

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

①① N° de publication : **3 004 604**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②① N° d'enregistrement national : **13 00878**
⑤① Int Cl⁸ : **H 03 H 7/38** (2016.01)

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PROCÉDE ET APPAREIL POUR ACCORDER AUTOMATIQUEMENT UNE MATRICE IMPEDANCE, ET EMETTEUR RADIO UTILISANT CET APPAREIL.

②② Date de dépôt : 15.04.13.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 17.10.14 Bulletin 14/42.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 09.12.16 Bulletin 16/49.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

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

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

⑦③ Titulaire(s) : SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.

⑦④ Mandataire(s) : SANTARELLI.

FR 3 004 604 - B1



Procédé et appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance,
et émetteur radio utilisant cet appareil

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5

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.

10 ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Accorder une impédance signifie obtenir qu'une impédance présentée par un accès d'entrée d'un dispositif soit voisine d'une impédance recherchée, et offrir simultanément un transfert de puissance sans perte, ou presque sans perte, depuis l'accès d'entrée vers un accès de sortie du dispositif, dans un contexte où l'impédance vue par l'accès de sortie peut varier. Ainsi, si un
15 générateur de signal présentant une impédance égale au complexe conjugué de l'impédance recherchée est connecté à l'accès d'entrée, il fournira une puissance maximale à l'accès d'entrée, 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
20 à accès d'entrée unique et accès de sortie unique sont présentés dans la section sur l'état de l'art antérieur de la demande de brevet français numéro 12/02542 du 25 septembre 2012, intitulée "Appareil d'accord d'antenne pour un réseau d'antennes à accès multiples", chacun de ces exemples étant désigné comme un appareil d'accord d'antenne qui pourrait être utilisé pour accorder une unique antenne. Une unité d'accord à accès d'entrée unique et accès de sortie
25 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 décrits, qui utilisent une ou plusieurs quantités réelles dépendantes de l'impédance présentée par
30 l'accès d'entrée, ces quantités réelles étant traitées pour obtenir des "signaux de contrôle d'accord", les signaux de contrôle d'accord étant utilisés pour contrôler les réactances des dispositifs à impédance réglable d'une unité d'accord à entrée unique et sortie unique.

Par exemple, dans un appareil pour accorder automatiquement une impédance divulgué dans le brevet des États-Unis d'Amérique numéro 2,523,791, intitulé "Automatic Tuning System",
35 dans un appareil pour accorder automatiquement une impédance divulgué dans le brevet des États-Unis d'Amérique numéro 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 numéro 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,

5 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

10 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 numéro 2,745,067 et numéro 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

15 numéro 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 numéro 4,356,458, intitulé “Automatic Impedance

20 Matching Apparatus” et dans un appareil pour accorder automatiquement une impédance divulgué dans le brevet des États-Unis d’Amérique numéro 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

25 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

30 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

35 le brevet des États-Unis d’Amérique numéro 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.

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

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

35 Accorder une matrice impédance signifie obtenir qu'une matrice impédance présentée par une pluralité d'accès d'entrée d'un dispositif soit voisine d'une matrice impédance recherchée, et offrir simultanément un transfert de puissance sans perte, ou presque sans perte, depuis la pluralité d'accès d'entrée vers une pluralité d'accès de sortie du dispositif, dans un contexte où

la matrice impédance vue par la pluralité d'accès de sortie peut varier. Ainsi, si les accès d'un générateur de signal à accès multiples présentant une matrice impédance égale à la matrice 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 numéro 12/02542, 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 la matrice impédance d'une pluralité d'accès, dans le cas particulier où les interactions entre les accès d'une charge à accès multiples sont très petites et où la matrice impédance recherchée est diagonale. Malheureusement, il n'y a pas de solution connue au problème d'accorder automatiquement la matrice impédance d'une pluralité d'accès, dans le cas où les interactions entre les accès de la charge à accès multiples 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.

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.

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 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 :

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 au moins m excitations différentes appliquées successivement aux accès utilisateur ;
utiliser les dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, pour obtenir des “signaux de contrôle d’accord” ;
5 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 $2m$, chacun des dispositifs à impédance réglable ayant une réactance à ladite fréquence donnée, la réactance de
10 n’importe lequel des dispositifs à impédance réglable ayant une influence sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la réactance de n’importe lequel des dispositifs à impédance réglable étant réglable par moyen électrique ;
appliquer chacun des signaux de contrôle d’accord à au moins un des dispositifs à impédance réglable, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable étant
15 principalement déterminée par au moins 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 négligeables ou nulles, cette
20 caractéristique étant préférée.

Selon l’invention, chacune des au moins m excitations différentes appliquées successivement aux accès utilisateur peut par exemple comporter un signal sinusoïdal à ladite fréquence donnée, par exemple un courant sinusoïdal à ladite fréquence donnée appliqué à un et un seul des accès utilisateur, ledit un et un seul des accès utilisateur étant un accès utilisateur
25 différent pour chacune des au moins m excitations différentes. Cependant, ceci n’est nullement une caractéristique de l’invention. Par exemple, au moins une des au moins m excitations différentes peut comporter un signal sinusoïdal à une fréquence voisine mais différente de ladite fréquence donnée, ou un signal non sinusoïdal. Par exemple, au moins une des au moins m excitations différentes peut comporter des courants et/ou des tensions appliqués simultanément
30 à une pluralité d’accès utilisateur. Le spécialiste comprend quelles sont les caractéristiques des au moins m excitations différentes qui sont nécessaires pour estimer précisément les q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur.

