été appliquées, ou sont en train d’être appliquées, ou seront appliquées. Par exemple, le dispositif externe peut initier une séquence

25 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 nécessaires pour

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

Les accès cible voient, à ladite fréquence donnée, une matrice impédance appelée “la matrice impédance vue par les accès cible” et notée \mathbf{Z}_A . La matrice impédance vue par les accès cible est une matrice complexe carrée d’ordre n . Le spécialiste comprend que \mathbf{Z}_U dépend de \mathbf{Z}_A .

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 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 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 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 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 définie, l'application ayant, à une valeur donnée de chacune des p réactances, une dérivée partielle par rapport à chacune des p réactances, un sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles étant défini dans l'ensemble des matrices complexes carrées d'ordre m considéré comme un espace vectoriel réel, toute matrice complexe diagonale d'ordre m ayant les mêmes éléments diagonaux qu'au moins un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles. Ceci doit être interprété comme signifiant : l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples est telle que, à ladite fréquence donnée, il existe une matrice impédance non diagonale appelée la matrice impédance non diagonale donnée, la matrice impédance non diagonale donnée étant telle que, si une matrice impédance vue par les accès 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. Clavier intitulé "Some Properties of Multiple-Antenna-Port and Multiple-User-Port Antenna Tuners", publié dans *IEEE Trans. on Circuits and Systems — I: Regular Papers*, Vol. 62, No. 2, aux pages 423-432, en février 2015. Dans ledit article, ladite dimension du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles est appelée "local dimension of the user port impedance range" et est notée $D_{UR}(\mathbf{Z}_{Sam})$. Un spécialiste comprend que, pour obtenir que toute matrice complexe diagonale d'ordre m ait les mêmes éléments diagonaux qu'au moins un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles, il est nécessaire que la dimension du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles considéré comme un espace vectoriel réel soit supérieure ou égale à la dimension du sous-espace vectoriel des matrices complexes diagonales d'ordre m considéré comme un espace vectoriel réel. Puisque la dimension du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles considéré comme un espace vectoriel réel est inférieure ou égale à p , et puisque la dimension du sous-espace vectoriel des matrices complexes diagonales d'ordre m considéré comme un espace vectoriel réel est égale à $2m$, la condition nécessaire implique que p est un entier supérieur ou égal à $2m$. C'est pourquoi l'exigence " p est un entier supérieur ou égal à $2m$ " est une caractéristique essentielle de l'invention.

Les caractéristiques de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3) sont telles que l'appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance permet, à ladite fréquence donnée, un transfert de puissance presque sans pertes depuis les accès utilisateur vers les accès cible, et un transfert de puissance presque sans pertes depuis les accès cible vers les accès utilisateur.

Si l'appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance 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 \mathbf{Z}_A 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 \mathbf{Z}_A , et \mathbf{Z}_A dépend de la position du corps de l'utilisateur. Ceci est appelé "interaction utilisateur" (en anglais: "user interaction"), ou "effet de main" (en anglais: "hand effect") ou "effet de doigt"

(en anglais: “finger effect”). Le spécialiste comprend que l’appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance peut être utilisé pour compenser une variation de Z_A causée par une variation de la fréquence d’utilisation, et/ou pour compenser l’interaction utilisateur.

5 Deuxième mode de réalisation.

Le deuxième mode de réalisation d’un dispositif selon l’invention, donné à titre d’exemple non limitatif, correspond également à l’appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance présentée par $m = 4$ accès utilisateur 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, 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 deuxième 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) ;
- $m = 4$ accès d’entrée (312) (322) (332) (342) ;
- 15 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 ;
- $n(n - 1)/2$ 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 ;
- 20 $n = m$ 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 réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès d’entrée ;
- 25 $m(m - 1)/2$ 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.

Comme montré sur la figure 1, chacun des accès de sortie (311) (321) (331) (341) est directement couplé à un et un seul des accès cible (111) (121) (131) (141), et chacun des accès d’entrée (312) (322) (332) (342) est indirectement couplé à un et un seul des accès utilisateur (112) (122) (132) (142) à travers une des unités de détection (1). Ainsi, à ladite fréquence donnée, la matrice impédance vue par les accès de sortie est égale à la matrice impédance vue par les accès cible. Les unités de détection sont telles que, à ladite fréquence donnée, la matrice impédance présentée par les accès d’entrée est voisine de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur.

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.

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
 5 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 deuxième 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-
 10 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
 15 2015.

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
 20 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
 25 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
 30 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
 35 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.

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 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 de Z_W .

5 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. Un premier processus adaptatif possible est le suivant : pendant chacune des dites séquences d'accord, l'unité de traitement du signal estime la partie réelle et la partie imaginaire des m^2 éléments de Z_U , qui sont $q = 2m^2$ quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès

10 utilisateur ; l'unité de traitement du signal calcule la partie réelle et la partie imaginaire des m^2 éléments de la matrice admittance présentée par les accès utilisateur, qui est égale à Z_U^{-1} ; et l'unité de traitement du signal détermine une instruction d'accord telle qu'une norme de l'image de cette matrice admittance, calculée comme dit plus haut, par une fonction matricielle soit réduite (si bien que nous pouvons aussi dire qu'une norme de l'image de Z_U par une fonction

15 matricielle est réduite). Un deuxième processus adaptatif possible est le suivant : pendant chacune des dites séquences d'accord, l'unité de traitement du signal estime la partie réelle et la partie imaginaire des m^2 éléments de la matrice admittance présentée par les accès utilisateur, qui sont $q = 2m^2$ quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur ; et l'unité de traitement du signal détermine une instruction d'accord telle qu'une

20 norme de l'image de cette matrice admittance, estimée comme dit plus haut, par une fonction matricielle soit réduite (si bien que nous pouvons aussi dire qu'une norme de l'image de Z_U par une fonction matricielle est réduite). Un troisième processus adaptatif possible est le suivant : pendant chacune des dites séquences d'accord, l'unité de traitement du signal estime la partie réelle et la partie imaginaire des m^2 éléments de la matrice admittance présentée par les accès

25 utilisateur ; et l'unité de traitement du signal détermine une instruction d'accord telle que la matrice admittance présentée par les accès utilisateur soit sensiblement égale à une matrice admittance recherchée égale à l'inverse de Z_W .

