

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

①① N° de publication : **2 996 067**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②① N° d'enregistrement national : **12 02542**
⑤① Int Cl⁸ : **H 01 Q 1/27 (2016.01), H 04 B 1/16**

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ APPAREIL D'ACCORD D'ANTENNE POUR UN RESEAU D'ANTENNES A ACCES MULTIPLES.

②② Date de dépôt : 25.09.12.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 28.03.14 Bulletin 14/13.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 16.09.16 Bulletin 16/37.

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** : vision demandée le 07/04/15 bénéficiant de la date de dépôt du 25/09/12 de la demande initiale n° 12 1202542.

○ Demande(s) d'extension :

⑦① **Demander(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 2 996 067 - B1



Appareil d'accord d'antenne pour un réseau d'antennes à accès multiples

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5 L'invention concerne un appareil d'accord d'antenne pour un réseau d'antennes à accès multiples, le réseau d'antennes à accès multiples étant utilisé pour émettre et/ou recevoir des ondes électromagnétiques pour communication radio. La communication radio peut 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. La communication radio peut utiliser tout mode
10 opératoire, par exemple la radiodiffusion, la radiocommunication point à point bidirectionnelle ou la radiocommunication dans un réseau cellulaire.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Un appareil d'accord d'antenne, qui est aussi souvent désigné par "antenna tuner" en anglais, est un appareil passif destiné à être inséré entre un équipement actif de communication
15 radio, par exemple un émetteur radio ou un récepteur radio, et son antenne pour obtenir que l'impédance vue par l'équipement actif de communication radio prenne une valeur visée.

La figure 1 montre le schéma bloc d'une utilisation typique d'un 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 :

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

un ou plusieurs dispositifs à impédance réglable, chacun des dispositifs à impédance réglable ayant une réactance à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences
30 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 utilisateur.

L'utilisateur (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
35 l'antenne (11), la liaison d'antenne (21) n'est pas présente. L'interconnexion (41) peut par exemple être un câble coaxial. Dans certains cas, lorsque l'appareil d'accord d'antenne (31) est

placé à proximité de l'utilisateur (5), l'interconnexion (41) n'est pas présente.

Un dispositif à impédance réglable est un composant comprenant deux bornes qui se comportent sensiblement comme un bipôle linéaire passif, et qui sont par conséquent complètement caractérisées par une impédance qui peut dépendre de la fréquence, cette
5 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 faire contribuer différents condensateurs du réseau à la réactance, une inductance variable, un
10 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
15 produire une réactance réglable.

Un spécialiste comprend que l'impédance présentée par l'accès utilisateur peut être considérée comme un élément d'un espace vectoriel réel de dimension 2, et qu'une application (au sens mathématique) peut être définie pour une impédance vue par l'accès antenne donnée, l'application faisant correspondre l'impédance présentée par l'accès utilisateur aux dites
20 réactances, l'application ayant, à une valeur donnée de chacune des réactances, une dérivée partielle par rapport à chacune des réactances, un sous-espace vectoriel engendré par les dérivées partielles étant défini dans l'espace vectoriel réel, le sous-espace vectoriel engendré étant de dimension 0 ou 1 ou 2.

Un spécialiste comprend que, si le sous-espace vectoriel engendré est de dimension 2, le
25 système montré sur la figure 1 peut être utilisé pour obtenir la meilleure performance possible de l'antenne, en particulier lorsque la fréquence de fonctionnement est modifiée, ou lorsque les caractéristiques électromagnétiques du volume entourant l'antenne sont modifiées, par exemple un mouvement de main de l'utilisateur d'un téléphone portable. Inversement, si le sous-espace vectoriel engendré est de dimension 1, les possibilités du système montré sur la Figure 1 sont
30 plus limitées. Un spécialiste comprend qu'au moins deux dispositifs à impédance réglable sont nécessaires pour obtenir un sous-espace vectoriel engendré de dimension 2. Un spécialiste comprend aussi qu'au moins deux dispositifs à impédance réglable ne conduisent pas automatiquement à un sous-espace vectoriel engendré de dimension 2.

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

un accès antenne (311) ayant deux bornes (3111) (3112), l'accès antenne étant asymétrique
(en anglais : single-ended) ;

un accès utilisateur (312) ayant deux bornes (3121) (3122), l'accès utilisateur étant asymétrique, l'accès utilisateur présentant, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, une impédance appelée l'impédance présentée par l'accès utilisateur ;

5 une bobine (315) ;

deux dispositifs à impédance réglable (313) (314), chacun des dispositifs à impédance réglable étant un condensateur variable ayant une réactance à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable ayant une influence sur l'impédance présentée par l'accès
10 utilisateur.

Un appareil d'accord d'antenne du type montré sur la figure 2 est par exemple utilisé dans l'article de F. Chan Wai Po, E. de Foucault, D. Morche, P. Vincent et E. Kerhervé intitulé "A Novel Method for Synthesizing an Automatic Matching Network and Its Control Unit", publié dans *IEEE Transactions on Circuits and Systems — I: Regular Papers*, vol. 58, No. 9, pp.
15 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
20 le *Proceedings of the 6th European Conference on Antenna and Propagation (EUCAP)*, pp. 1804-1808 en mars 2012, considèrent un appareil d'accord d'antenne d'un type similaire à celui montré sur la figure 2, la principale différence étant que la bobine (315) de la figure 2 est remplacée par un dispositif à impédance réglable, le dispositif à impédance réglable étant une inductance variable ou une inductance connectée en parallèle avec un condensateur variable.

25 La figure 3 montre un schéma d'un autre appareil d'accord d'antenne (31) qui pourrait être utilisé comme montré sur la figure 1 pour accorder une unique antenne, l'antenne opérant dans une bande de fréquence donnée. L'appareil d'accord d'antenne montré sur la figure 3 comporte :

un accès antenne (311) ayant deux bornes (3111) (3112), l'accès antenne étant symétrique ;
un accès utilisateur (312) ayant deux bornes (3121) (3122), l'accès utilisateur étant
30 asymétrique, l'accès utilisateur présentant, à une fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, une impédance appelée l'impédance présentée par l'accès utilisateur ;

un transformateur (316) et une bobine (319) ;

deux dispositifs à impédance réglable (317) (318), chacun des dispositifs à impédance réglable étant un condensateur variable ayant une réactance à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable ayant une influence sur l'impédance présentée par l'accès
35 utilisateur.

Un spécialiste sait que les appareils d'accord d'antenne montrés sur la figure 2 et la figure 3 sont couramment utilisés pour obtenir un sous-espace vectoriel engendré de dimension 2. Inversement l'appareil d'accord d'antenne divulgué dans le brevet des États-Unis d'Amérique numéro US 6,907,234, intitulé "System and Method for Automatically Tuning an Antenna",
 5 délivré en juin 2005 (inventeurs Karr et al.) peut seulement procurer un sous-espace vectoriel engendré de dimension 1.

Certains récepteurs et émetteurs pour communication radio utilisent une pluralité d'antennes simultanément, dans la même bande de fréquences. De tels récepteurs et émetteurs sont par exemple utilisés en communication radio MIMO. Pour de telles applications, il est possible
 10 d'utiliser une pluralité d'appareils d'accord d'antenne, chacun des appareils d'accord d'antenne ayant un seul accès antenne et un seul accès utilisateur, comme les appareils d'accord d'antenne montrés sur la figure 2 et la figure 3..