Le spécialiste comprend que, selon l’invention, les signaux de contrôle d’accord sont obtenus après que les au moins m excitations différentes ont été successivement appliquées et
35 les q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur ont été estimées. Le spécialiste comprend que cette caractéristique de la méthode selon l’invention ne peut pas être obtenue avec la pluralité d’appareils pour accorder automatiquement une impédance, utilisée pour accorder la matrice impédance d’une pluralité d’accès, mentionnée

plus haut dans la section sur l'état de l'art antérieur. Le spécialiste comprend que cette caractéristique évite les interférences qui font échouer le fonctionnement d'une pluralité d'appareils pour accorder automatiquement une impédance, utilisée pour accorder la matrice impédance d'une pluralité d'accès, dans le cas où les interactions entre les accès d'une charge à accès multiples ne sont pas très petites.

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, 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 un bipôle linéaire passif, et qui sont par conséquent
 5 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 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
 10 faire contribuer différents condensateurs du réseau à la réactance, une inductance variable, un réseau comportant une pluralité d'inductances et un ou plusieurs interrupteurs ou commutateurs utilisés pour faire contribuer différentes inductances du réseau à la réactance, ou un réseau comportant une pluralité de tronçons de ligne de transmission en circuit ouvert ou en 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
 15 notons que tous les exemples de cette liste, excepté la résistance variable, sont destinés à produire une réactance réglable.

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

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

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

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

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

présentée par les accès utilisateur soit influencé par la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable. Le procédé selon l'invention peut être tel que la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable a une influence sur au moins un élément non diagonal de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Le spécialiste comprend que cette

5 caractéristique évite la faculté de réglage limitée d'une pluralité d'appareils pour accorder automatiquement une impédance, utilisée pour accorder la matrice impédance d'une pluralité d'accès, mentionnée plus haut dans la section sur l'état de l'art antérieur. Cette question sera explorée plus en détail dans 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

10 automatiquement une matrice impédance présentée, à une fréquence donnée, par m accès 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, 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 ,

15 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, 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 ;
- 20 une unité de traitement du signal, 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 au moins m excitations différentes appliquées successivement aux accès utilisateur, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction d'accord" en
- 25 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 $2m$, chacun des dispositifs
- 30 à impédance réglable ayant une réactance à ladite fréquence donnée, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable ayant une influence sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable 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
- 35 l'instruction d'accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable

étant principalement déterminée par au moins un des signaux de contrôle d'accord.

Par exemple, chacune des dites variables électriques peut être une tension, ou une tension 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
 5 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
 10 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 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
 15 sortie de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples et accès de sortie multiples soit couplé, directement ou indirectement, à un et un seul des n accès cible, et que chacun des n accès cible soit couplé, directement ou indirectement, à un et un seul des n accès de sortie de l'unité d'accord à accès d'entrée multiples 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.

20 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 ;

25 - l'appareil selon l'invention est adaptatif dans le sens que des paramètres de circuit, à savoir les réactances des dispositifs à impédance réglable, 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
 30 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
 35 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 :

- 5 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 cette puissance étant transférée aux accès de sortie antenne, les accès de
- 10 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 ;
- 15 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
- 20 puissance, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour au moins m excitations différentes appliquées successivement par les amplificateurs de puissance aux accès de sortie des amplificateurs de puissance, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction d'accord" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice
- 25 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, 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 $2m$, chacun des dispositifs à impédance réglable ayant une réactance à ladite fréquence dans ladite bande de
- 30 fréquences donnée, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable 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 étant réglable par moyen électrique ;
- une unité de contrôle d'accord, l'unité de contrôle d'accord recevant l'instruction d'accord
- 35 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

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 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
5 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,
10 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.

15 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
20 limitatifs, et représentés dans les dessins annexés sur lesquels :

- 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
25 dans l'appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance montré sur la figure 1 (deuxième mode de réalisation) ;
- 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
30 figure 1 (troisième mode de réalisation) ;
- 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
35 plusieurs antennes et l'appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance montré sur la figure 1 (cinquième mode de réalisation).

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE CERTAINS MODES DE RÉALISATION

Premier mode de réalisation.

Au titre d'un premier mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 1 le schéma bloc d'un appareil pour
 5 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 :

- 10 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
 15 est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour m excitations différentes appliquées successivement aux accès utilisateur, l'unité de traitement du signal délivrant une "instruction d'accord" en fonction des dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur ;
 20 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 $2m = 8$, chacun des dispositifs à impédance réglable ayant une réactance à ladite fréquence donnée, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable étant réglable par
 25 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
 30 fonction de l'instruction d'accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable 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,
 35 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 réfléchie au dit un des accès utilisateur. Ladite tension incidente à un des accès utilisateur peut être une tension incidente complexe et ladite tension réfléchie au dit un des accès utilisateur peut être une tension réfléchie complexe.