Le spécialiste comprend que, dans de nombreuses applications possibles, la matrice impédance vue par les accès cible est une matrice symétrique, si bien que la matrice impédance

30 présentée par les accès utilisateur et la matrice admittance présentée par les accès utilisateur sont des matrices symétriques qui sont chacune complètement définies par $m(m+1)$ quantités réelles. Ainsi, seulement $m(m+1)$ quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur sont nécessaires pour définir complètement la matrice impédance présentée par les accès utilisateur et la matrice admittance présentée par les accès

35 utilisateur. Le spécialiste comprend comment les trois processus adaptatifs possibles définis ci-dessus peuvent utiliser cette propriété et/ou être modifiés pour tirer parti de cette propriété.

Le spécialiste comprend l'avantage d'utiliser la partie réelle et la partie imaginaire des éléments de la matrice admittance présentée par les accès utilisateur, qui est lié au fait que les

réactances des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (304) (305) ayant chacun une borne couplée à un des accès d'entrée n'ont aucune influence sur la partie réelle de la matrice admittance présentée par les accès utilisateur. Par conséquent, il est possible de déterminer d'abord une variation des réactances des $m(m+1)/2$ dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (301) (302) ayant chacun une borne couplée à un des accès de sortie, pour réduire ou minimiser une norme de l'image de la partie réelle de \mathbf{Z}_U^{-1} par une fonction matricielle ; et de déterminer ensuite une variation des réactances des $m(m+1)/2$ dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord (304) (305) ayant chacun une borne couplée à un des accès d'entrée, pour réduire ou minimiser une norme de l'image de la partie imaginaire de \mathbf{Z}_U^{-1} par une fonction matricielle. Le spécialiste comprend pourquoi cette approche est avantageuse pour déterminer une instruction d'accord.

Le spécialiste comprend que, si la matrice impédance vue par les accès cible est une matrice symétrique, toute petite variation de la matrice impédance vue par les accès cible peut être compensée automatiquement. Ainsi, il est toujours possible d'accorder automatiquement et exactement la matrice impédance présentée par les accès utilisateur.

Troisième mode de réalisation.

Le troisième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également à l'appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance présentée par $m = 4$ accès utilisateur représenté sur la figure 1, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables à ce troisième mode de réalisation. 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 troisième 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) ;
- $m = 4$ 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 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 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 la figure 1, chacun des accès de sortie (311) (321) (331) (341) est directement couplé à un et un seul des accès cible (111) (121) (131) (141), et chacun des accès d'entrée (312) (322) (332) (342) est indirectement couplé à un et un seul des accès utilisateur
 5 (112) (122) (132) (142) à travers une des unités de détection (1). Ainsi, à ladite fréquence donnée, la matrice impédance vue par les accès de sortie est égale à la matrice impédance vue par les accès cible. Les unités de détection sont telles que, à ladite fréquence donnée, la matrice impédance présentée par les accès d'entrée est voisine de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur.

10 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.

15 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
 20 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
 25 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.

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
 30 une norme de la matrice des coefficients de réflexion en tension aux accès utilisateur, pour un ensemble fini d'instructions d'accord, et une instruction d'accord produisant la plus petite norme est sélectionnée. Le spécialiste comprend que ce processus adaptatif implique beaucoup moins de calculs que les processus adaptatifs considérés dans le deuxième mode de réalisation. Le spécialiste comprend que le processus adaptatif de ce troisième mode de réalisation est très
 35 simple dans le cas où chacune des unités de détection est telle que les deux signaux de sortie d'unité de détection délivrés par ladite chacune des unités de détection comportent : un premier signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une tension incidente à un des accès utilisateur ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une tension

réfléchi au dit un des accès utilisateur.

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
 5 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.

Quatrième mode de réalisation.

Au titre d'un quatrième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre
 10 d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 4 le schéma bloc d'un appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance présentée par $m = 4$ accès utilisateur, à une fréquence donnée supérieure ou égale à 300 MHz, l'appareil ayant les dits m accès utilisateur (112) (122) (132) (142) et $n = 4$ accès cible (111) (121) (131) (141), la matrice impédance étant appelée "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur", l'appareil comportant :

15 m unités de détection (1), 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 (2), l'unité de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, où q
 20 est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour m excitations appliquées aux accès utilisateur, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur, les m excitations étant des signaux passe-bande qui ne sont pas appliqués successivement, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction d'accord" en fonction des dites q
 25 quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur ;

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
 30 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 ayant une influence sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la réactance de n'importe
 35 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 (2), 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 (1) 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 entrant dans ledit un des accès cible. Ladite tension aux bornes d'un des accès cible peut être une tension complexe et ledit courant entrant dans ledit un des accès cible peut être un courant complexe. Alternativement, chacune des unités de détection (1) 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.