La figure 4 montre le schéma bloc d'une utilisation typique d'une pluralité d'appareils d'accord d'antenne indépendants (31) (32) (33) (34) pour accorder simultanément 4 antennes
 15 (11) (12) (13) (14), les 4 antennes opérant dans une bande de fréquences donnée, les 4 antennes formant un réseau d'antennes (1). Dans la figure 4, chacun des appareils d'accord d'antenne (31) (32) (33) (34) comporte :

- un accès antenne (311) (321) (331) (341), l'accès antenne étant couplé à une des antennes (11) (12) (13) (14) à travers une liaison d'antenne (21) (22) (23) (24);
- 20 un accès utilisateur (312) (322) (332) (342), l'accès utilisateur étant couplé à l'utilisateur (5) à travers une interconnexion (41) (42) (43) (44) ;
- un ou plusieurs dispositifs à impédance réglable ayant chacun une réactance à une fréquence donnée, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable étant réglable.

25 L'utilisation montrée sur la figure 4 est appropriée pour accorder simultanément une pluralité d'antennes, si les interactions entre les antennes peuvent être négligées. Cependant, il est possible de montrer que cette utilisation ne procure généralement pas la meilleure performance possible dans les cas où les interactions entre les antennes ne peuvent pas être négligées. La raison principale de cette limitation est qu'une pluralité d'appareils d'accord
 30 d'antenne indépendants ne peut en général pas être utilisée de telle façon que la matrice impédance présentée par les accès utilisateur soit une matrice impédance diagonale désirée, la matrice impédance diagonale désirée étant dans la plupart des cas une matrice diagonale réelle.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention a pour objet un appareil passif pour accorder simultanément une pluralité
 35 d'antennes, dépourvu de la limitation, mentionnée plus haut, des techniques connues.

L'invention est un appareil pour accorder n antennes, où n est un entier supérieur ou égal

à 2, les n antennes opérant (ou étant utilisées) dans une bande de fréquences donnée, l'appareil comportant :

5 n accès antenne, 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", la matrice impédance vue par les accès antenne étant une matrice complexe carrée d'ordre n ;

10 m accès utilisateur, où m est un entier supérieur ou égal à 2, les accès utilisateur présentant, à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, une matrice impédance appelée "la matrice impédance présentée par les accès utilisateur", la matrice impédance présentée par les accès utilisateur étant une matrice complexe carrée d'ordre m ;

15 p dispositifs à impédance réglable, où p est un entier supérieur ou égal à $2m$, chacun des dispositifs à impédance réglable ayant une réactance à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable ayant, 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 utilisateur, la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable ayant, 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 utilisateur, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable étant réglable par moyen électrique.

25 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, une ensemble fini de valeurs de réactance, cette caractéristique étant par exemple obtenue si le dispositif à impédance réglable est :

30 - 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 microélectromécaniques (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

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

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

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

Le spécialiste comprend comment il peut construire un circuit, le circuit étant passif au sens de la théorie des circuits et tel que, si la matrice impédance vue par les accès antenne est égale à une matrice impédance diagonale donnée, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable a une influence sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, et la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable a une influence sur au moins un élément non diagonal de la matrice impédance présentée par les accès utilisateur.

Le spécialiste comprend que l'appareil selon l'invention est différent de la pluralité d'appareils d'accord d'antenne indépendants de l'état de l'art antérieur montrée sur la figure 4, parce que cette pluralité d'appareils d'accord d'antenne indépendants est telle que la matrice impédance présentée par les accès utilisateur est toujours une matrice diagonale si la matrice impédance vue par les accès antenne est égale à une matrice impédance diagonale donnée.

Les n antennes peuvent former un réseau d'antennes dans lequel une ou plusieurs interactions entre les antennes ne peuvent être négligées. Le spécialiste comprend que, dans l'appareil selon l'invention, si chacun des accès antenne est couplé, directement ou à travers une liaison d'antenne, à une antenne d'un réseau d'antennes dans lequel une ou plusieurs interactions entre les antennes ne peuvent être négligées, la matrice impédance vue par les accès antenne est une matrice non diagonale.

L'appareil selon l'invention peut être tel que, 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 utilisateur aux p réactances est définie, l'application ayant, à une valeur donnée de chacune des p réactances, une dérivée partielle par rapport à chacune des p réactances, un sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles étant défini dans l'ensemble des matrices complexes carrées d'ordre m considéré comme un espace vectoriel réel, toute matrice complexe diagonale d'ordre m ayant les mêmes éléments diagonaux qu'au moins un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles.

Notons \mathbf{Z}_A la matrice impédance vue par les accès antenne. Notons \mathbf{Z}_U la matrice impédance présentée par les accès utilisateur. \mathbf{Z}_U peut être considérée comme un élément de l'espace vectoriel des matrices complexes carrées d'ordre m sur le corps des nombres complexes, qui est de dimension m^2 . \mathbf{Z}_U peut aussi être considérée comme un élément de l'espace vectoriel, noté E , des matrices complexes carrées d'ordre m sur le corps des nombres réels. L'espace vectoriel réel E est de dimension $2m^2$. Numérotions les p dispositifs à impédance réglable de 1 à p . Pour

tout entier j supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à p , notons X_j la réactance du dispositif à impédance réglable numéro j . Le spécialiste comprend que \mathbf{Z}_U est une fonction de la matrice complexe \mathbf{Z}_A et des p variables réelles X_1, \dots, X_p . Dans le cas où \mathbf{Z}_A est égale à ladite matrice impédance non diagonale donnée, utilisons f pour noter l'application définie plus haut, par

$$5 \quad f(X_1, \dots, X_p) = \mathbf{Z}_U \quad (1)$$

A une valeur donnée de chacune des p réactances, c'est-à-dire à $(X_1, \dots, X_p) = (X_{1G}, \dots, X_{pG})$ où (X_{1G}, \dots, X_{pG}) est donné, l'application a , par rapport à n'importe quelle réactance X_j parmi les p réactances, une dérivée partielle $D_j(X_{1G}, \dots, X_{pG})$, qui peut être notée

$$\frac{\partial f}{\partial X_j}(X_{1G}, \dots, X_{pG}) = D_j(X_{1G}, \dots, X_{pG}) \quad (2)$$

10 L'exigence mentionnée plus haut "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" signifie que toute matrice complexe diagonale d'ordre m a les mêmes éléments diagonaux qu'au moins un élément du sous-espace vectoriel engendré, dans l'espace vectoriel réel E , par $D_1(X_{1G}, \dots, X_{pG}), \dots, D_p(X_{1G}, \dots, X_{pG})$. Le spécialiste comprend que cette
15 exigence implique qu'il est possible d'utiliser les p dispositifs à impédance réglable pour contrôler le module et la phase de chaque élément diagonal de \mathbf{Z}_U , indépendamment les uns des autres. Le spécialiste comprend aussi comment il peut satisfaire cette exigence.

Selon l'invention, les p dérivées partielles peuvent être linéairement indépendantes dans l'espace vectoriel réel E . Dans ce cas, le spécialiste comprend qu'il n'y a pas de redondance
20 dans l'effet d'un réglage des p dispositifs à impédance réglable, si bien qu'il est possible d'utiliser les p dispositifs à impédance réglable pour contrôler indépendamment le module et la phase de chaque élément diagonal de \mathbf{Z}_U et aussi $p - 2m$ contraintes concernant les éléments non diagonaux de \mathbf{Z}_U . Dans ce cas, si $p - 2m$ est supérieur ou égal à 1, il peut être possible de réduire le module des $p - 2m$ éléments non diagonaux de \mathbf{Z}_U ayant le plus grand module.

25 Selon l'invention, le sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles peut être tel que n'importe quelle matrice complexe diagonale d'ordre m est un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles. Dans ce cas, le sous-espace vectoriel engendré par $D_1(X_{1G}, \dots, X_{pG}), \dots, D_p(X_{1G}, \dots, X_{pG})$ contient l'ensemble des matrices complexes diagonales d'ordre m , qui est un sous-espace vectoriel de E , la dimension de ce sous-espace
30 vectoriel étant $2m$. Dans ce cas, le spécialiste comprend qu'il est possible d'utiliser les p dispositifs à impédance réglable pour contrôler indépendamment le module et la phase de chaque élément diagonal de \mathbf{Z}_U et d'annuler tous les éléments non diagonaux de \mathbf{Z}_U .

