

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

①1 N° de publication : **3 131 106**

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

②1 N° d'enregistrement national : **21 14072**

⑤1 Int Cl⁸ : **H 01 Q 21/24** (2022.01), H 01 Q 9/04, H 01 Q 1/38,
G 01 S 19/01

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 Antenne radiofréquence planaire à polarisation circulaire.

②2 Date de dépôt : 21.12.21.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 23.06.23 Bulletin 23/25.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 10.05.24 Bulletin 24/19.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *Commissariat à l'énergie atomique
et aux énergies alternatives Etablissement public à
caractère industriel et commercial — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : RUDANT Lionel, BATEL Lotfi et
DELAVERAUD Christophe.

⑦3 Titulaire(s) : Commissariat à l'énergie atomique et
aux énergies alternatives Etablissement public à
caractère industriel et commercial.

⑦4 Mandataire(s) : Lavoix.

FR 3 131 106 - B1



Description

Titre de l'invention : Antenne radiofréquence planaire à polarisation circulaire

- [0001] La présente invention concerne une antenne radiofréquence. La présente invention se rapporte aussi à un système comportant une telle antenne radiofréquence.
- [0002] Le domaine technique est celui des antennes radiofréquences, et plus spécifiquement des antennes à polarisation circulaire.
- [0003] Les ondes radiofréquences à polarisation circulaire sont notamment utilisées dans le cadre des communications satellitaires dans la mesure où la polarisation circulaire permet d'être insensible à l'alignement d'orientation entre le satellite et le récepteur.
- [0004] A titre d'exemple d'application particulière, il peut être cité le cas du système GPS. L'acronyme « GPS » renvoie à la terminologie anglaise de « Global Positioning System » signifiant littéralement système de positionnement global. Un tel système fonctionne avec des ondes à polarisation circulaire dont les fréquences sont soit à 1225 MHz soit à 1575 MHz.
- [0005] Selon un autre exemple d'application, pour les constellations de microsattelites sur orbite basse, les communications se font avec des ondes à polarisation circulaire dont les fréquences sont soit à 400 MHz soit à 868 MHz.
- [0006] Plusieurs systèmes antennaires permettant d'obtenir des ondes à polarisation circulaire ont été développés.
- [0007] Il est notamment connu des antennes dites antennes microruban associées à des circuits d'excitation double permettant d'obtenir une polarisation circulaire par la combinaison des deux modes orthogonaux. Dans certaines réalisations, plusieurs patchs superposés permettent d'obtenir plusieurs bandes de fréquences de fonctionnement.
- [0008] D'autres systèmes antennaires utilisent des antennes quadrifilaires hélicoïdales associées à des circuits d'excitation quadruples.
- [0009] Il existe aussi des dipôles croisés associés à des circuits d'excitation double. Dans certains cas particuliers, les éléments rayonnants utilisés sont miniaturisés pour faciliter l'intégration.
- [0010] Dans chacun des cas, les antennes à polarisation circulaire sont constituées de plusieurs éléments rayonnants associés à d'un circuit d'excitation spécifique. Le circuit d'excitation permet d'établir des excitations pondérées en amplitude et en phase des différents éléments rayonnants.
- [0011] Toutefois, cela conduit à des antennes présentant un encombrement relativement important.
- [0012] Il existe donc un besoin pour une antenne capable d'émettre des ondes radio-

fréquences de polarisation circulaire et présentant un encombrement réduit.