Le spécialiste comprend les conséquences du fait que, dans ce quatrième mode de réalisation, les signaux de sortie d'unité de détection sont déterminés par des variables électriques mesurées aux accès cible, alors que, dans le premier mode de réalisation, les signaux de sortie d'unité de détection sont déterminés par des variables électriques mesurées aux accès utilisateur. Le spécialiste comprend comment, en prenant ce fait en compte, l'unité de traitement du signal peut utiliser les signaux de sortie d'unité de détection pour estimer q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Une conséquence de ce fait est par exemple que, dans ce quatrième mode de réalisation, des calculs particuliers sont nécessaires pour déterminer des quantités réelles représentatives de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Par exemple, de tels calculs particuliers peuvent nécessiter la connaissance de la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord, correspondant à une instruction d'accord qui était valide lorsque les variables électriques furent mesurées aux accès cible. Le spécialiste note que, dans ledit brevet des États-Unis d'Amérique n° 8,299,867, un unique signal de sortie d'unité de détection est déterminé par une variable électrique mesurée à un unique 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 4. Le dispositif externe applique les excitations aux accès utilisateur. Le dispositif externe

5 délivre aussi des "instructions du dispositif externe" à l'unité de traitement du signal (2), les dites instructions du dispositif externe informant l'unité de traitement du signal qu'une ou plusieurs des dites excitations ont été appliquées, ou sont en train d'être appliquées, ou seront appliquées. 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 montrés sur la figure 4.

Dans ce quatrième mode de réalisation, un processus adaptatif est effectué 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

15 la partie réelle et la partie imaginaire de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, et utilise une table de consultation (en anglais: "lookup table" ou "look-up table") pour déterminer une instruction d'accord. Le spécialiste comprend comment construire et utiliser une table de consultation.

Cinquième mode de réalisation.

20 Au titre d'un cinquième 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 pour communication radio utilisant un appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance selon l'invention. L'émetteur pour communication radio représenté sur la figure 5 est un émetteur pour communication radio avec une pluralité d'antennes dans une bande de

25 fréquences donnée, comportant :

$n = 4$ accès de sortie antenne, chacun des accès de sortie antenne étant couplé à une antenne (9) ;

un dispositif de traitement du signal à sorties multiples (6) traitant un signal délivré par une source (5), le dispositif de traitement du signal à sorties multiples ayant $m = 4$ sorties

30 signal, chacune des sorties signal délivrant un signal numérique lorsque ladite chacune des sorties signal est active, le dispositif de traitement du signal à sorties multiples délivrant des "instructions de séquence d'accord" qui indiquent quand une séquence d'accord est en train d'être effectuée, m excitations étant appliquées pendant ladite séquence d'accord, chacune des dites m excitations correspondant à un signal

35 numérique délivré par une et une seule des sorties signal pendant ladite séquence d'accord, au moins deux des sorties signal étant simultanément actives pendant ladite

séquence d'accord ;

m circuits de conversion et de traitement analogique (7), chacune des sorties signal du dispositif de traitement du signal à sorties multiples (6) étant couplée à une entrée d'un des circuits de conversion et de traitement analogique, chacun des circuits de conversion et de traitement analogique ayant une sortie qui délivre un signal analogique dans ladite bande de fréquences donnée ;

m amplificateurs de puissance (8), chacun des amplificateurs de puissance ayant une entrée qui est couplée à la sortie d'un des circuits de conversion et de traitement analogique (7), chacun des amplificateurs de puissance ayant un accès de sortie, les amplificateurs de puissance délivrant les dites excitations aux accès de sortie des amplificateurs de puissance, la matrice impédance vue, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, par les accès de sortie des amplificateurs de puissance étant appelée "la matrice impédance vue par les accès de sortie des amplificateurs de puissance" ;

m unités de détection (1), chacune des unités de détection délivrant un ou plusieurs "signaux de sortie d'unité de détection", chacun des signaux de sortie d'unité de détection étant déterminé par une ou plusieurs variables électriques ;

une unité de traitement du signal (2), l'unité de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance vue par les accès de sortie des amplificateurs de puissance, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les instructions de séquence d'accord et les signaux de sortie d'unité de détection obtenus 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 vue par les accès de sortie des amplificateurs de puissance ;

une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3), qui est identique à celle utilisée dans le deuxième mode de réalisation, chacun des accès de sortie de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples étant couplé à une et une seule des antennes à travers un des accès de sortie antenne, chacun des accès d'entrée de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples étant couplé à un et un seul des accès de sortie des amplificateurs de puissance à travers une des unités de détection ;

une unité de contrôle d'accord (4), qui est identique à celle utilisée dans le deuxième mode de réalisation.

Le spécialiste comprend que les "accès de sortie antenne" de ce cinquième mode de réalisation correspondent aux "accès cible" du premier mode de réalisation, et que "la matrice impédance vue par les accès de sortie des amplificateurs de puissance" de ce cinquième mode de réalisation correspond à "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur" du premier mode de réalisation.

Durant chacune des dites excitations, chacun des amplificateurs de puissance présente une impédance connue à son accès de sortie, et le courant de court-circuit du circuit équivalent de Norton de l'accès de sortie du dit chacun des amplificateurs de puissance est également connu. Ainsi, le spécialiste comprend que la mesure de tensions complexes aux accès de sortie des amplificateurs de puissance est suffisante pour déterminer tous les éléments de la matrice impédance vue par les accès de sortie des amplificateurs de puissance. Par conséquent, chacune des unités de détection (1) peut par exemple délivrer un seul signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une variable électrique, la variable électrique étant une tension aux bornes d'un des accès de sortie des amplificateurs de puissance, ladite tension étant une tension complexe.

