

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

①① N° de publication : **3 018 973**

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

②① N° d'enregistrement national : **14 00666**

⑤① Int Cl⁸ : **H 04 B 7/04** (2017.01), H 01 Q 1/52, H 03 H 7/38

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ COMMUNICATION RADIO UTILISANT DES ANTENNES ACCORDABLES ET UN APPAREIL D'ACCORD D'ANTENNE.

②② Date de dépôt : 20.03.14.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 25.09.15 Bulletin 15/39.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 25.05.18 Bulletin 18/21.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ 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 3 018 973 - B1



Communication radio utilisant des antennes accordables et un appareil d'accord d'antenne

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5

L'invention concerne un procédé pour communication radio utilisant une ou plusieurs antennes accordables et un appareil d'accord d'antenne. L'invention concerne aussi un appareil pour communication radio utilisant une ou plusieurs antennes accordables et un appareil d'accord d'antenne. 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 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.

15 ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

L'impédance présentée par une antenne dépend de la fréquence et des caractéristiques 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").

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 (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 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 ;

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.

5 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
10 (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
15 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
20 utilisé comme montré sur la figure 1 pour accorder une unique antenne, l'antenne étant utilisée dans une bande de fréquences donnée. L'appareil d'accord d'antenne montré sur la figure 2 comporte :

- un accès antenne (311) ayant deux bornes (3111) (3112), l'accès antenne étant asymétrique (en anglais : single-ended) ;
- 25 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
30 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,
35 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 *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
 5 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.

10 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
 15 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 une bande de
 20 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
 25 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 ;
 30

$m = 4$ accès radio (312) (322) (332) (342), chacun des accès radio étant couplé au 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 ;

35 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 la 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 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 utilisé comme montré sur la figure 3 pour accorder 4 antennes, les antennes étant utilisées dans une bande de fréquences donnée. L'appareil d'accord d'antenne 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 ;
- 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 ;
- $n = m$ 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 ;
- $m(m - 1)/2$ 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 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

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.

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 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 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 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 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 "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".

Cependant, une limitation importante de l'état de l'art relatif à l'accord d'antenne (manuel ou automatique) utilisant un appareil d'accord d'antenne est qu'un appareil d'accord d'antenne ne réduit aucune désadaptation entre une antenne et la liaison d'antenne à laquelle elle est connectée. Le spécialiste comprend que cette situation implique que de fortes réflexions
5 peuvent être présentes aux deux extrémités de la liaison d'antenne, même lorsque l'appareil d'accord d'antenne est convenablement réglé. Le spécialiste comprend que de telles réflexions causent des pertes dans la liaison d'antenne, qui dégradent les performances d'un système radio utilisant l'antenne et la liaison d'antenne.

Dans le cas d'un dispositif radio utilisant une seule antenne, les solutions connues à ce
10 problème sont : éliminer la liaison d'antenne ; utiliser une liaison d'antenne présentant de faibles pertes ; ou remplacer l'antenne et l'appareil d'accord d'antenne par une antenne passive accordable. Dans le cas d'un dispositif radio utilisant simultanément des antennes multiples dans une bande de fréquences, aucune de ces solutions n'est satisfaisante. Par exemple, éliminer les liaisons d'antenne n'est pas possible parce que les antennes sont éloignées les unes des autres,
15 si bien qu'un appareil d'accord d'antenne ne peut être proche de chacune des antennes. Par exemple, les liaisons d'antenne présentant de faibles pertes sont onéreuses lorsqu'elles utilisent des diélectriques à faibles pertes, et/ou nécessitent trop d'espace pour la plupart des applications actuelles. Par exemple, des antennes passives accordables ne peuvent être utilisées pour contrôler complètement la matrice impédance qu'elles présentent, pour obtenir que la matrice
20 impédance vue par un dispositif radio soit voisine d'une matrice recherchée arbitraire. En particulier, lorsque les interactions entre les antennes passives accordables ne sont pas négligeables, la matrice impédance présentée par un réseau d'antennes passives accordables n'est pas diagonale. Ainsi, les antennes passives accordables ne peuvent être utilisées ni pour obtenir une matrice impédance diagonale recherchée, ni pour compenser intégralement
25 l'interaction utilisateur. En particulier, le spécialiste comprend que, dans le cas d'un téléphone mobile, aucune des solutions connues n'est satisfaisante parce qu'un faible encombrement et un faible coût sont requis, et parce que les interactions entre antennes sont inévitables.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention a pour objets un procédé pour communication radio et un appareil pour
30 communication radio utilisant un appareil d'accord d'antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples, dépourvus des limitations mentionnées ci-dessus des techniques connues.

Le procédé selon l'invention est un procédé pour communication radio avec plusieurs antennes dans une bande de fréquences donnée, le procédé utilisant un appareil pour communication radio incluant n antennes, où n est un entier supérieur ou égal à 2, le procédé
35 comportant les étapes suivantes :

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 ;
- 5 coupler les dites n antennes, directement ou indirectement, à 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
- 10 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 chacun des dits paramètres, l'instruction d'accord ayant un effet sur la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne.

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". Dans cette phrase, "ayant une influence" et "ayant un effet" ont le même sens.

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. Chacune des dites au moins une des antennes comporte au moins un dispositif de contrôle

25 d'antenne, qui peut comporter une ou plusieurs autres bornes utilisées pour d'autres connexions électriques. Il est supposé que chacune des dites n antennes se comporte, à toute fréquence dans la bande 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

30 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.

35 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
 5 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
 10 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.

Chacune des dites n antennes peut être couplée, directement ou indirectement, à un et un seul des accès antenne de l'appareil d'accord d'antenne. Plus précisément, pour chacune des
 15 dites n antennes, l'accès signal de l'antenne peut être couplé, directement ou indirectement, à un et un seul des accès antenne 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 travers un coupleur directionnel. Les dispositifs de contrôle d'antenne et l'appareil d'accord d'antenne sont utilisés pour accorder les dites n antennes.

20 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.

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,
 25 l'appareil pour communication radio comportant :

n antennes, où n est un entier supérieur ou égal à 2, au moins une antenne passive accordable étant 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
 30 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 ;

un appareil d'accord d'antenne comportant n accès antenne, m accès radio et p
 35 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 ;

- 5 une unité de traitement, l'unité de traitement délivrant une "instruction d'accord" ;
 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
 10 réglable de l'appareil d'accord d'antenne étant principalement déterminée par un ou plusieurs des signaux de contrôle d'accord, 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
 15 au moins une antenne passive accordable". Dans cette phrase, "ayant une influence" a le même sens que "ayant un effet".

- 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
 20 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 précisément, ledit appareil d'accord d'antenne se comporte, à n'importe quelle fréquence dans
 25 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.

- Un dispositif à impédance réglable est un composant comprenant deux bornes qui se
 30 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 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
 35 faire contribuer différents condensateurs du réseau à la réactance, une inductance variable, un réseau comportant une pluralité d'inductances et un ou plusieurs interrupteurs ou commutateurs utilisés pour faire contribuer différentes inductances du réseau à la réactance, ou un réseau comportant une pluralité de tronçons de ligne de transmission en circuit ouvert ou en

court-circuit (en anglais: “stubs”) et un ou plusieurs interrupteurs ou commutateurs utilisés pour faire contribuer différents tronçons de ligne de transmission du réseau à la réactance. Nous notons que tous les exemples de cette liste, excepté la résistance variable, sont destinés à produire une réactance réglable.

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

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

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

20 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

25 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

30 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

35 à impédance réglable de l’appareil d’accord d’antenne a une influence sur la matrice impédance présentée par les accès radio.

