

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

①① N° de publication : **3 021 813**

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **14 01221**

⑤① Int Cl⁸ : **H 01 Q 1/27** (2017.01), H 03 H 7/40, H 04 B 1/18

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ COMMUNICATION RADIO UTILISANT UNE PLURALITE D'ANTENNES SELECTIONNEES.

②② Date de dépôt : 28.05.14.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 04.12.15 Bulletin 15/49.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 08.12.17 Bulletin 17/49.

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 3 021 813 - B1



Communication radio utilisant une pluralité d'antennes sélectionnées

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5 L'invention concerne un procédé pour communication radio utilisant une pluralité d'antennes. L'invention concerne aussi un appareil pour communication radio utilisant une pluralité d'antennes. Les signaux radioélectriques reçus ou émis peuvent transporter des informations de toutes natures, par exemple des signaux pour la transmission de la voix et/ou d'images (télévision) et/ou de données. Les signaux radioélectriques reçus ou émis peuvent être
10 utilisés pour tout mode opératoire, par exemple pour la radiodiffusion, pour des radiocommunications bidirectionnelles point à point ou pour des radiocommunications dans un réseau cellulaire.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

L'impédance présentée par une antenne dépend de la fréquence et des caractéristiques
15 électromagnétiques du volume entourant l'antenne. En particulier, si l'antenne est réalisée dans un émetteur-récepteur portable, par exemple un téléphone mobile, le corps de l'utilisateur a un effet sur l'impédance présentée par l'antenne, et cette impédance 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").

20 Un appareil d'accord d'antenne (en anglais : "antenna tuning apparatus" ou "antenna tuner") est un appareil passif destiné à être inséré entre un dispositif radio, par exemple un émetteur radio ou un récepteur radio, et son antenne pour obtenir que l'impédance vue par le dispositif radio soit proche d'une valeur voulue. La figure 1 montre le schéma bloc d'une utilisation typique d'un tel appareil d'accord d'antenne (31) pour accorder une unique antenne
25 (11), l'antenne opérant (ou étant utilisée) dans une bande de fréquences donnée. L'appareil d'accord d'antenne (31) comporte :

un accès antenne (311), l'accès antenne étant couplé à l'antenne (11) à travers une
liaison d'antenne (21) aussi appelée "feeder", l'accès antenne (311) voyant, à
une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, une impédance appelée
30 l'impédance vue par l'accès antenne ;

un accès radio (312), l'accès radio étant couplé au dispositif radio (5) à travers une
interconnexion (41), l'accès radio (312) présentant, à ladite fréquence dans ladite
bande de fréquences donnée, une impédance appelée l'impédance présentée par
l'accès radio ;

35 un ou plusieurs dispositifs à impédance réglable, 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 étant réglable et ayant une influence sur l'impédance présentée par l'accès radio.

Le dispositif radio (5) est un équipement actif de communication radio tel qu'un émetteur, un récepteur ou un émetteur-récepteur. La liaison d'antenne (21) peut par exemple être un câble coaxial. Dans certains cas, lorsque l'appareil d'accord d'antenne (31) est placé à proximité de l'antenne (11), la liaison d'antenne (21) n'est pas présente. L'interconnexion (41) peut par exemple être un câble coaxial. Dans certains cas, lorsque l'appareil d'accord d'antenne (31) est placé à proximité du dispositif radio (5), l'interconnexion (41) n'est pas présente.

Un appareil d'accord d'antenne se comporte, à toute fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, par rapport à l'accès antenne et à l'accès radio, sensiblement comme un circuit linéaire passif à 2 accès. Ici, "passif" est utilisé dans le sens de la théorie des circuits, si bien que l'appareil d'accord d'antenne ne procure pas d'amplification. En pratique, les pertes sont indésirables pour les signaux appliqués à l'accès antenne ou à l'accès radio d'un appareil d'accord d'antenne, dans la bande de fréquences donnée. Ainsi, un appareil d'accord d'antenne idéal est sans pertes pour les signaux appliqués à son accès antenne ou à son accès radio, dans la bande de fréquences donnée.

La figure 2 montre un schéma d'un appareil d'accord d'antenne (31) qui pourrait être utilisé comme montré sur la figure 1 pour accorder une unique antenne, l'antenne étant utilisée dans une bande de fréquences donnée. L'appareil montré sur la figure 2 comporte :

- un accès antenne (311) ayant deux bornes (3111) (3112), l'accès antenne étant asymétrique (en anglais : single-ended) ;
- un accès radio (312) ayant deux bornes (3121) (3122), l'accès radio étant asymétrique ;
- un dispositif à impédance réglable (313) présentant une réactance négative et étant couplé en parallèle avec l'accès antenne ;
- une bobine (315) ;
- un dispositif à impédance réglable (314) présentant une réactance négative et étant couplé en parallèle avec l'accès radio.

Un appareil d'accord d'antenne du type montré sur la figure 2 est par exemple utilisé dans l'article de F. Chan Wai Po, E. de Foucault, D. Morche, P. Vincent et E. Kerhervé intitulé "A Novel Method for Synthesizing an Automatic Matching Network and Its Control Unit", publié dans *IEEE Transactions on Circuits and Systems — I: Regular Papers*, vol. 58, No. 9, pp. 2225-2236 en septembre 2011. L'article de Q. Gu, J. R. De Luis, A. S. Morris, et J. Hilbert intitulé "An Analytical Algorithm for Pi-Network Impedance Tuners", publié dans *IEEE Transactions on Circuits and Systems — I: Regular Papers*, vol. 58, No. 12, pp. 2894-2905 en décembre 2011, et l'article de K.R. Boyle, E. Spits, M.A. de Jongh, S. Sato, T. Bakker et A. van Bezooijen intitulé "A Self-Contained Adaptive Antenna Tuner for Mobile Phones", publié dans le *Proceedings of the 6th European Conference on Antenna and Propagation (EUCAP)*, pp. 1804-1808 en mars 2012, considèrent un appareil d'accord d'antenne d'un type similaire à celui

montré sur la figure 2, la principale différence étant que la bobine (315) de la figure 2 est remplacée par un dispositif à impédance réglable, le dispositif à impédance réglable étant une inductance variable ou une inductance connectée en parallèle avec un condensateur variable.

Un appareil d'accord d'antenne peut être utilisé pour compenser une variation de l'impédance vue par l'accès antenne, causée par une variation de la fréquence d'utilisation, et/ou pour compenser l'interaction utilisateur.

La matrice impédance présentée par un réseau d'antennes à accès multiples 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 utilisant simultanément des antennes multiples pour de la communication MIMO, par exemple un équipement utilisateur (en anglais : "user equipment" ou "UE") d'un réseau radio LTE, la matrice impédance présentée par le réseau d'antennes à accès multiples est affectée par l'interaction utilisateur.

Un autre appareil d'accord d'antenne, qui peut être appelé "appareil d'accord d'antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples", est un appareil passif destiné à être inséré entre un dispositif radio utilisant simultanément des antennes multiples dans la même bande de fréquences, par exemple un émetteur radio ou un récepteur radio pour communication MIMO, et les dites antennes multiples pour obtenir que la matrice impédance vue par le dispositif radio soit proche d'une valeur voulue. La figure 3 montre un schéma bloc d'une utilisation typique d'un tel appareil d'accord d'antenne (3) pour accorder simultanément 4 antennes (11) (12) (13) (14), les 4 antennes opérant dans une bande de fréquences donnée, les 4 antennes formant un réseau d'antennes (1). Dans la figure 3, l'appareil d'accord d'antenne (3) comporte :

$n = 4$ accès antenne (311) (321) (331) (341), chacun des accès antenne étant couplé à une des antennes (11) (12) (13) (14) à travers une liaison d'antenne (21) (22) (23) (24) aussi appelée "feeder", les accès antenne voyant, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, une matrice impédance appelée la matrice impédance vue par les accès antenne ;

$m = 4$ accès radio (312) (322) (332) (342), chacun des accès radio étant couplé à un dispositif radio (5) à travers une interconnexion (41) (42) (43) (44), les accès radio présentant, à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, une matrice impédance appelée la matrice impédance présentée par les accès radio ;

p dispositifs à impédance réglable, où p est un entier typiquement supérieur ou égal à m , 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 étant réglable et ayant une influence sur la matrice impédance présentée par les accès radio.

Un appareil d'accord d'antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples se comporte, à toute fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, par rapport aux n accès

antenne et aux m accès radio, sensiblement comme un circuit linéaire passif à $n + m$ accès. Ici, “passif” est à nouveau utilisé dans le sens de la théorie des circuits, si bien que l’appareil d’accord d’antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples ne procure pas d’amplification. En pratique, les pertes sont indésirables pour les signaux appliqués aux accès

5 antenne ou aux accès radio d’un appareil d’accord d’antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples, dans la bande de fréquences donnée. Ainsi, un appareil d’accord d’antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples idéal est sans pertes pour les signaux appliqués à ses accès antenne ou à ses accès radio, dans la bande de fréquences donnée.

La figure 4 montre un schéma d’un appareil d’accord d’antenne (3) qui pourrait être

10 utilisé comme montré sur la figure 3 pour accorder 4 antennes, les antennes étant utilisées dans une bande de fréquences donnée. L’appareil montré sur la figure 4 comporte :

- $n = 4$ accès antenne (311) (321) (331) (341), chacun des accès antenne étant asymétrique ;
- $m = 4$ accès radio (312) (322) (332) (342), chacun des accès radio étant asymétrique ;
- 15 n dispositifs à impédance réglable (301) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès antenne ;
- $n (n - 1)/2$ dispositifs à impédance réglable (302) présentant chacun une réactance négative et ayant chacun une première borne couplée à un des accès antenne et une deuxième borne couplée à un des accès antenne qui est différent de l’accès antenne auquel la première borne est couplée ;
- 20 $n = m$ enroulements (303) ayant chacun une première borne couplée à un des accès antenne et une deuxième borne couplée à un des accès radio ;
- m dispositifs à impédance réglable (304) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès radio ;
- 25 $m (m - 1)/2$ dispositifs à impédance réglable (305) présentant chacun une réactance négative et ayant chacun une première borne couplée à un des accès radio et une deuxième borne couplée à un des accès radio qui est différent de l’accès radio auquel la première borne est couplée.

Un appareil d’accord d’antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples du

30 type montré sur la figure 4 est divulgué dans la demande de brevet français numéro 12/02542 intitulée “Appareil d’accord d’antenne pour un réseau d’antennes à accès multiples”, et dans la demande internationale correspondante, numéro PCT/IB2013/058423 intitulée “Antenna tuning apparatus for a multiport antenna array”.

Un appareil d’accord d’antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples peut

35 être utilisé pour compenser une variation de la matrice impédance vue par les accès antenne, causée par une variation de la fréquence d’utilisation, et/ou pour compenser l’interaction utilisateur.

Un appareil d’accord d’antenne peut être tel que la valeur de la réactance de n importe

lequel de ses dispositifs à impédance réglable est réglée manuellement. Ce type d'accord manuel nécessite un opérateur compétent, et est par exemple mis en oeuvre pour régler certains appareils d'accord d'antenne pour les radio amateurs, ayant un unique accès antenne et un unique accès radio comme montré sur les figures 1 et 2.

5 Un appareil d'accord d'antenne peut être tel que la réactance de chacun de ses dispositifs à impédance réglable est réglable par moyen électrique. Un tel appareil d'accord d'antenne peut être tel que la valeur de la réactance de n'importe lequel de ses dispositifs à impédance réglable est réglée automatiquement ou de façon adaptative. Dans ce cas, si l'appareil d'accord d'antenne et les circuits procurant un réglage automatique ou adaptatif de ses dispositifs à impédance
10 réglable forment un dispositif unique, ce dispositif peut être appelé "appareil automatique d'accord d'antenne" ou "appareil adaptatif d'accord d'antenne" (en anglais : "automatic antenna tuning apparatus", ou "automatic antenna tuner" ou "adaptive antenna tuner").

L'accord automatique d'antenne a été appliqué depuis longtemps à un appareil d'accord d'antenne ayant un unique accès antenne et un unique accès radio, comme montré dans le brevet
15 des États-Unis d'Amérique numéro 2,745,067 intitulé "Automatic Impedance Matching Apparatus", et dans le brevet des États-Unis d'Amérique numéro 4,493,112 intitulé "Antenna Tuner Discriminator". L'accord automatique d'antenne appliqué à un appareil d'accord d'antenne ayant un unique accès antenne et un unique accès radio est également le sujet d'activités de recherche actuelles, dont une partie est par exemple décrite dans les dits articles
20 intitulés "A Novel Method for Synthesizing an Automatic Matching Network and Its Control Unit", "An Analytical Algorithm for Pi-Network Impedance Tuners", et "A Self-Contained Adaptive Antenna Tuner for Mobile Phones".

L'accord automatique d'antenne a été récemment appliqué à un appareil d'accord d'antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples, comme montré dans le brevet des
25 États-Unis d'Amérique numéro 8,059,058 intitulé "Antenna system and method for operating an antenna system", dans la demande de brevet français numéro 12/02564 intitulée "Procédé et dispositif pour la réception radio utilisant un appareil d'accord d'antenne et une pluralité d'antennes", correspondant à la demande internationale numéro PCT/IB2013/058574 intitulée
30 "Method and device for radio reception using an antenna tuning apparatus and a plurality of antennas", et dans la demande de brevet français numéro 13/00878 intitulée "Procédé et appareil pour accorder automatiquement une matrice impédance, et émetteur radio utilisant cet appareil", correspondant à la demande internationale numéro PCT/IB2014/058933 intitulée "Method and apparatus for automatically tuning an impedance matrix, and radio transmitter using this apparatus".

35 Cependant, une limitation importante de l'état de l'art relatif à l'accord automatique d'antenne appliqué à un appareil d'accord d'antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples est qu'un grand nombre d'onéreux dispositifs à impédance réglable est nécessaire.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention a pour objet un procédé et un appareil pour communication radio utilisant une pluralité d'antennes et un appareil d'accord d'antenne, dépourvus des limitations mentionnées ci-dessus des techniques connues.

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

Le procédé selon l'invention est un procédé pour communication radio avec plusieurs antennes dans une bande de fréquences donnée, utilisant un appareil pour communication radio incluant N antennes, où N est un entier supérieur ou égal à 3, chacune des N antennes étant telle qu'elle peut fonctionner à toute fréquence dans la bande de fréquences donnée, le procédé
10 comportant les étapes suivantes :

sélectionner n antennes parmi les N antennes, où n est un entier supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à N moins 1, en utilisant une unité de commutation comportant N accès d'entrée et n accès de sortie, chacun des N accès d'entrée étant couplé, directement ou indirectement, à une des N antennes, l'unité de commutation
15 procurant, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée et pour n 'importe lequel des n accès de sortie, un chemin entre ledit n 'importe lequel des n accès de sortie et un des accès d'entrée, ledit un des accès d'entrée étant couplé à une des n antennes sélectionnées, les n antennes sélectionnées étant déterminées par une "instruction de configuration" ;

20 coupler les n accès de sortie, directement ou indirectement, à n accès antennes d'un appareil d'accord d'antenne comportant, en plus des dits n accès antenne, m accès radio et p dispositifs à impédance réglable, où m est un entier supérieur ou égal à 2 et où p est un entier supérieur ou égal à $2m$, les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'appareil
25 d'accord d'antenne" et étant tels que, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une réactance, la réactance de n 'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne étant réglable par moyen électrique ;

30 générer une "instruction d'accord", l'instruction d'accord ayant un effet sur la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne.

Chacune des N antennes a un accès, appelé "l'accès signal de l'antenne", comportant deux bornes, qui peut être utilisé pour recevoir et/ou pour émettre des ondes électromagnétiques. Il est supposé que chacune des dites N antennes se comporte, à toute fréquence dans la bande
35 de fréquences donnée, par rapport à l'accès signal de l'antenne, sensiblement comme une antenne passive, c'est-à-dire comme une antenne qui est linéaire et qui n'utilise pas d'amplificateur pour amplifier des signaux reçus par l'antenne ou émis par l'antenne. En conséquence de la linéarité, il est possible de définir une matrice impédance présentée par les

antennes, dont la définition ne considère, pour chacune des antennes, que l'accès signal de l'antenne. Cette matrice est par conséquent une matrice carrée d'ordre N . Du fait des interactions entre les antennes, cette matrice n'est pas nécessairement diagonale. En particulier, l'invention peut être telle que cette matrice n'est pas une matrice diagonale.