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

Un dispositif externe a m accès de sortie, chacun des accès de sortie du dispositif externe étant couplé à un et un seul des accès utilisateur, chacun des accès utilisateur étant couplé à un et un seul des accès de sortie du dispositif externe. Le dispositif externe n'est pas montré sur la figure 1. Le dispositif externe applique successivement m excitations différentes aux accès utilisateur, et informe l'unité de traitement du signal (2) de cette action. Par exemple, si les accès utilisateur sont numérotés de 1 à m , si les excitations différentes sont numérotés de 1 à m , et si j est un entier supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à m , l'excitation numéro j peut consister en une tension appliquée à l'accès utilisateur numéro j et aucune tension appliquée aux autres accès utilisateur, ou consister en un courant appliqué à l'accès utilisateur numéro j et aucun courant appliqué aux autres accès utilisateur.

Le spécialiste comprend comment l'unité de traitement du signal (2) peut utiliser les signaux de sortie d'unité de détection obtenus pour m excitations différentes appliquées successivement aux accès utilisateur, pour estimer q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Dans ce premier mode de réalisation, $q = 2m^2$ et les q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur déterminent complètement la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. Par exemple, considérons le cas où les deux signaux de sortie d'unité de détection d'une 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 j consiste en un courant appliqué à l'accès utilisateur numéro j et aucun courant appliqué aux autres accès utilisateur, comme expliqué plus haut. Le spécialiste comprend que, dans ce cas, pour l'excitation numéro j , tous les éléments de la colonne j de \mathbf{Z}_U peuvent être aisément calculés, si bien que tous les éléments de \mathbf{Z}_U peuvent être déterminés après que les m excitations différentes ont été appliquées. Par exemple, les dites q quantités réelles dépendantes de la

matrice impédance présentée par les accès utilisateur peuvent consister en m^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie réelle d'un élément de \mathbf{Z}_U et en m^2 nombres réels chacun proportionnel à la partie imaginaire d'un élément de \mathbf{Z}_U . Par exemple, les dites q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur peuvent consister en m^2 nombres réels chacun proportionnel au module d'un élément de \mathbf{Z}_U et en m^2 nombres réels chacun proportionnel à l'argument d'un élément de \mathbf{Z}_U .

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

$$\mathbf{Z}_W = \begin{pmatrix} 50,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 50,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 50,0 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & 50,0 \end{pmatrix} \Omega \quad (4)$$

Puisque, comme expliqué plus haut, les q quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur déterminent complètement \mathbf{Z}_U , l'unité de traitement du signal détermine et délivre une instruction d'accord telle que les signaux de contrôle d'accord résultants produisent un \mathbf{Z}_U tel qu'une norme de $\mathbf{Z}_U - \mathbf{Z}_W$ soit petite ou nulle. Le spécialiste comprend comment l'instruction d'accord peut être déterminée. Le fonctionnement de l'unité de traitement du signal est tel qu'une instruction d'accord est générée à la fin d'une séquence d'accord, et est valide jusqu'à ce qu'une instruction d'accord suivante soit générée à la fin d'une séquence d'accord suivante.

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

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 numéro 12/02542. 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 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 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.

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. 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.

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 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 Z_A , et 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.

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) ;
- n dispositifs à impédance réglable (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 (302) présentant chacun une réactance négative et ayant chacun une première borne couplée à un des accès de sortie et une deuxième borne couplée à un des accès de sortie qui est différent de l'accès de sortie auquel la première borne est couplée ;
- $n = m$ enroulements (303) ayant chacun une première borne couplée à un des accès de sortie et une deuxième borne couplée à un des accès d'entrée ;
- m dispositifs à impédance réglable (304) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès d'entrée ;
- $m(m - 1)/2$ dispositifs à impédance réglable (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. Dans ce cas, la matrice inductance des enroulements (303) n'est pas une matrice diagonale.

Tous les dispositifs à impédance réglable (301) (302) (304) (305) sont réglables par moyen électrique, mais les circuits et les liaisons de contrôle nécessaires pour déterminer la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable 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.

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 a une influence sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, et la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable a une influence sur un ou plusieurs des éléments non diagonaux de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur.

La matrice impédance vue par les accès cible étant une matrice symétrique complexe donnée, il est possible de montrer que, pour des valeurs de composants convenables, les p dérivées partielles définies plus haut sont linéairement indépendantes dans l'espace vectoriel réel des matrices complexes carrées d'ordre m , cet espace vectoriel, noté E , étant de dimension $2m^2$. Ainsi, le sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles dans E est un sous-espace vectoriel de dimension p égal à l'ensemble des matrices complexes symétriques d'ordre m . Ici, n'importe quelle matrice complexe symétrique d'ordre m est un élément du 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 du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles.

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. Ainsi, il est toujours possible d'obtenir que \mathbf{Z}_U soit voisine de \mathbf{Z}_W .

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 \mathbf{Z}_U , qui sont $q = 2m^2$ quantités réelles dépendantes de la matrice impédance présentée par les accès 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 \mathbf{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 dire qu'une norme de l'image de \mathbf{Z}_U par une fonction 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

norme de l'image de cette matrice admittance, estimée comme dit plus haut, par une fonction matricielle soit réduite (si bien que nous pouvons dire qu'une norme de l'image de \mathbf{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
 5 réelle et la partie imaginaire des m^2 éléments de la matrice admittance présentée par les accès 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 \mathbf{Z}_W .