Comme expliqué dans l’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 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 :

- 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 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 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 4 antennes passives accordables simultanément ;
- la figure 6 représente une première antenne passive accordable, qui comporte un seul dispositif de contrôle d'antenne ;
 - 5 - la figure 7 représente une deuxième antenne passive accordable, qui comporte trois dispositifs de contrôle d'antenne ;
 - la figure 8 représente une troisième antenne passive accordable, qui comporte quatre dispositifs de contrôle d'antenne ;
 - la figure 9 représente une quatrième antenne passive accordable, qui comporte un seul dispositif de contrôle d'antenne ;
 - 10 - la figure 10 représente un schéma bloc d'un émetteur-récepteur pour communication radio selon l'invention, qui utilise 4 antennes passives accordables simultanément.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE CERTAINS MODES DE RÉALISATION

15 Premier mode de réalisation.

Au titre d'un premier mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 5 le schéma bloc d'un appareil portable pour communication radio, l'appareil pour communication radio étant un émetteur-récepteur comportant :

- 20 $n = 4$ antennes (11) (12) (13) (14), les n antennes opérant simultanément dans une bande de fréquences donnée, les n antennes formant un réseau d'antennes (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 contrôlées en utilisant ledit au moins un
- 25 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
- 30 communication radio qui ne sont pas montrées ailleurs sur la figure 5 ;
- 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 $n = 4$ accès antenne (311) (321) (331) (341), chacun des accès antenne étant couplé à une des antennes à travers une liaison
- 35 d'antenne (21) (22) (23) (24), l'appareil d'accord d'antenne comportant $m = 4$ accès radio (312) (322) (332) (342), chacun des accès radio étant couplé au

dispositif radio (5) à travers une interconnexion (41) (42) (43) (44), 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
 5 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
 10 communication radio, l'unité de contrôle d'accord délivrant une pluralité de "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
 15 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 paramètres étant principalement déterminé par un ou plusieurs des signaux de contrôle d'accord.

L'instruction d'accord est générée de façon répétée par le dispositif radio (5). Par
 20 exemple, l'instruction d'accord peut être générée périodiquement, par exemple toutes les 10 millisecondes. L'instruction d'accord est telle que, à la fréquence d'opération, les valeurs de chacun des dits paramètres réduisent la désadaptation entre chaque antenne et la liaison d'antenne à laquelle elle est couplée. L'instruction d'accord est aussi telle que, à la fréquence d'opération, la matrice impédance présentée par les accès radio est proche d'une matrice
 25 spécifiée.

L'instruction d'accord est une fonction 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.
 30 Le spécialiste sait comment obtenir et utiliser de telles une ou plusieurs variables ou quantités. Les huitième, neuvième, dixième et onzième 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 les caractéristiques de
 35 chaque antenne passive accordable, 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 de fortes réflexions ne sont pas présentes aux deux extrémités de chaque liaison d'antenne, si bien que les pertes dans les liaisons d'antenne sont réduites, et parce que la matrice impédance vue par le dispositif radio approche une matrice
5 recherchée arbitraire.

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
10 "effet de doigt" (en anglais : "finger effect"), comme l'effet du corps de l'utilisateur sur l'impédance présentée par une unique antenne. Puisque la matrice impédance vue par le dispositif radio peut approcher une matrice recherchée arbitraire en dépit de l'interaction utilisateur, l'invention compense l'interaction utilisateur.

Le spécialiste comprend qu'une valeur optimale de la réactance de chacun des dispositifs
15 à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne dépend de la valeur de chacun des dits paramètres, et que, inversement, une valeur optimale de chacun des dits paramètres dépend de la valeur de la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne. Le spécialiste voit que, du fait de cette interaction, un procédé utilisé pour déterminer l'instruction d'accord est nécessairement différent de n'importe quel procédé utilisé dans un
20 appareil pour communication radio de l'état de l'art antérieur qui comprendrait un appareil d'accord d'antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples mais aucune antenne passive accordable, tel que les appareils pour communication radio de l'état de l'art antérieur divulgués dans ladite demande de brevet français numéro 12/02564, dans ladite demande internationale numéro PCT/IB2013/058574, dans ladite demande de brevet français numéro
25 13/00878 ou dans ladite demande internationale numéro PCT/IB2014/058933. Selon l'invention, un procédé possible déterminerait par exemple un accord d'antenne grossier utilisant une valeur de chacun des dits paramètres, et par la suite un accord d'antenne fin utilisant une valeur de la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne. Le spécialiste voit aussi que, du fait de cette interaction, les exigences applicables à l'appareil
30 d'accord d'antenne (3) utilisé dans l'invention peuvent être plus faciles à satisfaire que les exigences applicables à un appareil d'accord d'antenne utilisé dans un appareil pour communication radio de l'état de l'art antérieur qui comprendrait un appareil d'accord d'antenne à accès antenne multiples et accès radio multiples mais aucune antenne passive accordable. Par exemple, si ledit procédé possible est utilisé, l'appareil d'accord d'antenne (3) utilisé dans
35 l'invention est seulement utilisé pour obtenir un accord fin, si bien que la plage de valeurs de réactance exigée pour chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne est réduite, et qu'une meilleure précision est obtenue.

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

ou égal à 3, il est possible que n soit supérieur ou égal à 4, il est possible que m soit supérieur ou égal à 3, et il est possible que m soit supérieur ou égal à 4.

Dans ce premier mode de réalisation, le nombre d'antennes passives accordables est égal à 4. Ainsi, il est possible que le nombre d'antennes passives accordables soit supérieur ou égal à 2, et il est possible que le nombre d'antennes passives accordables soit supérieur ou égal à 3. Il est possible que le nombre d'antennes passives accordables soit égal à n .

Deuxième mode de réalisation.

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.

Une antenne (11) utilisée dans ce deuxième mode de réalisation est montrée sur la figure 6. Les autres antennes (12) (13) (14) utilisées dans ce deuxième mode de réalisation peuvent être identiques à l'antenne montrée sur la figure 6. L'antenne montrée sur la figure 6 est une antenne passive accordable comportant une structure métallique plane (111) réalisée au-dessus d'un plan de masse (115), un point de connexion de liaison d'antenne (116) où une liaison d'antenne asymétrique est connectée à la structure métallique, et un dispositif de contrôle d'antenne (112). La structure métallique est fendue et telle que, si le dispositif de contrôle d'antenne n'était pas présent, l'antenne serait un exemple de l'antenne appelée en anglais "planar inverted-F antenna" ou "PIFA". Le dispositif de contrôle d'antenne est un interrupteur micro-électromécanique comportant une première borne (113) connectée à la structure métallique (111) en un premier côté de la fente, et une seconde borne (114) connectée à la structure métallique (111) en un second côté de la fente. Le spécialiste comprend que la self-impédance de l'antenne, dans une configuration d'essai donnée et à une fréquence donnée, est une caractéristique de l'antenne passive accordable que l'on peut faire varier en utilisant ledit dispositif de contrôle d'antenne, si bien que cette caractéristique est contrôlée en utilisant ledit dispositif de contrôle d'antenne. L'état de l'interrupteur micro-électromécanique (ouvert ou fermé) est un paramètre du dispositif de contrôle d'antenne qui a une influence sur ladite caractéristique. Ce paramètre du dispositif de contrôle d'antenne est réglable par moyen électrique, mais les circuits et les liaisons de contrôle nécessaires pour déterminer l'état du dispositif de contrôle d'antenne ne sont pas montrés sur la figure 6.

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.