5 Chacun des N accès d'entrée est couplé, directement ou indirectement, à une des N antennes. Plus précisément, chacun des accès d'entrée est couplé, directement ou indirectement, à l'accès signal d'une des N antennes. De plus, chacun des n accès de sortie est couplé, directement ou indirectement, à un des n accès antennes de l'appareil d'accord d'antenne. Par exemple, un couplage indirect peut être un couplage à travers une liaison d'antenne et/ou à
10 travers un coupleur directionnel.

Ledit chemin entre ledit n'importe lequel des n accès de sortie et un des accès d'entrée est un chemin pour les signaux. Il peut être unidirectionnel ou bidirectionnel. L'appareil d'accord d'antenne est utilisé pour accorder les dites n antennes sélectionnées.

L'instruction de configuration peut comporter n'importe quel type de signal électrique
15 et/ou n'importe quelle combinaison de tels signaux électriques. L'instruction de configuration peut être générée automatiquement à l'intérieur de l'appareil pour communication radio. L'instruction d'accord peut comporter n'importe quel type de signal électrique et/ou n'importe quelle combinaison de tels signaux électriques. L'instruction d'accord peut être générée automatiquement à l'intérieur de l'appareil pour communication radio.

20 Un appareil mettant en oeuvre le procédé selon l'invention est un appareil pour communication radio utilisant plusieurs antennes dans une bande de fréquences donnée, l'appareil pour communication radio comportant :

N antennes, où N est un entier supérieur ou égal à 3, chacune des N antennes étant telle qu'elle peut fonctionner à toute fréquence dans la bande de fréquences donnée;
25 une unité de traitement, l'unité de traitement délivrant une "instruction de configuration" et une "instruction d'accord" ;

une unité de commutation comportant N accès d'entrée et n accès de sortie, où n est un entier supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à N moins 1, chacun des N accès d'entrée étant couplé, directement ou indirectement, à une des N antennes,
30 l'unité de commutation opérant dans une configuration active déterminée par l'instruction de configuration, la configuration active étant l'une d'une pluralité de configurations autorisées, l'unité de commutation procurant, dans n'importe laquelle des configurations autorisées, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée et pour n'importe lequel des n accès de sortie, un chemin
35 entre ledit n'importe lequel des n accès de sortie et un des accès d'entrée ;

un appareil d'accord d'antenne comportant n accès antenne, m accès radio et p dispositifs à impédance réglable, où m est un entier supérieur ou égal à 2 et où p est un entier supérieur ou égal à $2m$, les p dispositifs à impédance réglable

étant appelés les “dispositifs à impédance réglable de l’appareil d’accord d’antenne” et étant tels que, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l’appareil d’accord d’antenne a une réactance, la réactance de n’importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l’appareil d’accord d’antenne étant réglable par moyen électrique, les n accès de sortie étant couplés, directement ou indirectement, aux n accès antennes ;

une unité de contrôle d’accord, l’unité de contrôle d’accord recevant l’instruction d’accord, l’unité de contrôle d’accord délivrant une pluralité de “signaux de contrôle d’accord”, les signaux de contrôle d’accord étant déterminés en fonction de l’instruction d’accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l’appareil d’accord d’antenne étant principalement déterminée par un ou plusieurs des signaux de contrôle d’accord.

L’unité de commutation opère (ou est utilisée) dans une configuration active déterminée par l’instruction de configuration, la configuration active étant une configuration autorisée parmi une pluralité de configurations autorisées, l’unité de commutation procurant, dans n’importe laquelle des configurations autorisées, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée et pour n’importe lequel des accès de sortie, un chemin entre ledit n’importe lequel des accès de sortie et un des accès d’entrée. Ainsi, l’unité de commutation opère dans une configuration active qui est une des configurations autorisées, et chaque configuration autorisée correspond à une sélection de n accès d’entrée parmi les N accès d’entrée. Il est aussi possible de dire que l’unité de commutation opère dans une configuration active correspondant à une sélection de n accès d’entrée parmi les N accès d’entrée.

Chaque configuration autorisée correspond à une sélection de n accès d’entrée parmi les N accès d’entrée, l’unité de commutation procurant, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée et pour n’importe lequel des accès de sortie, un chemin entre ledit n’importe lequel des accès de sortie et un des accès d’entrée sélectionnés. Ce chemin peut préférentiellement être un chemin à faibles pertes pour des signaux dans la bande de fréquences donnée. Le spécialiste comprend qu’une unité de commutation convenable peut comporter un ou plusieurs interrupteurs et/ou commutateurs contrôlés électriquement (ici, “contrôlés électriquement” signifie “contrôlés par moyen électrique”). Dans ce cas, un ou plusieurs des dits interrupteurs et/ou commutateurs contrôlés électriquement peut par exemple être un relais électromécanique, ou un commutateur micro-électromécanique (en anglais: “MEMS switch”), ou un circuit utilisant une ou plusieurs diodes PIN et/ou un ou plusieurs transistors à effet de champ à grille isolée (MOSFETs) comme dispositifs de commutation.

Les accès radio présentent, à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, une matrice impédance appelée “la matrice impédance présentée par les accès radio”, et les accès antenne voient, à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, une matrice

impédance appelée “la matrice impédance vue par les accès antenne”. Il est supposé que ledit appareil d’accord d’antenne se comporte, à n’importe quelle fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, par rapport à ses accès antenne et à ses accès radio, sensiblement comme un dispositif linéaire passif (où “passif” est utilisé au sens de la théorie des circuits). Plus
 5 précisément, ledit appareil d’accord d’antenne se comporte, à n’importe quelle fréquence dans la bande de fréquences donnée, par rapport aux n accès antenne et aux m accès radio, sensiblement comme un dispositif linéaire passif à $n + m$ accès. Comme conséquence de la linéarité, il est possible de définir la matrice impédance présentée par les accès radio. Comme conséquence de la passivité, l’appareil d’accord d’antenne ne procure pas d’amplification.

10 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 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
 15 mécanique, par exemple une résistance variable, un condensateur variable, un réseau comportant une pluralité de condensateurs et un ou plusieurs interrupteurs ou commutateurs utilisés pour faire contribuer différents condensateurs du réseau à la réactance, une inductance variable, un réseau comportant une pluralité d’inductances et un ou plusieurs interrupteurs ou commutateurs
 20 utilisés pour faire contribuer différentes inductances du réseau à la réactance, ou un réseau comportant une pluralité de tronçons de ligne de transmission en circuit ouvert ou en court-circuit (en anglais: “stubs”) et un ou plusieurs interrupteurs ou commutateurs utilisés pour faire contribuer différents tronçons de ligne de transmission du réseau à la réactance. Nous notons que tous les exemples de cette liste, excepté la résistance variable, sont destinés à produire une réactance réglable.

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

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

Un dispositif à impédance réglable ayant une réactance réglable par moyen électrique

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

L'appareil d'accord d'antenne peut être tel que la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a, à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, si la matrice impédance vue par les accès antenne est égale à une matrice impédance diagonale donnée, une influence sur la matrice impédance présentée par les accès radio. Ceci doit être interprété comme signifiant : l'appareil d'accord d'antenne peut être tel que, à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, il existe une matrice impédance diagonale appelée la matrice impédance diagonale donnée, la matrice impédance diagonale donnée étant telle que, si la matrice impédance vue par les accès antenne est égale à la matrice impédance diagonale donnée, alors la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une influence sur la matrice impédance présentée par les accès radio.

Le procédé selon l'invention peut en outre comporter l'étape de contrôler une ou plusieurs caractéristiques d'au moins une des antennes, en utilisant au moins un dispositif de contrôle d'antenne, ledit au moins un dispositif de contrôle d'antenne étant une partie de ladite au moins une des antennes, ledit au moins un dispositif de contrôle d'antenne ayant au moins un paramètre ayant une influence sur les dites une ou plusieurs caractéristiques, ledit au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique, l'instruction d'accord ayant un effet sur chacun des dits paramètres. Dans la phrase précédente, "chacun des dits paramètres" signifie clairement "chaque dit au moins un paramètre de chaque dit au moins un dispositif de contrôle d'antenne de chaque dite au moins une des antennes". Chacune des dites au moins une des antennes comporte deux bornes du dit accès signal de l'antenne, et au moins un dispositif de contrôle d'antenne, qui peut comporter une ou plusieurs autres bornes utilisées pour d'autres connexions électriques.

Chacune des dites une ou plusieurs caractéristiques peut par exemple être une caractéristique électrique telle qu'une impédance à une fréquence spécifiée, ou une caractéristique électromagnétique telle qu'un diagramme de directivité à une fréquence spécifiée. Chacune des dites au moins une des antennes comporte au moins un dispositif de contrôle d'antenne ayant au moins un paramètre ayant un effet sur une ou plusieurs caractéristiques de ladite chacune des dites au moins une des antennes, ledit au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique. Ainsi, le spécialiste comprend que chacune des dites au moins une des antennes est une antenne passive accordable. Une antenne passive accordable peut aussi être appelée "antenne reconfigurable" (en anglais : "reconfigurable

antenna”). Certains auteurs considèrent trois classes d’antenne passive accordable : les antennes agiles en polarisation (en anglais : “polarization-agile antennas”), les antennes à diagramme reconfigurable (en anglais : “pattern-reconfigurable antennas”) et les antennes agiles en fréquence (en anglais : “frequency-agile antennas”. L’état de l’art concernant les antennes agiles en fréquence est par exemple décrit dans l’article de A. Petosa intitulé “An Overview of Tuning Techniques for Frequency-Agile Antennas”, publié dans *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 54, No. 5, en octobre 2012.

L’appareil mettant en oeuvre le procédé selon l’invention peut être tel qu’au moins une antenne passive accordable est parmi les N antennes, ladite au moins une antenne passive accordable comportant au moins un dispositif de contrôle d’antenne, une ou plusieurs caractéristiques de ladite au moins une antenne passive accordable étant contrôlées en utilisant ledit au moins un dispositif de contrôle d’antenne, ledit au moins un dispositif de contrôle d’antenne ayant au moins un paramètre ayant une influence sur les dites une ou plusieurs caractéristiques, ledit au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique, chacun des dits paramètres étant principalement déterminé par un ou plusieurs des signaux de contrôle d’accord. Dans la phrase précédente, “chacun des dits paramètres” signifie clairement “chaque dit au moins un paramètre de chaque dit au moins un dispositif de contrôle d’antenne de chaque dite au moins une antenne passive accordable”.

Comme expliqué dans ledit article de A. Petosa, de nombreux types de dispositif de contrôle d’antenne peuvent être utilisés pour contrôler une ou plusieurs caractéristiques de n’importe laquelle des antennes passives accordables. Un dispositif de contrôle d’antenne convenable peut par exemple être :

- un interrupteur ou commutateur contrôlé électriquement, auquel cas un paramètre du dispositif de contrôle d’antenne ayant une influence sur une ou plusieurs caractéristiques de l’antenne passive accordable peut être l’état de l’interrupteur ou commutateur ;

- un dispositif à impédance réglable, auquel cas un paramètre du dispositif de contrôle d’antenne ayant une influence sur une ou plusieurs caractéristiques de l’antenne passive accordable peut être la réactance ou l’impédance, à une fréquence spécifiée, du dispositif à impédance réglable ; ou

- un actionneur disposé pour produire une déformation mécanique de l’antenne passive accordable, auquel cas un paramètre du dispositif de contrôle d’antenne ayant une influence sur une ou plusieurs caractéristiques de l’antenne passive accordable peut être une longueur de la déformation.

Si un dispositif de contrôle d’antenne est un interrupteur ou commutateur contrôlé électriquement, il peut par exemple être un relais électromécanique, ou un interrupteur micro-électromécanique (en anglais: “MEMS switch”), ou un circuit utilisant une ou plusieurs diodes PIN et/ou un ou plusieurs transistors à effet de champ à grille isolée (MOSFETs) comme dispositifs de commutation.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

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

- 5 - la figure 1 représente un schéma bloc d'une utilisation typique d'un appareil d'accord d'antenne pour accorder une unique antenne, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- la figure 2 montre un schéma d'un appareil d'accord d'antenne qui pourrait être utilisé comme montré sur la figure 1 pour accorder une unique antenne, et a déjà
10 été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- la figure 3 représente un schéma bloc d'une utilisation typique d'un appareil d'accord d'antenne pour accorder simultanément 4 antennes, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- la figure 4 montre un schéma d'un appareil d'accord d'antenne qui pourrait être
15 utilisé comme montré sur la figure 3 pour accorder simultanément 4 antennes, et a déjà été commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- la figure 5 représente un schéma bloc d'un émetteur-récepteur pour communication radio selon l'invention, qui utilise simultanément 2 antennes
20 sélectionnées parmi 4 antennes ;
- la figure 6 représente un schéma d'une première unité de commutation qui pourrait être utilisée comme sur la figure 5 pour sélectionner 2 antennes parmi 4 antennes ;
- la figure 7 représente un schéma d'une deuxième unité de commutation qui
25 pourrait être utilisée comme sur la figure 5 pour sélectionner 2 antennes parmi 4 antennes ;
- la figure 8 représente un schéma d'une troisième unité de commutation qui pourrait être utilisée comme sur la figure 5 pour sélectionner 2 antennes parmi 4 antennes ;
- 30 - la figure 9 montre un schéma d'un premier appareil d'accord d'antenne qui pourrait être utilisé comme sur la figure 5 pour accorder simultanément 2 antennes sélectionnées ;
- la figure 10 montre un schéma d'un second appareil d'accord d'antenne qui pourrait être utilisé comme sur la figure 5 pour accorder simultanément 2
35 antennes sélectionnées ;
- la figure 11 représente un schéma bloc d'un émetteur-récepteur pour communication radio selon l'invention, qui utilise simultanément 2 antennes

- sélectionnées parmi 4 antennes ;
- la figure 12 montre les emplacements des 4 antennes d'un téléphone mobile ;
 - la figure 13 montre une première configuration d'utilisation typique (configuration main droite et tête) ;
 - 5 - la figure 14 montre une deuxième configuration d'utilisation typique (configuration deux mains) ;
 - la figure 15 montre une troisième configuration d'utilisation typique (configuration main droite seulement) ;
 - la figure 16 représente un schéma bloc d'un émetteur-récepteur pour
- 10 communication radio selon l'invention, qui utilise simultanément 2 antennes sélectionnées parmi 4 antennes passives accordables.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE CERTAINS MODES DE RÉALISATION

Premier mode de réalisation.

Au titre d'un premier mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre

15 d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 5 le schéma bloc d'un appareil portable pour communication radio dans une bande de fréquences donnée, l'appareil pour communication radio étant un émetteur-récepteur comportant :

- $N = 4$ antennes (11) (12) (13) (14), chacune des N antennes étant telle qu'elle peut opérer à toute fréquence dans la bande de fréquences donnée ;
- 20 un dispositif radio (5) qui consiste en toutes les parties de l'appareil pour communication radio qui ne sont pas montrées ailleurs sur la figure 5 ;
- une unité de commutation (6), l'unité de commutation recevant une "instruction de configuration" générée automatiquement à l'intérieur de l'appareil pour communication radio, l'unité de commutation comportant N accès d'entrée
- 25 couplés chacun à une et une seule des antennes à travers une liaison d'antenne (21) (22) (23) (24), l'unité de commutation comportant $n = 2$ accès de sortie, l'unité de commutation opérant dans une configuration active déterminée par l'instruction de configuration, la configuration active étant l'une d'une pluralité de configurations autorisées, n'importe laquelle des configurations autorisées
- 30 correspondant à une sélection de n accès d'entrée parmi les N accès d'entrée, l'unité de commutation procurant, pour n'importe quel petit signal dans la bande de fréquences donnée et pour n'importe lequel des accès de sortie, un chemin bidirectionnel entre ledit n'importe lequel des accès de sortie et un et un seul accès d'entrée de ladite sélection de n accès d'entrée ;
- 35 un appareil d'accord d'antenne (3), l'appareil d'accord d'antenne étant un appareil d'accord d'antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples, l'appareil

d'accord d'antenne comportant $n = 2$ accès antenne, chacun des accès de sortie étant couplé à un et un seul des accès antenne, l'appareil d'accord d'antenne comportant $m = 2$ accès radio, chacun des accès radio étant couplé au dispositif radio (5) à travers une interconnexion (41) (42), l'appareil d'accord d'antenne
 5 comportant p dispositifs à impédance réglable, où p est un entier supérieur ou égal à $2m$, les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne" et étant tels que, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une réactance, la
 10 réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne étant réglable par moyen électrique ;

une unité de contrôle d'accord (7), l'unité de contrôle d'accord recevant une "instruction d'accord" générée automatiquement à l'intérieur de l'appareil pour communication radio, l'unité de contrôle d'accord délivrant une pluralité de
 15 "signaux de contrôle d'accord" à l'appareil d'accord d'antenne (3), les signaux de contrôle d'accord étant déterminés en fonction de l'instruction d'accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne étant principalement déterminée par un ou plusieurs des signaux de contrôle d'accord.