Selon l'invention, le sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles peut être tel que n'importe quelle matrice complexe symétrique d'ordre m est un élément du sous-espace
35 vectoriel engendré par les p dérivées partielles. Dans ce cas, le sous-espace vectoriel engendré

par $D_1(X_{1G}, \dots, X_{pG}), \dots, D_p(X_{1G}, \dots, X_{pG})$ contient l'ensemble des matrices complexes symétriques d'ordre m , qui est un sous-espace vectoriel de E , la dimension de ce sous-espace vectoriel étant $p = m(m + 1)$.

L'appareil selon l'invention peut être tel que $p = m(m + 1)$. Dans ce cas, si Z_A est
 5 symétrique, si les p dérivées partielles sont linéairement indépendantes dans l'espace vectoriel réel E et si l'appareil selon l'invention se comporte, pour ses accès antenne et ses accès utilisateur, comme un circuit réciproque, toute matrice complexe symétrique d'ordre $m \times m$ est un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles. Le nombre p peut préférentiellement être supérieur ou égal à $2m$ et inférieur ou égal à $m(m + 1)$.

10 Selon l'invention, il est possible qu'au moins un des accès antenne et/ou un des accès utilisateur soit asymétrique. Selon l'invention, il est possible qu'au moins un des accès antenne et/ou un des accès utilisateur soit symétrique.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus clairement de la description qui va
 15 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 ;
- 20 - la figure 2 montre un schéma d'un premier 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 montre un schéma d'un second appareil d'accord d'antenne qui pourrait être utilisé comme montré sur la figure 1 pour accorder une unique antenne, et a déjà été
 25 commentée dans la partie consacrée à l'exposé de l'état de la technique ;
- la figure 4 montre le schéma bloc d'une utilisation typique d'une pluralité d'appareils 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 5 représente le schéma bloc d'une utilisation typique d'un appareil d'accord
 30 d'antenne pour accorder simultanément 4 antennes (premier mode de réalisation) ;
- la figure 6 représente le schéma d'un appareil d'accord d'antenne pour accorder simultanément 4 antennes (troisième mode de réalisation) ;
- la figure 7 représente le schéma d'un appareil d'accord d'antenne pour accorder simultanément 4 antennes (quatrième mode de réalisation) ;
- 35 - la figure 8 représente le schéma d'un appareil d'accord d'antenne pour accorder simultanément 4 antennes (cinquième mode de réalisation).

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE CERTAINS MODES DE RÉALISATION

Premier mode de réalisation.

Un premier mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, pour accorder simultanément n antennes entre lesquelles existe une interaction non négligeable, donné à titre
 5 d'exemple non limitatif, est un appareil d'accord d'antenne pour un réseau d'antennes à accès multiples, caractérisé en ce que :

le nombre d'accès utilisateur est égal au nombre d'accès antenne, c'est-à-dire $n = m$;

un schéma et les valeurs de composants d'un réseau d'adaptation et de découplage (en
 10 anglais : a decoupling and matching network) sont obtenus en utilisant la méthode présentée dans l'article de J. Weber, C. Volmer, K. Blau, R. Stephan et M.A. Hein, intitulé "Miniaturized Antenna Arrays Using Decoupling Networks With Realistic Elements", publié dans *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, No. 6, pp. 2733-2740, en juin 2006 ;

pour obtenir un schéma et les valeurs de composants de l'appareil d'accord d'antenne, $p =$
 15 $m(m + 1)$ composants du réseau d'adaptation et de découplage sont remplacés chacun par un dispositif à impédance réglable, lesdites p dérivées partielles étant linéairement indépendantes dans l'espace vectoriel réel E , la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable étant réglable par moyen électrique.

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

Nous notons que le réseau d'adaptation et de découplage synthétisé par la méthode présentée dans ledit article de J. Weber, C. Volmer, K. Blau, R. Stephan et M.A. Hein comporte
 30 $m(2m + 1)$ composants, dont seulement $m(m + 1)$ sont remplacés par les dits dispositifs à impédance réglable. Le spécialiste comprend comment il peut déterminer si les dérivées partielles sont linéairement indépendantes dans l'espace vectoriel réel E , pour un choix donné des $m(m + 1)$ dispositifs à impédance réglable, de façon à obtenir un choix approprié.

La figure 5 montre un schéma bloc d'une utilisation typique de l'appareil d'accord d'antenne (3) pour accorder simultanément 4 antennes (11) (12) (13) (14), les 4 antennes opérant dans une bande de fréquences donnée, les 4 antennes formant un réseau d'antennes (1). Dans
 35 la figure 5, 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);
 $m = 4$ accès utilisateur (312) (322) (332) (342), chacun des accès utilisateur étant couplé à
 l'utilisateur (5) à travers une interconnexion (41) (42) (43) (44) ;

5 $p = m (m + 1) = 20$ dispositifs à impédance réglable, la réactance de n'importe lequel des
 dispositifs à impédance réglable étant réglable par moyen électrique.

Les p dérivées partielles étant linéairement indépendantes dans E , le spécialiste comprend
 qu'une 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 à impédance réglable, par exemple pour
 10 obtenir que la matrice impédance présentée par les accès utilisateur soit une matrice diagonale
 réelle désirée. Ainsi, il est toujours possible d'obtenir la meilleure performance.

Deuxième mode de réalisation.

Le deuxième mode de réalisation d'un appareil selon l'invention, pour accorder
 simultanément n antennes entre lesquelles existe une interaction non négligeable, donné à titre
 15 d'exemple non limitatif, est un appareil d'accord d'antenne pour un réseau d'antennes à accès
 multiples, caractérisé en ce que :

n dispositifs à impédance réglable sont chacun couplés en parallèle avec un des accès
 antenne et sont chacun réglables par moyen électrique ;

20 $n (n - 1) / 2$ dispositifs à impédance réglable ont 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 ;

m dispositifs à impédance réglable sont chacun couplés en parallèle avec un des accès
 utilisateur et sont chacun réglables par moyen électrique ;

25 $m (m - 1) / 2$ dispositifs à impédance réglable ont chacun une première borne couplée à un
 des accès utilisateur et une deuxième borne couplée à un des accès utilisateur qui est
 différent de l'accès utilisateur auquel la première borne est couplée.

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

Troisième mode de réalisation.

Au titre d'un troisième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 6 un appareil d'accord d'antenne pour un réseau d'antennes à accès multiples, comportant :

- 5 $n = 4$ accès antenne (311) (321) (331) (341), chacun des accès antenne étant asymétrique ;
 $m = 4$ accès utilisateur (312) (322) (332) (342), chacun des accès utilisateur étant asymétrique ;
 n dispositifs à impédance réglable (301) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès antenne ;
10 $n(n - 1)/2$ dispositifs à impédance réglable (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
15 et une deuxième borne couplée à un des accès utilisateur ;
 m dispositifs à impédance réglable (304) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès utilisateur ;
 $m(m - 1)/2$ dispositifs à impédance réglable (305) présentant chacun une réactance négative et ayant chacun une première borne couplée à un des accès utilisateur et une
20 deuxième borne couplée à un des accès utilisateur qui est différent de l'accès utilisateur auquel la première borne est couplée.

Tous les dispositifs à impédance réglable (301) (302) (304) (305) sont réglables par moyen électrique, mais les circuits et les liaisons de contrôle nécessaires pour déterminer la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable ne sont pas montrés sur la figure 6.

- 25 Nous notons que ce troisième mode de réalisation est un cas particulier du deuxième mode de réalisation, dans lequel $n = m$, si bien qu'il utilise $p = m(m + 1)$ dispositifs à impédance réglable.