- [0013] A cet effet, la description décrit une antenne radiofréquence comportant au moins un réseau antennaire fonctionnant à une fréquence de fonctionnement, chaque réseau antennaire comprenant un dipôle alimenté, le dipôle alimenté étant relié en un point d'accès à un transmetteur radiofréquence propre à générer ou recevoir une onde à la fréquence de fonctionnement. Chaque réseau antennaire comprend également au moins un dipôle couplé, chaque dipôle couplé étant relié en un point d'accès à une charge résistive et/ou capacitive et/ou inductive respective. Le dipôle alimenté et chaque dipôle couplé comportent deux brins, les brins s'étendant depuis le point d'accès, les points d'accès étant agencés pour former un polygone, le premier brin d'un dipôle s'étendant le long du deuxième brin d'un dipôle voisin sur ledit polygone à une distance inférieure ou égale au dixième de la longueur d'onde correspondant à la fréquence de fonctionnement, ladite longueur d'onde étant dite longueur de fonctionnement.
- [0014] Selon des modes de réalisation particuliers, l'antenne présente une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles :
- [0015] - les deux brins présentent une longueur inférieure ou égale au quart de la longueur d'onde de fonctionnement.
- [0016] - le premier brin d'un dipôle s'étend le long du deuxième brin d'un dipôle voisin sur ledit polygone à une distance inférieure ou égale au vingtième de la longueur d'onde de fonctionnement.
- [0017] - une direction étant définie pour chaque brin, les directions des deux brins présentent entre elles un angle égal à 90° à 10% près, le dipôle alimenté et chaque dipôle couplé étant agencés pour que chaque direction d'un brin présente une intersection avec une direction d'un autre brin.
- [0018] - le polygone est un polygone régulier.
- [0019] - le nombre de dipôles couplés d'un réseau antennaire est compris entre 2 et 4.
- [0020] - l'antenne radiofréquence comporte deux réseaux antennaires, le polygone formé par les points d'accès du deuxième réseau antennaire étant inclus dans l'espace interne délimité par le polygone formé par les points d'accès du premier réseau antennaire, chaque réseau antennaire fonctionnant à une fréquence de fonctionnement respective.
- [0021] - l'antenne radiofréquence comporte un plan réflecteur situé à une distance inférieure ou égale au quart de la longueur d'onde de fonctionnement.
- [0022] - les brins présentent des méandres ou des repliements.
- [0023] - les charges des dipôles couplés sont choisies pour que :
- [0024] - le rayonnement de l'antenne radiofréquence présente une polarisation circulaire droite avec un gain maximum dans la direction perpendiculaire à l'antenne radio-

fréquence,

- [0025] - le rayonnement de l'antenne de l'antenne radiofréquence présente une polarisation circulaire droite uniforme pour une ouverture d'élévation entre 90° et -90° autour de la direction perpendiculaire à l'antenne radiofréquence, et
- [0026] - le gain de la polarisation croisée est minimisé.
- [0027] La description se rapporte également à un système, notamment système de positionnement par satellites, comportant au moins une antenne radiofréquence telle que précédemment décrite.
- [0028] Des caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :
- [0029] - [Fig.1] la [Fig.1] est une représentation schématique d'un exemple d'antenne,
- [0030] - [Fig.2] la [Fig.2] est une représentation schématique d'une vue en perspective de l'antenne de la [Fig.1],
- [0031] - [Fig.3][Fig.4] les figures 3 et 4 sont des graphes de simulation montrant les performances obtenues avec l'antenne de la [Fig.1],
- [0032] - [Fig.5] la [Fig.5] est une représentation schématique d'un autre exemple d'antenne,
- [0033] - [Fig.6][Fig.7][Fig.8] les figures 6 à 8 sont des graphes de simulation montrant les performances obtenues avec l'antenne de la [Fig.5], et
- [0034] - [Fig.9] la [Fig.9] est une représentation simplifiée d'exemples d'agencement d'antenne.
- [0035] Avant de décrire de manière générale l'antenne faisant l'objet de la présente invention, la présente description s'attache à décrire deux exemples particuliers.
- [0036] Ces deux exemples particuliers sont appliqués au cas d'un système GPS.
- [0037] Le premier exemple porte sur la bande L1 et le deuxième sur une double bande L1/L2.
- [0038] La bande de fréquences L1 est une bande relativement étroite autour de la fréquence centrale de 1575 MHz. Par « étroit » dans ce contexte, il est entendu une extension en fréquence de l'ordre de moins de 5% de la fréquence centrale.
- [0039] Similairement, la bande de fréquences L2 est bande relativement étroite autour de la fréquence centrale de 1225 MHz.