20 Puisque chacun des N accès d'entrée est couplé à une et une seule des antennes à travers une liaison d'antenne et puisque chaque configuration autorisée correspond à une sélection de n accès d'entrée parmi les N accès d'entrée, il est possible de dire que chaque configuration autorisée correspond à une sélection de n antennes parmi les N antennes. Ainsi, il est possible de dire que l'unité de commutation est utilisée pour sélectionner n antennes parmi les
 25 N antennes, l'unité de commutation procurant, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée et pour n'importe lequel des accès de sortie, un chemin entre ledit n'importe lequel des accès de sortie et un et un seul des accès d'entrée, ledit un et un seul des accès d'entrée étant couplé à une et une seule des n antennes sélectionnées, les n antennes sélectionnées étant déterminées par l'instruction de configuration.

30 Le spécialiste comprend qu'il est possible de considérer que les N antennes (11) (12) (13) (14) opèrent simultanément dans la bande de fréquences donnée et forment un réseau d'antennes ayant N accès. N'importe laquelle des configurations autorisées est telle que n antennes parmi les N antennes sont sélectionnées dans ladite n'importe laquelle des configurations autorisées. Par conséquent, n antennes parmi les N antennes sont sélectionnées
 35 dans la configuration active. Ainsi, le spécialiste comprend qu'il est aussi possible de considérer que les N antennes (11) (12) (13) (14), les liaisons d'antenne (21) (22) (23) (24) et l'unité de commutation (6) forment un réseau d'antennes ayant n accès, dont les caractéristiques sont contrôlées par moyen électrique. Du fait des interactions entre les N antennes, chacune des

antennes qui n'est pas sélectionnée dans la configuration active peut avoir une influence sur les caractéristiques du réseau d'antennes à n accès formé par les N antennes (11) (12) (13) (14), les liaisons d'antenne (21) (22) (23) (24) et l'unité de commutation (6).

L'instruction de configuration et l'instruction d'accord sont générées et délivrées de façon répétée par le dispositif radio (5), plus précisément par une unité de traitement qui est une partie du dispositif radio. Par exemple, l'instruction de configuration et l'instruction d'accord peuvent être générées périodiquement, par exemple toutes les 10 millisecondes. L'instruction de configuration et l'instruction d'accord sont telles que, à la fréquence d'opération, la matrice impédance présentée par les accès radio est proche d'une matrice spécifiée.

L'instruction d'accord est une fonction de l'instruction de configuration et d'une ou plusieurs variables ou quantités telles que : information sur l'efficacité d'une ou plusieurs des antennes, information sur l'isolation entre les antennes, un ou plusieurs facteurs opérationnels de l'appareil pour communication radio, et/ou une ou plusieurs métriques de performance de l'appareil pour communication radio. Le spécialiste sait comment obtenir et utiliser de telles une ou plusieurs variables ou quantités. Les huitième, neuvième, dixième, onzième et douzième modes de réalisation qui suivent sont des exemples dans lesquels de telles une ou plusieurs variables ou quantités sont obtenues et utilisées. Ainsi, le spécialiste comprend comment l'instruction d'accord peut être déterminée en fonction des dites une ou plusieurs variables ou quantités, en prenant en compte l'instruction de configuration, les interactions entre les antennes, et les caractéristiques de l'appareil d'accord d'antenne.

La matrice spécifiée est telle que la matrice impédance vue par le dispositif radio (5) approche une matrice recherchée arbitraire. La matrice spécifiée peut par exemple être une matrice diagonale. Le spécialiste comprend que ceci surmonte les limitations mentionnées ci-dessus des techniques connues, parce que, dans ce premier mode de réalisation, un appareil d'accord d'antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples ayant seulement $n = 2$ accès antenne et $m = 2$ accès radio est utilisé, si bien qu'un grand nombre d'onéreux dispositifs à impédance réglable n'est pas nécessaire, et parce que la matrice impédance vue par le dispositif radio approche une matrice recherchée arbitraire.

Une autre différence entre l'invention et l'état de l'art antérieur est que n'importe lequel des accès signal des antennes n'est pas couplé de façon permanente, directement ou à travers une liaison d'antenne, à un des accès antenne de l'appareil d'accord d'antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples. Une autre différence entre l'invention et l'état de l'art antérieur est que n'importe lequel des accès antenne de l'appareil d'accord d'antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples n'est pas couplé de façon permanente, directement ou à travers une liaison d'antenne, à un des accès signal des antennes.

Le corps de l'utilisateur a un effet sur la matrice impédance présentée par le réseau d'antennes, et cette matrice impédance dépend de la position du corps de l'utilisateur. Comme dit plus haut dans la section sur l'état de la technique antérieure, 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”), comme l’effet du corps de l’utilisateur sur l’impédance présentée par une unique antenne.

5 Puisque la matrice impédance vue par le dispositif radio peut approcher une matrice recherchée arbitraire, l’invention compense une variation arbitraire de la matrice impédance présentée par le réseau d’antennes, causée par l’interaction utilisateur ou par une variation de la fréquence d’opération. Ainsi, l’invention compense l’interaction utilisateur.

10 Dans ce premier mode de réalisation, $n = m = 2$. Cependant, il est aussi possible que n soit supérieur ou égal à 3, il est aussi possible que n soit supérieur ou égal à 4, il est aussi possible que m soit supérieur ou égal à 3, et il est aussi possible que m soit supérieur ou égal à 4. Dans ce premier mode de réalisation, $N = 4$. Ainsi, il est possible que N soit supérieur ou égal à 4.

Deuxième mode de réalisation.

15 Le deuxième mode de réalisation d’un appareil selon l’invention, donné à titre d’exemple non limitatif, correspond également à l’appareil portable pour communication radio représenté sur la figure 5, 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 6 l’unité de commutation (6) utilisée dans ce deuxième mode de réalisation. Cette unité de commutation comporte:

20 $N = 4$ accès d’entrée (611) (621) (631) (641), chacun des accès d’entrée étant asymétrique ;

$n = 2$ accès de sortie (612) (622), chacun des accès de sortie étant asymétrique ;

25 n commutateurs contrôlés électriquement (601) ayant chacun 1 circuit et N positions (en anglais, un tel commutateur peut être désigné par SP4T dans ce deuxième mode de réalisation, puisque $N = 4$).

Tous les commutateurs (601) utilisés dans l’unité de commutation de ce deuxième mode de réalisation utilisent des diodes PIN comme dispositifs de commutation et sont contrôlés électriquement, mais les circuits de contrôle et les liaisons de contrôle nécessaires pour contrôler la position de chacun des commutateurs ne sont pas montrés sur la figure 6. Ces circuits de
30 contrôle reçoivent l’instruction de configuration et sont tels que l’unité de commutation opère dans une configuration active déterminée par l’instruction de configuration. La configuration active est l’une d’une pluralité de configurations autorisées.

Dans la configuration active montée sur la figure 6, l’unité de commutation procure, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée, un chemin bidirectionnel entre un premier
35 accès de sortie (612) et un premier accès d’entrée (641), et un chemin bidirectionnel entre un second accès de sortie (622) et un second accès d’entrée (621). Ainsi, dans cette configuration active, les n accès d’entrée sélectionnés sont différents les uns des autres. Plus généralement,

chacune des configurations autorisées est telle qu'elle correspond à une sélection de n accès d'entrée parmi les N accès d'entrée, dans laquelle les n accès d'entrée sélectionnés sont différents les uns des autres. Par conséquent, certaines combinaisons des positions des commutateurs contrôlés électriquement ne peuvent pas correspondre à une configuration autorisée.

Le spécialiste voit que, dans ce deuxième mode de réalisation, la pluralité de configurations autorisées peut être telle que, pour n'importe lequel des N accès d'entrée, il existe au moins une configuration autorisée dans laquelle l'unité de commutation procure, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée, un chemin entre un des accès de sortie et ledit n'importe lequel des N accès d'entrée. De façon équivalente, la pluralité de configurations autorisées peut être telle que, pour n'importe lequel des N accès d'entrée, il existe au moins une configuration autorisée dans laquelle ledit n'importe lequel des N accès d'entrée est sélectionné (c'est-à-dire : il existe au moins une configuration autorisée telle qu'elle corresponde à une sélection de n accès d'entrée parmi les N accès d'entrée, cette sélection incluant ledit n'importe lequel des N accès d'entrée). De façon équivalente, la pluralité de configurations autorisées peut être telle que, pour n'importe laquelle des N antennes, il existe au moins une configuration autorisée dans laquelle ladite n'importe laquelle des N antennes est sélectionnée (c'est-à-dire : il existe au moins une configuration autorisée telle qu'elle corresponde à une sélection de n antennes parmi les N antennes, cette sélection incluant ladite n'importe laquelle des N antennes).

Dans ce deuxième mode de réalisation, le spécialiste voit que l'unité de commutation est telle que, dans n'importe laquelle des configurations autorisées, si un accès d'entrée est tel que l'unité de commutation ne procure pas, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée, un chemin entre n'importe lequel des accès de sortie et ledit accès d'entrée, alors une unique borne du dit accès d'entrée est laissée en circuit ouvert. De façon équivalente, dans n'importe laquelle des configurations autorisées, un accès d'entrée qui n'est pas sélectionné a une unique borne qui est laissée en circuit ouvert.

Troisième mode de réalisation.

Le troisième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également à l'appareil portable pour communication radio représenté sur la figure 5, 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 7 l'unité de commutation (6) utilisée dans ce troisième mode de réalisation. Cette unité de commutation comporte:

$N = 4$ accès d'entrée (611) (621) (631) (641) ;
 $n = 2$ accès de sortie (612) (622) ;
 N commutateurs contrôlés électriquement (602) ayant chacun 1 circuit et $n + 1$ positions
 (en anglais, un tel commutateur peut être désigné par SP3T dans ce troisième

mode de réalisation, puisque $n = 2$);

N bipôles linéaires passifs (603).

Tous les commutateurs (602) utilisés dans l'unité de commutation de ce troisième mode de réalisation utilisent des MOSFETs comme dispositifs de commutation et sont contrôlés électriquement, mais les circuits de contrôle et les liaisons de contrôle nécessaires pour contrôler la position de chacun des commutateurs ne sont pas montrés sur la figure 7. Ces circuits de contrôle reçoivent l'instruction de configuration et sont tels que l'unité de commutation opère dans une configuration active déterminée par l'instruction de configuration. La configuration active est l'une d'une pluralité de configurations autorisées.

10 Dans la configuration active montée sur la figure 7, l'unité de commutation procure, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée, un chemin bidirectionnel entre un premier accès de sortie (612) et un premier accès d'entrée (641), et un chemin bidirectionnel entre un second accès de sortie (622) et un second accès d'entrée (621). Ainsi, dans cette configuration active, les n accès d'entrée sélectionnés sont différents les uns des autres. Plus généralement, 15 chacune des configurations autorisées est telle qu'elle correspond à une sélection de n accès d'entrée parmi les N accès d'entrée, dans laquelle les n accès d'entrée sélectionnés sont différents les uns des autres. Par conséquent, certaines combinaisons des positions des commutateurs contrôlés électriquement ne peuvent pas correspondre à une configuration autorisée.

20 Dans ce troisième mode de réalisation, le spécialiste voit que l'unité de commutation est telle que, dans n'importe laquelle des configurations autorisées, si un accès d'entrée est tel que l'unité de commutation ne procure pas, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée, un chemin entre n'importe lequel des accès de sortie et ledit accès d'entrée, alors ledit accès d'entrée est couplé à un des bipôles linéaires passifs. De façon équivalente, dans n'importe 25 laquelle des configurations autorisées, un accès d'entrée qui n'est pas sélectionné est couplé à un des bipôles linéaires passifs. Par exemple, n'importe lequel des bipôles linéaires passifs peut être un condensateur, une résistance ou un court-circuit.

Quatrième mode de réalisation.

Le quatrième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre 30 d'exemple non limitatif, correspond également à l'appareil portable pour communication radio représenté sur la figure 5, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables à ce quatrième mode de réalisation. De plus, nous avons représenté sur la figure 8 l'unité de commutation (6) utilisée dans ce quatrième mode de réalisation. Cette unité de commutation comporte:

35 $N = 4$ accès d'entrée (611) (621) (631) (641);

$n = 2$ accès de sortie (612) (622);

N commutateurs contrôlés électriquement (602) ayant chacun 1 circuit et $n + 1$ positions

(en anglais, un tel commutateur peut être désigné par SP3T dans ce quatrième mode de réalisation, puisque $n = 2$) ;

N commutateurs contrôlés électriquement (604) ayant chacun 1 circuit et 2 positions (en anglais, un tel commutateur peut être désigné par SP2T).

5 Tous les commutateurs (602) (604) utilisés dans l'unité de commutation de ce quatrième mode de réalisation utilisent des commutateurs micro-électromécaniques comme dispositifs de commutation et sont contrôlés électriquement, mais les circuits de contrôle et les liaisons de contrôle nécessaires pour contrôler la position de chacun des commutateurs ne sont pas montrés sur la figure 8. Ces circuits de contrôle reçoivent l'instruction de configuration et sont tels que
10 l'unité de commutation opère dans une configuration active déterminée par l'instruction de configuration. La configuration active est l'une d'une pluralité de configurations autorisées.

Dans la configuration active montée sur la figure 8, l'unité de commutation procure, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée, un chemin bidirectionnel entre un premier accès de sortie (612) et un premier accès d'entrée (641), et un chemin bidirectionnel entre un
15 second accès de sortie (622) et un second accès d'entrée (621). Ainsi, dans cette configuration active, les n accès d'entrée sélectionnés sont différents les uns des autres. Plus généralement, chacune des configurations autorisées est telle qu'elle correspond à une sélection de n accès d'entrée parmi les N accès d'entrée, dans laquelle les n accès d'entrée sélectionnés sont différents les uns des autres. Par conséquent, certaines combinaisons des positions des
20 commutateurs contrôlés électriquement ne peuvent pas correspondre à une configuration autorisée.

Dans ce quatrième mode de réalisation, l'unité de commutation est telle que, dans n'importe laquelle des configurations autorisées, si un accès d'entrée est tel que l'unité de commutation ne procure pas, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée, un chemin
25 entre n'importe lequel des accès de sortie et ledit accès d'entrée, alors les deux bornes du dit accès d'entrée sont laissées en circuit ouvert. De façon équivalente, dans n'importe laquelle des configurations autorisées, les bornes d'un accès d'entrée qui n'est pas sélectionné sont laissées en circuit ouvert. L'article de S. Zhang, K. Zhao, Z. Ying et S. He, intitulé "Adaptive Quad-Element Multi-Wideband Antenna Array for User-Effective LTE MIMO Mobile Terminals",
30 paru dans *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, No. 8, aux pages 4275-4283, en août 2013, indique que cette caractéristique peut être avantageuse. Cependant, le dispositif décrit dans cet article est entièrement différent de la présente invention parce qu'il ne comporte pas d'appareil d'accord d'antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples, et il ne peut pas compenser une variation arbitraire de la matrice impédance présentée par le
35 réseau d'antennes, causée par l'interaction utilisateur ou par une variation de la fréquence d'opération. Ainsi, le dispositif décrit dans cet article ne compense pas l'interaction utilisateur.

Cinquième mode de réalisation.

Le cinquième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également à l'appareil portable pour communication radio représenté sur la figure 5, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables à ce cinquième mode de réalisation.

Dans ce cinquième mode de réalisation, l'appareil d'accord d'antenne (3) est un appareil d'accord d'antenne divulgué dans ladite demande de brevet français numéro 12/02542 et ladite demande internationale PCT/IB2013/058423. Ainsi, l'appareil d'accord d'antenne (3) est tel que la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a, à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, si la matrice impédance vue par les accès antenne est égale à une matrice impédance diagonale donnée, une influence sur la matrice impédance présentée par les accès radio, et tel que la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a, à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, si la matrice impédance vue par les accès antenne 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 radio. Ceci doit être interprété comme signifiant : l'appareil d'accord d'antenne est tel que, à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, il existe une matrice impédance diagonale appelée la matrice impédance diagonale donnée, la matrice impédance diagonale donnée étant telle que, si une matrice impédance vue par les accès antenne est égale à la matrice impédance diagonale donnée, alors (a) la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une influence sur une matrice impédance présentée par les accès radio, et (b) la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une influence sur au moins un élément non diagonal de la matrice impédance présentée par les accès radio. Dans les deux phrases précédentes, "une influence" pourrait être remplacé par "un effet".