- L'appareil selon ce troisième mode de réalisation peut être utilisé comme montré sur la figure 5, le réseau d'antennes étant par exemple constitué de 4 antennes parallèles et identiques
30 (donc de même polarisation), ces antennes étant proches les unes des autres et destinées à opérer dans la bande de fréquences 1850 MHz à 1910 MHz. A la fréquence centrale de 1880 MHz, la matrice impédance \mathbf{Z}_A est approximativement donnée par :

$$\mathbf{Z}_A \approx \begin{pmatrix} 84,4 + 10,1j & -18,7 - 32,5j & -17,9 + 13,5j & -18,7 - 32,5j \\ -18,7 - 32,5j & 84,4 + 10,1j & -18,7 - 32,5j & -17,9 + 13,5j \\ -17,9 + 13,5j & -18,7 - 32,5j & 84,4 + 10,1j & -18,7 - 32,5j \\ -18,7 - 32,5j & -17,9 + 13,5j & -18,7 - 32,5j & 84,4 + 10,1j \end{pmatrix} \Omega \quad (3)$$

Le spécialiste sait comment déterminer la capacité de chacun des dispositifs à impédance réglable (301) (302) couplés à un des accès antenne, l'inductance de chacun des enroulements (303), l'inductance mutuelle entre les enroulements (303) et la capacité de chacun des dispositifs à impédance réglable (304) (305) couplés à un des accès utilisateur, pour obtenir une matrice

5 impédance \mathbf{Z}_U désirée, à la fréquence centrale. Par exemple, si nous notons \mathbf{C}_A la matrice capacité des dispositifs à impédance réglable (301) (302) couplés à un des accès antenne, si nous notons \mathbf{L} la matrice inductance des enroulements (303) et si nous notons \mathbf{C}_U la matrice capacité des dispositifs à impédance réglable (304) (305) couplés à un des accès utilisateur, nous trouvons que les valeurs approximatives

$$10 \quad \mathbf{C}_A \approx \begin{pmatrix} 10,20 & -2,10 & -1,20 & -2,10 \\ -2,10 & 10,20 & -2,10 & -1,20 \\ -1,20 & -2,10 & 10,20 & -2,10 \\ -2,10 & -1,20 & -2,10 & 10,20 \end{pmatrix} \text{ pF} \quad (4)$$

$$\mathbf{L} \approx \begin{pmatrix} 1,238 & 0,282 & 0,180 & 0,282 \\ 0,282 & 1,238 & 0,282 & 0,180 \\ 0,180 & 0,282 & 1,238 & 0,282 \\ 0,282 & 0,180 & 0,282 & 1,238 \end{pmatrix} \text{ nH} \quad (5)$$

et

$$\mathbf{C}_U \approx \begin{pmatrix} 16,23 & -4,03 & -0,07 & -4,03 \\ -4,03 & 16,23 & -4,03 & -0,07 \\ -0,07 & -4,03 & 16,23 & -4,03 \\ -4,03 & -0,07 & -4,03 & 16,23 \end{pmatrix} \text{ pF} \quad (6)$$

sont appropriées pour obtenir

$$15 \quad \mathbf{Z}_U \approx \begin{pmatrix} 50,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 50,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 50,0 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & 50,0 \end{pmatrix} \Omega \quad (7)$$

Pour ces valeurs, il est possible de montrer que les $p = 20$ dérivées partielles définies plus haut sont linéairement indépendantes dans l'espace vectoriel réel de dimension 32 des matrices complexes carrées d'ordre 4, noté E . Ainsi, le sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles dans E est un sous-espace vectoriel de dimension 20 égal à l'ensemble des matrices

20 complexes symétriques d'ordre 4. Par conséquent, toute matrice complexe diagonale d'ordre 4 a les mêmes éléments diagonaux qu'au moins un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles.

Le spécialiste comprend que toute petite variation de la matrice impédance du réseau d'antennes, produite par un changement de fréquence d'utilisation ou un changement du milieu

25 entourant les antennes, peut être compensée par un nouveau réglage des dispositifs à impédance

réglable, par exemple pour obtenir la matrice diagonale réelle donnée par l'équation (7). Ainsi, il est toujours possible d'obtenir la meilleure performance.

Quatrième mode de réalisation.

Au titre d'un quatrième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre
5 d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 7 un appareil d'accord d'antenne selon l'invention, comportant :

$n = 4$ accès antenne (311) (321) (331) (341), chacun des accès antenne étant asymétrique ;
 $m = 4$ accès utilisateur (312) (322) (332) (342), chacun des accès utilisateur étant
asymétrique ;

10 n dispositifs à impédance réglable (301) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès antenne ;

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

15 $n = m$ enroulements (303) ayant chacun une première borne couplée à un des accès antenne et une deuxième borne couplée à un des accès utilisateur ;

m dispositifs à impédance réglable (304) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès utilisateur ;

20 $m(m - 1)/2$ dispositifs à impédance réglable (305) présentant chacun une réactance négative et ayant chacun une première borne couplée à un des accès utilisateur et une deuxième borne couplée à un des accès utilisateur qui est différent de l'accès utilisateur auquel la première borne est couplée.

Tous les dispositifs à impédance réglable (301) (304) (305) sont réglables par moyen électrique, mais les circuits et les liaisons de contrôle nécessaires pour déterminer la réactance
25 de chacun des dispositifs à impédance réglable ne sont pas montrés sur la figure 7.

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

A la fréquence centrale de 1880 MHz, pour une matrice impédance Z_A donnée approximativement par l'équation (3) et des valeurs de composants convenables conduisant à
35 une matrice impédance Z_U donnée par l'équation (7), il est possible de montrer que les $p = 14$ dérivées partielles sont linéairement indépendantes dans E . Ainsi, le sous-espace vectoriel

engendré par les p dérivées partielles dans E est de dimension 14. Il est aussi possible de montrer que toute matrice complexe diagonale d'ordre 4 a les mêmes éléments diagonaux qu'au moins un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles.

Le spécialiste comprend que toute petite variation de la matrice impédance du réseau d'antennes, produite par un changement de fréquence d'utilisation ou un changement du milieu entourant les antennes, peut être partiellement compensée par un nouveau réglage des dispositifs à impédance réglable, par exemple pour obtenir que chaque élément diagonal de Z_U soit proche de 50Ω et que certains des éléments non diagonaux de Z_U aient un module suffisamment petit.

Cinquième mode de réalisation.

10 Au titre d'un cinquième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, nous avons représenté sur la figure 8 un appareil d'accord d'antenne selon l'invention, comportant :

$n = 4$ accès antenne (311) (321) (331) (341), chacun des accès antenne étant asymétrique ;

15 $m = 4$ accès utilisateur (312) (322) (332) (342), chacun des accès utilisateur étant asymétrique ;

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

20 $n(n - 1)/2$ condensateurs (306) ayant chacun une première borne couplée à un des accès antenne et une deuxième borne couplée à un des accès antenne qui est différent de l'accès antenne auquel la première borne est couplée ;

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

m dispositifs à impédance réglable (304) présentant chacun une réactance négative et étant chacun couplé en parallèle avec un des accès utilisateur ;

25 $m(m - 1)/2$ condensateurs (307) ayant chacun une première borne couplée à un des accès utilisateur et une deuxième borne couplée à un des accès utilisateur qui est différent de l'accès utilisateur auquel la première borne est couplée.

Tous les dispositifs à impédance réglable (301) (304) sont réglables par moyen électrique, mais les circuits et les liaisons de contrôle nécessaires pour déterminer la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable ne sont pas montrés sur la figure 8.

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

utilisateur.