Exemple 1 : Antenne pour la bande L1

- [0040] Une antenne 10 radiofréquence est illustrée schématiquement sur la [Fig.1].
- [0041] L'antenne 10 est propre à fonctionner à une fréquence centrale de fonctionnement f_0 . La longueur d'onde associée est dénommée longueur d'onde centrale λ_0 .
- [0042] La fréquence centrale de fonctionnement f_0 est de 1575 MHz pour ce premier exemple.
- [0043] L'antenne 10 comporte un réseau antennaire 12, le réseau antennaire 12 étant ici

comme cela sera explicité ultérieurement un réseau d'antennes imbriquées.

- [0044] En outre, l'antenne 10 est une antenne planaire pour laquelle il peut être défini une première direction longitudinale correspondant à un axe X (hauteur de la feuille dans laquelle se trouve la [Fig.1]) et le deuxième brin 18A s'étend selon une deuxième direction longitudinale correspondant à un axe Y (largeur de la feuille dans laquelle se trouve la [Fig.1]).
- [0045] Dans l'exemple de la [Fig.1], le réseau antennaire 12 est formé par quatre antennes élémentaires de type dipôles, simplement désignées dipôles 14 dans la suite.
- [0046] Chaque dipôle 14 présente une structure en L.
- [0047] Comme visible sur la [Fig.1], chaque dipôle 14 présente un point d'accès 15 et deux brins 16 et 18.
- [0048] Le point d'accès 15 est un contact positionné au centre du dipôle 14 et relié à une extrémité des deux brins 16 et 18.
- [0049] Il peut être noté que les points d'accès 15 forment un carré.
- [0050] Les deux brins 16 et 18 présentent de préférence une même longueur, cette longueur étant avantageusement inférieure ou égale à $\lambda_0/4$, de sorte que chaque dipôle 14 est un élément demi-onde.
- [0051] En outre, l'angle entre chaque brin 16 et 18 est égal à 90° .
- [0052] Il est ainsi obtenu une forme générale de L.
- [0053] En outre, chaque brin 16 et 18 est connecté à un point d'accès 15 qui est connecté soit à une source soit à une charge.
- [0054] Plus précisément, un dipôle 14 est alimenté en son centre par une source radio-fréquence propre à générer une onde à la fréquence de fonctionnement f_0 .
- [0055] Le dipôle 14 correspondant est dénommé « dipôle alimenté 14A » dans ce qui suit.
- [0056] Dans l'exemple de la [Fig.1], le premier brin du dipôle alimenté 14A est noté premier brin 16A et le deuxième brin du dipôle alimenté 14A est noté deuxième brin 18A.
- [0057] Le premier brin 16A s'étend selon la première direction longitudinale X et le deuxième brin 18A s'étend selon la deuxième direction Y.
- [0058] De manière générale, le premier brin 16 d'un dipôle 14 est plus proche de l'intérieur de l'antenne que le deuxième brin 18. Le premier brin 16 pourrait ainsi être qualifié de « brin intérieur » tandis que le deuxième brin 18 pourrait ainsi être qualifié de « brin extérieur ». L'intérieur et l'extérieur sont définis ici par rapport au carré formé par les points d'accès : plus un élément est proche du centre du carré, plus le centre est à l'intérieur.
- [0059] Aussi, selon le cas, le premier brin 16 d'un dipôle 14 s'étend soit selon la première direction longitudinale X soit selon la deuxième direction longitudinale Y, le deuxième brin 18 s'étendant dans l'autre direction.
- [0060] Les autres dipôles 14 comportent un centre correspondant à un point d'accès

connecté à une charge complexe Z respective. La charge respective peut être de nature résistive, capacitive et/ou inductive. Chacun des brins 16 et 18 de ces dipôles 14 présente une extrémité qui est reliée au points d'accès 15 du dipôle 14 auquel appartient le brin 16 et 18, permettant ainsi que chaque brin 16 et 18 soit relié à la charge propre au dipôle 14 considéré.

