



(11) **EP 3 669 422 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
24.04.2024 Bulletin 2024/17

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H01Q 9/04 (2006.01) **H01Q 5/314** (2015.01)
H01Q 5/328 (2015.01) **H01Q 5/335** (2015.01)
H01Q 1/32 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **18753199.1**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H01Q 9/0421; H01Q 5/314; H01Q 5/328;
H01Q 5/335; H01Q 1/3275

(22) Date de dépôt: **17.08.2018**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2018/072288

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2019/034760 (21.02.2019 Gazette 2019/08)

(54) **ANTENNE PLAQUÉE PRÉSENTANT DEUX MODES DE RAYONNEMENT DIFFÉRENTS À DEUX FRÉQUENCES DE TRAVAIL DISTINCTES, DISPOSITIF UTILISANT UNE TELLE ANTENNE**

PATCH-ANTENNE MIT ZWEI VERSCHIEDENEN STRAHLUNGSMODI MIT ZWEI GETRENNTEN ARBEITSFREQUENZEN, VORRICHTUNG MIT EINER SOLCHEN ANTENNE

PATCH ANTENNA HAVING TWO DIFFERENT RADIATION MODES WITH TWO SEPARATE WORKING FREQUENCIES, DEVICE USING SUCH AN ANTENNA

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(72) Inventeur: **JOUANLANNE, Cyril**
31300 Toulouse (FR)

(30) Priorité: **18.08.2017 FR 1757731**

(74) Mandataire: **Ipside**
6, Impasse Michel Labrousse
31100 Toulouse (FR)

(43) Date de publication de la demande:
24.06.2020 Bulletin 2020/26

(56) Documents cités:
WO-A2-03/041216 US-A1- 2007 200 766
US-A1- 2009 167 617 US-A1- 2012 319 922
US-A1- 2014 292 587

(73) Titulaire: **UNABIZ**
31670 Labège (FR)

EP 3 669 422 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] La présente invention appartient au domaine des antennes. Une antenne est un dispositif permettant de rayonner (émetteur) ou de capter (récepteur) les ondes électromagnétiques. Notamment, l'invention concerne une antenne dont la structure permet de rayonner ou de capter des ondes radioélectriques à deux fréquences de travail distinctes selon deux modes de rayonnement différents et avec des performances particulièrement avantageuses.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE

[0002] Dans le domaine des antennes compactes utilisées pour les télécommunications, on connaît déjà les antennes connues de l'homme du métier sous le nom d'« antenne plaquée ». Ces antennes sont également connues sous le nom d'« antenne imprimée », ou bien sous l'anglicisme « antenne *patch* ».

[0003] Une telle antenne consiste en un élément rayonnant correspondant à une plaque métallique de forme quelconque (rectangulaire, circulaire, ou autres formes plus élaborées) généralement déposée sur la surface d'un substrat diélectrique qui présente sur l'autre face un plan conducteur, ou plan de masse. Le substrat diélectrique, qui joue essentiellement un rôle de support mécanique de l'élément rayonnant, peut être remplacé par une structure en nid d'abeille dont le comportement est voisin de celui de l'air, ou encore être supprimé si le maintien mécanique de l'élément rayonnant peut être assuré par d'autres moyens. L'alimentation de l'antenne s'effectue généralement par l'intermédiaire d'un fil d'alimentation constitué d'une sonde coaxiale qui traverse le plan de masse et le substrat et est connecté à l'élément rayonnant, c'est-à-dire à la plaque.

[0004] Une antenne plaquée a cependant l'inconvénient de présenter des dimensions relativement importantes, de l'ordre de la moitié de la longueur d'onde de la fréquence de travail souhaitée. En effet, on peut considérer en première approximation qu'une antenne plaquée avec une plaque rectangulaire se comporte comme une cavité dont les diverses fréquences de résonance discrètes correspondent à des modes connus dépendant des dimensions de la plaque. En particulier, pour un mode dit « fondamental » l'antenne entre en résonance à une fréquence dont la moitié de la longueur d'onde correspond à la longueur de la cavité. Ainsi, plus les fréquences de travail souhaitées sont basses, et plus les dimensions de l'élément rayonnant doivent être grandes pour qu'au moins une des fréquences de résonance de la cavité coïncide avec la fréquence de travail.

[0005] Pour pallier ce problème et réduire la taille des antennes, on connaît également les antennes connues de l'homme du métier sous le nom d'« antenne fil-plaque ». Par rapport à une antenne plaquée, une an-

tenne fil-plaque possède au moins un fil conducteur supplémentaire reliant la plaque au plan de masse. Il s'agit d'un fil de retour à la masse actif et rayonnant à la fréquence de travail considérée.

[0006] Une telle antenne fil-plaque est le siège de deux phénomènes de résonance, l'un relatif à une résonance de type série mettant en oeuvre l'ensemble des éléments constitutifs de la structure de l'antenne, et l'autre relatif à une résonance de type parallèle mettant en oeuvre les seuls éléments dus au fil de masse et au condensateur formé par la plaque (aussi appelée parfois « toit capacitif ») et le plan de masse. C'est pourquoi on parle parfois de « double résonance » pour les antennes de type fil-plaque. La résonance dite parallèle provoquée par le fil de retour à la masse d'une antenne fil-plaque a lieu à une fréquence inférieure à celle de la fréquence de résonance fondamentale de type cavité d'une antenne plaquée. Ainsi, pour des dimensions de plaque données, une antenne fil-plaque présente une fréquence de travail inférieure à une antenne plaquée.

[0007] Il est à noter que le fonctionnement d'une antenne fil-plaque est très différent du fonctionnement d'une antenne plaquée. En effet, la résonance dont on parle pour une antenne plaquée est de type électromagnétique : résonance d'une cavité formée par le plan de masse, la plaque et les quatre « murs magnétiques » imaginaires reliant les quatre bords de la plaque au plan de masse. La résonance d'une antenne fil-plaque est quant à elle de type électrique : les éléments résonants sont localisés, assimilables à des composants électriques.

[0008] Il est cependant parfois souhaitable de disposer d'une antenne qui soit capable de fonctionner à plusieurs fréquences de travail distinctes, et avec des modes de rayonnement différents, afin de répondre à différentes fonctions. Ces fréquences de travail distinctes peuvent par exemple appartenir à des bandes de fréquences discontinues parfois éloignées par plusieurs centaines de mégahertz l'une de l'autre.

[0009] Dans ce but, il est connu de combiner plusieurs antennes sur une structure unique. Par exemple, il est connu de superposer plusieurs antennes de type fil-plaque, ou bien de superposer une antenne de type plaquée et une antenne de type fil-plaque, afin d'obtenir un comportement d'antenne qui serait équivalent à celui de plusieurs antennes distinctes. Ces solutions présentent cependant plusieurs inconvénients, notamment un encombrement de l'antenne, une complexité mécanique qui augmente son coût de fabrication, ainsi que des difficultés à adapter l'antenne aux différentes fréquences de travail, ce qui entraîne des performances dégradées de l'antenne. Le document US 2009 167617 A1 divulgue une antenne à plaque qui comprend un plan de masse, et un circuit qui comprend des interrupteurs et des condensateurs connecté entre la plaque et le plan de masse.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0010] La présente invention a pour objectif de remédier à tout ou partie des inconvénients de l'art antérieur, notamment ceux exposés ci-avant.

[0011] A cet effet, et selon un premier aspect, la présente invention concerne une antenne selon la revendication 1.

[0012] Avec de telles dispositions, l'antenne présente non seulement une résonance en mode antenne plaquée (c'est-à-dire une résonance de cavité de type électromagnétique) à une première fréquence de travail, mais aussi une résonance en mode antenne fil-plaque (c'est-à-dire une résonance de type électrique) à une deuxième fréquence de travail inférieure à la première fréquence de travail. Le fil de retour à la masse est un élément rayonnant à la deuxième fréquence de travail. A chacune de ces deux résonances correspond un mode de rayonnement particulier. L'élément capacitif permet notamment d'optimiser la puissance de rayonnement de l'antenne ainsi que son adaptation en impédance aux deux fréquences de travail considérées.

[0013] Dans des modes particuliers de réalisation, le rayonnement de l'antenne à la première fréquence de travail est maximal dans une direction perpendiculaire à la plaque, et le rayonnement de l'antenne à la deuxième fréquence de travail est un rayonnement omnidirectionnel maximal dans un plan parallèle au plan de masse.

[0014] Dans des modes particuliers de réalisation, l'invention peut comporter en outre l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles.

[0015] Dans des modes particuliers de réalisation, la plaque de l'antenne est une plaque rectangulaire dont deux angles opposés d'une même diagonale sont tronqués de sorte que l'antenne présente une polarisation circulaire à la première fréquence de travail.

[0016] Dans des modes particuliers de réalisation, l'élément capacitif est un composant électronique discret.

[0017] Dans des modes particuliers de réalisation, le composant capacitif est de valeur capacitive contrôlable.

[0018] Dans des modes particuliers de réalisation, l'élément capacitif comprend deux électrodes dont une électrode est formée par une plaque métallique située à une extrémité du fil de retour à la masse et agencée en regard de la plaque de l'antenne ou du plan de masse.

[0019] Dans des modes particuliers de réalisation, la plaque métallique de l'élément capacitif est située à l'extrémité du fil de retour à la masse du côté de la plaque de l'antenne, de sorte que l'autre électrode est formée par la plaque de l'antenne.

[0020] Dans des modes particuliers de réalisation, une fente est réalisée dans la plaque de l'antenne, de sorte que ladite fente entoure complètement le point de connexion entre le fil de retour à la masse et la plaque, et l'élément capacitif comprend deux électrodes dont une électrode est formée par une partie de la plaque de l'an-

tenne qui est à l'extérieur d'un pourtour formé par la fente, et l'autre électrode est formée par une autre partie de la plaque de l'antenne qui est à l'intérieure dudit pourtour formé par la fente.

[0021] Dans des modes particuliers de réalisation, l'un au moins des fils de retour à la masse et d'alimentation est un ruban métallique découpé dans la plaque de l'antenne.

[0022] Dans des modes particuliers de réalisation, la distance entre le fil d'alimentation et le fil de retour à la masse est supérieure au dixième de la longueur d'onde de la deuxième fréquence de travail.

[0023] Dans un mode particulier de réalisation, un dispositif d'émission comprend l'antenne selon l'invention et un générateur relié au fil d'alimentation, adapté à former un signal électrique à la première fréquence de travail et/ou à la deuxième fréquence de travail.

[0024] Dans un mode particulier de réalisation, un dispositif de réception comprend l'antenne selon l'invention et un récepteur relié au fil d'alimentation, adapté à recevoir un signal électrique à la première fréquence de travail et/ou à la deuxième fréquence de travail.

[0025] Dans un mode particulier de réalisation, un dispositif émetteur-récepteur comprend l'antenne selon l'invention et est configuré pour recevoir un signal à la première fréquence de travail comportant des informations de géolocalisation émis par un système de communication par satellite et pour émettre à un système de communication sans fil terrestre un signal à la deuxième fréquence de travail comportant la position géographique dudit dispositif.