Une antenne (11) utilisée dans ce troisième mode de réalisation est montrée sur la figure 7. Les autres antennes (12) (13) (14) utilisées dans ce troisième mode de réalisation peuvent être identiques à l'antenne montrée sur la figure 6 ou à l'antenne montrée sur la figure 7. L'antenne
5 montrée sur la figure 7 est une antenne passive accordable comportant une structure métallique plane (111) réalisée au-dessus d'un plan de masse (115), un point de connexion de liaison d'antenne (116) où une liaison d'antenne asymétrique est connectée à une bande métallique (117) située entre le plan de masse et la structure métallique, et trois dispositifs de contrôle d'antenne (112). Chacun des dispositifs de contrôle d'antenne est un dispositif à impédance
10 réglable ayant une réactance à une fréquence donnée, comportant une première borne (113) connectée à la structure métallique (111), et une seconde borne (114) connectée au plan de masse (115). Le spécialiste comprend que la self-impédance de l'antenne, dans une configuration d'essai donnée et à la fréquence donnée, est une caractéristique de l'antenne passive accordable que l'on peut faire varier en utilisant les dits dispositifs de contrôle
15 d'antenne, si bien que cette caractéristique est contrôlée en utilisant les dits dispositifs de contrôle d'antenne. Chacun des dispositifs de contrôle d'antenne a une réactance à la fréquence donnée, cette réactance étant un paramètre du dit chacun des dispositifs de contrôle d'antenne, ce paramètre ayant une influence sur ladite caractéristique. Ce paramètre de chacun des dispositifs de contrôle d'antenne est réglable par moyen électrique, mais les circuits et les
20 liaisons de contrôle nécessaires pour déterminer la réactance de chacun des dispositifs de contrôle d'antenne ne sont pas montrés sur la figure 7.

Quatrième mode de réalisation.

Le quatrième 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
25 représenté sur la figure 5, et toutes les explications fournies pour le premier mode de réalisation sont applicables à ce quatrième mode de réalisation.

Une antenne (11) utilisée dans ce quatrième mode de réalisation est montrée sur la figure 8. Les autres antennes (12) (13) (14) utilisées dans ce quatrième mode de réalisation peuvent être identiques à l'antenne montrée sur la figure 6, ou à l'antenne montrée sur la figure 7, ou à
30 l'antenne montrée sur la figure 8. L'antenne (11) montrée sur la figure 8 est une antenne passive accordable ayant un plan de symétrie orthogonal au dessin. Ainsi, l'antenne a une première demi-antenne, à gauche dans la figure 8, et une seconde demi-antenne, à droite dans la figure 8. L'antenne comporte une première borne (118) où un premier conducteur d'une liaison d'antenne symétrique est connecté à la première demi-antenne, et une seconde borne (119) où
35 un second conducteur de la liaison d'antenne symétrique est connecté à la seconde demi-antenne. Chaque demi-antenne comporte trois segments et deux dispositifs de contrôle d'antenne

(112). Chacun des dispositifs de contrôle d'antenne est un dispositif à impédance réglable ayant une réactance à une fréquence donnée, comportant une première borne connectée à un segment d'une demi-antenne, et une seconde borne connectée à un autre segment de cette demi-antenne. Le spécialiste comprend que la self-impédance de l'antenne, dans une configuration d'essai
5 donnée et à la fréquence donnée, est une caractéristique de l'antenne passive accordable que l'on peut faire varier en utilisant les dits dispositifs de contrôle d'antenne, si bien que cette caractéristique est contrôlée en utilisant les dits dispositifs de contrôle d'antenne. Chacun des dispositifs de contrôle d'antenne a une réactance à la fréquence donnée, cette réactance étant un paramètre du dit chacun des dispositifs de contrôle d'antenne, ce paramètre ayant une influence
10 sur ladite caractéristique. Ce paramètre de chacun des dispositifs de contrôle d'antenne est réglable par moyen électrique, mais les circuits et les liaisons de contrôle nécessaires pour déterminer la réactance de chacun des dispositifs de contrôle d'antenne ne sont pas montrés sur la figure 8.

Cinquième mode de réalisation.

15 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.

Une antenne (12) utilisée dans ce cinquième mode de réalisation est montrée sur la figure
20 9. Les autres antennes (11) (13) (14) utilisées dans ce cinquième mode de réalisation peuvent être identiques à l'antenne montrée sur la figure 9. L'antenne (12) montrée sur la figure 9 est une antenne passive accordable comportant une antenne principale (121), une antenne parasite (122), un point de connexion de liaison d'antenne (127) où une liaison d'antenne asymétrique (128) est connectée à l'antenne principale et à la masse (126), et un dispositif de contrôle d'antenne
25 (123). Le dispositif de contrôle d'antenne est un dispositif à impédance réglable ayant une réactance à une fréquence donnée, comportant une première borne (124) connectée à l'antenne parasite (122), et une seconde borne (125) connectée à la masse (126). Le spécialiste comprend que le diagramme de directivité de l'antenne (12), dans une configuration d'essai donnée et à la fréquence donnée, est une caractéristique de l'antenne passive accordable que l'on peut faire
30 varier en utilisant ledit dispositif de contrôle d'antenne, si bien que cette caractéristique est contrôlée en utilisant ledit dispositif de contrôle d'antenne. La réactance du dispositif de contrôle d'antenne à la fréquence donnée est un paramètre du dit dispositif de contrôle d'antenne qui a une influence sur ladite caractéristique. Ce paramètre du dispositif de contrôle d'antenne est réglable par moyen électrique, mais les circuits et les liaisons de contrôle nécessaires pour
35 déterminer la réactance du dispositif de contrôle d'antenne ne sont pas montrés sur la figure 9. L'antenne (12) pourrait aussi comporter d'autres antennes parasites chacune couplée à un dispositif de contrôle d'antenne.

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 sont applicables à ce sixième mode de réalisation.

Dans ce sixième 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.

Par conséquent, il est possible de réduire les pertes dans les liaisons d'antenne et d'obtenir simultanément que la matrice impédance vue par le dispositif radio approche une valeur recherchée arbitraire. 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 de contrôle d'antenne et 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.

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
 5 sixième 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 correspond au schéma représenté sur la figure 4, et toutes les explications fournies sur la figure 4 dans la section sur l'état de la technique antérieure sont applicables à ce septième mode de réalisation.

Il est possible que de l'induction mutuelle existe entre les enroulements (303). Dans ce
 10 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) (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 4. Dans ce septième mode de
 15 réalisation, nous avons $n = m$ et nous utilisons $p = m(m + 1) = 20$ dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne.

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
 20 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
 25 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 sixième 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
 30 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
 35 dépendre de la température ambiante, pour certains types de dispositifs à impédance réglable. De façon similaire, le dit au moins un paramètre d'un dispositif de contrôle d'antenne peut

dépendre de la température ambiante. Les signaux de contrôle d'accord sont déterminés 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 et/ou sur au moins un des dits paramètres d'au moins un des dits dispositifs de contrôle d'antenne.

Une instruction d'accord est générée périodiquement, à la fin d'une séquence d'accord, et est valide jusqu'à ce qu'une instruction d'accord suivante soit générée à la fin d'une séquence d'accord suivante.

Le 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 compensée par un nouveau réglage des dispositifs de contrôle d'antenne des antennes, et par un nouveau réglage des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne. Ainsi, il est toujours possible de maintenir de faibles réflexions et de faibles pertes dans les liaisons d'antenne, et de simultanément compenser l'interaction utilisateur.