A la fréquence centrale de 1880 MHz, pour une matrice impédance Z_A donnée approximativement par l'équation (3) et des valeurs de composants convenables conduisant à une matrice impédance Z_U donnée par l'équation (7), il est possible de montrer que les $p = 8$ dérivées partielles sont linéairement indépendantes dans E . Ainsi, le sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles dans E est de dimension 8. Il est aussi possible de montrer que toute matrice complexe diagonale d'ordre 4 a les mêmes éléments diagonaux qu'au moins un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles.

Le spécialiste comprend que toute petite variation de la matrice impédance du réseau d'antennes, produite par un changement de fréquence d'utilisation ou un changement du milieu entourant les antennes, peut être partiellement compensée par un nouveau réglage des dispositifs à impédance réglable, par exemple pour obtenir que chaque élément diagonal de Z_U soit proche de 50Ω .

INDICATIONS SUR LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Le spécialiste comprend que l'appareil d'accord d'antenne selon l'invention est approprié pour compenser des variations de la matrice impédance d'un réseau d'antennes en utilisant un nombre réduit de signaux électriques pour déterminer la réactance de chacun des dispositifs à impédance réglable. L'invention est donc particulièrement adaptée à être utilisée dans un système automatique d'accord d'antenne pour accorder simultanément une pluralité d'antennes.

Nous notons que dans les troisième, quatrième et cinquième modes de réalisation, chaque dispositif à impédance réglable présente une réactance négative. Ceci n'est nullement une caractéristique de l'invention, et il est également possible d'utiliser des dispositifs à impédance réglable présentant une réactance positive. Cependant, le spécialiste comprend que les troisième, quatrième et cinquième modes de réalisation utilisent un petit nombre d'enroulements, si bien qu'il est possible d'obtenir de faibles pertes dans l'appareil d'accord d'antenne.

L'invention peut être utilisée dans les récepteurs et les émetteurs pour communication radio qui utilisent une pluralité d'antennes simultanément dans la même bande de fréquences donnée, par exemple les récepteurs et les émetteurs pour communication radio MIMO. En particulier, 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 récepteurs et aux émetteurs mobiles, par exemple ceux utilisés dans les radiotéléphones portables. L'invention est aussi particulièrement adaptée aux récepteurs et les émetteurs à hautes performances utilisant un grand nombre d'antennes, par exemple ceux utilisés dans les stations fixes des réseaux cellulaires de radiotéléphonie.

REVENDEICATIONS

1. Appareil pour accorder n antennes, où n est un entier supérieur ou égal à 2, les n antennes opérant dans une bande de fréquences donnée, l'appareil comportant :

5 n accès antenne (311) (321) (331) (341), 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, la matrice impédance vue par les accès antenne étant une matrice complexe carrée d'ordre n ;

10 m accès utilisateur (312) (322) (332) (342), où m est un entier supérieur ou égal à 2, les accès utilisateur présentant, à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, une matrice impédance appelée la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, la matrice impédance présentée par les accès utilisateur étant une matrice complexe carrée d'ordre m ;

15 p dispositifs à impédance réglable (301) (302) (304) (305), où p est un entier supérieur ou égal à $2m$, chacun des dispositifs à impédance réglable ayant une réactance à ladite fréquence dans ladite bande de fréquences donnée, la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable étant réglable par moyen électrique, l'appareil pour accorder n antennes étant tel qu'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
20 la matrice impédance diagonale donnée, alors (a) la réactance de n'importe lequel des dispositifs à impédance réglable a une influence sur la matrice impédance présentée par les accès utilisateur, et (b) la réactance d'au moins un des dispositifs à impédance réglable a une influence sur au moins un élément non diagonal de la matrice
25 impédance présentée par les accès utilisateur.

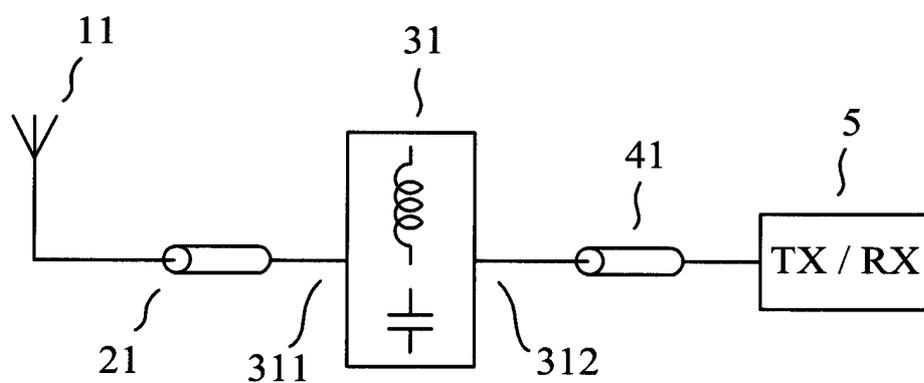
2. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il existe une matrice impédance non diagonale appelée la matrice impédance non diagonale donnée, la matrice impédance non diagonale donnée étant telle que, si la matrice impédance vue par les accès antenne est égale à la matrice impédance non diagonale donnée, alors une application faisant correspondre la
30 matrice impédance présentée par les accès utilisateur aux p réactances est définie, l'application ayant, à une valeur donnée de chacune des p réactances, une dérivée partielle par rapport à chacune des p réactances, un sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles étant défini dans l'ensemble des matrices complexes carrées d'ordre m considéré comme un espace vectoriel réel, toute matrice complexe diagonale d'ordre m ayant les mêmes éléments diagonaux
35 qu'au moins un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles.

3. Appareil selon la revendication 2, dans lequel les p dérivées partielles sont linéairement indépendantes dans l'espace vectoriel réel des matrices complexes carrées d'ordre m .
4. Appareil selon l'une quelconque des revendications 2 ou 3, dans lequel n'importe quelle matrice complexe diagonale d'ordre m est un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles.
5. Appareil selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, dans lequel n'importe quelle matrice complexe symétrique d'ordre m est un élément du sous-espace vectoriel engendré par les p dérivées partielles.
6. Appareil selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel $p = m (m + 1)$.
- 10 7. Appareil selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel n est supérieur ou égal à 3.
8. Appareil selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que les dits dispositifs à impédance réglable comportent :
- 15 n dispositifs à impédance réglable (301) chacun couplé en parallèle avec un des accès antenne ;
- $n (n - 1) / 2$ 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 ;
- 20 m dispositifs à impédance réglable (304) chacun couplé en parallèle avec un des accès utilisateur ;
- $m (m - 1) / 2$ dispositifs à impédance réglable (305) ayant chacun une première borne couplée à un des accès utilisateur et une deuxième borne couplée à un des accès utilisateur qui est différent de l'accès utilisateur auquel la première borne est couplée.
9. Appareil selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que $n = m$, et en ce que :
- 25 les dits dispositifs à impédance réglable comportent n dispositifs à impédance réglable (301) chacun couplé en parallèle avec un des accès antenne ;
- le dit appareil comporte $n = m$ enroulements (303) ayant chacun une première borne couplée à un des accès antenne et une deuxième borne couplée à un des accès utilisateur ;
- 30 les dits dispositifs à impédance réglable comportent m dispositifs à impédance réglable (304) chacun couplé en parallèle avec un des accès utilisateur.

10. Appareil selon la revendication 9, caractérisé en ce que les dits dispositifs à impédance réglable comportent :

- 5 $n(n - 1)/2$ 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 ;
- $m(m - 1)/2$ dispositifs à impédance réglable (305) ayant chacun une première borne couplée à un des accès utilisateur et une deuxième borne couplée à un des accès utilisateur qui est différent de l'accès utilisateur auquel la première borne est couplée.