PRÉSENTATION DES FIGURES

[0026] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description suivante, donnée à titre d'exemple nullement limitatif, et faite en se référant aux figures 1 à 15 qui représentent :

- Figure 1 : une représentation schématique, selon une vue en perspective, d'un premier mode de réalisation d'une antenne selon l'invention,
- Figure 2 : une représentation schématique, selon une vue en coupe dans un plan vertical, du premier mode de réalisation de l'antenne,
- Figure 3 : une représentation schématique de la forme de la plaque pour le premier mode de réalisation de l'antenne,
- Figure 4 : une représentation schématique d'une variante du premier mode de réalisation de l'antenne,
- Figure 5 : une représentation schématique de la plaque pour une variante du premier mode de réalisation de l'antenne,
- Figure 6 : un diagramme représentant le coefficient de réflexion en entrée de l'antenne pour le premier mode de réalisation,
- Figure 7 : un diagramme de rayonnement selon un plan de coupe vertical pour le premier mode de réa-

- lisation de l'antenne et pour une première fréquence de travail,
- Figure 8 : un diagramme de rayonnement selon un plan de coupe vertical pour le premier mode de réalisation de l'antenne et pour une deuxième fréquence de travail,
 - Figure 9 : un diagramme représentant le coefficient de réflexion en entrée de l'antenne pour différentes valeurs d'un élément capacitif,
 - Figure 10 : une représentation schématique, selon une vue en coupe dans un plan vertical, d'un deuxième mode de réalisation de l'antenne,
 - Figure 11 : un diagramme représentant le coefficient de réflexion en entrée de l'antenne pour le deuxième mode de réalisation,
 - Figure 12 : un diagramme de rayonnement selon un plan de coupe vertical pour le deuxième mode de réalisation de l'antenne et pour une première fréquence de travail,
 - Figure 13 : un diagramme de rayonnement selon un plan de coupe vertical pour le deuxième mode de réalisation de l'antenne et pour une deuxième fréquence de travail,
 - Figure 14 : une représentation schématique de la plaque de l'antenne pour un troisième mode de réalisation,
 - Figure 15 : un diagramme représentant le coefficient de réflexion en entrée de l'antenne pour le troisième mode de réalisation,

[0027] Dans ces figures, des références identiques d'une figure à une autre désignent des éléments identiques ou analogues. Pour des raisons de clarté, les éléments représentés ne sont pas à l'échelle, sauf mention contraire.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE MODES DE RÉALISATION

[0028] Tel qu'indiqué précédemment, la présente invention concerne une antenne 1 dont la structure permet de rayonner ou de capter des ondes électromagnétiques à deux fréquences de travail distinctes selon deux modes de rayonnement différents et avec des performances particulièrement avantageuses.

[0029] Dans la suite de la description, on se place à titre d'exemple et de manière nullement limitative, dans le cas où une telle antenne 1 est intégrée dans un objet connecté destiné à être placé par exemple sur le toit d'un véhicule automobile et configuré pour recevoir un signal d'un système de géolocalisation par satellite (également désigné en anglais par l'acronyme GNSS pour *Global Navigation Satellite System*), comme par exemple le système GPS (*Global Positioning System*), afin de déterminer sa position géographique, et pour la transmettre, éventuellement accompagnée d'autres informations, à un autre système de communication sans fil comme par exemple un réseau d'accès de type « Internet des

Objets », ou IoT (acronyme anglais de « *Internet Of Things* »).

[0030] Pour recevoir un signal d'un système de géolocalisation par satellite, l'antenne 1 doit préférentiellement présenter un gain élevé dans une direction verticale 18 et vers le haut par rapport au toit du véhicule à la fréquence de travail dudit système de géolocalisation. Si l'on considère par exemple le système GPS, la fréquence de travail, c'est-à-dire la fréquence des signaux radioélectriques émis par les satellites GPS, est environ 1575 MHz. Aussi, la polarisation utilisée par le système GPS, c'est-à-dire la polarisation du champ électrique de l'onde émise par une antenne d'un satellite GPS, est une polarisation circulaire droite, dite RHCP (acronyme anglais pour *Right Hand Circular Polarization*).

[0031] Pour transmettre des informations à un système de communication sans fil de type IoT, il est par contre avantageux pour l'antenne 1 de présenter, à la fréquence de travail dudit système de communication, un gain omnidirectionnel qui est maximal dans un plan horizontal sensiblement parallèle au toit du véhicule. En effet, les stations de base d'un réseau d'accès d'un tel système de communication sans fil sont généralement situées sur les côtés par rapport au véhicule, et non à sa verticale. Dans la suite de la description, on se place à titre d'exemple et de manière non limitative dans le cas d'un système de communication sans fil à bande ultra étroite. Par « bande ultra étroite » (« *Ultra Narrow Band* » ou UNB dans la littérature anglo-saxonne), on entend que le spectre fréquentiel instantané des signaux radioélectriques émis est de largeur fréquentielle inférieure à deux kilohertz, voire inférieure à un kilohertz. De tels systèmes de communication sans fil UNB sont particulièrement adaptés pour des applications du type IoT. Ils peuvent par exemple utiliser la bande de fréquences ISM (acronyme de « Industriel, Scientifique et Médicale ») située autour de 868 MHz en Europe, ou bien la bande de fréquences ISM située autour de 915 MHz aux Etats-Unis. Une polarisation rectiligne est généralement utilisée dans de tels systèmes.

[0032] Ainsi, pour la suite de la description, on se place dans le cas où l'antenne 1 selon l'invention fonctionne à deux fréquences de travail distinctes : une première fréquence de travail proche de 1575 MHz correspondant à la fréquence du système GPS, et une deuxième fréquence de travail située dans une bande ISM supportée par le réseau de communication sans fil de type IoT considéré, par exemple la bande 868 MHz ou la bande 915 MHz.

[0033] La figure 1 représente schématiquement, selon une vue en perspective, un premier mode de réalisation d'une telle antenne. Dans l'exemple illustré par la figure 1, l'antenne 1 comporte un premier élément rayonnant sous la forme d'une plaque 10 métallique de forme carrée. Selon d'autres exemples, la plaque 10 pourrait être rectangulaire, hexagonale, circulaire, ou d'une autre forme quelconque.

[0034] La plaque 10 est disposée en regard d'un plan

de masse 11. Dans la suite de la description, on considère de manière non limitative que la plaque 10 est plane. Rien n'exclut cependant, suivant d'autres exemples, d'avoir une plaque 10 non plane. En outre, on considère que la plaque 10 est disposée horizontalement et de façon sensiblement parallèle par rapport au plan de masse 11. Selon d'autres exemples alternatifs, la plaque 10 peut être légèrement inclinée par rapport au plan de masse 11. La distance séparant la plaque 10 du plan de masse 11 est très inférieure aux dimensions de la plaque 10 et aux longueurs d'onde des fréquences de travail de l'antenne. Par exemple cette distance est au moins inférieure au dixième de la longueur d'onde de la première fréquence de travail. Les deux surfaces métalliques correspondant à la plaque 10 et au plan de masse 11 peuvent par exemple être disposées de part et d'autre d'un substrat diélectrique 14 qui joue alors le rôle de support mécanique. Dans d'autres exemples, le substrat diélectrique 14 peut être remplacé par une structure en nid d'abeille dont le comportement est voisin de celui de l'air, ou alors il peut être supprimé si le maintien mécanique de la plaque 10 par rapport au plan de masse 11 est assuré par d'autres moyens. Les dimensions du plan de masse 11 sont généralement supérieures à celles de la plaque 10. Dans l'exemple considéré où l'antenne est intégrée dans un objet connecté destiné à être placé sur le toit d'un véhicule automobile, le toit métallique du véhicule peut également jouer le rôle d'un plan de masse dont les dimensions sont très grandes par rapport aux dimensions de la plaque 10. L'importance des dimensions de la plaque 10 et du plan de masse 11 seront discutées ultérieurement dans la description.

[0035] La plaque 10 et le plan de masse 11 sont reliés par l'intermédiaire d'un fil 12 d'alimentation. Le fil 12 d'alimentation peut par exemple être, de manière conventionnelle, une sonde coaxiale qui traverse le plan de masse 11 et le substrat diélectrique 14 et est connectée à la plaque 10.

[0036] En outre, l'antenne 1 comporte un fil 13 de retour à la masse qui relie la plaque 10 au plan de masse 11. Comme cela sera détaillé par la suite, ce fil 13 de retour à la masse joue le rôle d'un deuxième élément rayonnant à la deuxième fréquence de travail. De préférence, le fil 12 d'alimentation et/ou le fil 13 de retour à la masse sont agencés sensiblement perpendiculairement au plan de masse. Dans le cas où le fil 12 d'alimentation et le fil 13 de retour à la masse sont tous deux perpendiculaires au plan de masse 11 et à la plaque 10, alors ils sont en outre agencés sensiblement parallèlement entre ledit plan de masse 11 et ladite plaque 10.

[0037] De manière plus générale, on entend par « fil » un conducteur à section quelconque, pas forcément circulaire. Notamment, le fil 12 d'alimentation et/ou le fil 13 de retour à la masse pourrait être un ruban métallique.

[0038] En émission, l'antenne 1 convertit une tension ou un courant électrique existant dans le fil 12 d'alimentation en un champ électromagnétique. Cette alimentation électrique est par exemple assurée par un généra-

teur 16 de tension ou de courant.

[0039] Inversement, en réception, un champ électromagnétique reçu par l'antenne 1 est converti en un signal électrique qui peut ensuite être amplifié.

[0040] De manière générale, une antenne passive peut être modélisée par un composant possédant une certaine impédance vue à l'entrée de l'antenne. Il s'agit d'une impédance complexe dont la partie réelle correspond à la partie « active » de l'antenne, c'est-à-dire à une dissipation de l'énergie par pertes ohmiques et rayonnement électromagnétique, et dont la partie imaginaire correspond à la partie « réactive » de l'antenne, c'est-à-dire à un stockage sous forme d'énergie électrique (comportement capacitif) et magnétique (comportement inductif). Si a une fréquence particulière, appelée fréquence de résonance, l'inductance et la capacité de l'antenne sont telles que leurs effets s'annulent, alors l'antenne est équivalente à une résistance pure, et si les pertes ohmiques sont négligeables la puissance fournie à l'antenne est quasiment entièrement rayonnée. Un tel comportement est observé si la partie imaginaire de l'antenne est nulle.

[0041] D'autre part, pour assurer un transfert maximal de puissance entre une source d'alimentation électrique et une antenne, il est nécessaire d'assurer une adaptation d'impédance. L'adaptation permet d'annuler le coefficient de réflexion, conventionnellement noté S_{11} , en entrée de l'antenne. Le coefficient de réflexion est le rapport entre l'onde réfléchie en entrée de l'antenne et l'onde incidente. Si l'adaptation n'est pas assurée, une partie de la puissance est renvoyée vers la source. En pratique, pour assurer une bonne adaptation d'impédance, il faut que l'antenne présente une impédance égale à celle de la ligne de transmission, soit en général 50 ohms.

[0042] Autrement dit, pour obtenir un comportement optimal de l'antenne 1 en termes de rayonnement, il faut faire en sorte qu'elle se comporte, pour le générateur qui l'alimente et à une fréquence de résonance prédéterminée, comme une charge dont la partie réelle est proche d'une valeur déterminée, le plus souvent 50 ohms, et dont la partie imaginaire est nulle ou quasiment nulle. A cette fin, il est courant d'insérer entre le générateur 16 et l'antenne 1 un circuit électronique de transformation d'impédance, dit « circuit d'adaptation » 17, qui modifie l'impédance d'entrée de l'antenne 1 vue depuis la source et assure l'adaptation d'impédance. Un tel circuit d'adaptation 17 peut par exemple comporter des éléments passifs comme des filtres à base d'inductances et de capacités ou des lignes de transmission.