Si les dispositifs à impédance réglable (302) 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'étaient pas présents dans la figure 4, si les dispositifs à impédance réglable (305) 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 n'étaient pas présents dans la figure 4, et si de l'induction mutuelle n'existait pas entre les enroulements (303), alors l'appareil d'accord d'antenne (3) comportant $n = 4$ accès antenne et $m = 4$ accès radio serait en fait composé de n 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 2, le procédé comportant les étapes suivantes :

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 ;

coupler les dites n antennes, directement ou indirectement, à 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 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 ;

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

Dans ce procédé, chacune des antennes peut être couplée, directement ou indirectement, à un et un seul des accès antenne des n appareils d'accord d'antenne.

10 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 :

n antennes, où n est un entier supérieur ou égal à 2, au moins une antenne passive accordable étant 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 ;

15 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 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 ;

25 une unité de traitement, l'unité de traitement délivrant une "instruction d'accord" ;
 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 des appareils d'accord d'antenne étant principalement déterminée par un ou plusieurs des signaux de contrôle d'accord, chacun des dits paramètres étant principalement déterminé par un ou plusieurs des signaux de contrôle d'accord.

30
35

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 ou égal à 2, le procédé comportant les étapes suivantes :

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 ;

coupler les dites n antennes, directement ou indirectement, à 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 ;

traiter une pluralité de signaux numériques pour estimer une ou plusieurs quantités représentatives d'une matrice de canal ;

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 chacun des dits paramètres, 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, et l'instruction d'accord peut être délivrée en fonction des dites une ou plusieurs quantités représentatives d'une capacité de canal. 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 est utilisée pour la réception radio.

5 Dans ce huitième mode de réalisation, un procédé utilisé pour obtenir une instruction d'accord comporte les étapes suivantes :

délivrer une "première partie de l'instruction d'accord", la première partie de l'instruction d'accord étant déterminée à partir d'un ensemble de premières parties de l'instruction d'accord mémorisées dans une table de consultation (en anglais: "lookup table" ou "look-up table"), en se basant sur les fréquences
10 utilisées pour la communication radio avec les antennes, la première partie de l'instruction d'accord ayant un effet sur chacun des dits paramètres ;

traiter une pluralité de signaux numériques pour estimer une ou plusieurs quantités représentatives d'une matrice de canal existant pendant que la première partie de l'instruction d'accord est appliquée ;
15

délivrer une "seconde partie de l'instruction d'accord", la seconde partie de l'instruction d'accord étant une fonction des dites une ou plusieurs quantités représentatives d'une matrice de canal existant pendant que la première partie de l'instruction d'accord est appliquée, la seconde partie de l'instruction d'accord ayant un effet
20 sur la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne.

Dans ce procédé, l'instruction d'accord est constituée de la première partie de l'instruction d'accord et de la seconde partie de l'instruction d'accord. La première partie de l'instruction d'accord est telle que les réflexions ont une forte probabilité d'être réduites dans
25 chacune des liaisons d'antenne. La seconde partie de l'instruction d'accord est sélectionnée parmi un ensemble de secondes parties de l'instruction d'accord possibles, comme celle qui produit la plus grande capacité de canal.

Neuvième mode de réalisation.

Le neuvième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, donné à titre d'exemple
30 non limitatif, est un appareil pour communication radio comportant un émetteur radio mettant 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 2, le procédé comportant les étapes suivantes :

contrôler une ou plusieurs caractéristiques d'au moins une des antennes, en utilisant au
35 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 ;

5 coupler les dites n antennes, directement ou indirectement, à 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 ;

10 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 ;

15 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 chacun des dits paramètres, l'instruction d'accord ayant un effet sur la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne.

20 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.

25 Dans ce neuvième mode de réalisation, pour chacune des dites n antennes, l'accès signal de l'antenne est indirectement couplé à un et un seul des accès antenne de l'appareil d'accord d'antenne, à travers une liaison d'antenne et à travers un coupleur directionnel utilisé pour déterminer une ou plusieurs quantités dépendant des ondes réfléchies et/ou des ondes incidentes dans la liaison d'antenne. Un procédé utilisé pour obtenir une instruction d'accord comporte les étapes suivantes :

30 estimer, pour chacune des liaisons d'antenne, une ou plusieurs quantités dépendant des ondes réfléchies et/ou des ondes incidentes dans ladite chacune des liaisons d'antenne ;

délivrer une "première partie de l'instruction d'accord", la première partie de l'instruction d'accord étant une fonction des dites quantités dépendant des ondes réfléchies et/ou des ondes incidentes dans chacune des liaisons d'antenne, la première partie de l'instruction d'accord ayant un effet sur chacun des dits paramètres ;

35 estimer q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance présentée par les accès

radio, où q est un entier supérieur ou égal à m , pendant que la première partie de l'instruction d'accord est appliquée, en utilisant au moins m excitations différentes appliquées successivement aux accès radio ;

5 délivrer une "seconde partie de l'instruction d'accord", la seconde partie de l'instruction d'accord étant une fonction des dites q quantités réelles dépendantes d'une matrice impédance présentée par les accès radio, la seconde partie de 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 Dans ce procédé, l'instruction d'accord est constituée de la première partie de l'instruction d'accord et de la seconde partie de l'instruction d'accord. La première partie de l'instruction d'accord est telle que les réflexions sont réduites dans chacune des liaisons d'antenne. La seconde partie de l'instruction d'accord est telle que la matrice impédance présentée par les accès radio est proche d'une matrice spécifiée. Par conséquent, il est possible de réduire les pertes dans les liaisons d'antenne et d'obtenir simultanément que la matrice
15 impédance vue par le dispositif radio approche une valeur recherchée arbitraire.

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 10 le schéma bloc d'un appareil portable pour communication radio, l'appareil pour communication radio étant un émetteur-
20 récepteur comportant :

$n = 4$ antennes (11) (12) (13) (14), les n antennes opérant simultanément dans une bande de fréquences donnée, les n antennes formant un réseau d'antennes (1), chacune des antennes étant une antenne passive accordable comportant au moins un dispositif de contrôle d'antenne, une ou plusieurs caractéristiques de ladite
25 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 un effet sur les dites une ou plusieurs caractéristiques, ledit au moins un paramètre étant réglable par moyen électrique ;

30 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 10 ;

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
35 d'accord d'antenne comportant $n = 4$ accès antenne (311) (321) (331) (341), chacun des accès antenne étant couplé à une des antennes à travers une liaison

d'antenne (21) (22) (23) (24), l'appareil d'accord d'antenne comportant $m = 4$ accès radio (312) (322) (332) (342), chacun des accès radio étant couplé au dispositif radio (5) à travers une interconnexion (41) (42) (43) (44), 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 et à chacune des 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 paramètres étant principalement déterminé 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 considérée comme une partie d'une unité de localisation qui estime (ou évalue) une pluralité de variables de localisation dépendant chacune 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 totalité de l'unité de localisation.

L'instruction d'accord est générée 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 10) qui délivre l'instruction d'accord, chacune des variables de localisation ayant une influence sur l'instruction d'accord. Par exemple, l'instruction d'accord peut être déterminée à partir d'un ensemble d'instructions d'accord 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 (11) (12) (13) (14).

Le spécialiste comprend que ce dixième mode de réalisation utilise certains aspects de la technique divulguée dans la demande de brevet français 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 sur la figure 10, 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'instruction d'accord est déterminée en fonction :

- des variables de localisation, chacune des variables de localisation ayant une influence sur l'instruction d'accord ;
- 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
5 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 onzième mode de réalisation, l'instruction d'accord peut par exemple être déterminée en utilisant une table de consultation réalisée dans l'unité de traitement.