Le spécialiste comprend que toute petite variation de la matrice impédance du réseau d'antennes à accès multiples formé par les antennes, causée par un changement de la fréquence d'utilisation ou un changement du milieu entourant les antennes, par exemple due à l'interaction utilisateur, peut être compensée par un réglage automatique des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord, pour obtenir que la matrice impédance vue par les accès de sortie des amplificateurs de puissance reste proche d'une matrice impédance recherchée, par exemple la matrice impédance recherchée donnée par l'équation (5). Ainsi, il est toujours possible d'obtenir les meilleures performances de l'émetteur pour communication radio avec une pluralité d'antennes.

Par conséquent, ce cinquième mode de réalisation procure une solution au problème d'accorder automatiquement une matrice impédance vue par un émetteur radio utilisé pour des communications radio MIMO, d'une façon qui respecte les normes typiquement applicables aux réseaux radio MIMO.

INDICATIONS SUR LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

La méthode et l'appareil selon l'invention sont adaptés pour accorder automatiquement la matrice impédance vue par les accès d'entrée signal radiofréquence d'un récepteur radio utilisant une pluralité d'antennes simultanément, ou vue par les accès de sortie signal radiofréquence d'un émetteur radio utilisant une pluralité d'antennes simultanément. Dans de telles applications, chaque accès cible de l'appareil selon l'invention peut être couplé à une antenne et chaque accès utilisateur de l'appareil 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, la méthode et l'appareil selon l'invention sont adaptés à la communication radio MIMO.

L'émetteur radio selon l'invention est aussi adapté à la communication radio MIMO.

L'émetteur radio selon l'invention procure 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.

L'émetteur radio selon l'invention procure les meilleures caractéristiques possibles en utilisant un très grand nombre d'antennes dans un volume donné, présentant donc une forte
5 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.

Un émetteur radio selon l'invention peut être utilisé dans un dispositif qui comporte aussi un récepteur radio ayant une ou plusieurs parties en commun avec l'émetteur radio selon
10 l'invention. Par exemple, des antennes et/ou une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples utilisées dans un émetteur radio selon l'invention peuvent aussi être des parties d'un récepteur radio.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour accorder automatiquement une matrice impédance présentée, à une fréquence donnée, par m accès (112) (122) (132) (142) d'un appareil, où m est un entier supérieur ou égal à 2, chacun des dits m accès étant appelé "accès utilisateur", l'appareil ayant les dits m accès utilisateur et n autres accès (111) (121) (131) (141), où n est un entier supérieur ou égal à 2, chacun des dits n autres accès étant appelé "accès cible", ladite matrice impédance étant appelée "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur", l'appareil permettant, à ladite fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les accès utilisateur vers les accès cible, 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, les m excitations n'étant pas appliquées successivement ;
- estimer q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les dites m excitations ;
- utiliser les dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, pour obtenir des "signaux de contrôle d'accord" ;
- régler la matrice impédance présentée par les accès utilisateur en utilisant 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 $2m$, les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord" et étant tels que, à ladite fréquence donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord a une réactance, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ayant une influence sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant réglable par moyen électrique ;
- 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 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 utilisateur.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, 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.

5 4. Appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance présentée, à une fréquence donnée, par m accès (112) (122) (132) (142) de l'appareil, où m est un entier supérieur ou égal à 2, chacun des dits m accès étant appelé "accès utilisateur", l'appareil ayant les dits m accès utilisateur et n autres accès (111) (121) (131) (141), où n est un entier supérieur ou égal à 2, chacun des dits n autres accès étant appelé "accès cible", ladite matrice impédance étant appelée
 10 "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur", l'appareil permettant, à ladite fréquence donnée, un transfert de puissance depuis les accès utilisateur vers les accès cible, l'appareil comportant :

au moins m unités de détection (1), chacune des unités de détection délivrant un ou plusieurs "signaux de sortie d'unité de détection", chacun des signaux de sortie d'unité
 15 de détection étant principalement déterminé par une ou plusieurs variables électriques ;
 une unité de traitement du signal (2), l'unité de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour m excitations appliquées aux accès utilisateur, une et une seule
 20 des excitations étant appliquée à chacun des accès utilisateur, les m excitations n'étant pas appliquées successivement, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction d'accord" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur ;

une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3), l'unité
 25 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 $2m$, 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
 30 lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord ayant une influence sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'unité d'accord étant réglable par moyen électrique ;

une unité de contrôle d'accord (4), l'unité de contrôle d'accord recevant l'instruction
 35 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.