[0043] La plaque 10 et le plan de masse 11 peuvent être assimilés à une cavité résonante qui peut être considérée, à basse fréquence, comme une capacité qui stocke des charges et dans laquelle un champ électrique uniforme est créé entre le plan de masse 11 et la plaque 10. Tant que la distance séparant le plan de masse 11 et la plaque 10 est faible devant la longueur d'onde des fréquences considérées, le champ électrique est orienté selon un axe perpendiculaire au plan horizontal contenant le plan de masse 11. A haute fréquence, la distri-

bution des charges sur la plaque 10 n'est plus uniforme, et c'est également le cas pour la distribution du courant et celle du champ électrique. Un champ magnétique apparaît également. Il est alors connu que pour des fréquences particulières, dites fréquences de résonance de cavité, liées aux dimensions de la cavité (c'est-à-dire liées aux dimensions de la plaque 10), la distribution du champ électrique est telle que le rayonnement de l'antenne est optimisé. De telles fréquences $F_{m,n}$ sont définies selon l'expression ci-dessous par des couples (m, n) où m et n sont des entiers supérieurs ou égaux à 0, l'un au moins de m ou n étant non nul, qui représentent les modes de cavité :

$$F_{m,n} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{l}\right)^2}$$

expression dans laquelle :

- c est la vitesse la lumière dans le vide
- ϵ_r est la permittivité relative pour le substrat diélectrique 14
- L est la longueur de la plaque 10
- l est la largeur de la plaque 10

Il apparaît alors clairement que si on considère que la permittivité relative est proche de 1 (par exemple dans le cas où le substrat diélectrique 14 est remplacé par l'air ambiant), pour un mode, dit mode fondamental de résonance de cavité, pour lequel m vaut 1 et n vaut 0, la fréquence de résonance est telle que la moitié de sa longueur d'onde correspond à la longueur L de la plaque. Il convient de noter que pour l'exemple considéré décrit en référence la figure 1, la longueur L et la largeur l sont toutes deux égales à la longueur d'un côté de la plaque 10 qui est de forme carrée.

[0044] Ainsi, un rayonnement avec une résonance de cavité de type électromagnétique peut par exemple être obtenu pour une première fréquence de travail de 1575 MHz en utilisant une longueur d'un côté de la plaque 10 proche de 9 cm, soit environ la moitié de la longueur d'onde correspondant à cette fréquence. D'autres paramètres comme par exemple la distance séparant la plaque 10 du plan de masse 11 ou la valeur de la permittivité du substrat diélectrique 14 peuvent cependant influencer sur la longueur de la plaque 10 pour laquelle une résonance de cavité est obtenue. Dans l'exemple considéré pour le premier mode de réalisation, la plaque 10 est un carré de côté 8,5 cm. A la première fréquence de travail de 1575 MHz, l'antenne 1 a alors un comportement proche de celui d'une antenne plaquée. L'adaptation d'impédance d'une telle antenne est généralement obtenue lorsque le fil 12 d'alimentation est positionné au niveau d'un côté de la plaque 10 plutôt que vers sa zone centrale.

[0045] D'autre part, la plaque 10 et le fil 13 de retour à la masse peuvent jouer le rôle de deux éléments ayant

un comportement rayonnant de type électrique. L'antenne 1 a alors un comportement proche de celui d'une antenne fil-plaque. L'antenne 1 peut notamment être le siège d'une résonance de type parallèle mettant en oeuvre le fil 13 de retour à la masse et le condensateur formé par la plaque 10 et le plan de masse 11. Cette résonance dite parallèle provoquée par le fil 13 de retour à la masse a lieu à une fréquence inférieure à celle de la fréquence de résonance fondamentale de type cavité susmentionnée.

[0046] Si la forme de la plaque 10 n'est pas déterminante pour ce rayonnement de type électrique, la valeur de sa surface a une incidence sur la fréquence de travail. Notamment, plus la surface de la plaque 10 est petite, et plus la fréquence de résonance de type fil-plaque est élevée. Pour une plaque 10 carrée, la fréquence de résonance de type fil-plaque est généralement telle que le quart de sa longueur d'onde est proche de la longueur d'un côté de la plaque 10, mais là encore d'autres paramètres de la structure de l'antenne 1 peuvent influencer sur la fréquence de résonance. Dans l'exemple considéré pour le premier mode de réalisation, un rayonnement de type électrique est obtenu pour une deuxième fréquence de travail de 868 MHz.

[0047] Il convient de noter qu'il serait envisageable d'obtenir une deuxième fréquence de travail plus élevée en diminuant la surface de la plaque 10, par exemple en utilisant une plaque de forme rectangulaire de longueur L fixée par rapport à la longueur d'onde de la première fréquence de travail, et en choisissant avantageusement la largeur l de la plaque pour obtenir la deuxième fréquence de travail souhaitée.

[0048] Il est à noter que les deux modes de fonctionnement de l'antenne 1 décrits ci-avant sont fondamentalement différents. En effet, il est question d'une part, à une fréquence de 1575 MHz, d'une résonance de type électromagnétique (résonance en mode antenne plaquée) correspondant à la résonance d'une cavité formée par le plan de masse 11, la plaque 10 et les quatre « murs magnétiques » imaginaires reliant les quatre bords de la plaque 10 au plan de masse 11, et d'autre part, à une fréquence de 868 MHz, d'une résonance de type électrique (résonance en mode antenne fil-plaque), c'est-à-dire une résonance pour laquelle les éléments résonants sont localisés, assimilables à des composants électriques (notamment, l'ensemble formé par le plan de masse 11 et la plaque 10 est assimilable à une capacité tandis que le fil 13 de retour à la masse présente une inductance). Dans la réalisation d'une telle antenne 1, une grande difficulté réside dans la possibilité d'adapter l'antenne 1 en impédance pour les deux modes de fonctionnements correspondant à deux modes de rayonnement différents.

[0049] De nombreux paramètres influent sur l'adaptation en impédance de l'antenne 1, comme par exemple la position du fil 12 d'alimentation, celle du fil 13 de retour à la masse, la distance séparant le fil 12 d'alimentation du fil 13 de retour à la masse, leur diamètre, etc. Il est donc possible de jouer sur ces différents paramètres pour

obtenir la meilleure adaptation en impédance possible.

[0050] Il est aussi possible de jouer sur le circuit d'adaptation 17 pour améliorer cette adaptation en impédance. Cependant, la performance d'une antenne est généralement meilleure si elle est adaptée en impédance par sa structure propre plutôt que par un circuit d'adaptation inséré entre le générateur 16 et l'antenne 1.

[0051] Il s'avère généralement vain de pouvoir adapter en impédance l'antenne 1 décrite ci-avant pour les deux fréquences de travail considérées en utilisant uniquement les paramètres susmentionnés et/ou en plaçant un circuit d'adaptation 17 entre l'antenne 1 et le générateur 16, tout en gardant des performances raisonnables de l'antenne. C'est pourquoi un élément capacitif 15a additionnel est placé en série avec le fil 13 de retour à la masse entre le fil 12 d'alimentation et le plan de masse 11. Comme expliqué précédemment, il s'agit de faire en sorte que l'antenne 1 se comporte, pour le générateur 16 qui l'alimente et à une fréquence de résonance prédéterminée, comme une charge dont la partie réelle est proche d'une valeur déterminée, le plus souvent 50 ohms, et dont la partie imaginaire est nulle ou quasiment nulle. L'élément capacitif 15a présente une impédance qui dépend de sa valeur capacitive et de la fréquence utilisée. Il modifie ainsi l'impédance de l'antenne 1 et peut permettre d'obtenir une adaptation en impédance aux deux fréquences de travail considérées. Il peut notamment compenser l'inductance que représente le fil 13 de retour à la masse.

[0052] Il convient également de noter que pour obtenir une résonance de type électrique à la deuxième fréquence de travail, il importe qu'un couplage inductif existe entre le fil 12 d'alimentation et le fil 13 de retour à la masse. Ces deux fils doivent donc être suffisamment proche l'un de l'autre. Il s'avère néanmoins que l'adaptation en impédance de l'antenne 1 à la première fréquence de travail est meilleure si le fil 12 d'alimentation est positionné au niveau d'un côté de la plaque 10 alors que le fil 13 de retour à la masse doit quant à lui plutôt être positionné vers la zone centrale de la plaque 10. En effet, comme cela sera détaillé ultérieurement en référence à la figure 8, il est important que le fil 13 de retour à la masse soit positionné vers le milieu de la plaque 10 pour optimiser le rayonnement de type monopolaire avec une polarisation rectiligne à la deuxième fréquence de travail. En outre, pour obtenir une résonance de type cavité à la première fréquence de travail, il importe que le courant électrique parcourant le fil 13 de retour à la masse à cette fréquence soit le plus faible possible. Ceci peut être favorisé en positionnant le fil 13 de retour à la masse en un point correspondant à un noeud de champ électrique à la première fréquence de travail, c'est-à-dire en un point où le champ électrique est particulièrement faible, voire quasiment nul, à la première fréquence de travail. C'est notamment le cas au milieu de la plaque 10.

[0053] Cette distance relativement importante entre le fil 12 d'alimentation et le fil 13 de retour à la masse est un des éléments qui distingue l'antenne 1 selon l'inven-

tion des antennes fil-plaque conventionnelles pour lesquelles cette distance doit généralement être inférieure au dixième de la longueur d'onde de la fréquence de travail considérée, ce qui n'est pas le cas pour l'antenne 1 selon l'invention.

[0054] De préférence, le fil 13 de retour à la masse a un diamètre au moins quatre fois supérieur au diamètre du fil 12 d'alimentation.

[0055] La figure 2 représente schématiquement selon une vue en coupe dans un plan vertical le premier mode de réalisation de l'antenne 1 décrit ci-avant en référence à la figure 1. Cette vue en coupe permet notamment de constater que le fil 12 d'alimentation traverse le plan de masse 11 pour être relié à un générateur 16 ou bien à un récepteur. Il est à noter que le fil 12 d'alimentation doit dans ce cas être isolé du plan de masse 11 à l'endroit où il le traverse.

[0056] L'élément capacitif 15a utilisé dans ce premier mode de réalisation est un composant électronique discret, par exemple un condensateur, connecté d'un côté au plan de masse 11 et de l'autre côté au fil 13 de retour à la masse.

[0057] La figure 2 permet également de clarifier ce qu'on entend par la direction verticale 18. Il s'agit de la direction vers le haut perpendiculairement au plan contenant le plan de masse 11 qui est considéré horizontal. On peut alors définir un angle θ formé entre cette direction verticale 18 et une autre direction. Cet angle aura un intérêt notamment pour définir le rayonnement de l'antenne 1 dans les différentes directions de l'espace.

[0058] La figure 3 est une représentation schématique de la forme de la plaque 10 pour un mode particulier de réalisation de l'antenne 1. Comme indiqué précédemment, la polarisation du champ électrique de l'onde émise par une antenne d'un satellite GPS est une polarisation circulaire droite (RHCP). Pour obtenir une telle polarisation pour l'onde électromagnétique rayonnée par l'antenne 1 à la première fréquence de travail, deux angles opposés d'une même diagonale de la plaque 10 sont tronqués. Dans l'exemple considéré pour le premier mode de réalisation, la partie tronquée à chacun desdits angles est un triangle rectangle isocèle dont l'hypoténuse a une longueur de 25 mm.

[0059] Il convient cependant de noter qu'il existe d'autres moyens d'obtenir une polarisation circulaire, comme par exemple en excitant l'antenne 1 avec deux sources déphasées de 90°.

[0060] La figure 4 est une représentation schématique d'une variante du premier mode de réalisation décrit en référence aux figures 1 à 3 pour laquelle le fil 13 de retour à la masse traverse le plan de masse 11. Dans ce cas, le fil 13 de retour à la masse doit être isolé du plan de masse 11 à l'endroit où il le traverse. Le composant capacitif 15a est alors connecté d'un côté à la masse et de l'autre côté à l'extrémité du fil 13 de retour à la masse qui a traversé le plan de masse 11. Avantagusement, le fil 13 de retour à la masse et/ou le fil 12 d'alimentation peuvent alors servir de support mécanique pour la plaque

10 par rapport au plan de masse 11.