En se basant sur l'enseignement du brevet des États-Unis d'Amérique numéro 8,204,446
10 intitulé "Adaptive Antenna Tuning Systems and Methods", le spécialiste comprend que l'accord d'antenne obtenu dans ce onzième 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 onzième mode de réalisation peut être simultanément précis et tel que l'instruction d'accord est générée
15 rapidement et sans exiger une grande ressource de calcul.

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 peut être un appareil pour communication radio MIMO, c'est-à-dire un appareil pour réception
20 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 téléphones mobiles, les tablettes numériques et les ordinateurs portables.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour communication radio avec plusieurs antennes (11) (12) (13) (14) dans une bande de fréquences donnée, le procédé utilisant un appareil pour communication radio incluant n antennes, où n est un entier supérieur ou égal à 3, le procédé comportant les étapes suivantes :
- 5 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 ;
- 10 coupler les dites n antennes, directement ou indirectement, à 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
- 15 "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, l'appareil
- 20 d'accord d'antenne étant 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
- 25 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 ;
- 30 générer une "instruction d'accord", l'instruction d'accord ayant un effet sur chacun des dits paramètres, l'instruction d'accord ayant un effet sur la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable de l'appareil d'accord d'antenne.
2. Procédé pour communication radio selon la revendication 1, dans lequel au moins un des dispositifs de contrôle d'antenne est un interrupteur ou commutateur contrôlé électriquement.
- 35 3. Procédé pour communication radio selon la revendication 1, dans lequel au moins un des dispositifs de contrôle d'antenne est un dispositif à impédance réglable.

4. Procédé pour communication radio selon la revendication 1, dans lequel au moins un des dispositifs de contrôle d'antenne est un actionneur disposé pour produire une déformation mécanique d'une des antennes.

5. Appareil pour communication radio 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, au moins une antenne passive accordable étant 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 ;

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, l'appareil d'accord d'antenne étant 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 ;

une unité de traitement, l'unité de traitement délivrant une "instruction d'accord" ;

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

6. Appareil pour communication radio selon la revendication 5, dans lequel au moins un des dispositifs de contrôle d'antenne est un interrupteur ou commutateur contrôlé électriquement.
7. Appareil pour communication radio selon la revendication 5, dans lequel au moins un des dispositifs de contrôle d'antenne est un dispositif à impédance réglable.
8. Appareil pour communication radio selon la revendication 5, dans lequel au moins un des dispositifs de contrôle d'antenne est un actionneur disposé pour produire une déformation mécanique d'une des antennes.
9. Appareil pour communication radio selon la revendication 5, 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.
10. Appareil pour communication radio selon la revendication 5, 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 .