5. Appareil 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 utilisateur ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une seconde variable électrique, la seconde variable électrique étant un courant entrant dans ledit un des accès utilisateur.
- 10 6. Appareil selon l'une quelconque des revendications 4 ou 5, dans lequel les signaux de sortie d'unité de détection délivrés par chacune des unités de détection comportent : un premier signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une première variable électrique, la première variable électrique étant une tension incidente à un des accès utilisateur ; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une seconde variable électrique, la seconde variable électrique étant une tension réfléchie au dit un des accès utilisateur.
- 15 7. Appareil 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.
8. Appareil 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 utilisateur.
- 20 9. Appareil selon l'une quelconque des revendications 4 à 8, dans lequel, chacune des excitations ayant une et une seule enveloppe complexe, les m enveloppes complexes des m excitations sont linéairement indépendantes dans l'ensemble des fonctions complexes d'une variable réelle, considéré comme un espace vectoriel sur le corps des nombres complexes.
10. Emetteur pour communication radio avec une pluralité d'antennes dans une bande de fréquences donnée, comportant :
- 30 n accès de sortie antenne, où n est un entier supérieur ou égal à 2 ;
 m amplificateurs de puissance (8), où m est un entier supérieur ou égal à 2, chacun des amplificateurs de puissance ayant un accès de sortie, chacun des amplificateurs de

puissance pouvant délivrer une puissance dans ladite bande de fréquences donnée, une partie de ladite puissance étant transférée aux accès de sortie antenne, les accès de sortie des amplificateurs de puissance voyant, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, une matrice impédance appelée "la matrice impédance vue par les accès de sortie des amplificateurs de puissance", la matrice impédance vue par les accès de sortie des amplificateurs de puissance étant une matrice complexe carrée d'ordre m ;

5 au moins m unités de détection (1), 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 (2), l'unité de traitement du signal estimant q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance vue par les accès de sortie des amplificateurs de puissance, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour m excitations appliquées par les amplificateurs de puissance aux accès de sortie des amplificateurs de puissance, une et une seule des excitations étant appliquée à chacun des accès de sortie des amplificateurs de puissance, les m excitations n'étant pas appliquées successivement, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction d'accord" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance vue par les accès de sortie des amplificateurs de puissance ;

15 une unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples (3) comportant p dispositifs à impédance réglable, où p est un entier supérieur ou égal à $2m$, 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 dans ladite 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 ayant une influence sur la matrice impédance vue par les accès de sortie des amplificateurs de puissance, 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