Le spécialiste comprend que, dans de nombreuses applications possibles, la matrice
 10 impédance vue par les accès cible est une matrice symétrique, si bien que la matrice impédance 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
 15 impédance présentée par les accès utilisateur et la matrice admittance présentée par les accès 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
 20 réactances des dispositifs à impédance réglable (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 (301) (302) ayant chacun une borne couplée à un des accès de sortie, pour réduire ou minimiser une norme de
 25 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 (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.

30 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.

35 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

5 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 (301) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès de sortie ;
- 10 $n(n - 1)/2$ 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 ;
- 15 m dispositifs à impédance réglable (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.
- 20 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
- 25 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. Tous les dispositifs à impédance réglable (301) (304) sont réglables par moyen électrique, mais les circuits et les

30 liaisons de contrôle nécessaires pour déterminer la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable ne sont pas montrés sur la figure 3.

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 ,

35 la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable a une influence sur Z_U , et la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable 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, noté E . Ainsi, le sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles dans E est de dimension 8. Il est aussi possible de montrer que toute matrice complexe diagonale d'ordre m a les mêmes éléments diagonaux qu'au moins un élément du 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 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 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 réfléchie 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, la compensation étant automatique et habituellement meilleure dans 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.

25 Quatrième mode de réalisation.

Au titre d'un quatrième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 4 le schéma bloc d'un 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 :

- 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 ;
- 35 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 différentes appliquées successivement aux accès utilisateur, 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 ;
- 5 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 $2m = 8$, chacun des dispositifs à impédance réglable ayant une réactance à ladite fréquence donnée, la
- 10 réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable 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
- 15 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 étant déterminée par un et un seul 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

20 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

25 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

30 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

35 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 obtenus pour m excitations différentes appliquées successivement aux accès utilisateur, 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, 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 numéro 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 successivement m excitations différentes aux accès utilisateur. 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 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 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 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.

30 Cinquième mode de réalisation.

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 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 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 et quand une excitation est appliquée pendant une séquence d'accord, une et une seule des sorties signal étant active durant une excitation, une séquence d'accord comportant m excitations différentes appliquées successivement ;
- 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 pour les différentes excitations d'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 ;

5 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
10 mode de réalisation.

Dans ce cinquième mode de réalisation, durant chacune des dites excitations, un et un seul des amplificateurs de puissance délivre un courant sinusoïdal et présente une impédance connue à son accès de sortie, chacun des autres amplificateurs de puissance ne délivrant aucun courant et présentant une haute impédance à son accès de sortie. Le courant de court-circuit du circuit
15 équivalent de Norton de l'accès de sortie du dit un et un seul 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, pour les différentes excitations, 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
20 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 le courant sinusoïdal peut être un courant sinusoïdal modulé. Par exemple, si l'émetteur pour communication radio est réalisé dans un équipement utilisateur
25 d'un réseau sans fil cellulaire LTE, le courant sinusoïdal modulé délivré pendant une des dites excitations peut correspondre à une émission utilisant une configuration "open-loop UE transmit antenna selection" bien connue des spécialistes, pour laquelle il est possible d'utiliser un seul des dits amplificateurs de puissance à un instant donné, cet amplificateur de puissance n'étant pas spécifié.

30 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, pour obtenir que la matrice impédance vue par les accès de sortie des amplificateurs de
35 puissance reste proche d'une matrice impédance recherchée, par exemple la matrice impédance recherchée donnée par l'équation (4). Ainsi, il est toujours possible d'obtenir les meilleures performances de l'émetteur pour communication radio avec une pluralité d'antennes.

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 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 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 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 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 :

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 au moins m excitations différentes appliquées successivement aux accès utilisateur ;

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 $2m$, chacun des dispositifs à impédance réglable ayant une réactance à ladite fréquence donnée, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable ayant une influence sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable étant réglable par moyen électrique;

appliquer chacun des signaux de contrôle d'accord à au moins un des dispositifs à impédance réglable, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable 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, et dans lequel la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable a une influence sur au moins un élément non diagonal de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur.

3. Appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance présentée, à une fréquence donnée, par m accès 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, 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, 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 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 au moins m excitations différentes appliquées successivement aux accès utilisateur, 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 $2m$, chacun des dispositifs à impédance réglable ayant une réactance à ladite fréquence donnée, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable ayant une influence sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable 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, 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 étant principalement déterminée par au moins un des signaux de contrôle d'accord.

4. Appareil selon la revendication 3, dans lequel les signaux de sortie d'unité de détection délivrés par chacune des unités de détection comportent: un premier signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une première variable électrique, la première variable électrique étant une tension aux bornes d'un des accès utilisateur; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une seconde variable électrique, la seconde variable électrique étant un courant entrant dans ledit un des accès utilisateur.

5. Appareil selon la revendication 3, dans lequel les signaux de sortie d'unité de détection délivrés par chacune des unités de détection comportent: un premier signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une première variable électrique, la première variable électrique étant une tension incidente à un des accès utilisateur; et un second signal de sortie d'unité de détection proportionnel à une seconde variable électrique, la seconde variable électrique étant une tension réfléchie au dit un des accès utilisateur.

6. Appareil selon la revendication 3, dans lequel l'unité de traitement du signal détermine et délivre une instruction d'accord telle que les signaux de contrôle d'accord résultants produisent une matrice impédance présentée par les accès utilisateur Z_u tel qu'une norme de $Z_u - Z_w$ soit petite ou nulle, Z_w étant une matrice impédance recherchée.