1 / 7

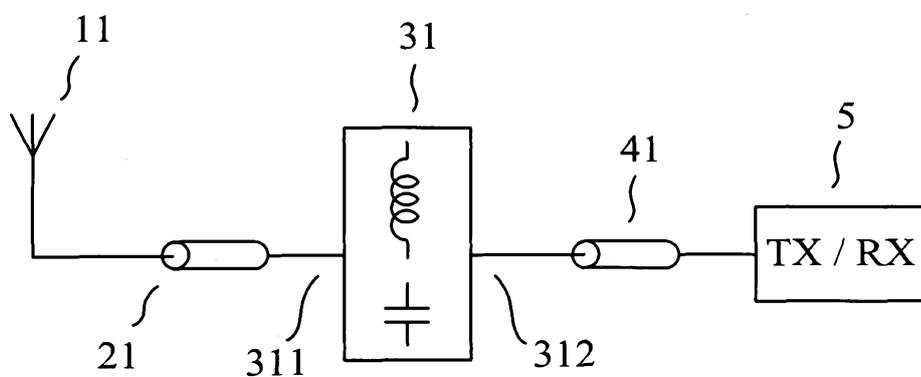


FIG. 1

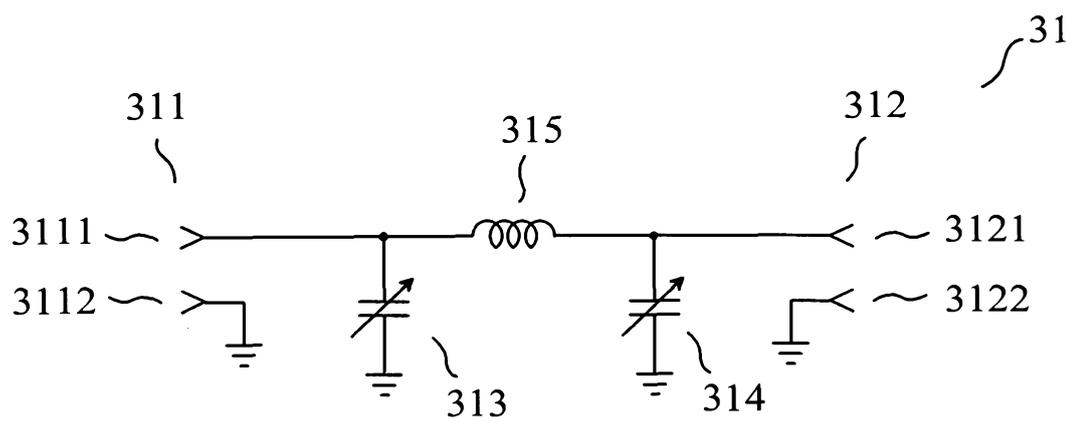


FIG. 2

2 / 7

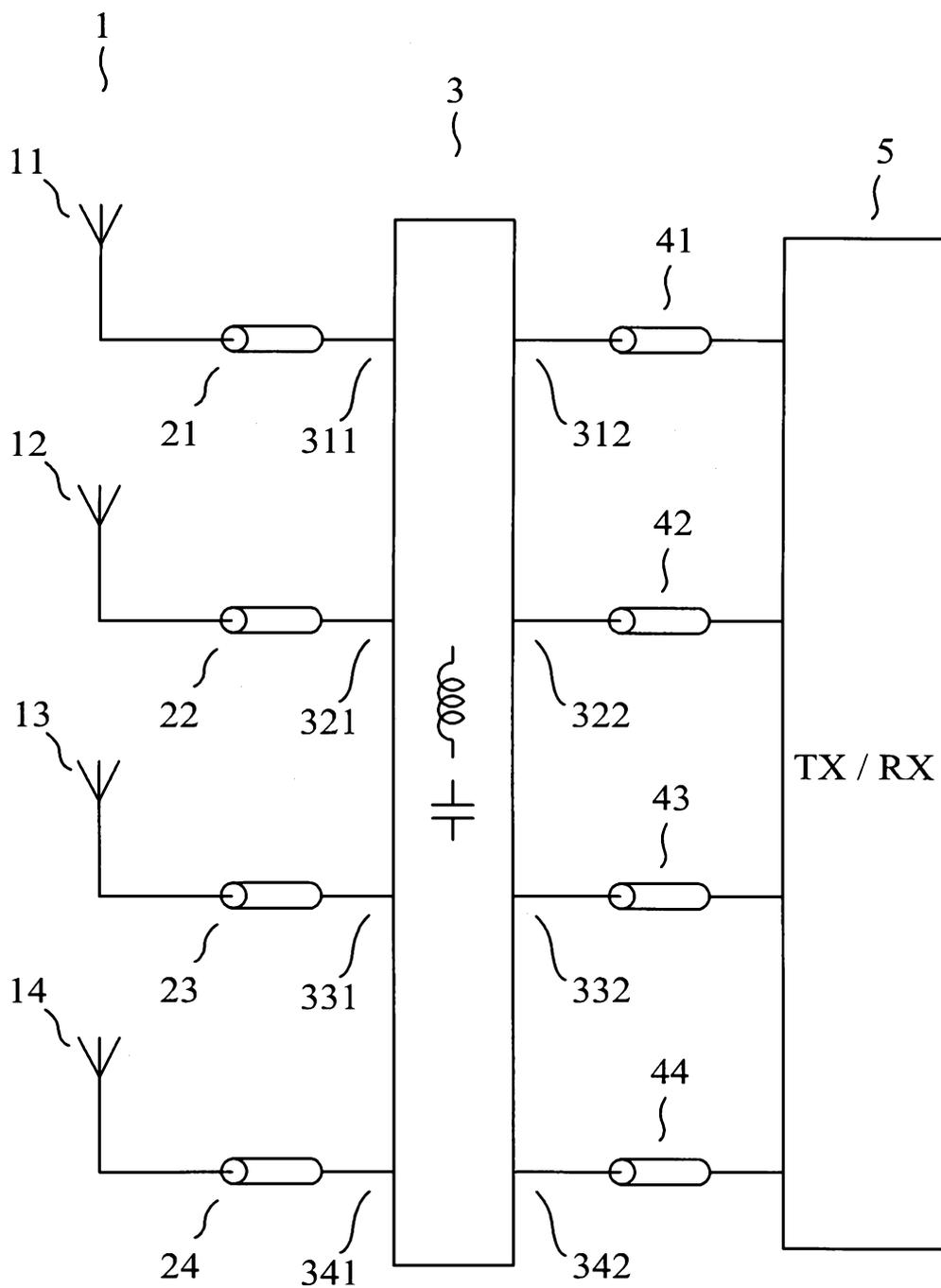


FIG. 3

3 / 7

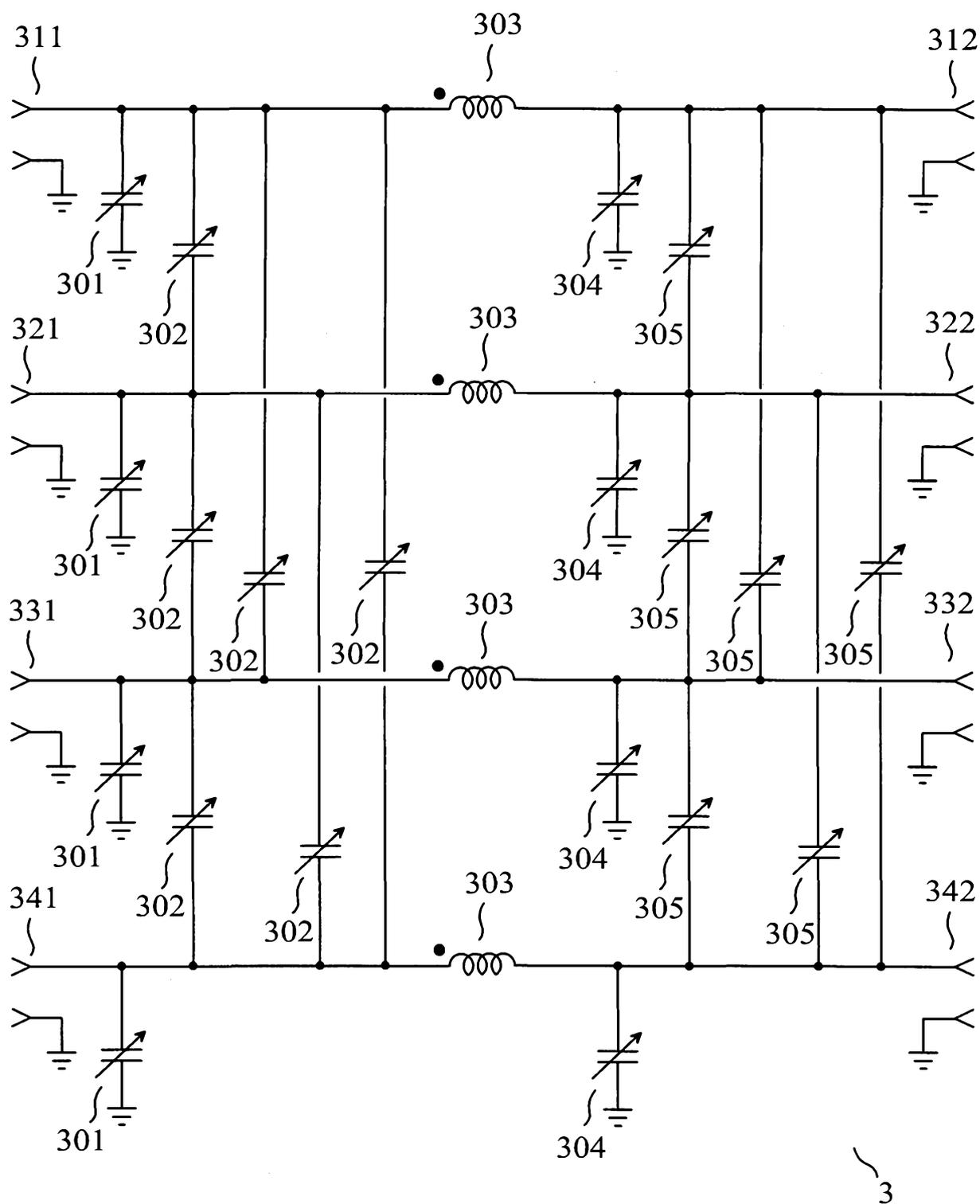


FIG. 4

4 / 7

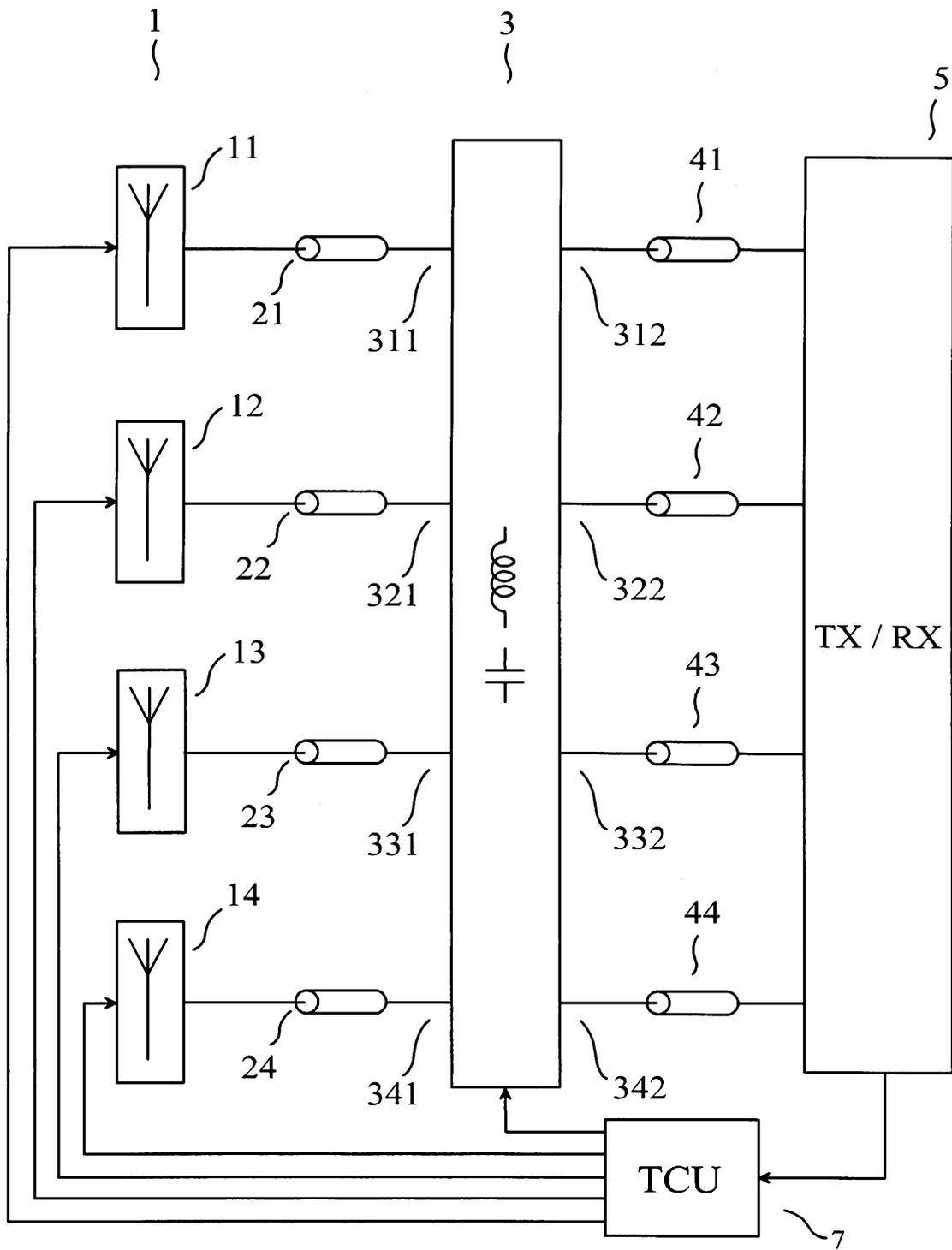


FIG. 5

5 / 7

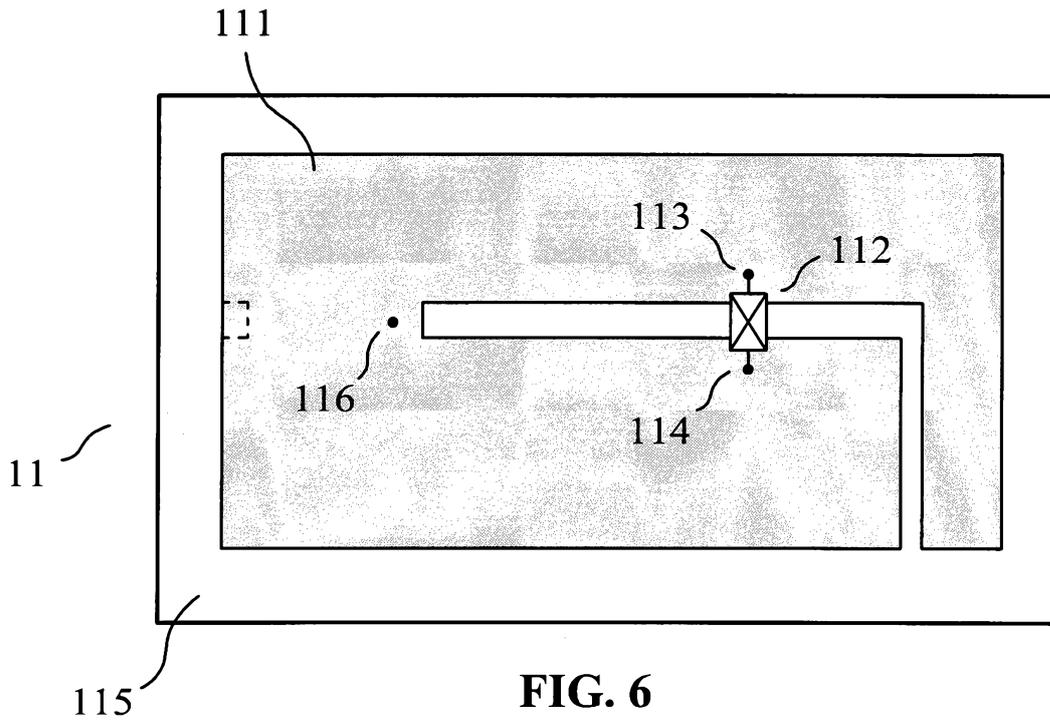


FIG. 6

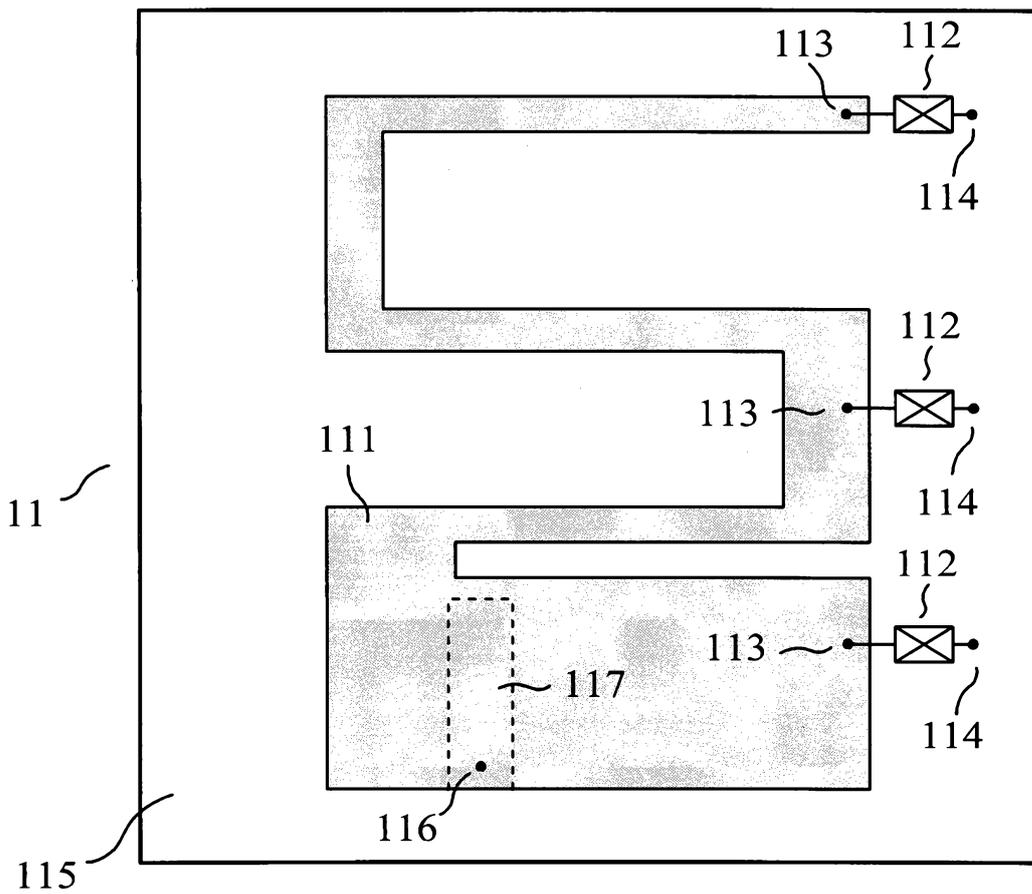


FIG. 7

6/7

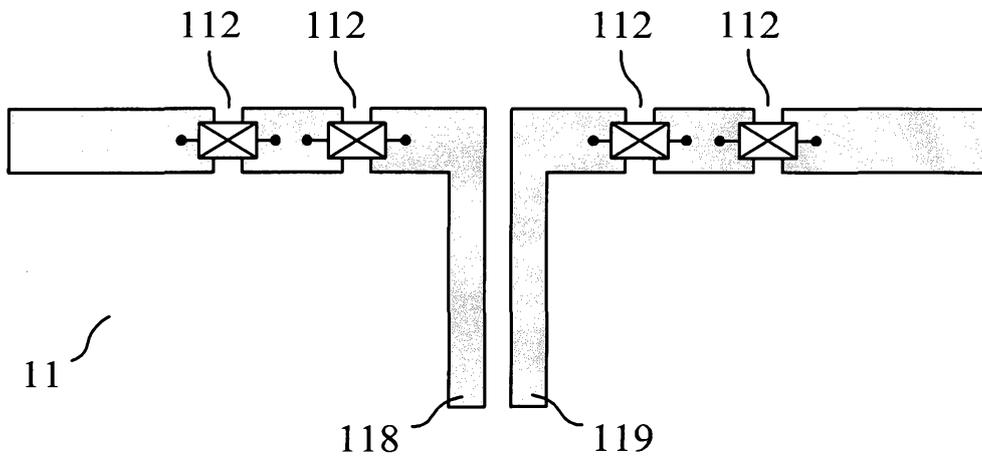


FIG. 8

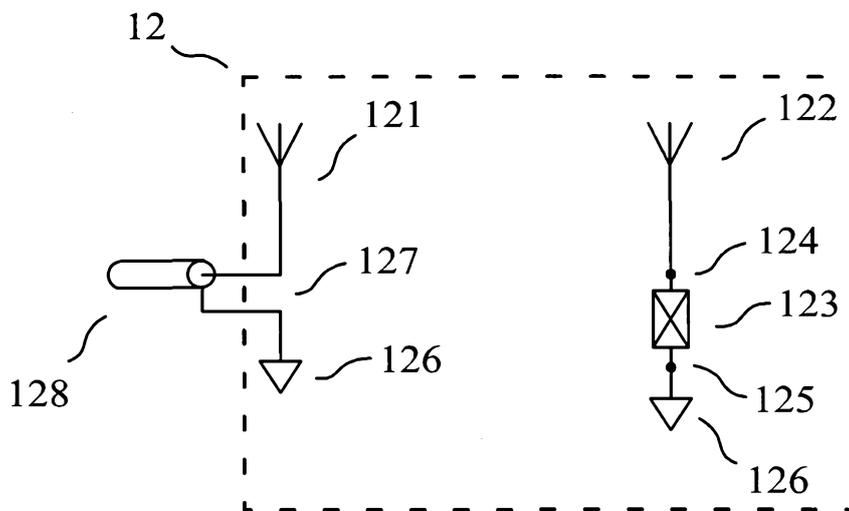


FIG. 9

7 / 7

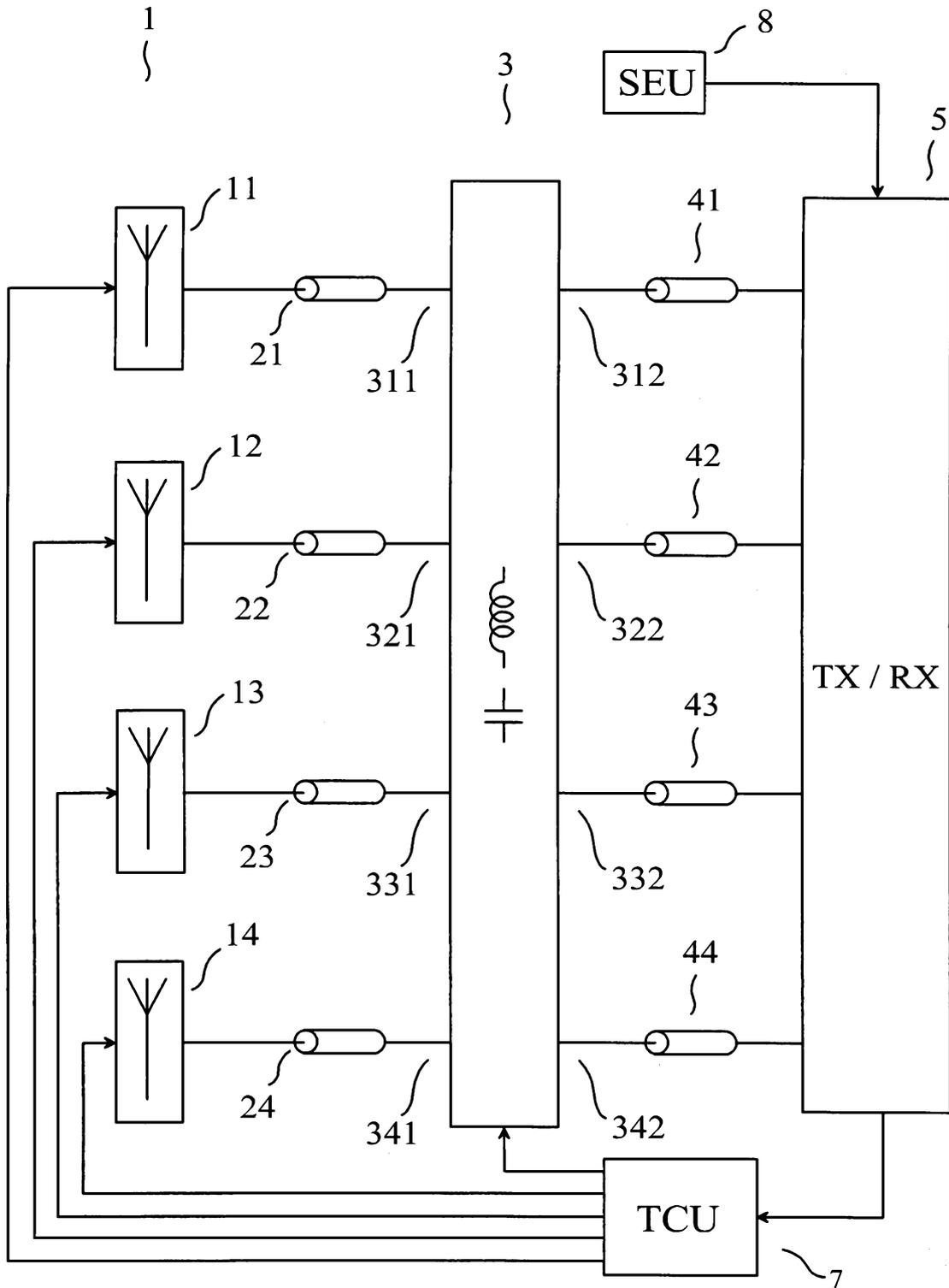


FIG. 10

RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

PAWANDEEP S TALUJA ET AL: "Fundamental capacity limits on compact MIMO-OFDM systems", COMMUNICATIONS (ICC), 2012 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, 10 juin 2012 (2012-06-10), pages 2547-2552, XP032273596,
DOI: 10.1109/ICC.2012.6363765 ISBN: 978-1-4577-2052-9

XINHUA YU ET AL: "Matching network optimization for indoor MIMO", COMPUTATIONAL PROBLEM-SOLVING (ICCP), 2010 INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 3 décembre 2010 (2010-12-03), pages 175-178, XP031855936, ISBN: 978-1-4244-8654-0

PETOSA A: "An Overview of Tuning Techniques for Frequency-Agile Antennas", IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION MAGAZINE, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 54, no. 5, 1 octobre 2012 (2012-10-01), pages 271-296, XP011474171,
ISSN: 1045-9243, DOI: 10.1109/MAP.2012.6348178

US 2004/041734 A1 (SHIOTSU SHINICHI [JP] ET AL)
4 mars 2004 (2004-03-04)

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

N° d'enregistrement national : 1400666

N° de publication : 3018973

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