[0061] Les principales caractéristiques du premier mode de réalisation de l'antenne 1 décrites ci-avant en référence aux figures 1 à 4 sont données ci-après à titre d'exemple nullement limitatif. La plaque 10 est un carré de 8.5 cm de côté. La distance séparant le plan de masse 11 de la plaque 10 est de 10 mm. Les dimensions du plan de masse 11 ne sont pas déterminantes, mais dans l'exemple considéré elles sont de l'ordre de trois à quatre fois celles de la plaque 10. Le fil 12 d'alimentation a un diamètre de 1 mm et il est positionné au niveau du milieu d'un des côtés de la plaque 10, à une distance égale à 10 mm dudit côté. Le fil 13 de retour à la masse a un diamètre de 4 mm et il est positionné au centre de la plaque 10. La distance séparant le fil 12 d'alimentation du fil 13 de retour à la masse est donc d'environ 32.5 mm. La valeur du composant capacitif 15a est de 21.3 pF. Le circuit d'adaptation 17 est un circuit série/parallèle (circuit dit « en L ») conventionnel impliquant une inductance de 12.6 nH et un condensateur de 2 pF.

[0062] La figure 5 est une représentation schématisée en perspective de la plaque 10 de l'antenne 1 pour une variante du mode de réalisation décrit en référence à la figure 4. Dans cette variante, le fil 12 d'alimentation et le fil 13 de retour à la masse sont deux rubans métalliques découpés dans la plaque 10 et repliés perpendiculairement à la plaque. Les dimensions des fentes correspondant aux évidements dus aux découpes dans la plaque 10 sont suffisamment faibles (par exemple environ 3 mm de large) pour ne pas avoir d'incidence sur les performances de l'antenne. Un aspect particulièrement intéressant de cette variante est de simplifier la fabrication de l'antenne puisqu'il n'est alors plus nécessaire de connecter des fils à la plaque 10. Les rubans métalliques jouent en effet le rôle du fil 12 d'alimentation et du fil 13 de retour à la masse et ils sont solidaires de la plaque 10. Les rubans métalliques, puisqu'ils sont rigides par nature, peuvent également jouer le rôle de support mécanique pour la plaque 10 par rapport au plan de masse 11.

[0063] La figure 6 est un diagramme qui représente le coefficient de réflexion en entrée de l'antenne 1 pour le premier mode de réalisation décrit ci-avant en référence aux figures 1 à 4. De manière générale, le coefficient de réflexion, conventionnellement noté S_{11} et exprimé en dB, est le rapport entre l'onde réfléchie en entrée d'une antenne et l'onde incidente. Il dépend de l'impédance d'entrée de l'antenne et de l'impédance de la ligne de transmission qui relie le générateur à l'antenne.

[0064] La courbe 20 représente l'évolution du coefficient de réflexion S_{11} du premier mode de réalisation de l'antenne 1 en fonction de la fréquence. Une fréquence de résonance correspondant à la première fréquence de travail de 1575 MHz est indiquée par le marqueur triangulaire n°3. Une autre fréquence de résonance correspondant à la deuxième fréquence de travail de 868 MHz est indiquée par le marqueur triangulaire n°2. Chaque fréquence de résonance correspond à un minimum du

coefficient de réflexion S_{11} . Il prend une valeur proche de -13 dB pour la résonance à 1575 MHz, et une valeur proche de -16 dB pour la résonance à 868 MHz. Une valeur minimum du coefficient de réflexion correspond généralement à une fréquence pour laquelle l'antenne est adaptée en impédance. Un critère typique est d'avoir par exemple un coefficient de réflexion inférieur à -10dB sur la bande passante de l'antenne, c'est-à-dire sur la bande de fréquence pour laquelle le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est maximale. La courbe 20 permet donc de confirmer qu'avec les caractéristiques précédemment listées pour le premier mode de réalisation décrit en référence aux figures 1 à 4, l'antenne 1 est adaptée en impédance aux deux fréquences de travail considérées.

[0065] La figure 7 représente un diagramme de rayonnement selon un plan de coupe vertical pour le premier mode de réalisation de l'antenne 1 pour la première fréquence de travail de 1575 MHz. Il représente les variations de la puissance rayonnée par l'antenne 1 dans différentes directions de l'espace. Il indique notamment les directions de l'espace dans lesquelles la puissance rayonnée est maximale.

[0066] La courbe 22a correspond au rayonnement selon la polarisation circulaire droite (RHCP). Elle présente un seul lobe dont la direction principale est orientée selon la verticale 18 ($\Theta = 0^\circ$) vers le haut. C'est dans cette direction que l'énergie émise ou reçue par l'antenne est maximale. Le gain maximal est d'environ 10 dBi, et un angle d'ouverture à 3 dB d'environ 60° est observé.

[0067] La courbe 22b correspond au rayonnement selon la polarisation circulaire gauche (LHCP). Elle présente un lobe dans la direction verticale 18 vers le haut et un autre lobe dans une direction à 60° de la verticale 18 ($\Theta = 60^\circ$). Pour ces deux directions, le gain maximal n'est que d'environ -10 dBi. Ainsi, il y a environ 20 dB d'écart de gain entre la polarisation RHCP et la polarisation LHCP dans la direction verticale 18 vers le haut. Ces valeurs permettent d'obtenir une bonne discrimination des deux types de polarisations circulaires dans cette direction. L'antenne 1 est ainsi particulièrement performante en polarisation RHCP à la première fréquence de travail de 1575 MHz dans cette direction verticale 18 et vers le haut. Elle est donc tout à fait adaptée pour recevoir des signaux provenant de satellites du système GPS.

[0068] La figure 8 représente un diagramme de rayonnement selon un plan de coupe vertical pour le premier mode de réalisation de l'antenne 1 pour la deuxième fréquence de travail de 868 MHz.

[0069] La courbe 21 correspond notamment au rayonnement de l'antenne 1 à cette fréquence selon une polarisation rectiligne selon la verticale 18. Elle est significative d'un rayonnement omnidirectionnel de type monopolaire (c'est-à-dire correspondant au rayonnement d'un monopôle). On peut notamment observer un lobe à symétrie de révolution. Le rayonnement est maximal horizontalement, c'est-à-dire parallèlement au plan de masse ($\Theta = 90^\circ$), et il est nul verticalement, c'est-à-dire per-

pendiculairement à ce dernier ($\theta = 0^\circ$). L'antenne présente un gain d'environ 5 dBi dans les directions horizontales ($\theta = 90^\circ$). On observe une perte de plus de 3 dB de gain par rapport au gain maximal pour des angles θ par rapport à la verticale 18 inférieurs ou égaux à environ 40° . La position du fil 13 de retour à la masse au milieu de la plaque 10 permet avantageusement de favoriser ce rayonnement omnidirectionnel de type monopolaire avec une polarisation rectiligne inscrite dans un plan contenant le fil 13 de retour à la masse (le champ électrique de l'onde électromagnétique rayonnée ou reçue par l'antenne garde une direction fixe selon l'axe du fil 13 de retour à la masse, c'est-à-dire selon la verticale 18). L'antenne 1 est ainsi particulièrement performante en polarisation rectiligne à la deuxième fréquence de travail de 868 MHz dans des directions principalement horizontales. Elle est donc tout à fait adaptée pour émettre des signaux à un réseau d'accès de type IoT fonctionnant autour de cette fréquence.

[0070] Il convient de noter que les diagrammes de rayonnement des figures 7 et 8 ne présentent un rayonnement que dans l'espace situé au-dessus du plan de masse 11 de l'antenne 1 ($-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$). Cela vient du fait que les dimensions du plan de masse 11 sont suffisamment grandes par rapport aux dimensions de la plaque 10 pour qu'il reflète les ondes émises par l'antenne vers le haut. Par exemple les dimensions du plan de masse 11 sont au moins dix fois supérieures à celles de la plaque 10, c'est notamment le cas quand le toit du véhicule automobile joue le rôle de plan de masse.

[0071] La figure 9 représente le coefficient de réflexion S_{11} en entrée de l'antenne 1 pour différentes valeurs du composant capacitif 15a.

[0072] La courbe 23 représente le coefficient de réflexion S_{11} pour une première valeur de capacité de 21.3 pF pour laquelle on obtient une résonance de type électrique pour une deuxième fréquence de travail proche de 868 MHz (qui appartient par exemple à une bande de fréquence ISM en Europe pour le réseau IoT considéré). Le marqueur triangulaire n°4 indique une valeur minimale de S_{11} inférieur à -16 dB pour cette fréquence.

[0073] La courbe 24 représente le coefficient de réflexion S_{11} pour une deuxième valeur de capacité de 17 pF pour laquelle on obtient une résonance de type électrique pour une deuxième fréquence de travail proche de 893 MHz (qui appartient par exemple à une bande de fréquences ISM aux Etats-Unis pour le réseau IoT considéré). Le marqueur triangulaire n°3 indique une valeur minimale de S_{11} de l'ordre de -15 dB pour cette fréquence.

[0074] La courbe 25 représente le coefficient de réflexion S_{11} pour une troisième valeur de capacité de 13.8 pF pour laquelle on obtient une résonance de type électrique pour une deuxième fréquence de travail proche de 923 MHz (qui appartient par exemple à une bande de fréquences ISM en Australie ou au Japon pour le réseau IoT considéré). Le marqueur triangulaire n°1 indique une valeur minimale de S_{11} de l'ordre de -14 dB pour cette

fréquence.

[0075] Pour ces trois valeurs du composant capacitif 15a, on obtient toujours une fréquence de résonance fondamentale de type cavité pour la première fréquence de travail de 1575 MHz. Le marqueur triangulaire n°2 indique une valeur minimale de S_{11} de l'ordre de -14 dB pour cette fréquence.

[0076] L'expérience montre qu'il est possible par exemple de faire varier la valeur de la capacité du composant capacitif 15a de 10 pF à 50 pF pour obtenir une résonance de type électrique pour une deuxième fréquence de travail variant entre 800 MHz et 1 GHz. Plus la valeur de la capacité est grande, et plus la valeur de la deuxième fréquence de travail pour laquelle on obtient une résonance de type électrique est basse. Pour cette plage de valeurs de la capacité du composant capacitif 15a entre 10 pF et 50 pF, le fonctionnement de l'antenne 1 à la première fréquence de travail n'est pas impacté. Pour des valeurs de la capacité du composant capacitif 15a inférieures 10 pF ou supérieures à 50 pF, il ne semble plus possible d'adapter l'antenne 1 pour les deux modes de rayonnement souhaités.

[0077] Ainsi, il est très facile d'adapter la fabrication d'une antenne 1 en fonction de la zone géographique dans laquelle elle est destinée à fonctionner. Il suffit en effet de changer la valeur capacitive du composant capacitif 15a pour obtenir une valeur de la deuxième fréquence de travail correspondant à la fréquence de fonctionnement du réseau d'accès de type IoT pour la zone géographique considérée. Il est aussi envisageable d'utiliser un composant capacitif 15a dont la valeur capacitive est contrôlable, par exemple un condensateur variable, une diode varicap (de l'anglais « *variable capacitor* », un composant DTC (acronyme anglais pour « *Digitally Tunable Capacitor* »), ou bien un commutateur vers différentes capacités, pour qu'une seule et même antenne 1 puisse fonctionner dans différentes zones géographiques où différentes fréquences de travail du réseau d'accès de type IoT sont utilisées.

[0078] La figure 10 est une représentation schématique, selon une vue en coupe dans un plan vertical, d'un deuxième mode de réalisation de l'antenne 1.

[0079] Dans ce deuxième mode particulier de réalisation, l'élément capacitif 15b comprend deux électrodes dont une électrode est une plaque 19 métallique placée en regard de la plaque 10 qui correspond à l'autre électrode. L'élément capacitif 15b est donc là encore placé en série avec le fil 13 de retour à la masse entre le fil 12 d'alimentation et le plan de masse 11. Dans l'exemple illustré à la figure 10 pour ce deuxième mode de réalisation, la plaque 19 est placée à l'extrémité du fil 13 de retour à la masse qui est du côté de la plaque 10, mais rien n'empêcherait, selon un autre exemple, de la placer à l'autre l'extrémité du fil 13 de retour à la masse qui est du côté du plan de masse 11 (dans ce cas, c'est le plan de masse 11, et non la plaque 10, qui correspond à l'autre électrode de l'élément capacitif 15b).