7. Appareil selon la revendication 3, dans lequel, à ladite fréquence donnée, si une matrice impédance vue par les accès cible est égale à une matrice impédance non diagonale donnée, une application 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.

8. Appareil selon la revendication 7, dans lequel la matrice impédance vue par les accès cible est une matrice symétrique complexe donnée, et les p dérivées partielles sont linéairement indépendantes dans l'espace vectoriel réel des matrices complexes carrées d'ordre m .

9. Appareil selon la revendication 7, dans lequel n'importe quelle matrice complexe symétrique d'ordre m est un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles, 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.

10. Emetteur 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 cette 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 (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;

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 au moins m excitations différentes appliquées successivement par les amplificateurs de puissance aux accès de sortie des amplificateurs de puissance, 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), 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 $2m$, chacun des dispositifs à impédance réglable ayant une réactance à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable 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 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, 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 étant principalement déterminée par au moins un des signaux de contrôle d'accord.

1 / 5

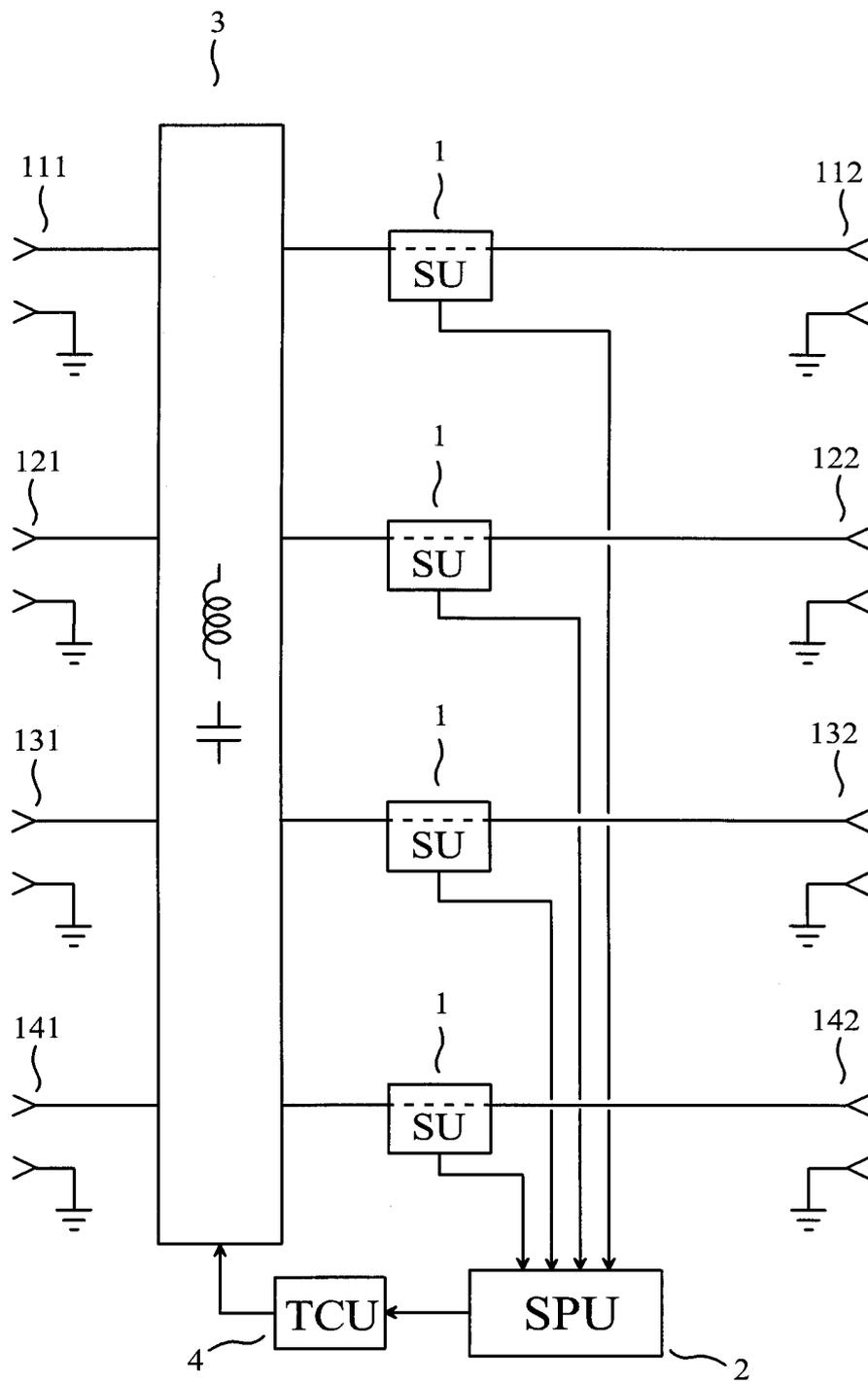


FIG. 1

2 / 5

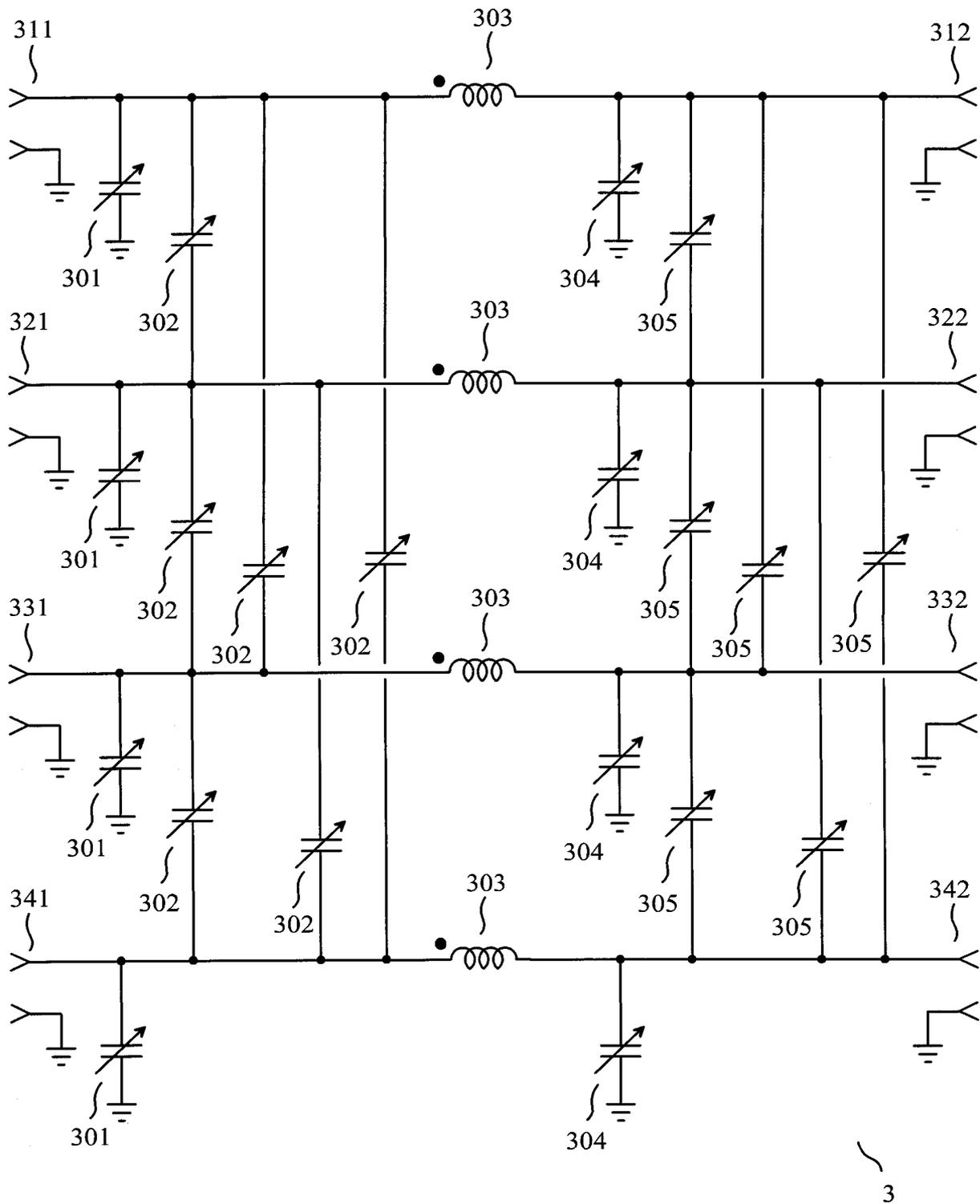


FIG. 2

3 / 5

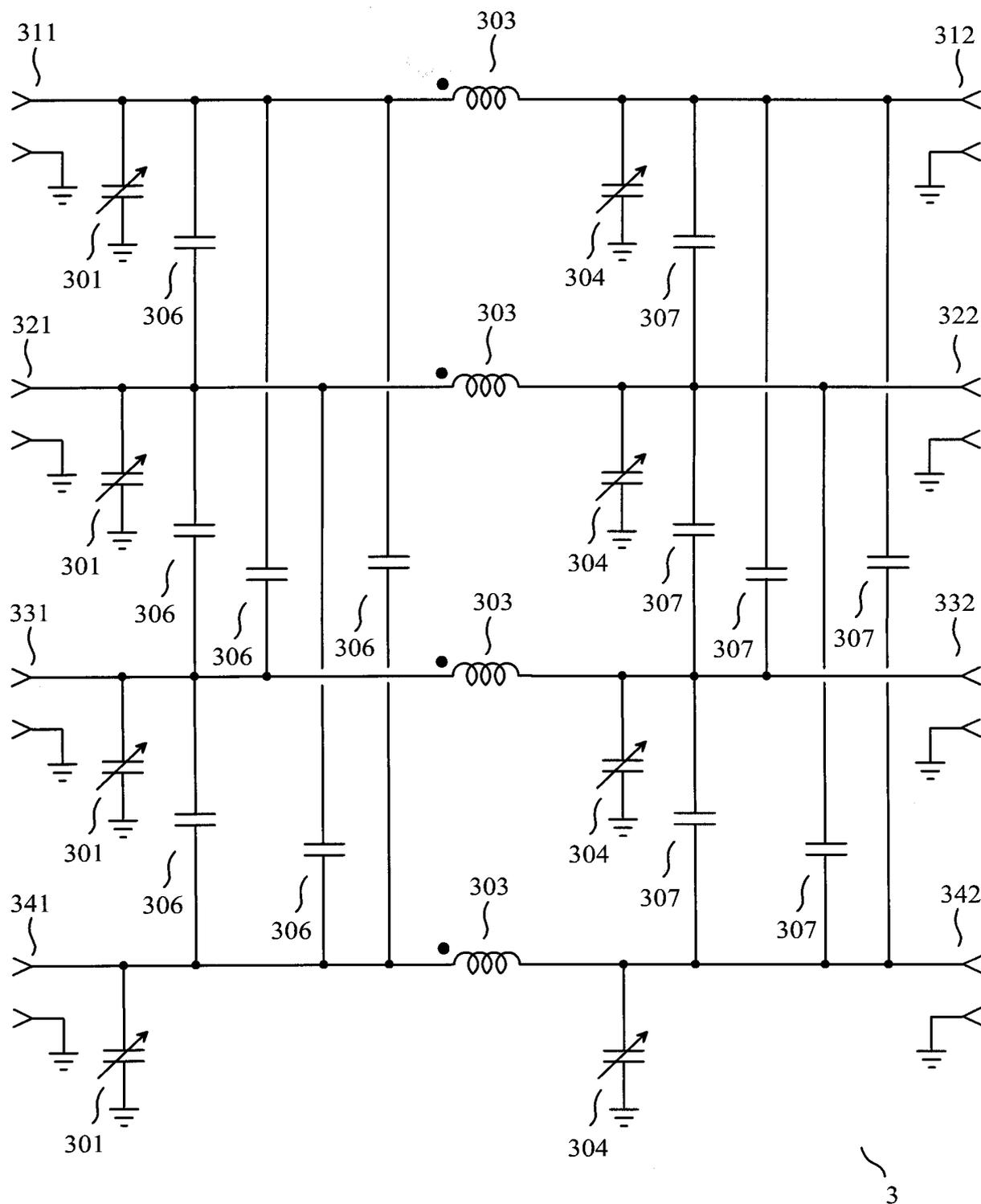


FIG. 3

4 / 5

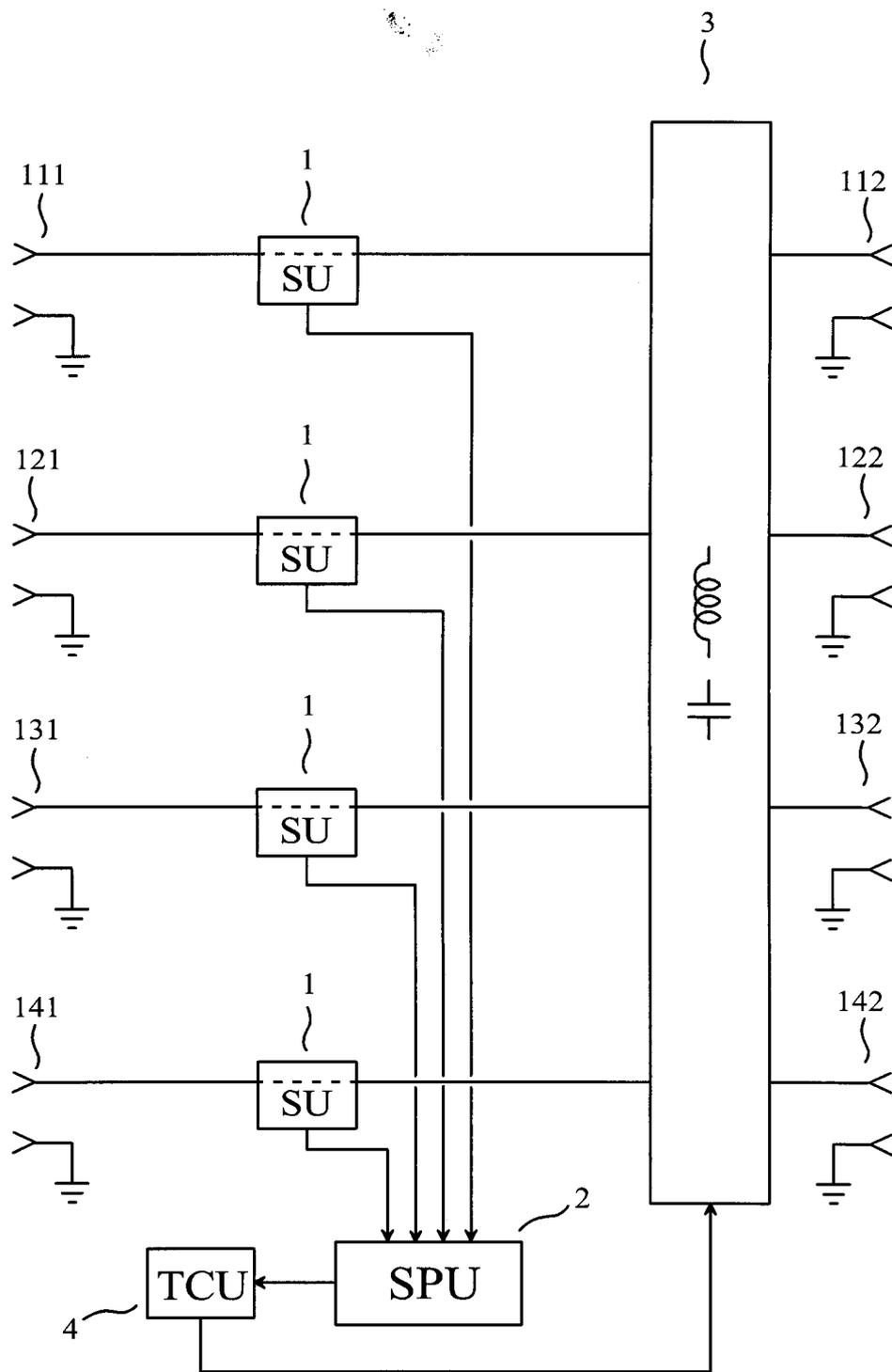


FIG. 4

5 / 5

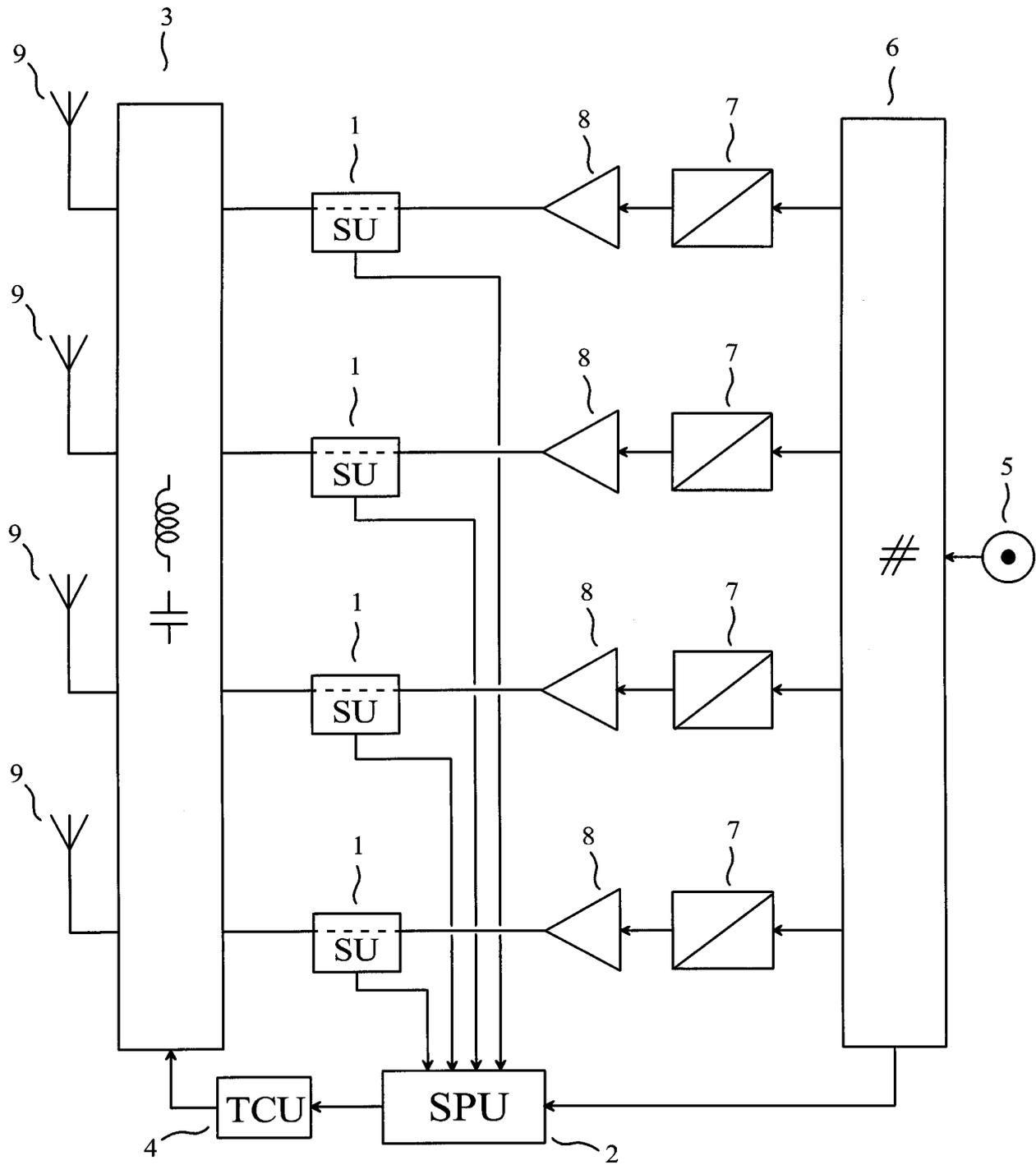


FIG. 5

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

- Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- Le demandeur a maintenu les revendications.
- Le demandeur a modifié les revendications.
- Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

WO 2008/030165 A1 (LAU BUON KIONG [SE]; BACH ANDERSEN JOERGEN [DK])
13 mars 2008 (2008-03-13)

EP 1 798 807 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD [KR])
20 juin 2007 (2007-06-20)

WO 2012/158693 A1 (GREENE MATTHEW [US]; MANSSEN KEITH [US]; MENDOLIA GREGORY [US]; PARATE)
22 novembre 2012 (2012-11-22)

JENSEN M A ET AL: "Termination-Dependent Diversity Performance of Coupled Antennas: Network Theory Analysis", IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 52, no. 1, 2 janvier 2004 (2004-01-02), pages 98-105, XP011108085,
ISSN: 0018-926X, DOI: 10.1109/TAP.2004.835272

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

NEANT

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

NEANT

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