Le spécialiste comprend que l'appareil d'accord d'antenne (3) ne peut pas être constitué d'une pluralité d'appareils d'accord d'antenne indépendants et non couplés ayant chacun un unique accès antenne et un unique accès radio, parce que dans ce cas, si la matrice impédance vue par les accès antenne est égale à une matrice impédance diagonale quelconque, alors la matrice impédance présentée par les accès radio est une matrice diagonale, dont les éléments non diagonaux ne peuvent être influencés par quoi que ce soit.

De plus, l'appareil d'accord d'antenne (3) est tel que, à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, si la matrice impédance vue par les accès antenne est égale à une matrice impédance non diagonale donnée, une application (au sens mathématique) faisant correspondre la matrice impédance présentée par les accès radio aux p réactances est définie, l'application ayant, à une valeur donnée de chacune des p réactances, une dérivée partielle par

rapport à chacune des p réactances, un sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles étant défini dans l'ensemble des matrices complexes carrées d'ordre m considéré comme un espace vectoriel réel, toute matrice complexe diagonale d'ordre m ayant les mêmes éléments diagonaux qu'au moins un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles. Ceci doit être interprété comme signifiant : l'appareil d'accord d'antenne est tel que, à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, il existe une matrice impédance non diagonale appelée la matrice impédance non diagonale donnée, la matrice impédance non diagonale donnée étant telle que, si une matrice impédance vue par les accès antenne est égale à la matrice impédance non diagonale donnée, alors une application faisant correspondre une matrice impédance présentée par les accès radio 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 du réseau d'antennes, produite par un changement de fréquence d'utilisation ou un changement du milieu entourant les antennes, peut être au moins partiellement compensée par un nouveau réglage des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne.

Plus généralement, un spécialiste comprend que, pour obtenir que toute matrice complexe diagonale d'ordre m ait les mêmes éléments diagonaux qu'au moins un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles, il est nécessaire que la dimension du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles considéré comme un espace vectoriel réel soit supérieure ou égale à la dimension du sous-espace vectoriel des matrices complexes diagonales d'ordre m considéré comme un espace vectoriel réel. Puisque la dimension du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles considéré comme un espace vectoriel réel est inférieure ou égale à p , et puisque la dimension du sous-espace vectoriel des matrices complexes diagonales d'ordre m considéré comme un espace vectoriel réel est égale à $2m$, la condition nécessaire implique que p est un entier supérieur ou égal à $2m$. C'est pourquoi l'exigence " p est un entier supérieur ou égal à $2m$ " est une caractéristique essentielle de l'invention.

Sixième mode de réalisation.

Le sixième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également à l'appareil portable pour communication radio représenté sur la figure 5, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation et le

cinquième mode de réalisation sont applicables à ce sixième mode de réalisation. L'appareil d'accord d'antenne (3) utilisé dans ce sixième mode de réalisation est représenté sur la figure 9 et il comporte :

- $n = 2$ accès antenne (311) (321), chacun des accès antenne étant asymétrique ;
- 5 $m = 2$ accès radio (312) (322), chacun des accès radio étant asymétrique ;
- n dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne (301) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès antenne ;
- 10 $n(n - 1)/2$ dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne (302) présentant chacun une réactance négative et ayant chacun une première borne couplée à un des accès antenne et une deuxième borne couplée à un des accès antenne qui est différent de l'accès antenne auquel la première borne est couplée ;
- 15 $n = m$ enroulements (303) ayant chacun une première borne couplée à un des accès antenne et une deuxième borne couplée à un des accès radio ;
- m dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne (304) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès radio ;
- 20 $m(m - 1)/2$ dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne (305) présentant chacun une réactance négative et ayant chacun une première borne couplée à un des accès radio et une deuxième borne couplée à un des accès radio qui est différent de l'accès radio auquel la première borne est couplée.

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

- 25 Tous les dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne (301) (302) (304) (305) sont réglables par moyen électrique, mais les circuits et les liaisons de contrôle nécessaires pour déterminer la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne ne sont pas montrés sur la figure 9. Dans ce sixième mode de réalisation, nous avons $n = m$ et nous utilisons $p = m(m + 1) = 6$ dispositifs à impédance
- 30 réglable de l'appareil d'accord d'antenne.

- 35 Le spécialiste comprend que, à une fréquence à laquelle l'appareil d'accord d'antenne est prévu pour fonctionner, si la matrice impédance vue par les accès antenne est une matrice diagonale ayant tous ses éléments diagonaux égaux à 50Ω , la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une influence sur la matrice impédance présentée par les accès radio, et la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une influence sur un ou plusieurs des éléments non diagonaux de la matrice impédance présentée par les accès radio.

La matrice impédance vue par les accès antenne étant une matrice complexe symétrique

donnée, il est possible de montrer que, pour des valeurs de composants convenables, les p dérivées partielles définies plus haut dans la section sur le cinquième mode de réalisation 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.

La réactance d'un dispositif à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne peut dépendre de la température ambiante, pour certains types de dispositifs à impédance réglable. Si un tel type de dispositif à impédance réglable est utilisé dans l'appareil d'accord d'antenne, il est possible que les signaux de contrôle d'accord soient déterminés en fonction de l'instruction d'accord et en fonction de la température, pour compenser l'effet de la température sur la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne. Au moins un des signaux de contrôle d'accord est déterminé en fonction de l'instruction d'accord et en fonction de la température, pour compenser l'effet de la température sur la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne.

Le spécialiste comprend que toute petite variation de la matrice impédance du réseau d'antennes, produite par un changement de fréquence d'utilisation ou un changement du milieu entourant les antennes, peut être totalement compensée par un nouveau réglage des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne. Ainsi, il est toujours possible de compenser l'interaction utilisateur.

De plus, ladite limitation importante de l'état de l'art relatif à l'accord automatique d'antenne est surmontée par l'invention parce que, pour $N = 4$ antennes, ce sixième mode de réalisation utilise seulement 6 dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne, au lieu des 20 dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne utilisés dans la figure 4.

30 Septième mode de réalisation.

Le septième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également à l'appareil portable pour communication radio représenté sur la figure 5, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation et le cinquième mode de réalisation sont applicables à ce septième mode de réalisation. De plus, l'appareil d'accord d'antenne (3) utilisé dans ce septième mode de réalisation est représenté sur la figure 10 et il comporte :

$n = 2$ accès antenne (311) (321), chacun des accès antenne étant asymétrique ;

$m = 2$ accès radio (312) (322), chacun des accès radio étant asymétrique ;

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

$n(n - 1)/2$ condensateurs (306) ayant chacun une première borne couplée à un des accès antenne et une deuxième borne couplée à un des accès antenne qui est différent de l'accès antenne auquel la première borne est couplée ;

$n = m$ enroulements (303) ayant chacun une première borne couplée à un des accès antenne et une deuxième borne couplée à un des accès radio ;

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

$m(m - 1)/2$ condensateurs (307) ayant chacun une première borne couplée à un des accès radio et une deuxième borne couplée à un des accès radio qui est différent de l'accès radio auquel la première borne est couplée.

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

Tous les dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne (301) (304) sont réglables par moyen électrique, mais les circuits et les liaisons de contrôle nécessaires pour déterminer la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne ne sont pas montrés sur la figure 10.

Le spécialiste comprend que, à une fréquence à laquelle l'appareil d'accord d'antenne est prévu pour fonctionner, si la matrice impédance vue par les accès antenne est une matrice diagonale ayant tous ses éléments diagonaux égaux à 50Ω , la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une influence sur la matrice impédance présentée par les accès radio, et la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une influence sur un ou plusieurs des éléments non diagonaux de la matrice impédance présentée par les accès radio.

Pour des valeurs de composants convenables, il est possible de montrer que les $p = 4$ dérivées partielles sont linéairement indépendantes dans l'espace vectoriel réel des matrices complexes carrées d'ordre m , noté E . Ainsi, le sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles dans E est un sous-espace vectoriel de dimension 4. 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.

Le spécialiste comprend que toute petite variation de la matrice impédance du réseau d'antennes, produite par un changement de fréquence d'utilisation ou un changement du milieu entourant les antennes, peut être partiellement compensée par un nouveau réglage des dispositifs

à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne.

De plus, ladite limitation importante de l'état de l'art relatif à l'accord automatique d'antenne est surmontée par l'invention parce que, pour $N = 4$ antenne, ce septième mode de réalisation utilise seulement 4 dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne, au lieu des 20 dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne utilisés dans la figure 4.

Si les condensateurs (306) (307) montrés dans la figure 10 n'étaient pas présents dans la figure 10, et si de l'induction mutuelle n'existait pas entre les enroulements (303), alors l'appareil d'accord d'antenne (3) comportant $n = 2$ accès antenne et $m = 2$ accès radio serait en fait composé de $n = 2$ appareils d'accord d'antenne ayant chacun un unique accès antenne et un unique accès radio, ces appareils d'accord d'antenne ayant chacun un unique accès antenne et un unique accès radio étant indépendants et non couplés. Dans ce cas, le procédé selon l'invention peut devenir un procédé pour communication radio avec plusieurs antennes dans une bande de fréquences donnée, utilisant un appareil pour communication radio incluant N antennes, où N est un entier supérieur ou égal à 3, chacune des N antennes étant telle qu'elle peut fonctionner à toute fréquence dans la bande de fréquences donnée, le procédé comportant les étapes suivantes :

sélectionner n antennes parmi les N antennes, où n est un entier supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à N moins 1, en utilisant une unité de commutation comportant N accès d'entrée et n accès de sortie, chacun des N accès d'entrée étant couplé, directement ou indirectement, à une des N antennes, l'unité de commutation procurant, pour n'importe quel petit signal dans la bande de fréquences donnée et pour n'importe lequel des accès de sortie, un chemin entre ledit n'importe lequel des accès de sortie et un des accès d'entrée, ledit un des accès d'entrée étant couplé à une des n antennes sélectionnées, les n antennes sélectionnées étant déterminées par une "instruction de configuration" ;

coupler les n accès de sortie, directement ou indirectement, à n accès antennes de n appareils d'accord d'antenne, chacun des dits appareils d'accord d'antenne comportant, en plus d'un des dits n accès antenne, un accès radio, et au moins 2 dispositifs à impédance réglable tels que, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable du dit chacun des dits appareils d'accord d'antenne a une réactance, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable étant réglable par moyen électrique ;
générer une "instruction d'accord", l'instruction d'accord ayant un effet sur la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable.

Dans ce procédé, chacun des accès de sortie peut être couplé, directement ou indirectement, à un et un seul des accès antenne des n appareils d'accord d'antenne.

Un appareil mettant en oeuvre ce procédé est un appareil pour communication radio

utilisant plusieurs antennes dans une bande de fréquences donnée, l'appareil pour communication radio comportant :

- 5 N antennes, où N est un entier supérieur ou égal à 3, chacune des N antennes étant telle qu'elle peut fonctionner à toute fréquence dans la bande de fréquences donnée ;
- une unité de traitement, l'unité de traitement délivrant une "instruction de configuration" et une "instruction d'accord" ;
- une unité de commutation comportant N accès d'entrée et n accès de sortie, où n est un entier supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à N moins 1, chacun des N accès d'entrée étant couplé, directement ou indirectement, à une des N antennes,
- 10 l'unité de commutation opérant dans une configuration active déterminée par l'instruction de configuration, la configuration active étant l'une d'une pluralité de configurations autorisées, l'unité de commutation procurant, dans n'importe laquelle des configurations autorisées, pour n'importe quel petit signal dans la bande de fréquences donnée et pour n'importe lequel des n accès de sortie, un
- 15 chemin entre ledit n'importe lequel des n accès de sortie et un des accès d'entrée ;
- n appareils d'accord d'antenne, chacun des dits appareils d'accord d'antenne comportant un accès antenne, un accès radio, et au moins 2 dispositifs à impédance réglable tels que, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, chacun des
- 20 dispositifs à impédance réglable du dit chacun des dits appareils d'accord d'antenne a une réactance, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable étant réglable par moyen électrique, les n accès de sortie étant couplés, directement ou indirectement, aux n accès antennes ;
- une unité de contrôle d'accord, l'unité de contrôle d'accord recevant l'instruction
- 25 d'accord, l'unité de contrôle d'accord délivrant une pluralité de "signaux de contrôle d'accord", les signaux de contrôle d'accord étant déterminés en fonction de l'instruction d'accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable des appareils d'accord d'antenne étant principalement déterminée par un ou plusieurs des signaux de contrôle d'accord.

30 Huitième mode de réalisation.

Le huitième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, est un appareil pour communication radio comportant un récepteur radio mettant en oeuvre un procédé pour réception radio avec plusieurs antennes dans une bande de fréquences donnée, l'appareil pour communication radio incluant N antennes, où N est un entier supérieur

35 ou égal à 3, chacune des N antennes étant telle qu'elle peut fonctionner à toute fréquence dans la bande de fréquences donnée, le procédé comportant les étapes suivantes :

- sélectionner n antennes parmi les N antennes, où n est un entier supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à N moins 1, en utilisant une unité de commutation comportant N accès d'entrée et n accès de sortie, chacun des N accès d'entrée étant couplé, directement ou indirectement, à une des N antennes, l'unité de commutation procurant, pour n'importe quel petit signal dans la bande de fréquences donnée et pour n'importe lequel des n accès de sortie, un chemin entre ledit n'importe lequel des n accès de sortie et un des accès d'entrée, ledit un des accès d'entrée étant couplé à une des n antennes sélectionnées ;
- coupler les n accès de sortie, directement ou indirectement, à n accès antenne d'un appareil d'accord d'antenne comportant, en plus des dits n accès antenne, m accès radio et p dispositifs à impédance réglable, où m est un entier supérieur ou égal à 2 et où p est un entier supérieur ou égal à $2m$, les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne" et étant tels que, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une réactance, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne étant réglable par moyen électrique ;
- traiter une pluralité de signaux numériques pour estimer une ou plusieurs quantités représentatives d'une matrice de canal ;
- délivrer une "instruction de configuration", les n antennes sélectionnées étant déterminées par l'instruction de configuration ;
- délivrer une "instruction d'accord", l'instruction d'accord étant une fonction des dites une ou plusieurs quantités représentatives d'une matrice de canal, l'instruction d'accord ayant un effet sur la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne.

Par exemple, comme dans ladite demande de brevet français numéro 12/02564 et ladite demande internationale numéro PCT/IB2013/058574, le procédé peut être tel que, chacun des accès radio délivrant un signal, chacun des signaux numériques est principalement déterminé par un et un seul des signaux délivrés par les accès radio, et tel que la matrice de canal est une matrice de canal entre une pluralité de signaux émis par un émetteur et les m signaux délivrés par les accès radio. Par exemple, une ou plusieurs quantités représentatives d'une capacité de canal peuvent être calculées en fonction des dites quantités représentatives d'une matrice de canal, l'instruction d'accord étant délivrée en fonction des dites une ou plusieurs quantités représentatives d'une capacité de canal. Le spécialiste comprend que, pour calculer les dites une ou plusieurs quantités représentatives d'une capacité de canal, au moins une quantité représentative d'un rapport signal sur bruit de réception peut être estimée.

Le procédé peut être tel qu'un processus adaptatif est mis en oeuvre durant une ou

plusieurs séquences d'entraînement. Une séquence d'entraînement peut comporter l'émission d'une pluralité de signaux quasi-orthogonaux ou orthogonaux. L'instruction d'accord sélectionnée pendant la dernière séquence d'entraînement achevée peut être utilisée pour la réception radio.

- 5 Le processus adaptatif peut être tel que, la plupart du temps, l'instruction d'accord utilisée pour la réception est une instruction d'accord qui, pour une instruction de configuration choisie, parmi un ensemble fini d'instructions d'accord possibles, produit des valeurs des dites une ou plusieurs quantités représentatives d'une capacité de canal qui correspondent à une des plus grandes capacités de canal (ou de façon préférentielle, à la plus grande capacité de canal).
- 10 L'instruction de configuration peut aussi être une fonction des dites une ou plusieurs quantités représentatives d'une matrice de canal.

Neuvième mode de réalisation.