- [0061] Chacun des dipôles correspondant est dénommé « dipôle couplé 14C » dans ce qui suit.
- [0062] En l'espèce, l'antenne 10 représentée sur la [Fig.1] comporte un dipôle alimenté 14A et trois dipôles couplés 14C.
- [0063] Pour la suite, les dipôles couplés 14C sont ordonnés (respectivement premier 14C1, deuxième 14C2 et troisième 14C3) selon un ordre correspondant au sens trigonométrique. Les signes de référence des brins 16 et 18 d'un dipôle couplé 14C comportent le même suffixe que le dipôle couplé 14C auquel ils appartiennent. Ainsi, le premier brin du premier dipôle couplé 14C1 a pour signe de référence 16C1 et le deuxième brin du premier dipôle couplé 14C1 a pour signe de référence 18C1.
- [0064] Les dipôles 14 sont, en outre, agencés de manière spécifique, pour permettre un couplage entre eux.
- [0065] Plus précisément, comme indiqué précédemment, dans le cas de la [Fig.1], les points d'accès 15 forment un carré.
- [0066] De plus, chaque premier brin 16 d'un dipôle 14 est parallèle à un deuxième brin 18 d'un autre dipôle 14.
- [0067] Ainsi, le premier brin 16A du dipôle alimenté 14A est à l'intérieur et est parallèle au deuxième brin 18C1 du premier dipôle couplé 14C1 tandis que le deuxième brin 18A du dipôle alimenté 14A est à l'extérieur et est parallèle au premier brin 16C3 du troisième dipôle couplé 14C3.
- [0068] Le premier brin 16C1 du premier dipôle couplé 14C1 est à l'extérieur et est parallèle au deuxième brin 18C2 du deuxième dipôle couplé 14C2 tandis que le deuxième brin 18C1 du premier dipôle couplé 14C1 est à l'extérieur et est parallèle au premier brin 16A du dipôle alimenté 14A.
- [0069] Le premier brin 16C2 du deuxième dipôle couplé 14C2 est à l'intérieur et est parallèle au deuxième brin 18C3 du troisième dipôle couplé 14C3 tandis que le deuxième brin 18C2 du deuxième dipôle couplé 14C2 est à l'extérieur et est parallèle au premier brin 16C1 du premier dipôle couplé 14C1.
- [0070] Le premier brin 16C3 du troisième dipôle couplé 14C3 est à l'intérieur et est parallèle au deuxième brin 18A du dipôle alimenté 14A tandis que le deuxième brin 18C3 du troisième dipôle couplé 14C3 est à l'extérieur et est parallèle au premier brin 16C2 du deuxième dipôle couplé 14C2.
- [0071] Cet agencement permet que les dipôles 14 soient entrelacés, permettant aux dipôles

14 de se coupler les uns aux autres du fait de leur proximité et du fait que certains brins 16 et 18 sont colinéaires entre eux.

[0072] De fait, dans cet agencement, la distance entre deux points de deux brins 16 et 18 colinéaires est relativement faible pour permettre un bon couplage.

[0073] A titre d'exemple, la distance entre deux brins 16 et 18 colinéaires est inférieure ou égale à $\lambda_0/10$.

[0074] De préférence, la distance entre deux brins 16 et 18 colinéaires est inférieure ou égale à $\lambda_0/20$.

[0075] L'entrelacement des dipôles 14 permet aussi une miniaturisation de l'antenne 10 puisque l'antenne 10 présente une largeur et une longueur de l'ordre de $\lambda_0/4$.

[0076] En l'espèce, l'antenne 10 présente une largeur et une longueur de 5 cm.

[0077] Dans le cas de la [Fig.1], le dipôle alimenté 14A est connecté au système de réception du GPS.

[0078] Le premier dipôle couplé 14C1 est relié à une première charge Z1 capacitive de 2,2 pF, le deuxième dipôle couplé 14C2 est relié à une deuxième charge Z2 inductive de 11,7 nH et le troisième dipôle couplé 14C3 à une troisième charge Z3 inductive de 0,7 nH.