[0080] Dans ce deuxième mode de réalisation, il est

possible par exemple d'utiliser un circuit imprimé 31 (PCB en anglais pour « *Printed Circuit Board* ») dont une face est entièrement métallisée pour réaliser la plaque 10, et dont une petite surface seulement de l'autre face est métallisée pour réaliser la plaque 19 inférieure de l'élément capacitif 15b. Cela permet en particulier de faciliter la fabrication de l'antenne 1 car le fil 13 de retour à la masse peut alors jouer le rôle de support mécanique pour le circuit imprimé 31 qui comporte à la fois la plaque 10 et l'élément capacitif 15b. Dans l'exemple considéré pour ce deuxième mode de réalisation, la plaque 19 est un disque de diamètre 10 mm et la distance entre la plaque 19 et la plaque 10 est de 0.1 mm.

[0081] En outre, dans ce deuxième mode de réalisation, l'adaptation en impédance de l'antenne 1 est réalisée uniquement en jouant sur les différents paramètres de la structure de ladite antenne. Le circuit d'adaptation 17 du premier mode de réalisation décrit en référence aux figures 1 à 4 est ainsi supprimé.

[0082] Les figures 11, 12 et 13 représentent respectivement le coefficient de réflexion et les diagrammes de rayonnement de l'antenne 1 selon ce deuxième mode de réalisation à une première fréquence de travail de 1575 MHz et à une deuxième fréquence de travail proche de 988 MHz.

[0083] La courbe 25 de la figure 11 représente le coefficient de réflexion de l'antenne 1. A la figure 12, la courbe 27 représente son diagramme de rayonnement à 1575 MHz selon une polarisation RHCP tandis que la courbe 28 représente son diagramme de rayonnement selon une polarisation LHCP. La courbe 26 de la figure 13 représente quant à elle le diagramme de rayonnement de l'antenne 1 à 988 MHz selon une polarisation rectiligne verticale.

[0084] Il est à noter que, contrairement aux diagrammes de rayonnement des figures 7 et 8, les diagrammes des figures 12 et 13 présentent un rayonnement dans tout l'espace, même sous le plan horizontal contenant le plan de masse 11 de l'antenne 1 ($90^\circ < \theta < 270^\circ$). Cela vient du fait que pour le deuxième mode de réalisation, les dimensions du plan de masse 11 ne sont pas suffisamment grandes devant celles de la plaque 10 pour qu'il reflète complètement les ondes émises par l'antenne vers le haut. Par contre, si on considérait que l'antenne était placée sur le toit d'un véhicule automobile, alors le toit du véhicule jouerait le rôle d'un plan de masse infini, et le rayonnement observé serait exclusivement dans l'espace situé au-dessus du plan de masse.

[0085] Il apparaît de ces différentes courbes que même si les performances de l'antenne 1 selon le deuxième mode de réalisation sont un peu moins bonnes que celles de l'antenne 1 selon le premier mode de réalisation, elles restent très satisfaisantes pour les modes de fonctionnement attendus, à savoir la réception de signaux GPS et l'émission de messages sur un réseau d'accès IoT.

[0086] En effet, à 1575 MHz l'antenne présente un coefficient S_{11} d'environ -18 dB et un gain proche de 10 dBi dans la direction verticale 18 ($\theta = 0^\circ$) pour la polari-

sation RHCP. Dans cette direction, le gain est de -2 dBi pour la polarisation LHCP. La discrimination de la polarisation RHCP par rapport à la polarisation LHCP est donc toujours possible même si la différence de gain entre ces deux polarisations est moins importante que pour le premier mode de réalisation. A 988 MHz, on observe un coefficient S_{11} d'environ -13 dB et un gain proche de 2 dBi dans les directions horizontales (θ proche de 90°).

[0087] La figure 14 présente un troisième mode de réalisation de l'antenne 1. Notamment, la partie a) de la figure 14 est une représentation schématique de la plaque 10 de l'antenne 1 pour ce troisième mode de réalisation. Dans ce troisième mode de réalisation, une fente 30 est réalisée dans la plaque 10 de telle sorte qu'elle entoure complètement le point de connexion entre le fil 13 de retour à la masse et la plaque 10. Un élément capacitif 15c apparaît alors : une des ses électrodes est formée par la partie 10a de la plaque 10 qui est à l'extérieur du pourtour formé par la fente 30, et son autre électrode est formée par la partie 10b de la plaque 10 qui est à l'intérieur dudit pourtour formé par la fente 30. Ainsi, au lieu d'utiliser un composant électronique discret 15a ou bien une plaque 19 métallique, l'élément capacitif 15c est réalisé à partir d'une fente 30 dans la plaque 10 au niveau de l'extrémité du fil 13 de retour à la masse qui est en contact avec la plaque 10.

[0088] La partie b) de la figure 14 est un agrandissement de la forme particulière de la fente 30. Dans l'exemple considéré, la fente 30 est inscrite dans un carré de côté de longueur L valant 10.2 mm, et l'épaisseur de la fente 30 est de 0.2 mm. La forme particulière de la fente 30 permet de maximiser la valeur de la capacité pour une surface donnée (on parle parfois dans ce cas de « capacité interdigitée »). Les dimensions de la fente 30 pourraient varier en fonction du substrat diélectrique 14 utilisé. Aussi, il est possible de faire varier la forme de la fente 30 pour obtenir différentes valeurs de capacités.

[0089] Il est important de noter que l'élément capacitif 15c réalisé à partir de la fente 30 dans ce troisième mode de réalisation distingue l'antenne 1 de certaines antennes fil-plaque de l'art antérieur pour lesquelles des fentes sont également réalisées dans la plaque. En effet, la fente 30 correspond à un élément capacitif 15c placé en série avec le fil 13 de retour à la masse entre le fil 12 d'alimentation et le plan de masse 11. Ainsi, contrairement aux antennes fil-plaque de l'art antérieur utilisant des fentes, pour l'antenne 1 selon le troisième mode de réalisation décrit en référence à la figure 14 il n'y a pas de connexion électrique directe entre le fil 12 d'alimentation et le fil 13 de retour à la masse car la fente 30 entoure complètement le point de connexion entre le fil 13 de retour à la masse et la plaque 10.

[0090] La figure 15 représente le coefficient de réflexion en entrée de l'antenne pour ce troisième mode de réalisation. On y retrouve bien les deux fréquences de résonance pour lesquelles l'antenne 1 est adaptée en impédance. Notamment, le marqueur n°1 indique la deuxième fréquence de résonance aux alentours de 982

MHz et le marqueur n°2 indique la première fréquence de résonance à 1575 MHz.

[0091] L'invention porte aussi sur un dispositif d'émission comprenant une antenne 1 selon l'un quelconque des modes de réalisation décrits ci-avant et un générateur 16 relié au fil 12 d'alimentation, adapté à former un signal électrique à la première fréquence de travail et/ou à la deuxième fréquence de travail. Par exemple le générateur 16 applique dans le fil 12 d'alimentation une tension ou un courant électrique à la première fréquence de travail et/ou à la deuxième fréquence de travail, générant ainsi un champ électromagnétique rayonné par l'antenne 1. Selon d'autres exemples, le dispositif d'émission pourrait aussi comprendre deux générateurs connectés à l'antenne 1, par exemple par l'intermédiaire d'un duplexeur.

[0092] L'invention porte également sur un dispositif de réception comprenant une antenne 1 selon l'un quelconque des modes de réalisation décrits ci-avant et un récepteur relié au fil 12 d'alimentation, adapté à recevoir un signal électrique à la première fréquence de travail et/ou à la deuxième fréquence de travail. Par exemple le récepteur extrait un signal à la première fréquence de travail et/ou à la deuxième fréquence de travail à partir de variations d'une tension ou d'un courant électrique induit dans le fil 12 d'alimentation par le champ électrique d'une onde électromagnétique captée par l'antenne 1.

[0093] Plus particulièrement, l'invention porte sur un dispositif émetteur-récepteur comportant une antenne 1 selon l'un quelconque des modes de réalisation décrits ci-avant et permettant de recevoir, à la première fréquence de travail de l'antenne 1, un signal radioélectrique comportant des informations de géolocalisation émis par un système de communication par satellite, et d'émettre à un système de communication sans fil terrestre, à la deuxième fréquence de travail de l'antenne 1, un signal radioélectrique comportant la position géographique dudit dispositif éventuellement accompagnée d'autres informations.

[0094] Ces dispositifs comportent notamment, de manière conventionnelle, un ou plusieurs microcontrôleurs, et/ou des circuits logiques programmables (de type FPGA, PLD, etc.), et/ou des circuits intégrés spécialisés (ASIC), et/ou un ensemble de composants électroniques discrets, et un ensemble de moyens, considérés comme connus de l'homme de l'art pour faire du traitement de signal (filtre analogique ou numérique, amplificateur, convertisseur analogique/numérique, échantillonneur, modulateur, démodulateur, oscillateur, mélangeur, etc.).

[0095] Selon le mode de réalisation de l'antenne 1 choisi, ces dispositifs peuvent ou non comporter un circuit d'adaptation 17 entre la ligne de transmission acheminant le signal radiofréquence et l'antenne. En particulier, pour le deuxième mode de réalisation de l'antenne 1 décrit ci-avant en référence à la figure 10, il est possible de se passer d'un tel circuit d'adaptation car l'antenne 1, par sa structure même, est parfaitement adaptée en impédance aux deux fréquences de travail considérées.

[0096] La description ci-avant illustre clairement que, par ses différentes caractéristiques et leurs avantages, la présente invention atteint les objectifs fixés. En particulier, l'antenne 1 selon l'invention permet un fonctionnement à deux fréquences distinctes selon deux modes de rayonnements différents et avec des performances très satisfaisantes obtenues grâce à une bonne adaptation d'impédance à chacune des deux fréquences de travail considérées. En outre, l'invention offre la possibilité d'ajuster facilement au moins une des fréquences de travail en faisant varier la valeur de l'élément capacitif (15a, 15b, 15c). Enfin, la structure mécanique de l'antenne 1 selon l'invention permet de faciliter sa fabrication et de réduire son encombrement par rapport aux solutions de l'art antérieur. Le coût de fabrication d'une telle antenne 1 est également réduit.

[0097] De manière plus générale, il est à noter que les modes de réalisation considérés ci-dessus ont été décrits à titre d'exemples non limitatifs, et que d'autres variantes sont par conséquent envisageables. Notamment, des fréquences de travail différentes peuvent être obtenues en faisant varier certains paramètres de l'antenne comme par exemple les dimensions de la plaque 10, le diamètre et/ou la position du fil 12 d'alimentation et du fil 13 de retour à la masse, la valeur du substrat diélectrique 14, la distance entre la plaque 10 et le plan de masse 11, la valeur de l'élément capacitif 15a, 15b, 15c, etc.

[0098] Il est à noter, enfin, que l'invention trouve une application particulièrement avantageuse pour un dispositif destiné à recevoir des signaux provenant de satellites GPS et à émettre des informations à un système de communication sans fil de type IoT, mais elle pourrait avoir d'autres applications, par exemple pour des systèmes de communication utilisant d'autres bandes de fréquences. Aussi, rien n'empêcherait qu'un dispositif utilisant une antenne 1 selon l'invention soit configuré pour émettre et recevoir sur chacune des deux fréquences de travail de l'antenne.