1 / 7

**FIG. 1**

2 / 7

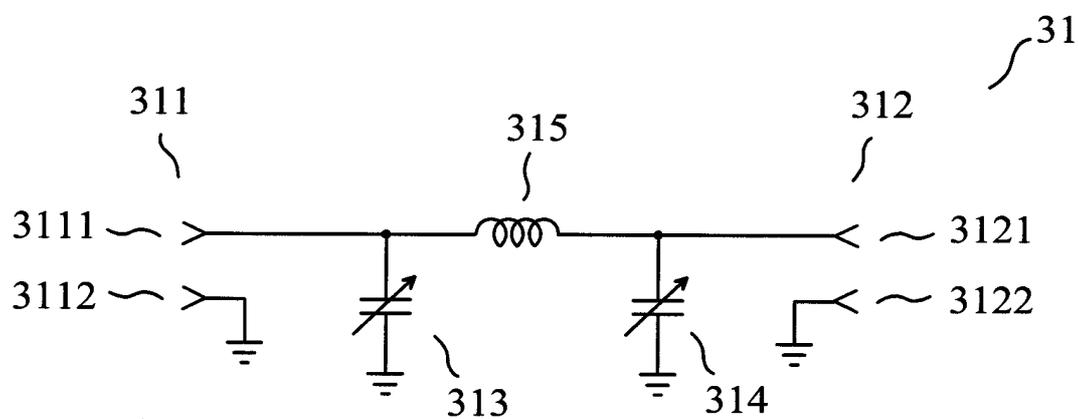


FIG. 2

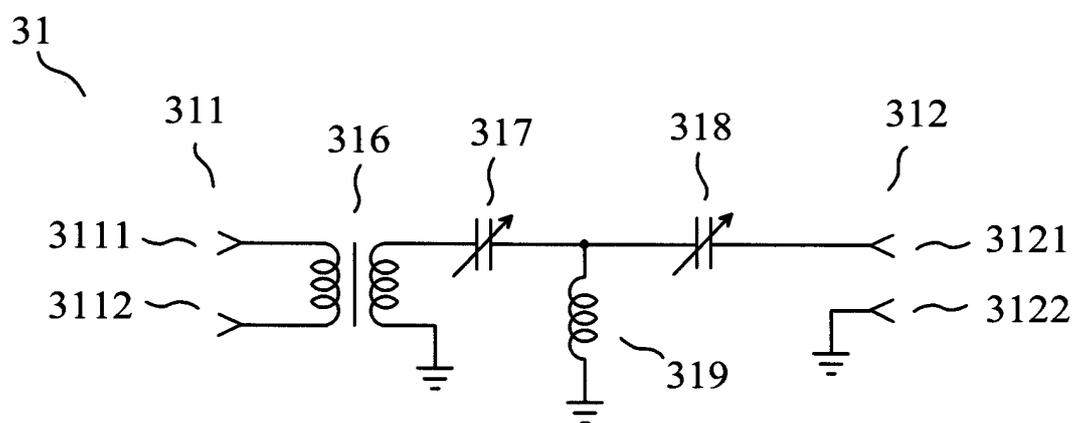


FIG. 3

3 / 7

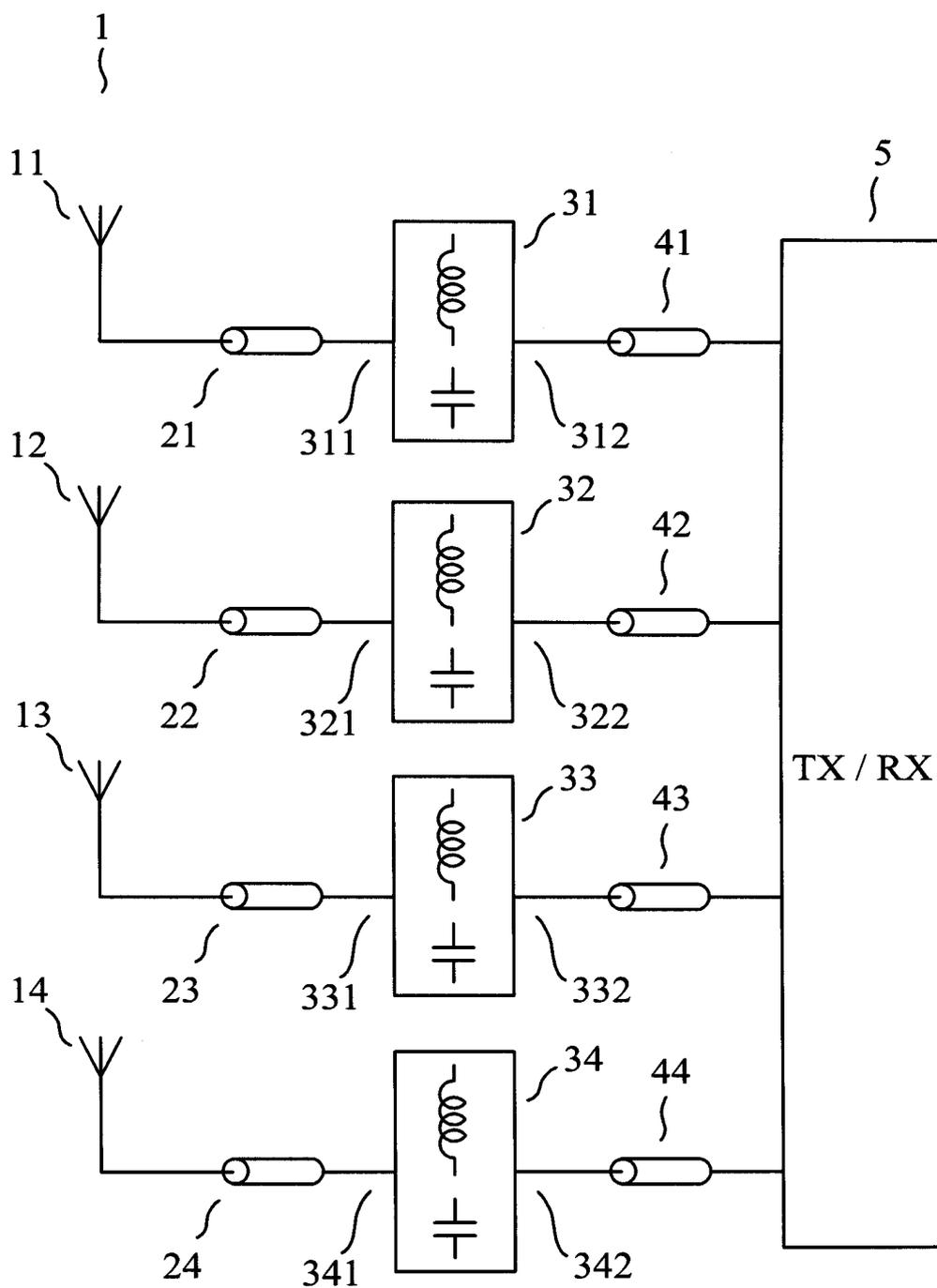


FIG. 4

4 / 7

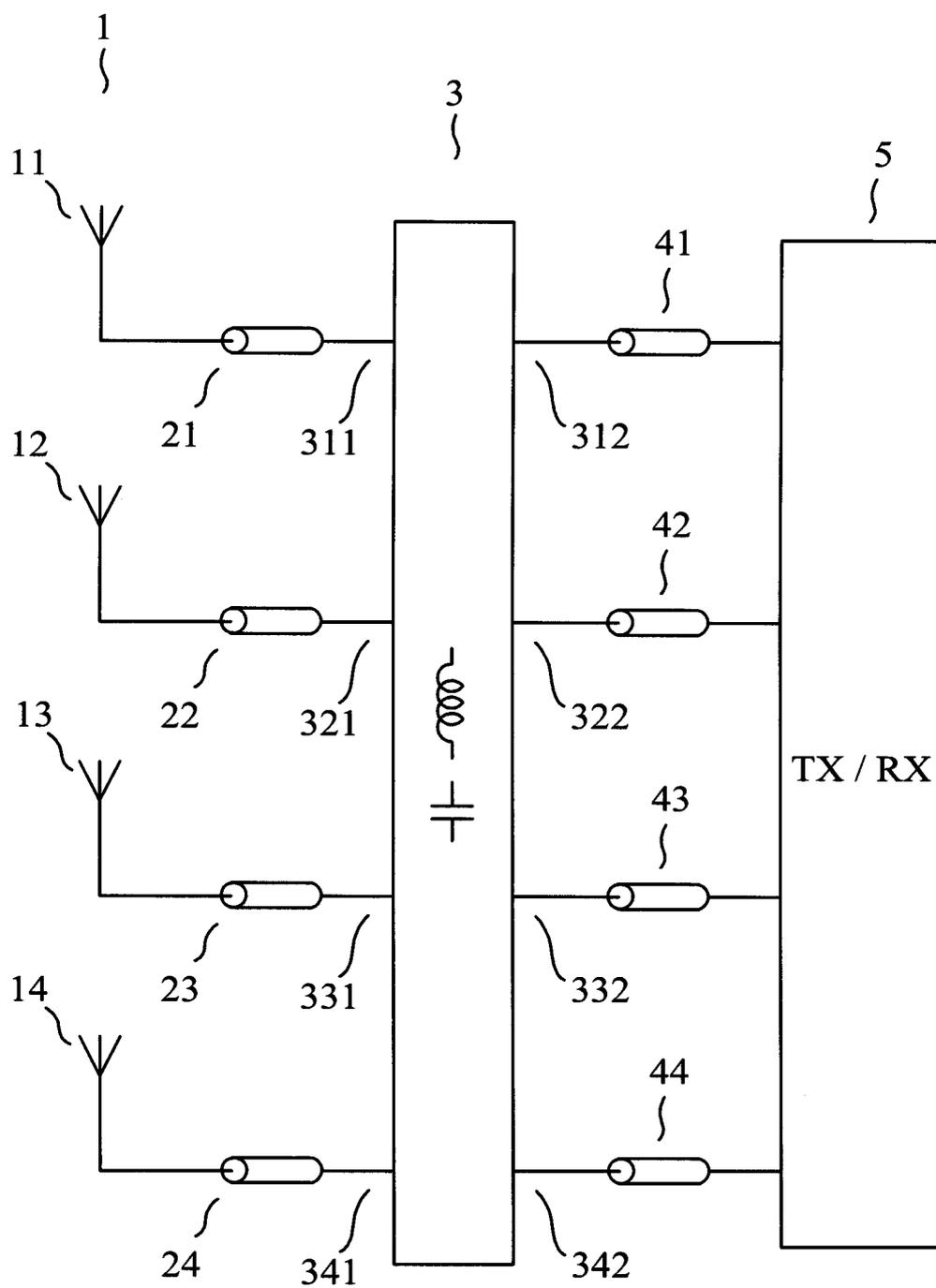


FIG. 5

5 / 7

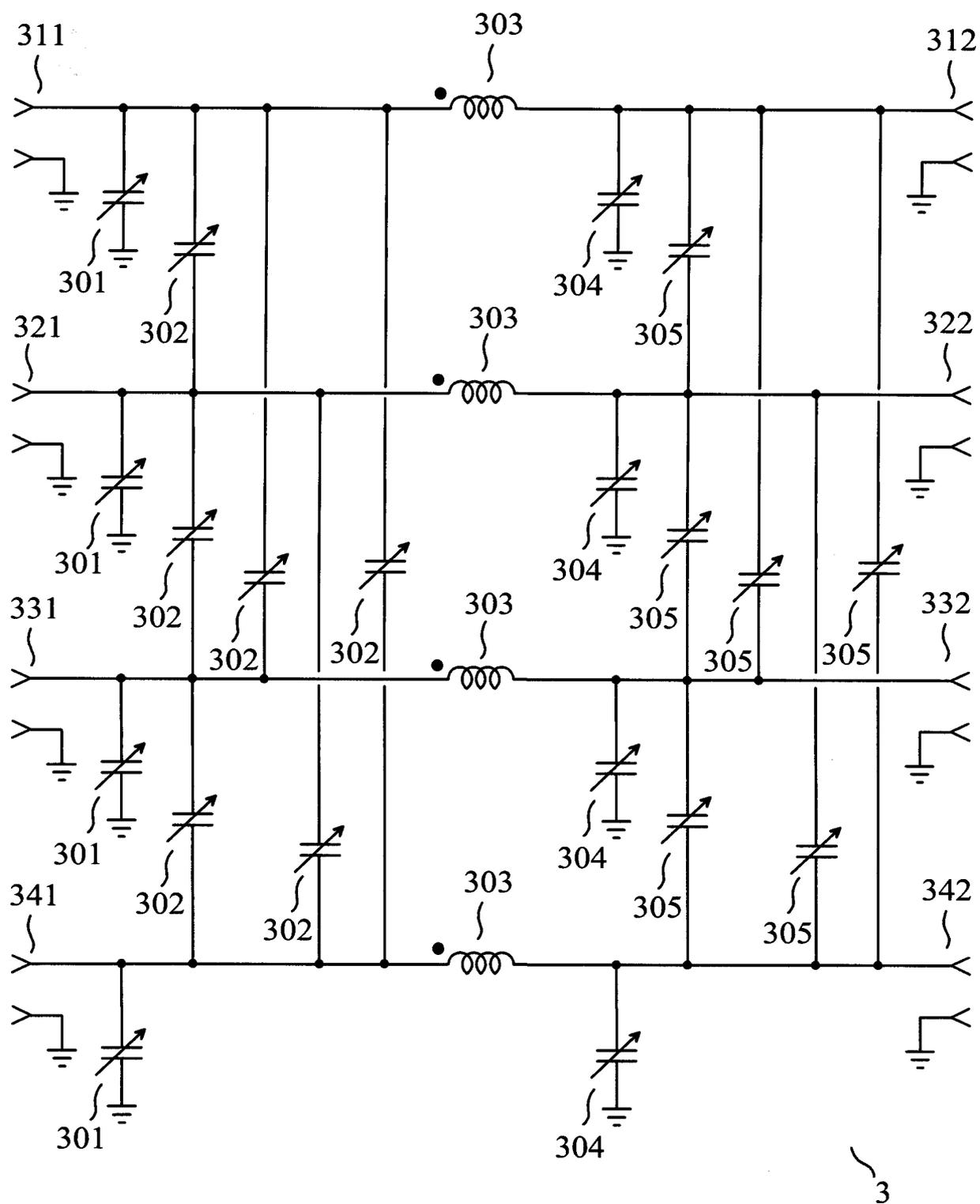


FIG. 6

6 / 7

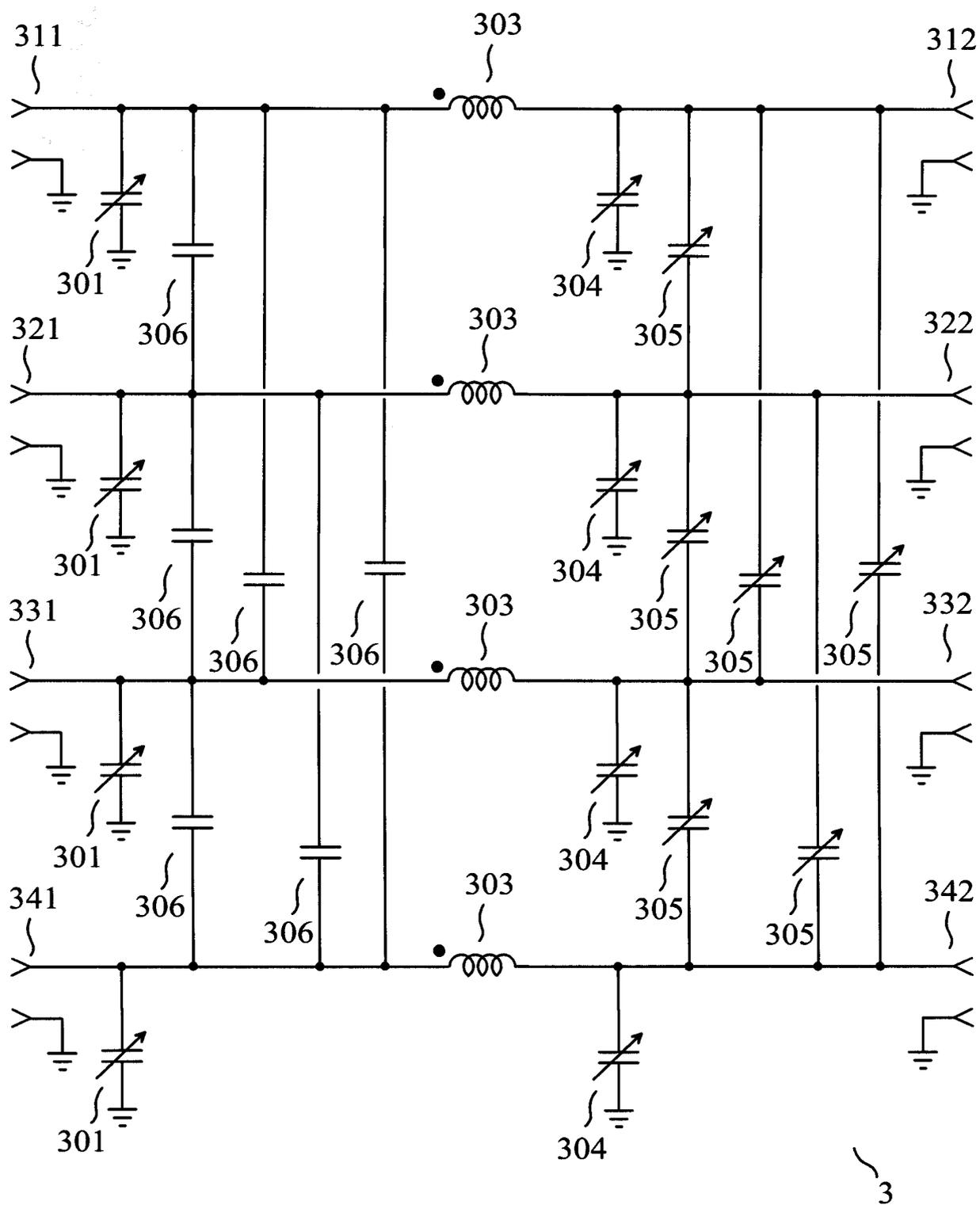


FIG. 7

7 / 7

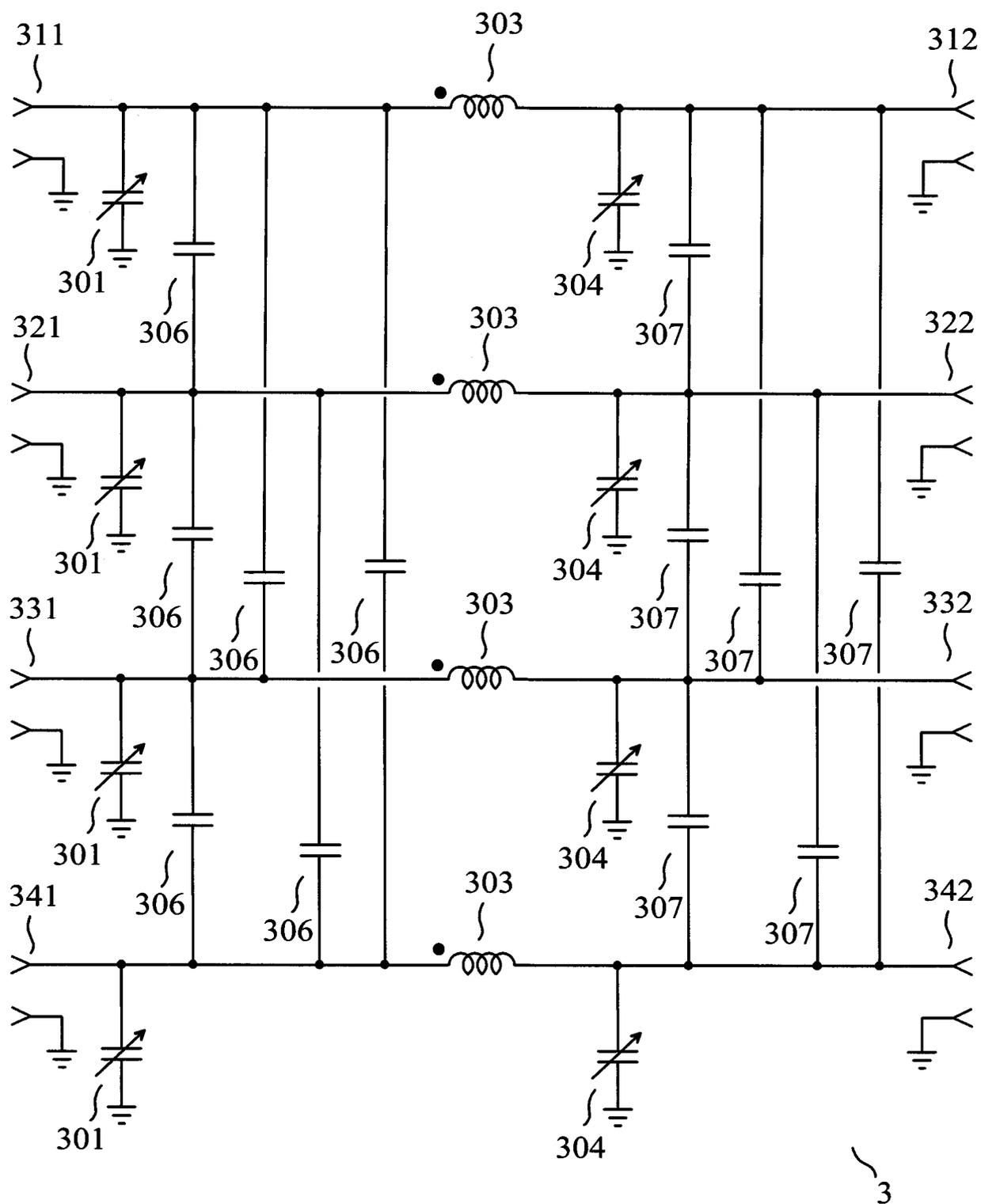


FIG. 8

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)

SHIROOK M ALI ET AL: "Controlling coupling between two transmitting antennas for MIMO handset applications", PERSONAL INDOOR AND MOBILE RADIO COMMUNICATIONS (PIMRC), 2011 IEEE 22ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON, IEEE, 11 septembre 2011 (2011-09-11), pages 2060-2064, XP032102276,
DOI: 10.1109/PIMRC.2011.6139876 ISBN: 978-1-4577-1346-0

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

US 2009/121961 A1 (SANGAWA USHIO [JP])
14 mai 2009 (2009-05-14)

WO 2008/010035 A1 (EXCEM [FR]; BROYDE FREDERIC [FR]; CLAVELIER EVELYNE [FR])
24 janvier 2008 (2008-01-24)

QIZHENG GU ET AL: "An Analytical Algorithm for Pi-Network Impedance Tuners", IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS I: REGULAR PAPERS, IEEE, US, vol. 58, no. 12, 1 décembre 2011 (2011-12-01), pages 2894-2905, XP011380496,
ISSN: 1549-8328, DOI: 10.1109/TCSI.2011.2158700

EP 0 367 555 A2 (NIPPON SHEET GLASS CO LTD [JP])
9 mai 1990 (1990-05-09)

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