Le neuvième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, est un appareil pour communication radio comportant un émetteur radio mettant
15 en oeuvre un procédé pour émission radio avec plusieurs antennes dans une bande de fréquences donnée, l'appareil pour communication radio incluant N antennes, où N est un entier supérieur ou égal à 3, chacune des N antennes étant telle qu'elle peut fonctionner à toute fréquence dans la bande de fréquences donnée, le procédé comportant les étapes suivantes :

20 sélectionner n antennes parmi les N antennes, où n est un entier supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à N moins 1, en utilisant une unité de commutation comportant N accès d'entrée et n accès de sortie, chacun des N accès d'entrée étant couplé, directement ou indirectement, à une des N antennes, l'unité de commutation procurant, pour n'importe quel petit signal dans la bande de fréquences donnée et pour n'importe lequel des n accès de sortie, un chemin entre ledit n'importe lequel des n accès de sortie et un des accès d'entrée, ledit un des accès d'entrée
25 étant couplé à une des n antennes sélectionnées ;

coupler les n accès de sortie, directement ou indirectement, à n accès antenne d'un appareil d'accord d'antenne comportant, en plus des dits n accès antenne, m accès radio et p dispositifs à impédance réglable, où m est un entier supérieur ou
30 égal à 2 et où p est un entier supérieur ou égal à $2m$, les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne" et étant tels que, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une réactance, la réactance de n'importe lequel des
35 dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne étant réglable par moyen électrique ;

estimer q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance présentée par les accès radio, où q est un entier supérieur ou égal à m , en utilisant au moins m excitations différentes appliquées successivement aux accès radio ;

5 délivrer une "instruction de configuration", les n antennes sélectionnées étant déterminées par l'instruction de configuration ;

délivrer une "instruction d'accord", l'instruction d'accord étant une fonction des dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance présentée par les accès radio, l'instruction d'accord ayant un effet sur la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne.

10 Le spécialiste comprend que ce neuvième mode de réalisation utilise certains aspects de la technique divulguée dans ladite demande de brevet français numéro 13/00878 et ladite demande internationale numéro PCT/IB2014/058933.

L'instruction de configuration peut aussi être une fonction des dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance présentée par les accès radio.

15 Dixième mode de réalisation.

Au titre d'un dixième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 11 le schéma bloc d'un appareil portable pour communication radio dans une bande de fréquences donnée, l'appareil pour communication radio étant un émetteur-récepteur comportant :

20 $N = 4$ antennes (11) (12) (13) (14), chacune des N antennes étant telle qu'elle peut opérer à toute fréquence dans la bande de fréquences donnée ;

un dispositif radio (5) qui consiste en toutes les parties de l'appareil pour communication radio qui ne sont pas montrées ailleurs sur la figure 11 ;

une unité de commutation (6), l'unité de commutation recevant une "instruction de configuration" générée automatiquement à l'intérieur de l'appareil pour communication radio, l'unité de commutation comportant N accès d'entrée couplés chacun à une et une seule des antennes à travers une liaison d'antenne (21) (22) (23) (24), l'unité de commutation comportant $n = 2$ accès de sortie,

25 l'unité de commutation opérant dans une configuration active déterminée par l'instruction de configuration, la configuration active étant l'une d'une pluralité de configurations autorisées, n'importe laquelle des configurations autorisées correspondant à une sélection de n accès d'entrée parmi les N accès d'entrée, l'unité de commutation procurant, pour n'importe quel petit signal dans la bande de fréquences donnée et pour n'importe lequel des accès de sortie, un chemin bidirectionnel entre ledit n'importe lequel des accès de sortie et un et un seul accès d'entrée de ladite sélection de n accès d'entrée ;

35

une unité de capteurs (8) estimant une pluralité de variables de localisation ;

un appareil d'accord d'antenne (3), l'appareil d'accord d'antenne étant un appareil d'accord d'antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples, l'appareil d'accord d'antenne comportant $n = 2$ accès antenne, chacun des accès de sortie étant couplé à un et un seul des accès antenne, l'appareil d'accord d'antenne comportant $m = 2$ accès radio, chacun des accès radio étant couplé au dispositif radio (5) à travers une interconnexion (41) (42), l'appareil d'accord d'antenne comportant p dispositifs à impédance réglable, où p est un entier supérieur ou égal à $2m$, les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne" et étant tels que, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une réactance, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne étant réglable par moyen électrique ;

une unité de contrôle d'accord (7), l'unité de contrôle d'accord recevant une "instruction d'accord" générée automatiquement à l'intérieur de l'appareil pour communication radio, l'unité de contrôle d'accord délivrant une pluralité de "signaux de contrôle d'accord" à l'appareil d'accord d'antenne (3), les signaux de contrôle d'accord étant déterminés en fonction de l'instruction d'accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne étant principalement déterminée par un ou plusieurs des signaux de contrôle d'accord.

L'unité de capteurs (8) estime une pluralité de variables de localisation dépendant chacune, dans une configuration d'utilisation donnée, de la distance entre une partie d'un corps humain et une zone de l'appareil pour communication radio. Chacune des dites zones peut être une partie de l'espace occupé par le capteur correspondant, cet espace étant à l'intérieur de l'espace occupé par l'appareil pour communication radio, si bien que dans ce cas chacune des dites zones a un volume bien inférieur au volume de l'appareil pour communication radio. Pour chacune des antennes, au moins une des variables de localisation peut dépendre de la distance entre une partie d'un corps humain et une petite zone à proximité de ladite chacune des antennes. Si un capteur approprié est utilisé, ladite zone peut être un point, ou sensiblement un point.

Par exemple, au moins une des variables de localisation peut être une sortie d'un capteur sensible à une pression exercée par une partie d'un corps humain. Par exemple, au moins une des variables de localisation peut être une sortie d'un capteur de proximité.

L'unité de capteurs (8) évalue (ou, de façon équivalente, estime) une pluralité de variables de localisation dépendant chacune, dans une configuration d'utilisation donnée, de la distance entre une partie d'un corps humain et une zone de l'appareil pour communication radio.

Cependant, il est possible qu'une ou plusieurs autres variables de localisation dépendant chacune, dans une configuration d'utilisation donnée, de la distance entre une partie d'un corps humain et une zone de l'appareil pour communication radio, ne soient pas estimées par l'unité de capteurs. Par exemple, au moins une des variables de localisation peut être déterminée par un changement d'état d'une sortie d'un écran tactile. Ainsi, l'unité de capteurs (8) peut être
5 considérée comme une partie d'une unité de localisation qui estime (ou évalue) une pluralité de variables, chacune des dites variables étant appelée "variable de localisation", chacune des variables de localisation dépendant de la distance entre une partie d'un corps humain et une zone de l'appareil pour communication radio. Cette partie de l'unité de localisation peut être la
10 totalité de l'unité de localisation.

L'instruction de configuration et l'instruction d'accord sont générées automatiquement à l'intérieur du dispositif radio (5). Plus précisément, le dispositif radio (5) comporte une unité de traitement (n'apparaissant pas sur la figure 11) qui délivre l'instruction de configuration et l'instruction d'accord, chacune des variables de localisation ayant une influence sur l'instruction
15 de configuration et/ou sur l'instruction d'accord. L'instruction de configuration est déterminée à partir d'un ensemble d'instructions de configuration pré-définies mémorisées dans une table de consultation (en anglais: "lookup table" ou "look-up table") réalisée dans l'unité de traitement, en se basant sur les variables de localisation et sur les fréquences utilisées pour la communication radio avec les antennes.

L'instruction d'accord peut être déterminée à partir d'un ensemble d'instructions d'accord pré-définies mémorisées dans une table de consultation réalisée dans l'unité de traitement, en se basant sur les variables de localisation et sur les fréquences utilisées pour la communication radio avec les antennes. Dans ce cas, il est possible que ce dixième mode de réalisation utilise certains aspects de la technique divulguée dans la demande de brevet français
25 numéro 14/00606 intitulée "Communication radio utilisant des antennes multiples et des variables de localisation".

Onzième mode de réalisation.

Le onzième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également à l'appareil portable pour communication radio représenté
30 sur la figure 11, et toutes les explications fournies pour le dixième mode de réalisation sont applicables à ce onzième mode de réalisation.

Dans ce onzième mode de réalisation, l'appareil pour communication radio est un téléphone mobile. La figure 12 est un dessin d'une vue d'arrière du téléphone mobile (9). La figure 12 montre le point (111) où le centre de la première antenne (11) est situé, le point (121)
35 où le centre de la deuxième antenne (12) est situé, le point (131) où le centre de la troisième antenne (13) est situé, et le point (141) où le centre de la quatrième antenne (14) est situé.

Un ensemble fini de configurations d'utilisation typiques est défini. Par exemple, la figure 13 montre une première configuration d'utilisation typique, qui peut être appelée "configuration main droite et tête"; la figure 14 montre une deuxième configuration d'utilisation typique, qui peut être appelée "configuration deux mains"; et la figure 15 montre une troisième configuration d'utilisation typique, qui peut être appelée "configuration main droite seulement". Dans la figure 13, la figure 14 et la figure 15, le téléphone mobile (9) est tenu par l'utilisateur. Plus précisément, l'utilisateur tient le téléphone mobile près de sa tête en utilisant sa main droite dans la figure 13 ; l'utilisateur tient le téléphone mobile loin de sa tête en utilisant ses deux mains dans la figure 14 ; et l'utilisateur tient le téléphone mobile loin de sa tête en utilisant seulement sa main droite dans la figure 15. Dans une configuration d'utilisation réelle, les variables de localisation évaluées par un capteur installé près du point (111) où le centre de la première antenne (11) est situé, par un capteur installé près du point (121) où le centre de la deuxième antenne (12) est situé, par un capteur installé près du point (131) où le centre de la troisième antenne (13) est situé, et par un capteur installé près du point (141) où le centre de la quatrième antenne (14) est situé sont utilisées pour déterminer la configuration d'utilisation typique la plus proche de la configuration d'utilisation réelle. Le spécialiste note que les performances de deux antennes sélectionnées parmi quatre antennes, en ce qui concerne les communications radio MIMO, ont été investiguées pour les trois configurations d'utilisation typique définies ci-dessus, dans ledit article de S. Zhang, K. Zhao, Z. Ying et S. He. Cependant, l'analyse du dit article ne s'applique pas à la présente invention, parce que le dispositif étudié dans ledit article ne comporte pas d'appareil d'accord d'antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples.

L'instruction de configuration est déterminée à partir d'un ensemble d'instructions de configuration pré-définies qui sont mémorisées dans une table de consultation réalisée dans l'unité de traitement, en se basant sur la configuration d'utilisation typique la plus proche et sur les fréquences utilisées pour la communication radio avec les antennes. Le spécialiste comprend comment construire et utiliser une telle table de consultation. Le spécialiste comprend l'avantage de définir et d'utiliser un ensemble de configurations d'utilisation typiques, qui doit être suffisamment grand pour couvrir tous les cas pertinents, et suffisamment petit pour éviter une table de consultation exagérément grande.

Par exemple, l'instruction d'accord peut être une fonction d'une ou plusieurs quantités représentatives d'une matrice de canal, comme expliqué dans le huitième mode de réalisation.

Par exemple, l'instruction d'accord peut être une fonction des variables de localisation et d'une ou plusieurs quantités représentatives d'une matrice de canal.

Par exemple, l'instruction d'accord peut être une fonction de quantités dépendantes d'une matrice impédance présentée par les accès radio, comme expliqué dans le neuvième mode de réalisation.

Par exemple, l'instruction d'accord peut être une fonction des variables de localisation

et de quantités dépendantes d'une matrice impédance présentée par les accès radio.

Par exemple, l'instruction d'accord peut être déterminée à partir d'un ensemble d'instructions d'accord pré-définies mémorisées dans une table de consultation réalisée dans l'unité de traitement, en se basant sur les variables de localisation et sur les fréquences utilisées pour la communication radio avec les antennes.

Douzième mode de réalisation.

Le douzième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, correspond également à l'appareil portable pour communication radio représenté sur la figure 11, et toutes les explications fournies pour le dixième mode de réalisation sont applicables à ce douzième mode de réalisation.

Dans ce douzième mode de réalisation, l'instruction de configuration et/ou l'instruction d'accord sont déterminées en fonction :

des variables de localisation ;
des fréquences utilisées pour la communication radio avec les antennes ;
d'une ou plusieurs variables additionnelles, chacune des variables additionnelles étant un élément d'un ensemble de variables additionnelles, les éléments de l'ensemble de variables additionnelles comportant : des variables de type de communication qui indiquent si une session de communication radio est une session de communication vocale, une session de communication de données ou un autre type de session de communication ; un indicateur d'activation de mode mains libres ; un indicateur d'activation de haut-parleur ; des variables obtenues en utilisant un ou plusieurs accéléromètres ; des variables d'identité d'utilisateur qui dépendent de l'identité de l'utilisateur actuel ; des variables de qualité de réception qui incluent par exemple les quantités représentatives d'une matrice de canal du huitième mode de réalisation ; et des variables d'antenne qui incluent par exemple les quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance présentée par les accès radio du neuvième mode de réalisation.

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

Dans ce douzième mode de réalisation, l'instruction de configuration et/ou l'instruction d'accord peuvent par exemple être déterminées en utilisant une table de consultation réalisée dans l'unité de traitement.

En se basant sur les enseignements du brevet des États-Unis d'Amérique numéro 8,204,446 intitulé "Adaptive Antenna Tuning Systems and Methods", le spécialiste comprend que l'accord d'antenne obtenu dans ce douzième mode de réalisation peut être plus précis qu'un

accord d'antenne dans lequel l'instruction d'accord est seulement une fonction des variables de localisation. Le spécialiste comprend aussi que l'accord d'antenne obtenu dans ce douzième mode de réalisation peut être simultanément précis et tel que l'instruction d'accord est générée rapidement et sans exiger une grande ressource de calcul.

5 Treizième mode de réalisation.

Au titre d'un treizième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 16 le schéma bloc d'un appareil portable pour communication radio dans une bande de fréquences donnée, l'appareil pour communication radio étant un émetteur-récepteur comportant :

- 10 $N = 4$ antennes (11) (12) (13) (14), chacune des N antennes étant telle qu'elle peut opérer à toute fréquence dans la bande de fréquences donnée, les N antennes formant un réseau d'antennes (1), chacune des antennes étant une antenne passive accordable comportant au moins un dispositif de contrôle d'antenne, une ou plusieurs caractéristiques de ladite antenne passive accordable étant
- 15 contrôlées en utilisant ledit au moins un dispositif de contrôle d'antenne, ledit au moins un dispositif de contrôle d'antenne ayant au moins un paramètre ayant un effet sur les dites une ou plusieurs caractéristiques, ledit au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique ;
- un dispositif radio (5) qui consiste en toutes les parties de l'appareil pour
- 20 communication radio qui ne sont pas montrées ailleurs sur la figure 16 ;
- une unité de commutation (6), l'unité de commutation recevant une "instruction de configuration" générée automatiquement à l'intérieur de l'appareil pour communication radio, l'unité de commutation comportant N accès d'entrée couplés chacun à une et une seule des antennes à travers une liaison d'antenne
- 25 (21) (22) (23) (24), l'unité de commutation comportant $n = 2$ accès de sortie, l'unité de commutation opérant dans une configuration active déterminée par l'instruction de configuration, la configuration active étant l'une d'une pluralité de configurations autorisées, n'importe laquelle des configurations autorisées correspondant à une sélection de n accès d'entrée parmi les N accès d'entrée,
- 30 l'unité de commutation procurant, pour n'importe quel petit signal dans la bande de fréquences donnée et pour n'importe lequel des accès de sortie, un chemin bidirectionnel entre ledit n'importe lequel des accès de sortie et un et un seul accès d'entrée de ladite sélection de n accès d'entrée ;
- une unité de capteurs (8) estimant une pluralité de variables de localisation ;
- 35 un appareil d'accord d'antenne (3), l'appareil d'accord d'antenne étant un appareil d'accord d'antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples, l'appareil

d'accord d'antenne comportant $n = 2$ accès antenne, chacun des accès de sortie étant couplé à un et un seul des accès antenne, l'appareil d'accord d'antenne comportant $m = 2$ accès radio, chacun des accès radio étant couplé au dispositif radio (5) à travers une interconnexion (41) (42), l'appareil d'accord d'antenne

5 comportant p dispositifs à impédance réglable, où p est un entier supérieur ou égal à $2m$, les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne" et étant tels que, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une réactance, la

10 réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne étant réglable par moyen électrique ;

une unité de contrôle d'accord (7), l'unité de contrôle d'accord recevant une "instruction d'accord" générée automatiquement à l'intérieur de l'appareil pour communication radio, l'unité de contrôle d'accord délivrant une pluralité de

15 "signaux de contrôle d'accord" à l'appareil d'accord d'antenne et aux antennes passives accordables, les signaux de contrôle d'accord étant déterminés en fonction de l'instruction d'accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne étant principalement déterminée par un ou plusieurs des signaux de contrôle d'accord, chacun des dits

20 paramètres étant principalement déterminé par un ou plusieurs des signaux de contrôle d'accord.