[0079] Pour réaliser physiquement une telle antenne 10, celle-ci est gravée sur un circuit imprimé sur lequel les composants permettant de charger les dipôles couplés peuvent être soudés. L'antenne 10 est connectée au système de réception par exemple par un cordon coaxial hyperfréquence.

[0080] En l'espèce, les valeurs des impédances des charges Z1, Z2 et Z3 ont été adaptées pour l'obtention d'un rayonnement à polarisation circulaire.

[0081] Plus précisément, les valeurs des impédances des charges Z1, Z2 et Z3 sont choisies pour que le rayonnement respecte plusieurs conditions, à savoir :

- une première condition selon laquelle le rayonnement présente une polarisation circulaire droite (une telle polarisation est souvent dénommée RHCP, abréviation qui renvoie à la dénomination anglaise correspondante de « *right-handed circular polarization* ») avec un gain maximum dans la direction du zénith (correspond à une direction Z perpendiculaire aux deux directions longitudinales X et Y),
- une deuxième condition selon laquelle le rayonnement présente un gain RHCP relativement uniforme pour une ouverture d'élévation de $\pm 90^\circ$ autour de cette direction (couverture de la voûte du ciel, demi-sphère supérieure), et
- une troisième condition selon laquelle le gain de la polarisation croisée (c'est-à-dire celui de la polarisation gauche ou LHCP, abréviation qui renvoie à la dénomination anglaise correspondante de « *left-handed circular polarization* ») est minimisé.

- [0082] Le respect de telles conditions permet de rendre l'antenne 10 adaptée pour une application à un système de positionnement par satellites. Un tel système de positionnement est un système souvent désigné sous l'abréviation GNSS. L'abréviation GNSS renvoie à la dénomination « Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites ».
- [0083] Pour déterminer des valeurs de charge Z1, Z2 et Z3 appropriées, il peut, par exemple, être utilisée une technique de détermination telle que décrite dans le brevet US 9 917 376 B2 en recourant à une décomposition du rayonnement souhaitée sur une base sphérique, une expression du champ électromagnétique créé par l'antenne sur la même base et une résolution de l'équation résultant du fait qu'il est souhaité que les deux soient identiques.
- [0084] Il est à noter que cette technique de détermination est d'autant plus aisée à mettre en œuvre que les brins 16 et 18 sont agencés pour former un dipôle 14 symétrique.
- [0085] D'un point de vue matériel, les charges Z1, Z2 et Z3 peuvent être des composants physiques.
- [0086] Préférentiellement, pour réduire les pertes associées aux boîtiers des composants discrets, les charges Z1, Z2 et Z3 sont réalisées par gravure de motifs spécifiques. Une spirale ou une capacité interdigitée sont des exemples de tels motifs.
- [0087] Comme représenté schématiquement sur la [Fig.2], l'antenne 10 est placée au-dessus d'un plan de masse 20 métallique réflecteur de 25 cm de côté afin de diriger le rayonnement dans le demi-espace supérieur.
- [0088] Selon l'exemple décrit, la distance entre l'antenne 10 et le plan de masse 20 est de 25 mm, soit un huitième de longueur d'onde centrale λ_0 , pour réfléchir de manière constructive le rayonnement de l'antenne dans la direction d'intérêt. Un tel effet est obtenu dès que la distance entre l'antenne 10 et le plan de masse 20 est inférieure au quart de la longueur d'onde centrale λ_0 .
- [0089] En variante, au lieu du plan de masse 20, il est utilisé un conducteur magnétique artificiel. Un tel élément est souvent désigné par l'abréviation AMC qui renvoie à la dénomination anglaise correspondante de « *artificial magnetic conductor* ». Dans un tel cas, la distance avec l'antenne 10 peut être encore plus faible, ce qui réduit l'encombrement en hauteur.
- [0090] Les performances de l'antenne 10 précédemment décrite sont illustrées par les figures 3 et 4.
- [0091] La [Fig.3] illustre le diagramme de gain obtenu à 1575 MHz selon un premier plan de coupe orthogonal à la première direction longitudinale X (en traits pointillés) et selon un deuxième plan de coupe orthogonal à la deuxième direction longitudinale Y (en traits mixtes). Par ailleurs, les courbes concernant le gain RHCP apparaissent en traits plus épais que les courbes concernant le gain LHCP.