Revendications

1. Antenne (1) comprenant un plan de masse (11), une plaque (10) métallique agencée en regard dudit plan de masse (11), un fil (12) d'alimentation permettant de relier ladite plaque (10) à un générateur (16) ou un récepteur, de sorte que l'antenne (1) présente une fréquence de résonance en mode antenne plaquée, dite « première fréquence de travail », ladite antenne (1) étant **caractérisée en ce qu'elle** comporte en outre :

- un fil (13) de retour à la masse reliant la plaque (10) au plan de masse (11), le fil (13) de retour à la masse étant agencé sensiblement perpendiculairement à la plaque (10) et au plan de masse (11) et positionné sensiblement au milieu de la plaque (10),

- un élément capacitif (15a, 15b, 15c) agencé en série avec le fil (13) de retour à la masse entre le fil (12) d'alimentation et le plan de masse (11),

et en ce que le fil (13) de retour à la masse est un élément rayonnant à une « deuxième fréquence de travail », inférieure à ladite première fréquence de travail, de sorte que l'antenne (1) présente une fréquence de résonance en mode antenne fil-plaque à ladite deuxième fréquence de travail.

2. Antenne (1) selon la revendication 1 dans laquelle la plaque (10) est une plaque rectangulaire dont deux angles opposés d'une même diagonale sont tronqués de sorte que l'antenne (1) présente une polarisation circulaire à ladite première fréquence de travail.
3. Antenne (1) selon l'une des revendications 1 à 2 dans laquelle l'élément capacitif (15a) est un composant électronique discret.
4. Antenne (1) selon la revendication 3 dans laquelle le composant capacitif (15a) est de valeur capacitive contrôlable.
5. Antenne (1) selon l'une des revendications 1 à 2 dans laquelle l'élément capacitif (15b) comprend deux électrodes dont une électrode est formée par une plaque (19) métallique située à une extrémité du fil (13) de retour à la masse et agencée en regard de la plaque (10) de l'antenne (1) ou du plan de masse (11).
6. Antenne (1) selon la revendication 5 dans laquelle ladite plaque (19) métallique de l'élément capacitif (15b) est située à l'extrémité du fil (13) de retour à la masse du côté de la plaque (10) de l'antenne (1), de sorte que l'autre électrode est formée par la plaque (10) de l'antenne (1).
7. Antenne (1) selon l'une des revendications 1 à 2 dans laquelle une fente (30) est réalisée dans la plaque (10) de telle sorte que ladite fente (30) entoure complètement le point de connexion entre le fil (13) de retour à la masse et la plaque (10), et l'élément capacitif (15c) comprend deux électrodes dont une électrode est formée par une partie (10a) de la plaque (10) qui est à l'extérieur d'un pourtour formé par la fente (30), et l'autre électrode est formée par une autre partie (10b) de la plaque (10) qui est à l'intérieur dudit pourtour formé par la fente (30).
8. Antenne (1) selon l'une des revendications 1 à 7 dans laquelle l'un au moins des fils de retour à la masse (13) et d'alimentation (12) est un ruban métallique découpé dans la plaque (10).

9. Antenne (1) selon l'une des revendications 1 à 8 dans laquelle la distance entre le fil (12) d'alimentation et le fil (13) de retour à la masse est supérieure au dixième de la longueur d'onde de la deuxième fréquence de travail.
10. Dispositif d'émission comprenant une antenne (1) selon l'une des revendications 1 à 9 et un générateur (16) relié au fil (12) d'alimentation, adapté à former un signal électrique à la première fréquence de travail et/ou à la deuxième fréquence de travail.
11. Dispositif de réception comprenant une antenne (1) selon l'une des revendications 1 à 9 et un récepteur relié au fil (12) d'alimentation, adapté à recevoir un signal électrique à la première fréquence de travail et/ou à la deuxième fréquence de travail.
12. Dispositif émetteur-récepteur comprenant une antenne (1) selon l'une des revendications 1 à 9 configuré pour recevoir un signal à la première fréquence de travail comportant des informations de géolocalisation émis par un système de communication par satellite et pour émettre à un système de communication sans fil terrestre un signal à la deuxième fréquence de travail comportant la position géographique dudit dispositif.

Patentansprüche

1. Antenne (1), eine Massenebene (11) umfassend, eine Metallplatte (10), die gegenüber der Massenebene (11) angeordnet ist, und einen Versorgungsdraht (12), der es ermöglicht, die Platte (10) mit einem Generator (16) oder einem Empfänger zu verbinden, so dass die Antenne (1) eine Resonanzfrequenz in der Art einer Plattenantenne, "erste Arbeitsfrequenz" genannt, aufweist, wobei die Antenne (1) **dadurch gekennzeichnet ist, dass** sie ferner beinhaltet:

- einen Zurück-zur-Masse-Draht (13), der die Platte (10) mit der Massenebene (11) verbindet, wobei der Zurück-zur-Masse-Draht (13) im Wesentlichen senkrecht zur Platte (10) und der Massenebene (11) angeordnet ist und im Wesentlichen in der Mitte der Platte (10) positioniert ist,
- ein kapazitives Element (15a, 15b, 15c), das in Reihe geschaltet ist mit dem Zurück-zur-Masse-Draht (13) zwischen dem Versorgungsdraht (12) und der Massenebene (11),

und dadurch, dass der Zurück-zur-Masse-Draht (13) ein strahlendes Element mit einer "zweiten Arbeitsfrequenz" ist, die kleiner als die erste Arbeitsfrequenz ist, so dass die Antenne (1) eine Resonanz-

frequenz in der Art einer Draht-Plattenantenne bei der zweiten Arbeitsfrequenz aufweist.

2. Antenne (1) nach Anspruch 1, wobei die Platte (10) eine rechteckige Platte ist, deren zwei gegenüberliegende Ecken derselben Diagonale abgeschnitten sind, so dass die Antenne (1) bei der ersten Arbeitsfrequenz eine zirkulare Polarisierung aufweist. 5
3. Antenne (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei das kapazitive Element (15a) ein diskretes elektronisches Bauteil ist. 10
4. Antenne (1) nach Anspruch 3, wobei das kapazitive Bauteil (15a) einen steuerbaren kapazitiven Wert hat. 15
5. Antenne (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei das kapazitive Element (15b) zwei Elektroden umfasst, von denen eine Elektrode durch eine Metallplatte (19) gebildet ist, die an einem Ende des Zurück-zur-Masse-Drahts (13) eingerichtet ist und gegenüber der Platte (10) der Antenne (1) oder der Massenebene (11) angeordnet ist. 20
6. Antenne (1) nach Anspruch 5, wobei die Metallplatte (19) des kapazitiven Elements (15b) am Ende des Zurück-zur-Masse-Drahts (13) auf der Seite der Platte (10) der Antenne (1) eingerichtet ist, so dass die andere Elektrode durch die Platte (10) der Antenne (1) gebildet wird. 30
7. Antenne (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei ein Schlitz (30) in der Platte (10) so ausgeführt ist, dass der Schlitz (30) den Verbindungspunkt zwischen dem Zurück-zur-Masse-Draht (13) und der Platte (10) vollständig umschließt, und das kapazitive Element (15c) zwei Elektroden umfasst, von denen eine Elektrode durch einen Teil (10a) der Platte (10) gebildet ist, der sich außerhalb eines durch den Schlitz (30) gebildeten Umfangs befindet, und die andere Elektrode durch einen anderen Teil (10b) der Platte (10) gebildet ist, der sich innerhalb des durch den Schlitz (30) gebildeten Umfangs befindet. 35 40
8. Antenne (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei mindestens einer der Zurück-zur-Masse- (13) und Versorgungs- (12) Drähte ein aus der Platte (10) geschnittenes Metallband ist. 45
9. Antenne (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Abstand zwischen dem Versorgungsdraht (12) und dem Zurück-zur-Masse-Draht (13) größer als ein Zehntel der Wellenlänge der zweiten Arbeitsfrequenz ist. 50
10. Sendevorrichtung, eine Antenne (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 umfassend, und einen Generator 55

(16), der mit dem Versorgungsdraht (12) verbunden ist, und zum Bilden eines elektrischen Signals mit der ersten Arbeitsfrequenz und/oder der zweiten Arbeitsfrequenz geeignet ist.

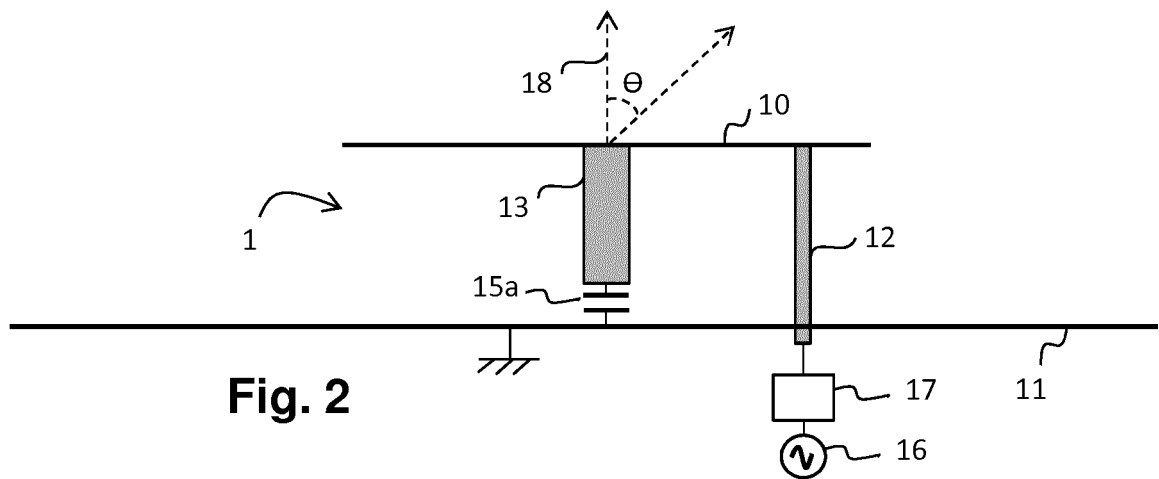
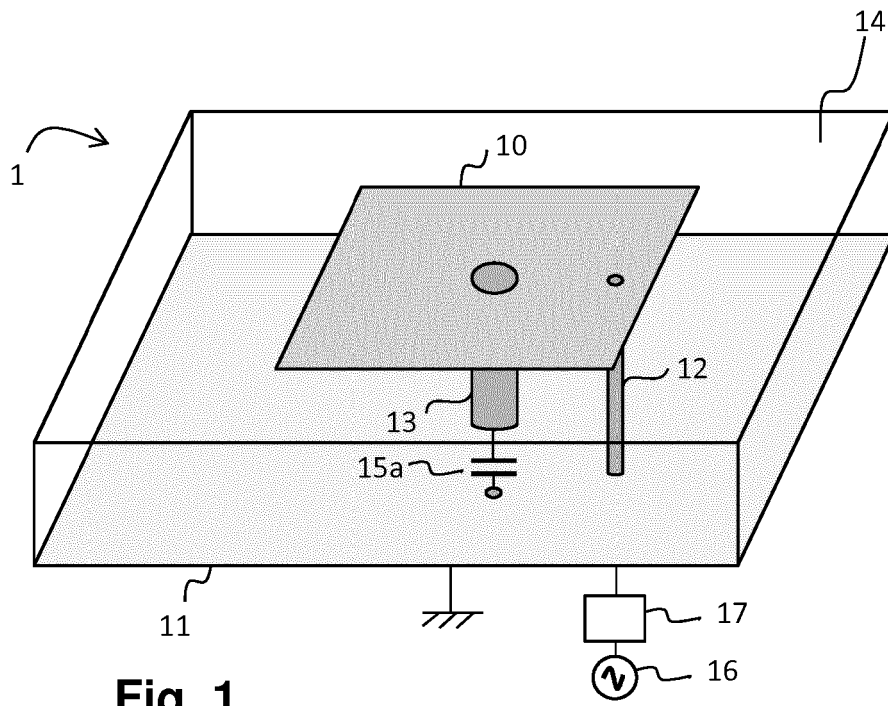
11. Empfangsvorrichtung, eine Antenne (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 umfassend, und einen Empfänger, der mit dem Versorgungsdraht (12) verbunden ist, und zum Empfangen eines elektrischen Signals mit der ersten Arbeitsfrequenz und/oder der zweiten Arbeitsfrequenz geeignet ist.
12. Sender-Empfänger-Vorrichtung, eine Antenne (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 umfassend, die konfiguriert ist, um ein Signal mit der ersten Arbeitsfrequenz zu empfangen, das Geolokalisierungsinformationen beinhaltet, die von einem Satellitenkommunikationssystem gesendet werden, und um ein Signal mit der zweiten Arbeitsfrequenz zu senden, das die geografische Position der Vorrichtung beinhaltet, an ein terrestrisches drahtloses Kommunikationssystem.