35

1 / 5

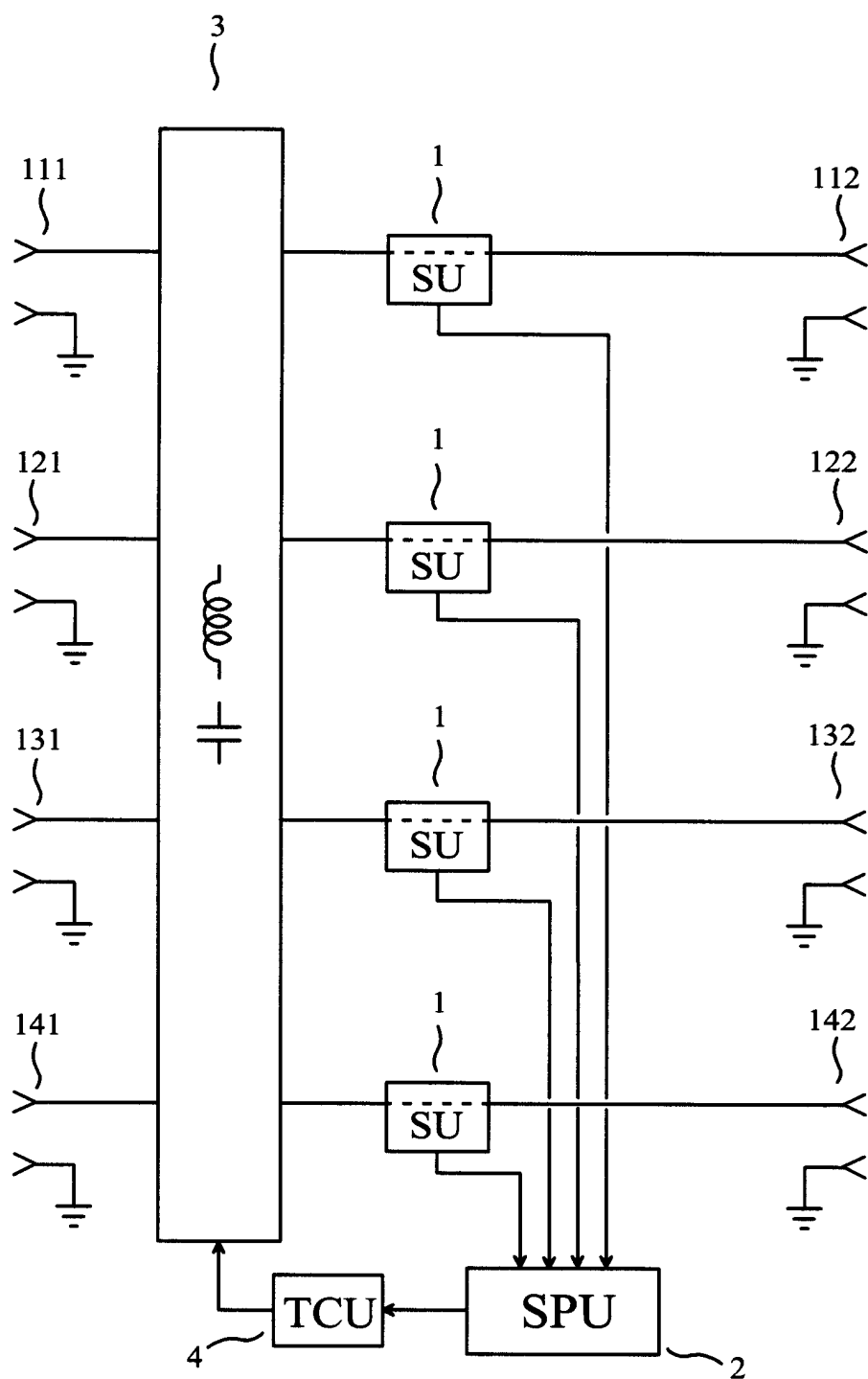


FIG. 1

2 / 5

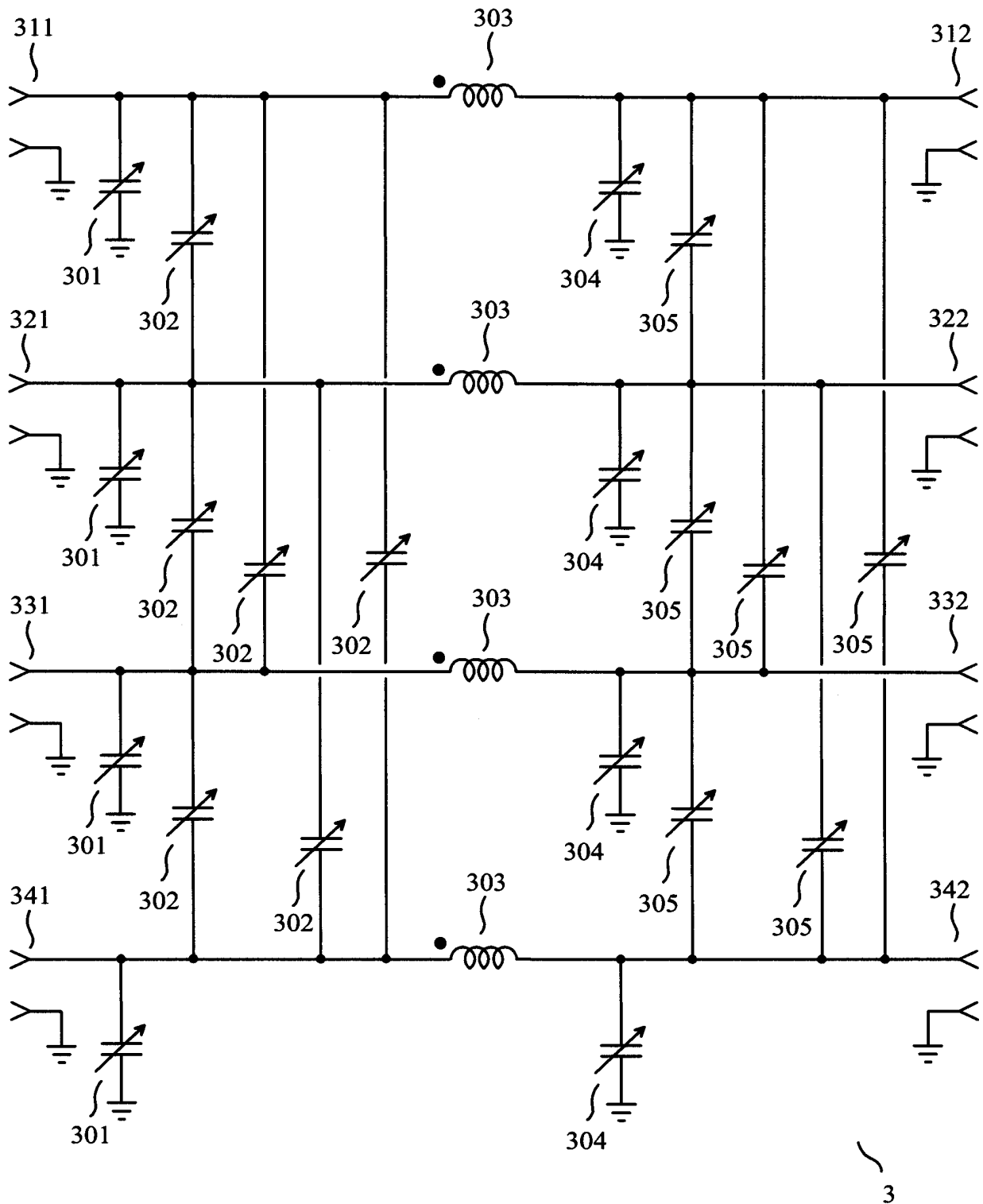


FIG. 2

3 / 5

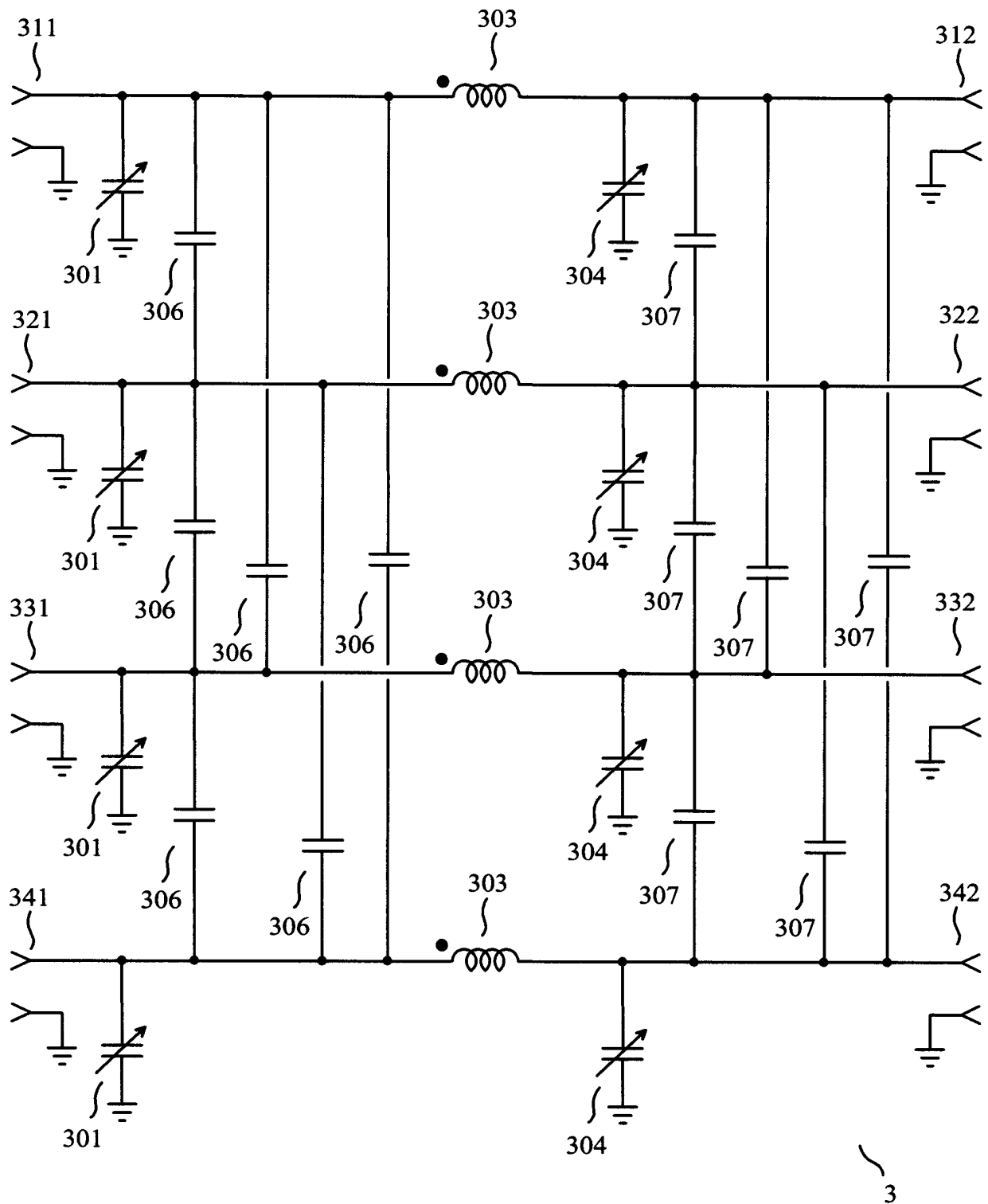


FIG. 3

4 / 5

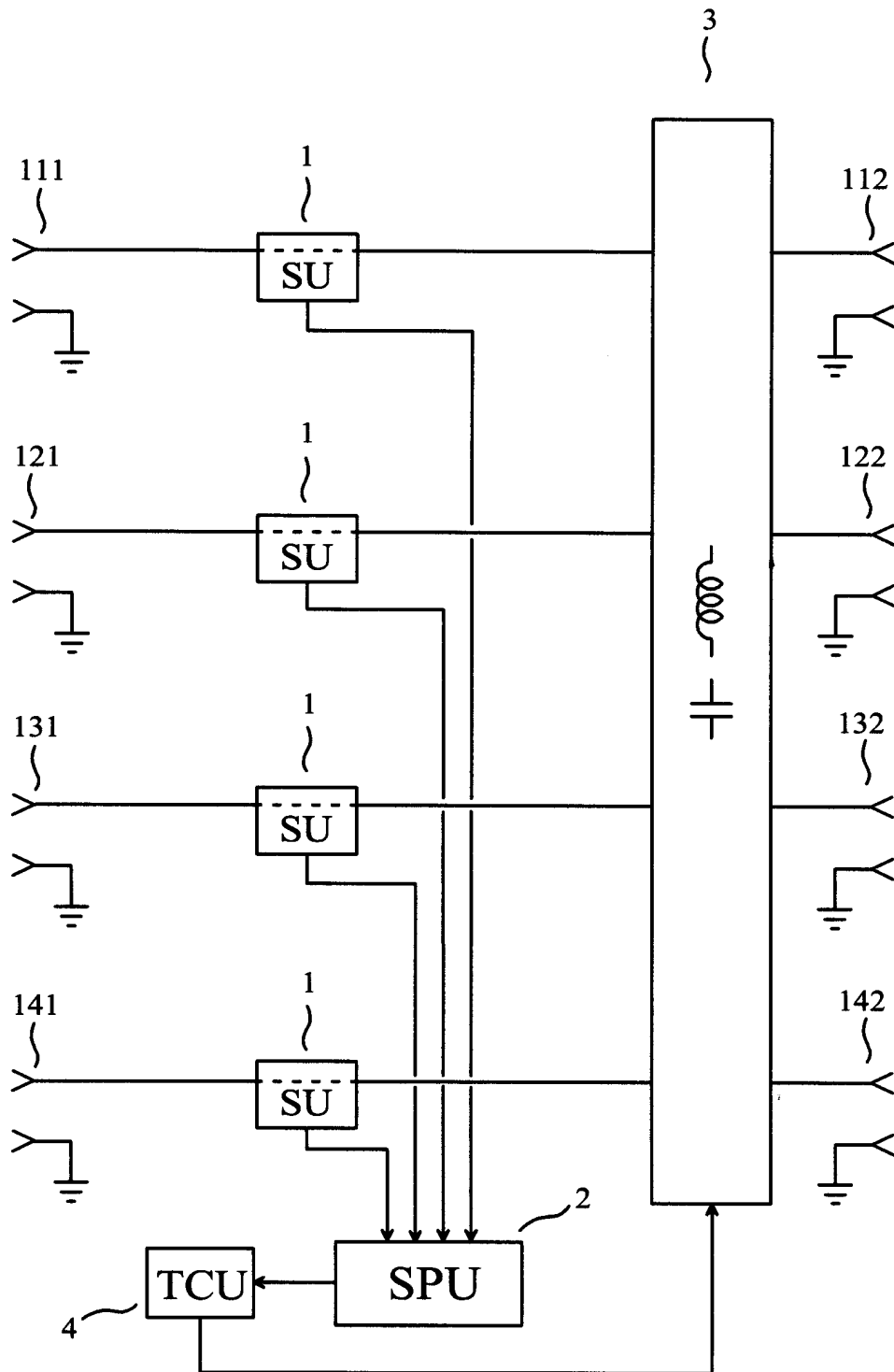


FIG. 4

5 / 5

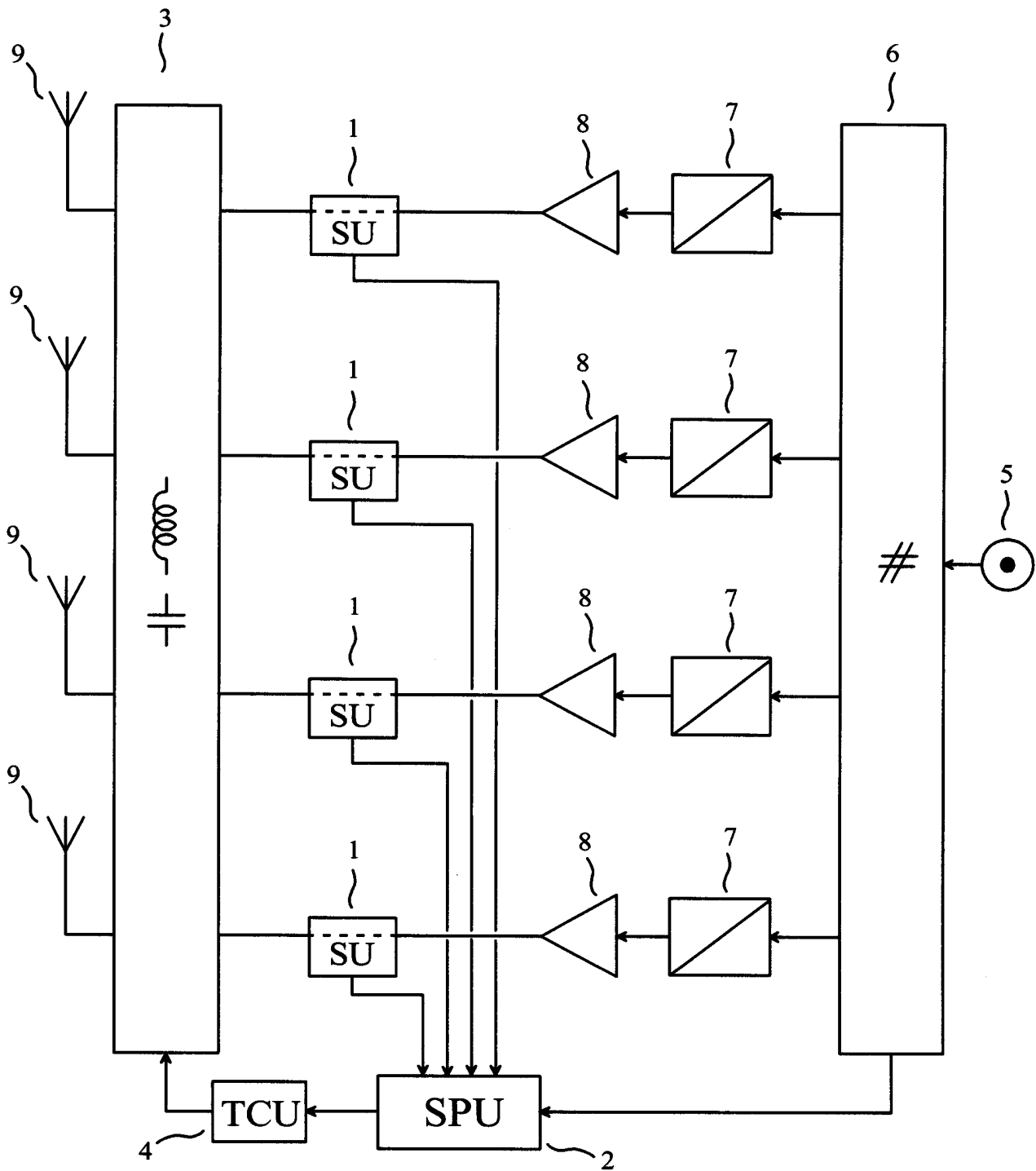


FIG. 5

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 814530
FR 1501290

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 A	US 2015/078485 A1 (BROYDE FRÉDÉRIC [FR] ET AL) 19 mars 2015 (2015-03-19) * alinéa [0065]; revendications 1,5,12; figures 2,3 * ----- 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 *	1,2,4-8, 10 3,9 1-10	H03H7/38
A	WO 2008/030165 A1 (LAU BUON KIONG [SE]; BACH ANDERSEN JOERGEN [DK]) 13 mars 2008 (2008-03-13) * page 9 - page 16 * -----	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H03H H01Q H04B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
17 février 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 1501290 FA 814530**

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 **17-02-2016**
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
US 2015078485 A1	19-03-2015	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

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