- [0092] L'observation du diagramme de gain montre que le gain RHCP est optimisé sur le demi-espace supérieur et que le gain LHCP est minimisé, ce qui correspond bien aux conditions souhaitées.
- [0093] La [Fig.4] présente les propriétés de rayonnement dans la direction du zénith en représentant le gain de l'antenne 10 en fonction de la fréquence.
- [0094] Dans cette courbe, la première courbe en traits pleins est le gain LHCP exprimé en dBic, la deuxième courbe en traits pleins est le gain RHCP exprimé en dBic et la troisième courbe en traits pointillés correspond au rapport axial exprimé en dB.
- [0095] Le rapport axial permet de mesurer la pureté de polarisation de l'onde émise par l'antenne 10. Le rapport axial correspond au rapport entre le grand axe et le petit axe qui forment l'ellipse décrivant la trajectoire de l'onde. Lorsque le grand et le petit axe de l'ellipse sont égaux, ce rapport est égal à 1, soit 0 dB. Dans ce cas, la polarisation de l'onde est dite circulaire. En pratique, une onde est considérée de polarisation circulaire lorsque le rapport axial est inférieur à 3 dB.
- [0096] Cette [Fig.4] montre que le gain RHCP à la fréquence souhaitée de 1575 MHz est privilégié, le gain LHCP présentant un minimum à 1575 MHz.
- [0097] L'analyse de la troisième courbe montre que le rapport axial reste inférieur à 3 dB, ce qui confirme une bonne pureté de polarisation circulaire à la fréquence souhaitée.
- [0098] Dans ce premier exemple, le rayonnement de l'antenne 10 est optimisé sans le recours à un circuit d'excitation complexe et coûteux grâce à la mise en œuvre de composants de charges $Z1$, $Z2$ et $Z3$ aux valeurs optimisées sur les dipôles couplés 14C.
- [0099] En outre, l'antenne 10 peut être imprimée sur un substrat plat, ce qui permet de réduire l'encombrement et de faciliter l'intégration à n'importe quel système.
- [0100] Il peut être remarqué que cet agencement présente l'avantage de fonctionner sur différentes bandes de fréquences moyennant une homothétie géométrique et un recalcul des charges.

Exemple 2 : Antenne pour les bandes L1 et L2

- [0101] L'antenne 10 selon le deuxième exemple est représentée schématiquement sur la [Fig.5].
- [0102] L'antenne 10 comporte deux réseaux antennaires 12_1 et 12_2.
- [0103] Le premier réseau antenne 12_1 présente une forme similaire au réseau antenne 12 de la [Fig.1].
- [0104] Toutefois, il est dimensionné pour fonctionner sur la bande de fréquences L2 et plus spécifiquement autour de la fréquence centrale de 1225 MHz.
- [0105] Dans ce cas, le premier dipôle couplé 14C1 est relié à une première charge $Z1$ capacitive de 0,5 pF, le deuxième dipôle couplé 14C2 est relié à une deuxième charge $Z2$ résistive de 1 M Ω et le troisième dipôle couplé 14C3 à une troisième charge $Z3$ ca-

capacitive de 3,3 pF.