25 Claims

1. Antenna (1) comprising a ground plane (11), a metal plate (10) arranged facing said ground plane (11), a power supply wire (12) allowing to connect said plate (10) to a generator (16) or a receiver, so that the antenna (1) has a resonance frequency in patch antenna mode, called "first working frequency", said antenna (1) being **characterised in that** it further comprises:
 - a ground-return wire (13) connecting the plate (10) to the ground plane (11), the ground-return wire (13) being arranged substantially perpendicularly to the plate (10) and to the ground plane (11) and positioned substantially in the middle of the plate (10),
 - a capacitive element (15a, 15b, 15c) arranged in series with the ground-return wire (13) between the power supply wire (12) and the ground plane (11),
 and **in that** the ground-return wire (13) is an element radiating at a "second working frequency", lower than said first working frequency, so that the antenna (1) has a resonance frequency in wire-plate antenna mode at said second working frequency.
2. Antenna (1) according to claim 1, wherein the plate (10) is a rectangular plate, two opposite angles of the same diagonal of which are truncated so that the antenna (1) has a circular polarisation at said first working frequency.

3. Antenna (1) according to one of claims 1 to 2, wherein the capacitive element (15a) is a discrete electronic component.
4. Antenna (1) according to claim 3, wherein the capacitive component (15a) has a controllable capacitive value. 5
5. Antenna (1) according to one of claims 1 to 2, wherein the capacitive element (15b) comprises two electrodes, including one electrode that is formed by a metal plate (19) located at an end of the ground-return wire (13) and arranged facing the plate (10) of the antenna (1) or the ground plane (11). 10
6. Antenna (1) according to claim 5, wherein said metal plate (19) of the capacitive element (15b) is located at the end of the ground-return wire (13) near the plate (10) of the antenna (1), so that the other electrode is formed by the plate (10) of the antenna (1). 15 20
7. Antenna (1) according to one of claims 1 to 2, wherein a slot (30) is made in the plate (10) so that said slot (30) completely surrounds the point of connection between the ground-return wire (13) and the plate (10), and the capacitive element (15c) comprises two electrodes, including one electrode that is formed by a part (10a) of the plate (10) that is outside of the contour formed by the slot (30), and the other electrode is formed by another part (10b) of the plate (10) that is inside said contour formed by the slot (30). 25 30
8. Antenna (1) according to one of claims 1 to 7, wherein at least one of the ground-return (13) and power supply (12) wires is a metal strip cut out of the plate (10). 35
9. Antenna (1) according to one of claims 1 to 8, wherein the distance between the power supply wire (12) and the ground-return wire (13) is greater than one tenth of the wavelength of the second working frequency. 40
10. Emission device comprising an antenna (1) according to one of claims 1 to 9 and a generator (16) connected to the power supply wire (12), adapted to forming an electric signal at the first working frequency and/or at the second working frequency. 45
11. Reception device comprising an antenna (1) according to one of claims 1 to 9 and a receiver connected to the power supply wire (12), adapted to receiving an electric signal at the first working frequency and/or at the second working frequency. 50
12. Transceiver device comprising an antenna (1) according to one of claims 1 to 9, configured to receive a signal at the first working frequency comprising 55

geolocation information emitted by a satellite communication system and to emit to a terrestrial wireless communication system a signal at the second working frequency comprising the geographic position of said device.