INDICATIONS SUR LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

L'invention est adaptée à la communication radio utilisant des antennes multiples. Ainsi, l'invention est adaptée à la communication radio MIMO. L'appareil pour communication radio

25 peut être un appareil pour communication radio MIMO, c'est-à-dire un appareil pour réception radio MIMO et/ou un appareil pour émission radio MIMO.

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 appareils mobiles pour communication radio, par exemple les

30 téléphones mobiles, les tablettes numériques et les ordinateurs portables.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour communication radio avec plusieurs antennes dans une bande de fréquences donnée, utilisant un appareil pour communication radio incluant N antennes (11) (12) (13) (14), où N est un entier supérieur ou égal à 3, chacune des N antennes étant telle qu'elle peut fonctionner à toute fréquence dans la bande de fréquences donnée, le procédé comportant les étapes suivantes :
- 5 sélectionner n antennes parmi les N antennes, où n est un entier supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à N moins 1, en utilisant une unité de commutation (6) comportant N accès d'entrée et n accès de sortie, chacun des N accès d'entrée étant couplé, directement ou indirectement, à une des N antennes, l'unité de commutation procurant, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée et pour n'importe lequel des n accès de sortie, un chemin entre ledit n'importe lequel des n accès de sortie et un des accès d'entrée, ledit un des accès d'entrée étant couplé à une des n antennes sélectionnées, les n antennes sélectionnées étant déterminées par une "instruction de configuration" ;
- 10 coupler les n accès de sortie, directement ou indirectement, à n accès antennes d'un appareil d'accord d'antenne (3) comportant, en plus des dits n accès antenne, m accès radio et p dispositifs à impédance réglable, où m est un entier supérieur ou égal à 2 et où p est un entier supérieur ou égal à $2m$, les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne" et étant tels que, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une réactance, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne étant réglable par moyen électrique ;
- 15 générer une "instruction d'accord", l'instruction d'accord ayant un effet sur la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne, l'instruction d'accord étant déterminée en fonction de l'instruction de configuration.
- 20
- 25
- 30 2. Appareil pour communication radio utilisant plusieurs antennes dans une bande de fréquences donnée, l'appareil pour communication radio comportant :
- N antennes (11) (12) (13) (14), où N est un entier supérieur ou égal à 3, chacune des N antennes étant telle qu'elle peut fonctionner à toute fréquence dans la bande de fréquences donnée;
- 35 une unité de traitement, l'unité de traitement délivrant une "instruction de configuration" et une "instruction d'accord", l'instruction d'accord étant déterminée en fonction de l'instruction de configuration ;

- une unité de commutation (6) comportant N accès d'entrée et n accès de sortie, où n est un entier supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à N moins 1, chacun des N accès d'entrée étant couplé, directement ou indirectement, à une des N antennes, l'unité de commutation opérant dans une configuration active déterminée par l'instruction de configuration, la configuration active étant l'une d'une pluralité de configurations autorisées, l'unité de commutation procurant, dans n'importe laquelle des configurations autorisées, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée et pour n'importe lequel des n accès de sortie, un chemin entre ledit n'importe lequel des n accès de sortie et un des accès d'entrée ;
- un appareil d'accord d'antenne (3) comportant n accès antenne, m accès radio et p dispositifs à impédance réglable, où m est un entier supérieur ou égal à 2 et où p est un entier supérieur ou égal à $2m$, les p dispositifs à impédance réglable étant appelés les "dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne" et étant tels que, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une réactance, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne étant réglable par moyen électrique, les n accès de sortie étant couplés, directement ou indirectement, aux n accès antennes ;
- une unité de contrôle d'accord (7), l'unité de contrôle d'accord recevant l'instruction d'accord, l'unité de contrôle d'accord délivrant une pluralité de "signaux de contrôle d'accord", les signaux de contrôle d'accord étant déterminés en fonction de l'instruction d'accord, la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne étant principalement déterminée par un ou plusieurs des signaux de contrôle d'accord.
3. Appareil pour communication radio selon la revendication 2, dans lequel la pluralité de configurations autorisées est telle que, pour n'importe lequel des N accès d'entrée, il existe au moins une configuration autorisée dans laquelle l'unité de commutation procure, pour des signaux dans la bande de fréquences donnée, un chemin entre un des accès de sortie et ledit n'importe lequel des N accès d'entrée.
4. Appareil pour communication radio selon la revendication 2, dans lequel l'appareil d'accord d'antenne (3) est tel que, à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, il existe une matrice impédance diagonale appelée la matrice impédance diagonale donnée, la matrice impédance diagonale donnée étant telle que, si une matrice impédance vue par les accès antenne est égale à la matrice impédance diagonale donnée, alors la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une influence sur

une matrice impédance présentée par les accès radio.

5. Appareil pour communication radio selon la revendication 4, dans lequel l'appareil d'accord d'antenne (3) est tel que, à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, si la matrice impédance vue par les accès antenne est égale à la matrice impédance diagonale donnée, alors la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne a une influence sur au moins un élément non diagonal de la matrice impédance présentée par les accès radio.
6. Appareil pour communication radio selon la revendication 2, dans lequel l'appareil d'accord d'antenne (3) est composé de n appareils d'accord d'antenne ayant chacun un unique accès antenne et un unique accès radio, les appareils d'accord d'antenne ayant chacun un unique accès antenne et un unique accès radio étant indépendants et non couplés.
7. Appareil pour communication radio selon la revendication 2, dans lequel l'appareil pour communication radio comporte un récepteur radio, l'instruction d'accord étant une fonction d'une ou plusieurs quantités représentatives d'une matrice de canal.
8. Appareil pour communication radio selon la revendication 2, dans lequel l'appareil pour communication radio comporte un émetteur radio, l'instruction d'accord étant une fonction de q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance présentée par les accès radio, où q est un entier supérieur ou égal à m .
9. Appareil pour communication radio selon la revendication 2, comportant en outre une unité de localisation, l'unité de localisation estimant une pluralité de variables, chacune des dites variables étant appelée "variable de localisation", chacune des variables de localisation dépendant de la distance entre une partie d'un corps humain et une zone de l'appareil pour communication radio, chacune des variables de localisation ayant une influence sur l'instruction de configuration.
10. Appareil pour communication radio selon la revendication 9, dans lequel l'instruction de configuration est déterminée à partir d'un ensemble d'instructions de configuration pré-définies mémorisées dans une table de consultation, en se basant sur les variables de localisation et sur les fréquences utilisées pour la communication radio avec les antennes.