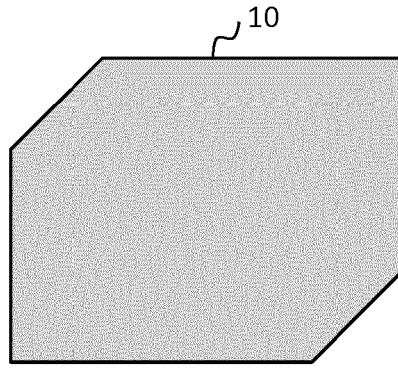


Fig. 3

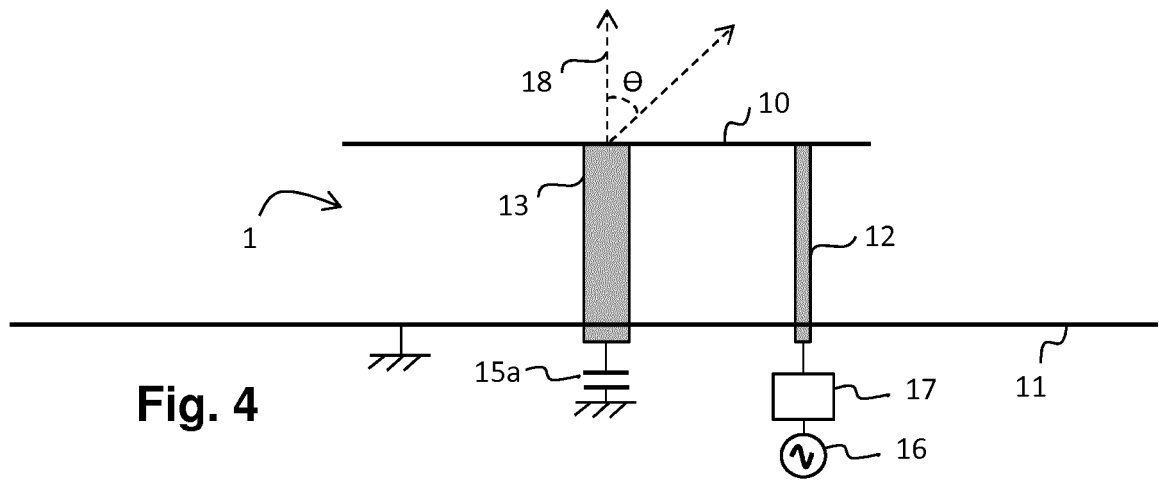


Fig. 4

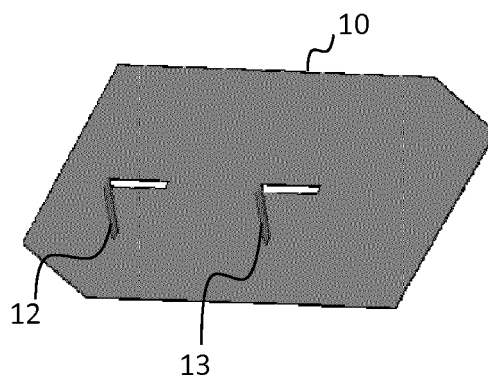


Fig. 5

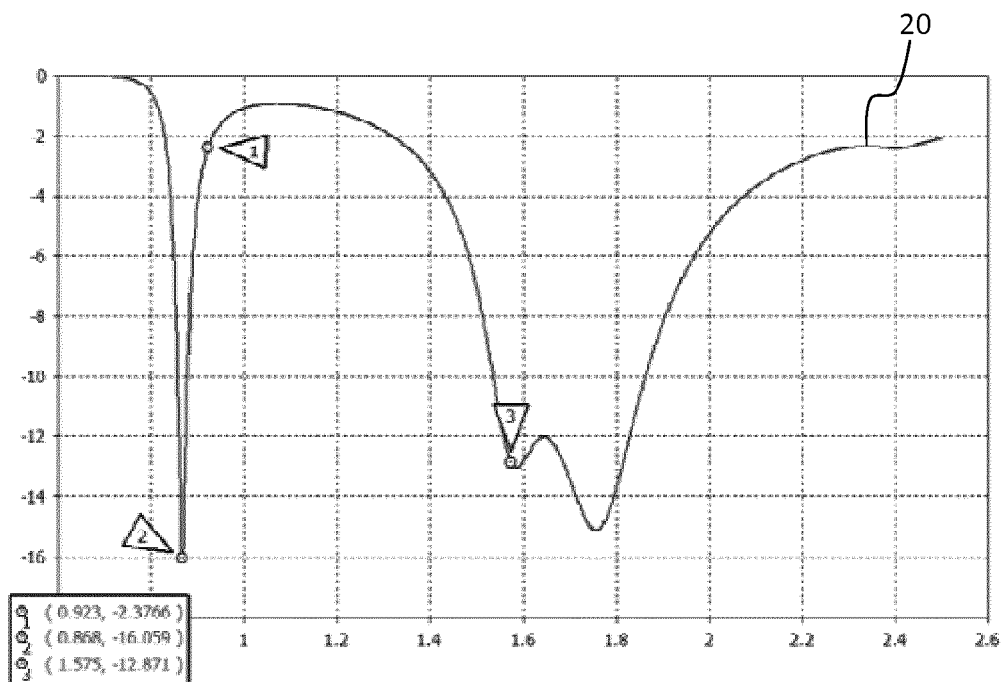


Fig. 6

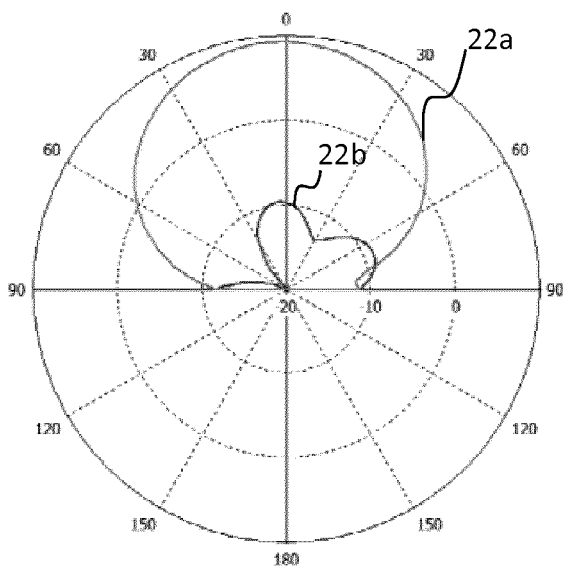


Fig. 7

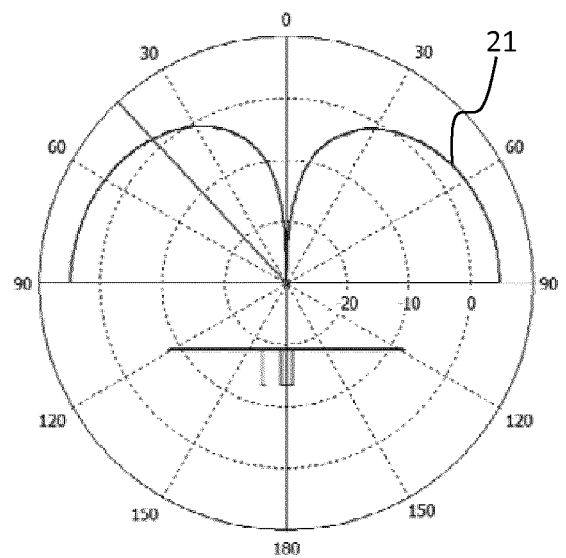


Fig. 8

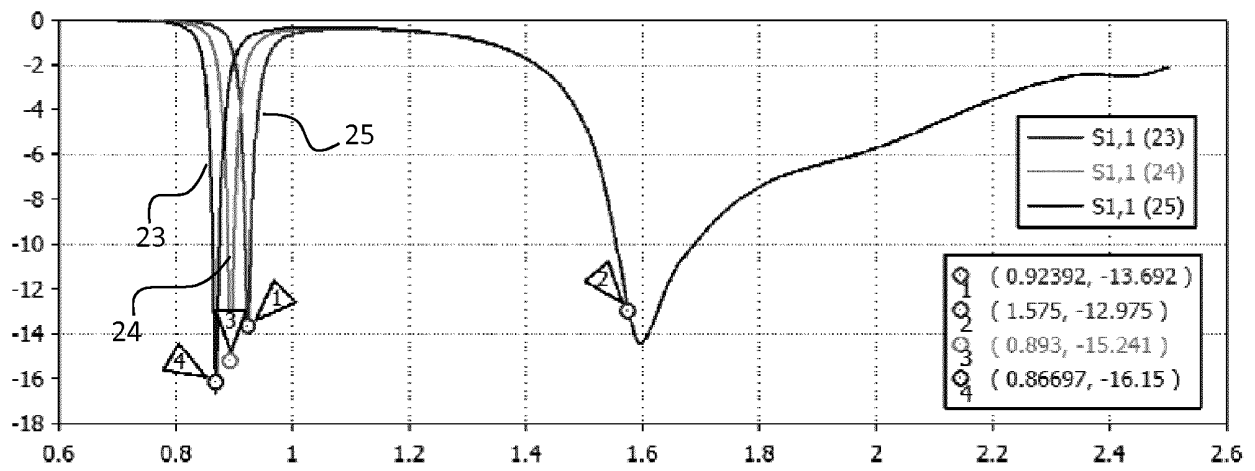


Fig. 9

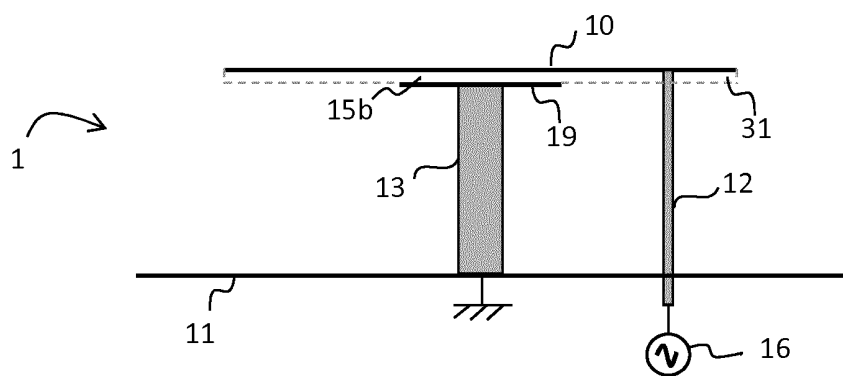


Fig. 10

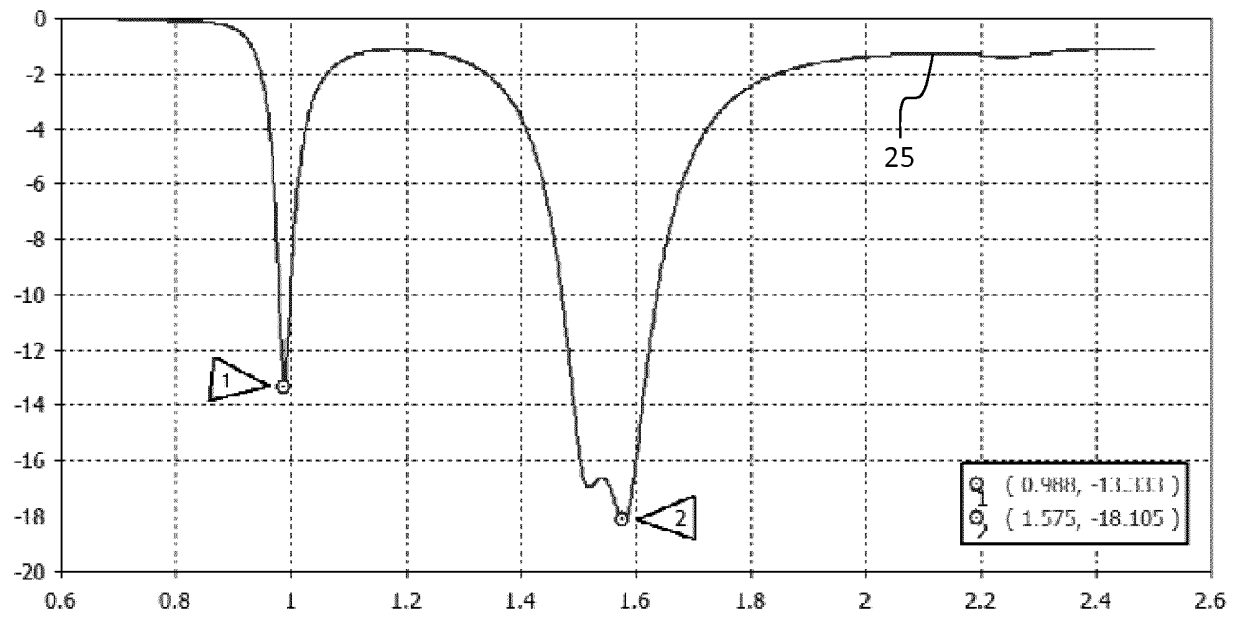


Fig. 11

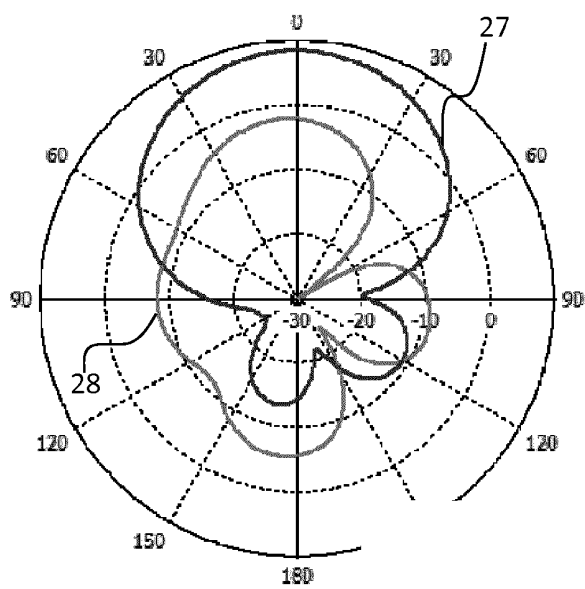


Fig. 12

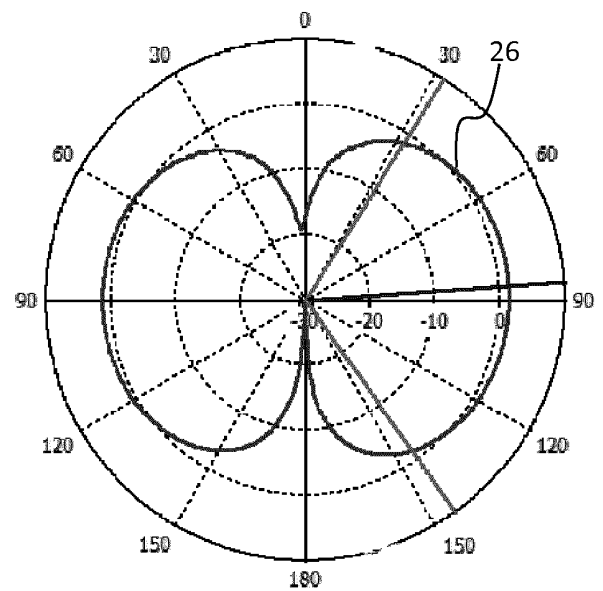


Fig. 13

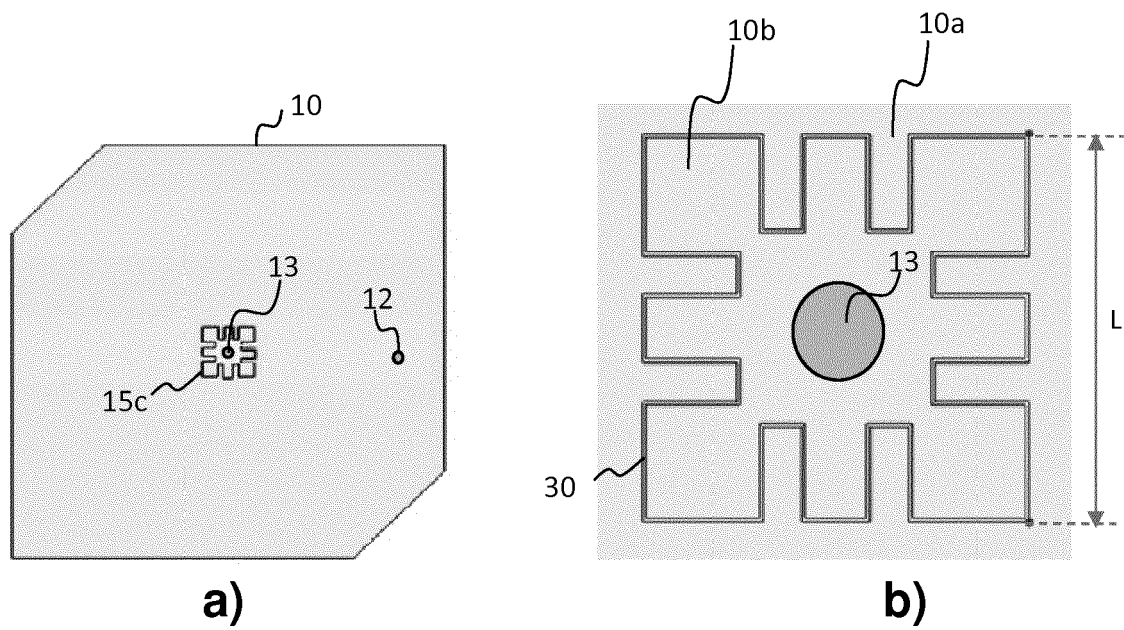


Fig. 14

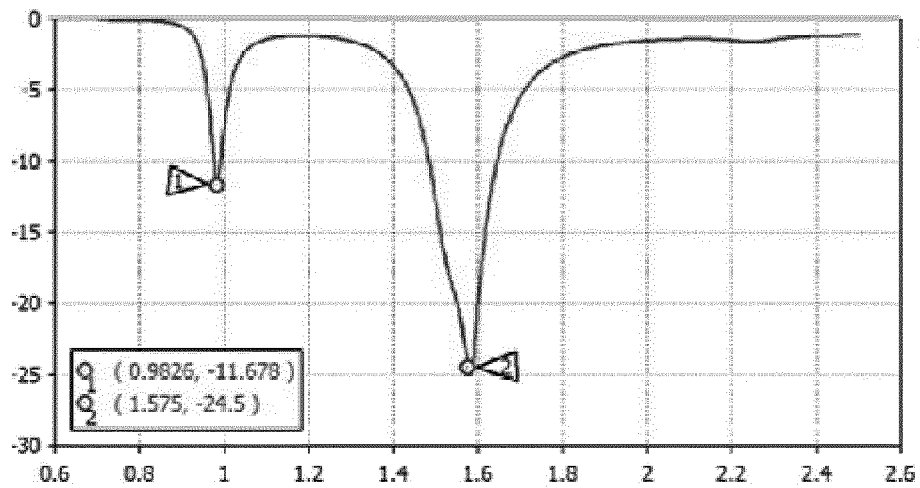


Fig. 15

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 2009167617 A1 [0009]