1 / 12

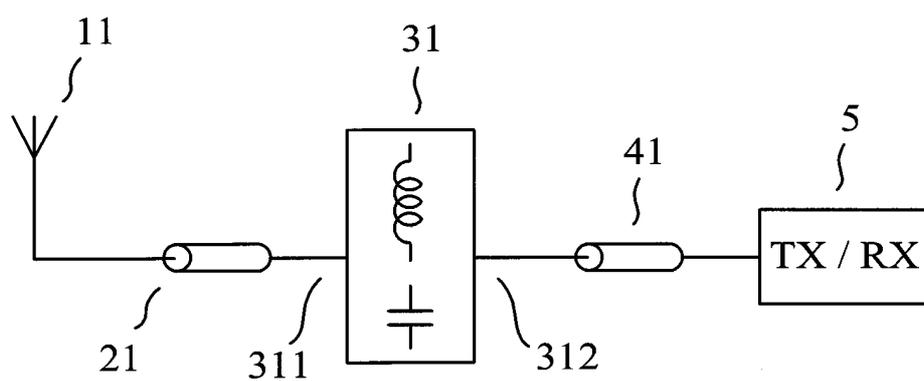


FIG. 1

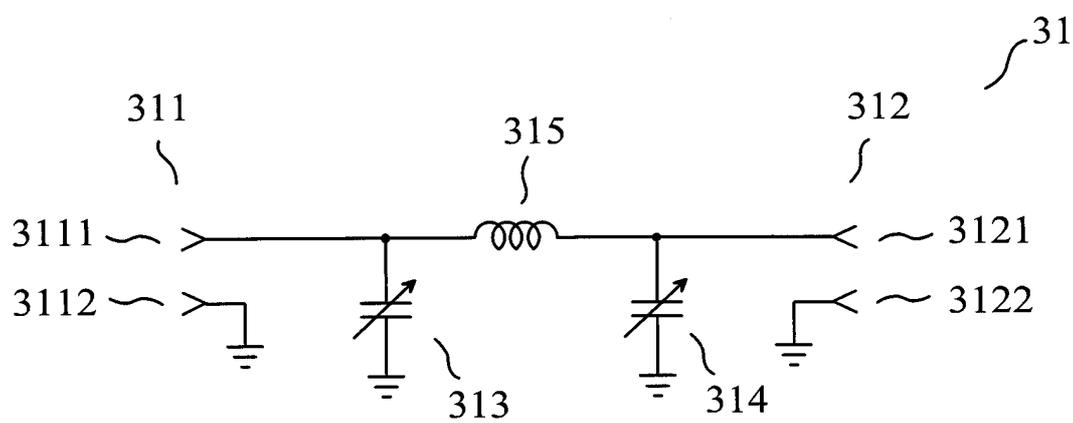


FIG. 2

2 / 12

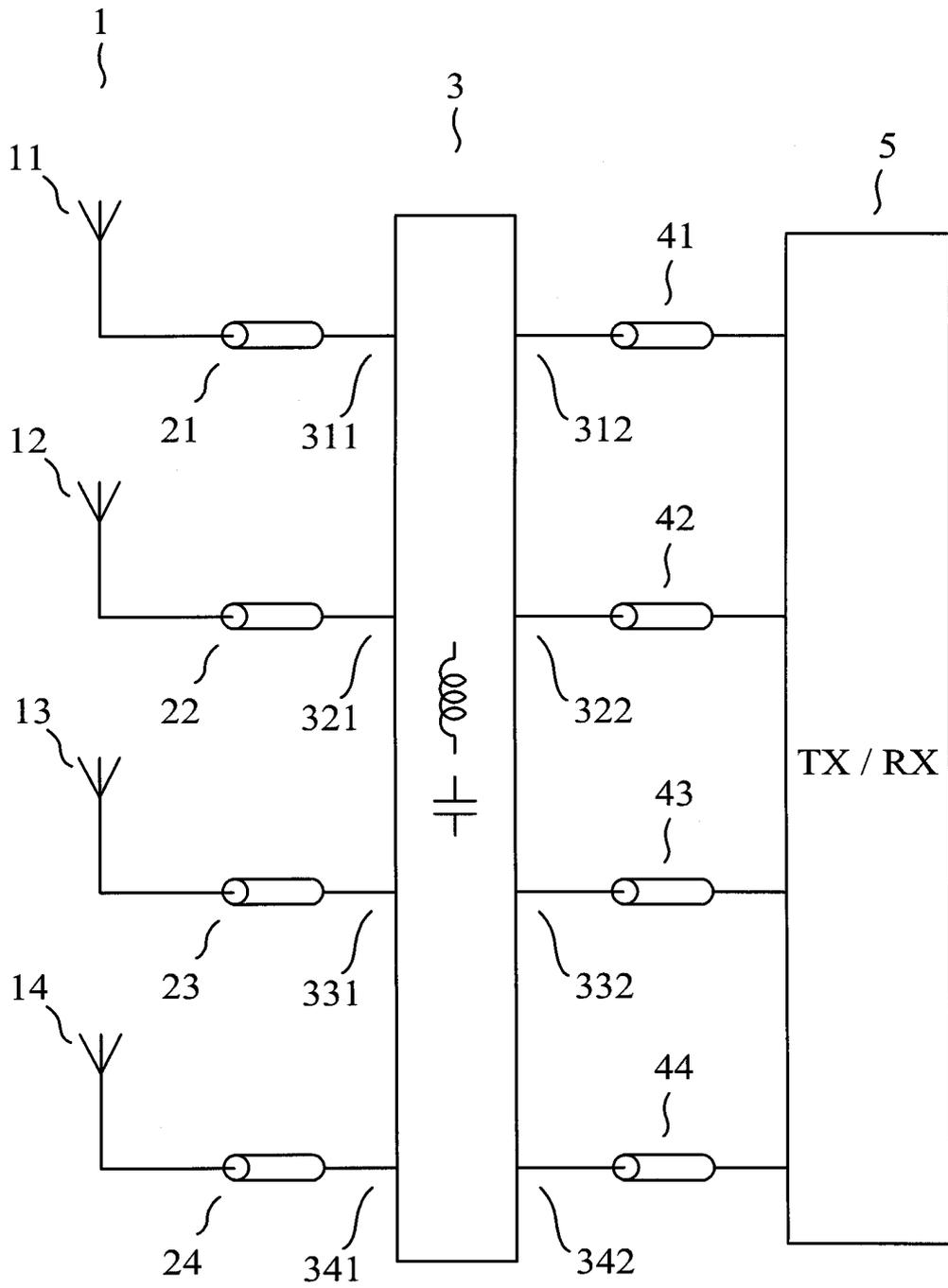


FIG. 3

3 / 12

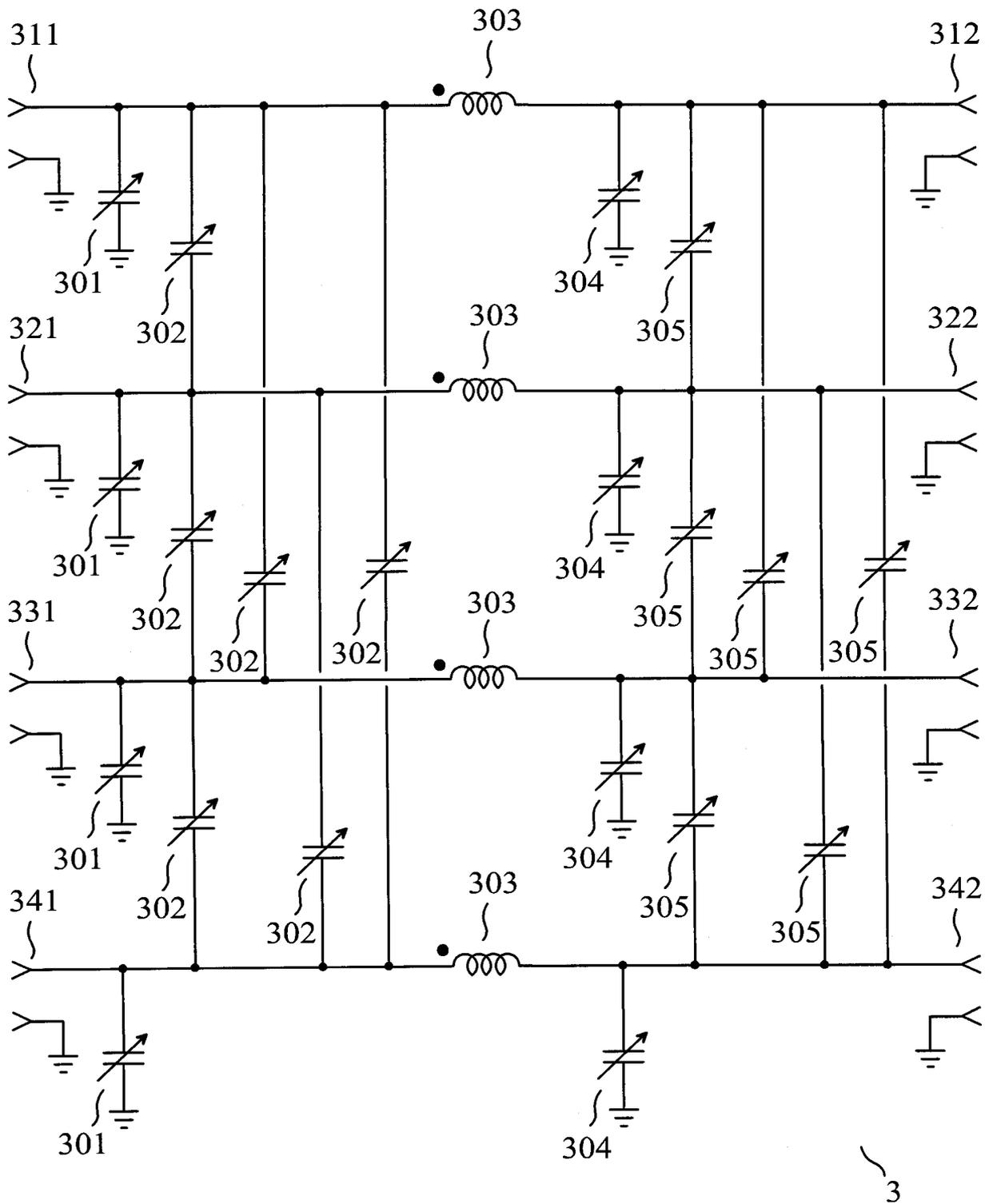


FIG. 4

4 / 12

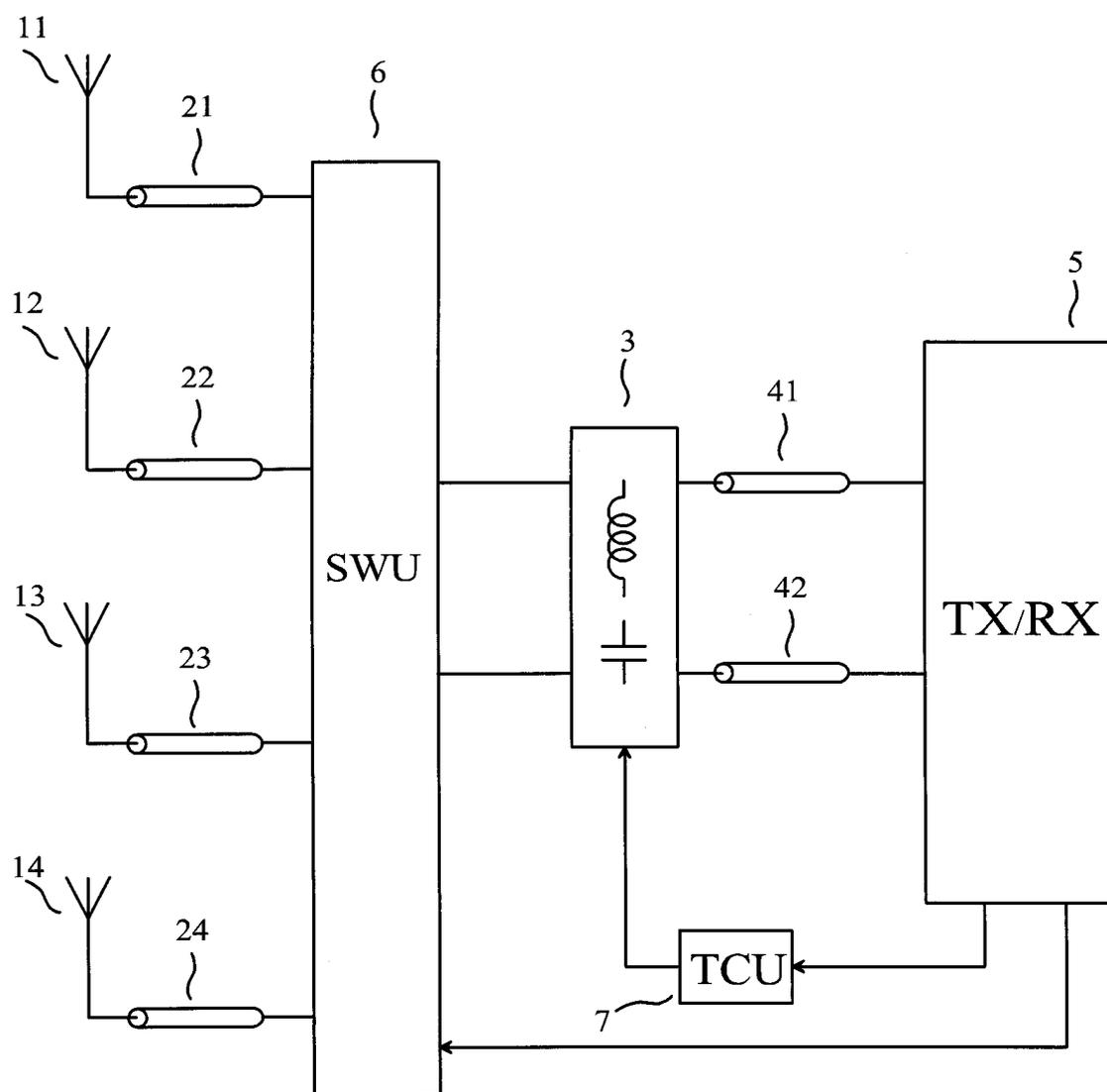


FIG. 5

5 / 12

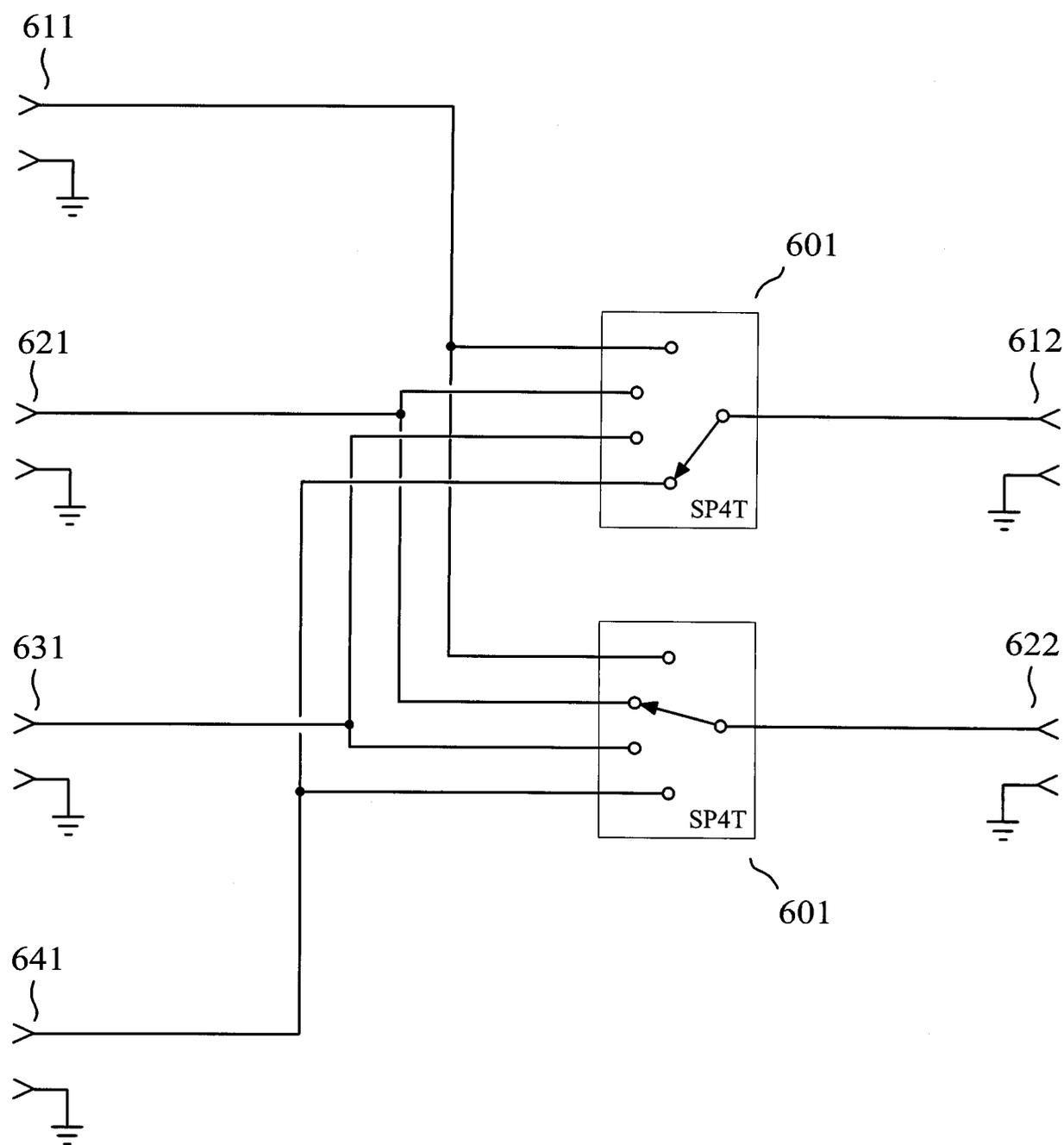


FIG. 6

6 / 12

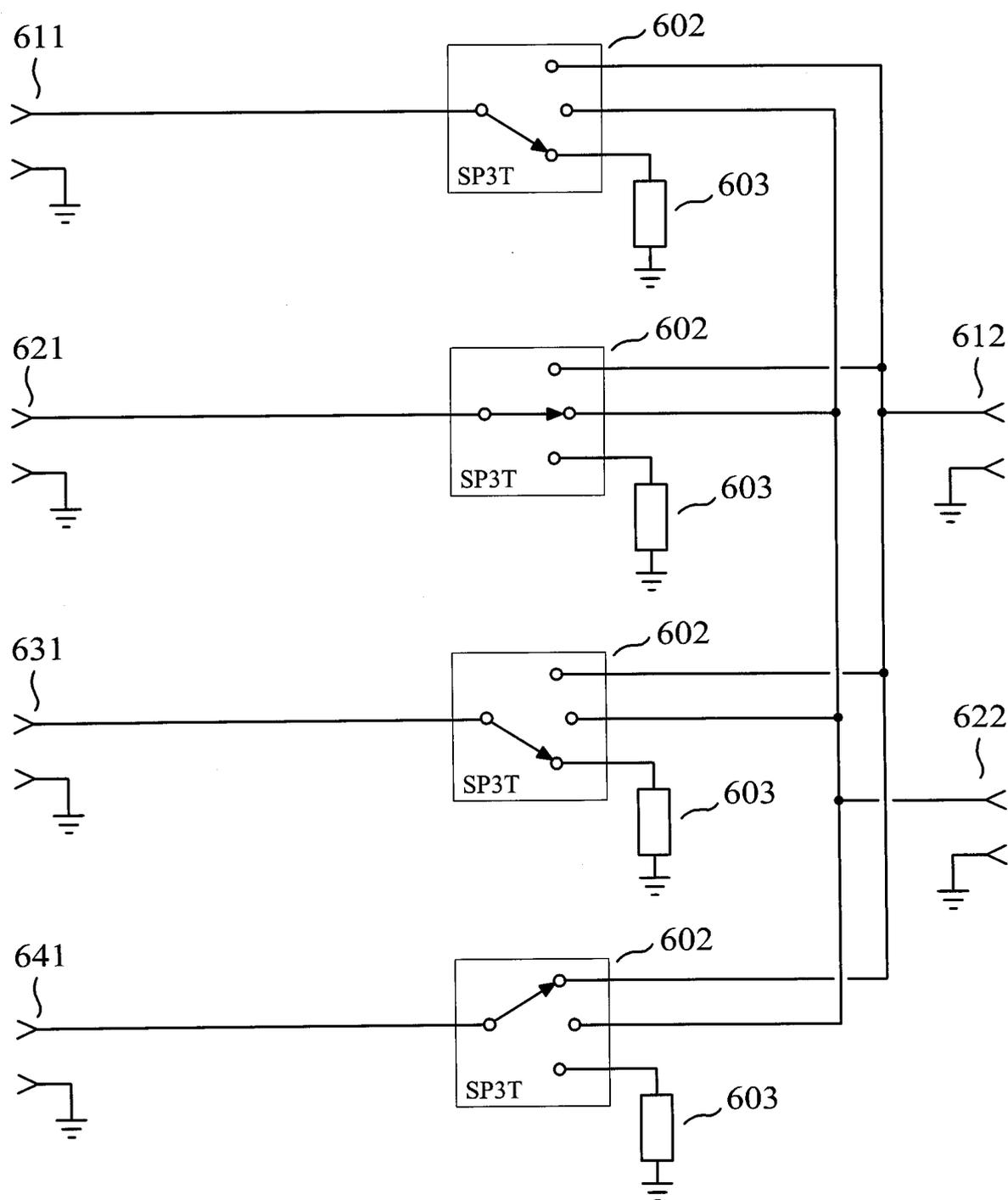


FIG. 7

7 / 12

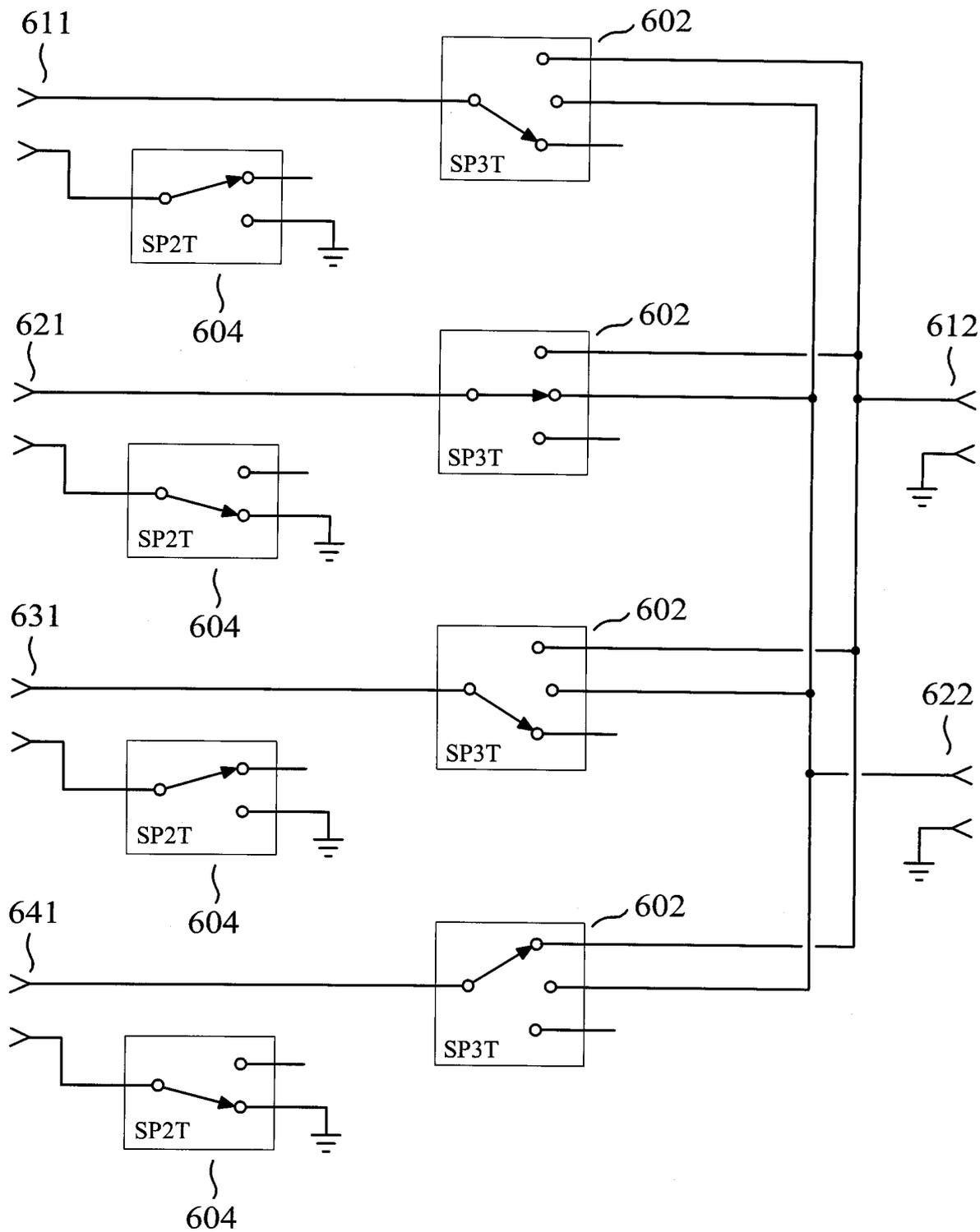


FIG. 8

8 / 12

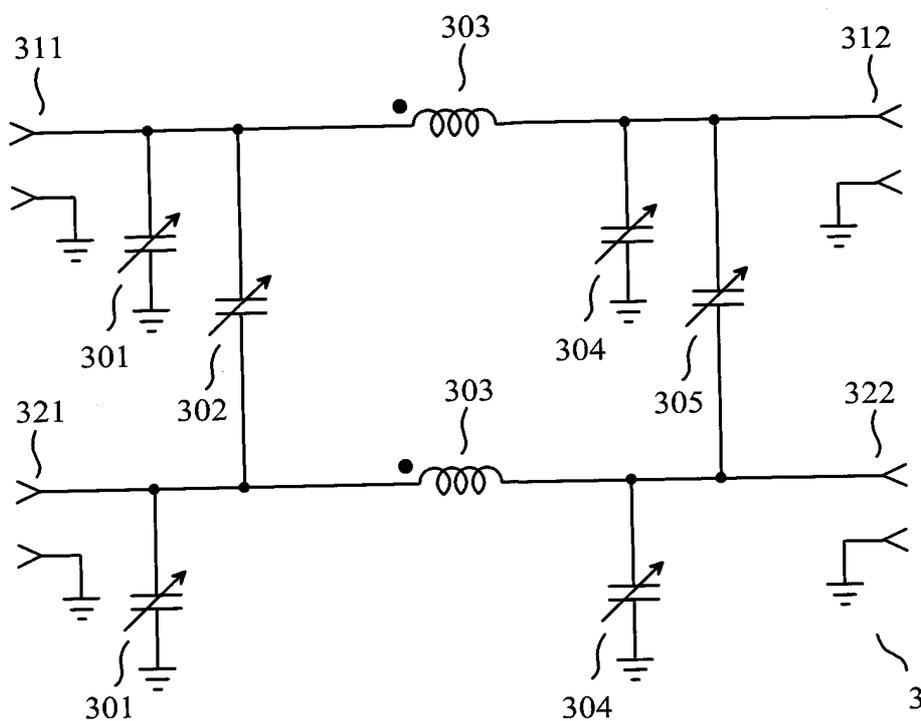


FIG. 9

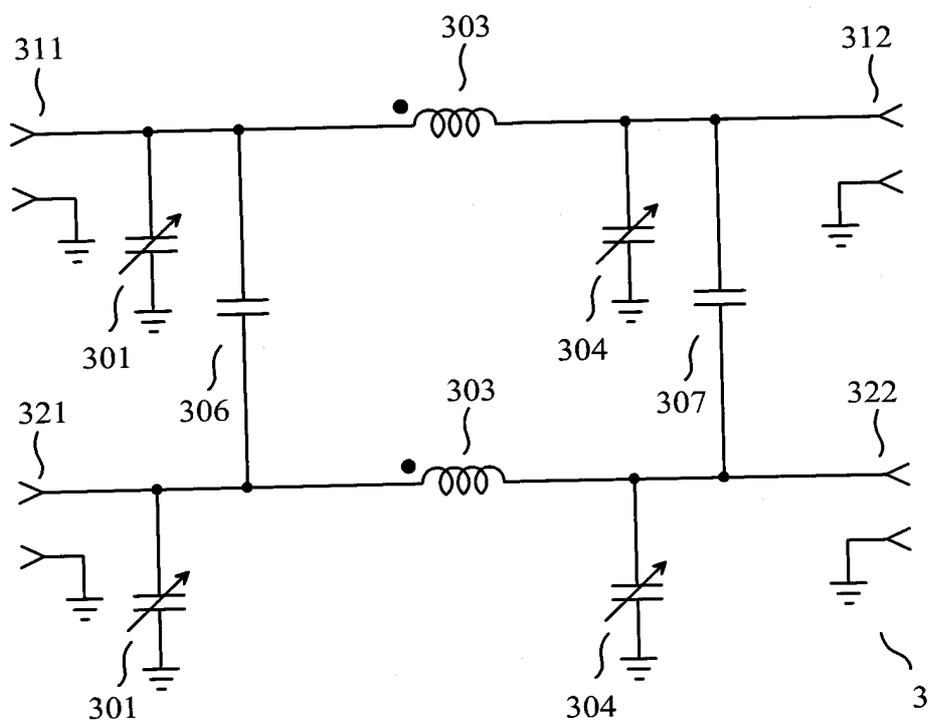


FIG. 10

9 / 12

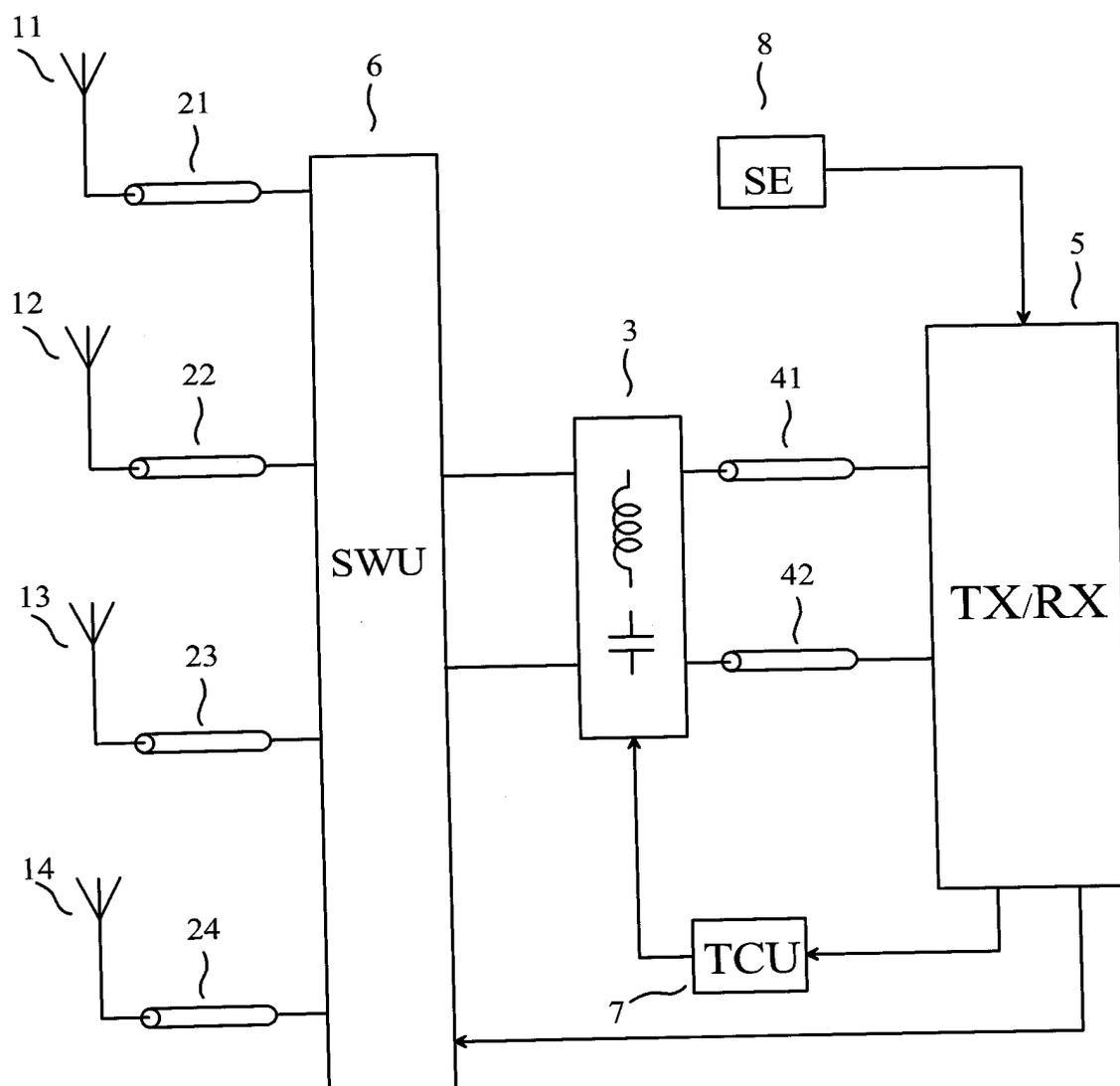


FIG. 11

10 / 12

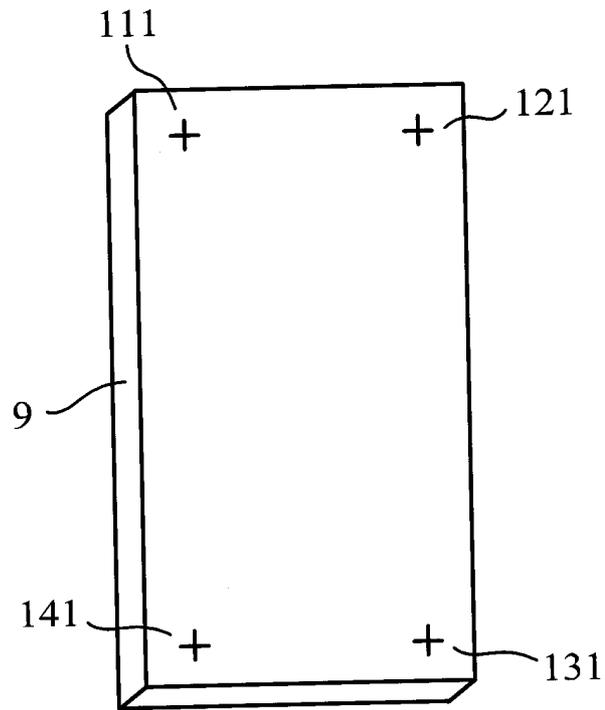


FIG. 12

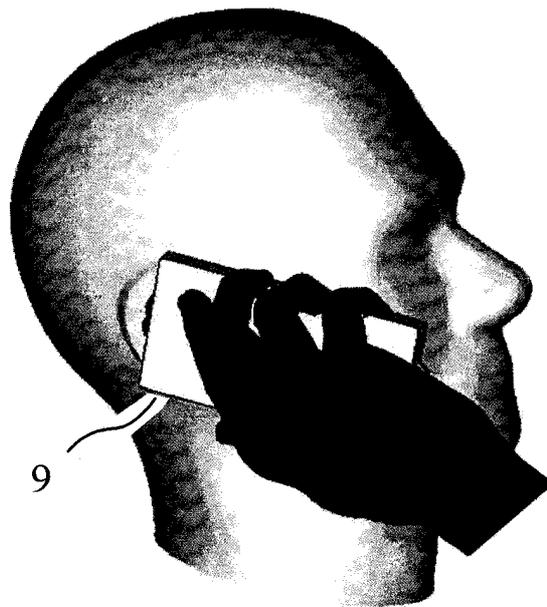


FIG. 13

11 / 12



FIG. 14

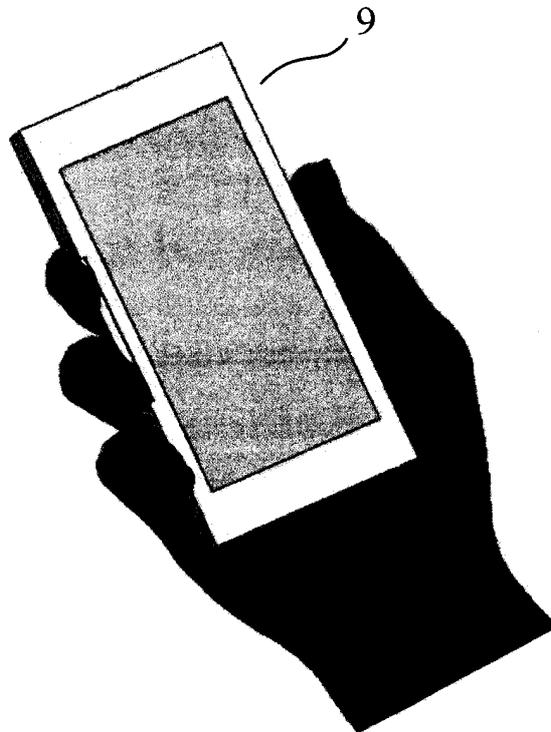


FIG. 15

12 / 12

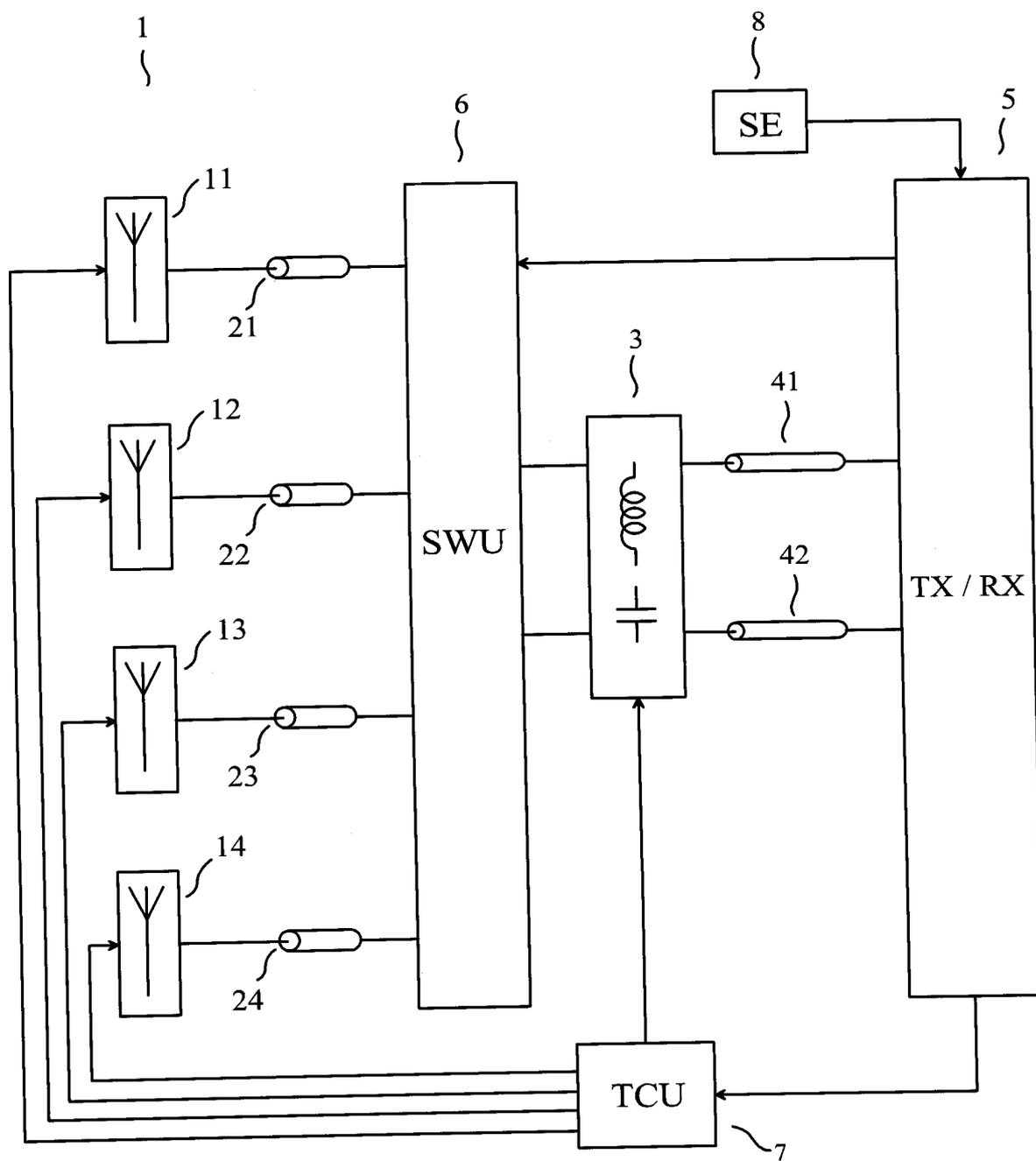


FIG. 16

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 2014/049486 A1 (TEKCEM [FR]; BROYDE FREDERIC [FR]; CLAVELIER EVELYNE [FR])
3 avril 2014 (2014-04-03)

PAWANDEEP S TALUJA ET AL: "Communication theory perspective on antenna selection for compact transceivers", COMMUNICATIONS (ICC), 2012 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, 10 juin 2012 (2012-06-10), pages 4078-4083, XP032274077,
DOI: 10.1109/ICC.2012.6364251 ISBN: 978-1-4577-2052-9

ALEKSANDER KREWSKI ET AL: "Matching network synthesis for mobile MIMO antennas based on minimization of the total multi-port reflectance", ANTENNAS AND PROPAGATION CONFERENCE (LAPC), 2011 LOUGHBOROUGH, IEEE, 14 novembre 2011 (2011-11-14), pages 1-4, XP032080707,
DOI: 10.1109/LAPC.2011.6114021 ISBN: 978-1-4577-1014-8

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

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