- [0106] Le deuxième réseau antenne 12_2 présente la même architecture que le réseau antenne 12 de la [Fig.1].
- [0107] Toutefois, le dipôle alimenté 14A est remplacé par un dipôle couplé 14C, de sorte que le deuxième réseau antenne 12_2 comporte quatre dipôles couplés 14C.
- [0108] En référençant les dipôles similairement au cas du premier réseau antenne 12_1 en continuant la numérotation, le deuxième réseau antenne 12_2 comporte :
- un quatrième dipôle couplé 14C4 à proximité du dipôle alimenté 14A qui est relié à une quatrième charge Z4 capacitive de 1,8 pF,
 - un cinquième dipôle couplé 14C5 à proximité du premier dipôle couplé 14C1 qui est relié à une cinquième charge Z5 capacitive de 0,5 pF,
 - un sixième dipôle couplé 14C6 à proximité du deuxième dipôle couplé 14C2 qui est relié à une sixième charge Z6 inductive de 24 nH, et
 - un septième dipôle couplé 14C7 à proximité du troisième dipôle couplé 14C3 qui est relié à une septième charge Z7 capacitive de 22 pF.
- [0109] En l'espèce, les valeurs des impédances des charges Z1 à Z7 ont été choisies pour obtenir un rayonnement à polarisation circulaire dans les deux bandes de fréquences.
- [0110] Plus précisément, les valeurs des impédances des charges Z1 à Z7 sont choisies pour que le rayonnement respecte les trois mêmes conditions que pour le premier exemple mais pour les deux bandes de fréquences L1 et L2.
- [0111] D'un point de vue pratique, les dimensions de l'antenne 10 sont de 8 cm par 8 cm. L'antenne 10 est imprimée par lithographie (gravure de cuivre sur substrat diélectrique)
- [0112] Les figures 6 à 8 présentent les performances obtenues avec l'antenne 10 selon le deuxième exemple.
- [0113] La [Fig.6] présente deux courbes, une première courbe C1 en trait plein représentant l'évolution avec la fréquence du gain de l'antenne pour une polarisation circulaire droite dans la direction du zénith (selon l'axe Z) et une deuxième courbe C2 en trait pointillés illustrant la variation du rapport axial avec la fréquence.
- [0114] Il apparaît que le gain est bien optimisé pour les deux fréquences précitées de 1225 MHz et 1575 MHz.
- [0115] Avec la deuxième courbe C2 de la [Fig.6], il peut également être constaté que le rapport axial est minimisé sur les bandes L1 et L2. Cela permet d'assurer la réception des signaux satellite à des fréquences différentes utilisées pour améliorer par traitement des signaux la précision de géolocalisation.
- [0116] Les figures 7 et 8 présentent les diagrammes de rayonnement dans deux plans de coupes différents et ce pour chaque polarisation. La [Fig.7] correspond à la fréquence de 1225 MHz (bande L2) tandis que la fréquence 8 correspond à la fréquence de 1575

MHz (bande L1).

[0117] Dans chacun des cas, il est observé que le gain RHCP dans la demi-sphère supérieure est privilégié et que le gain LHCP est minimisé.

[0118] L'optimisation adaptée des charges Z1 à Z7 associées au double réseau 12_1 et 12_2 de dipôles en L permet d'obtenir un rayonnement conforme aux exigences d'un système GNSS conjointement sur 2 bandes de fréquences sans le recours à un circuit d'excitation complexe (ici il y a uniquement un port d'accès à l'antenne). Cette simplicité privilégie l'encombrement et permet de réduire les coûts de fabrications.

Généralisation

[0119] La [Fig.9] montre de manière schématique que les dipôles 14 peuvent être agencés différemment que ce qui été présenté précédemment pour permettre un couplage entre eux.

[0120] Les agencements ont été représentés de manière simplifiée dans cette figure pour bien comprendre le propos.

[0121] Plus précisément, il est représenté sur la figure six agencements différents, numérotés en chiffres romains de I à VI.

[0122] Le premier agencement I correspond à celui de la [Fig.1] tandis que le deuxième agencement II correspond à celui de la [Fig.5]. Ces agencements sont uniquement repris pour faciliter la comparaison avec les agencements III à VI.

[0123] Le troisième agencement III propose d'éloigner les points d'accès 15 de sorte que les points d'accès 15 forment non plus un carré mais un rectangle. En l'espèce, le dipôle alimenté 14A et le premier dipôle couplé 14C1 ont été éloignés selon la deuxième direction transversale Y des deuxième et troisième dipôles couplés 14C2 et 14C3.

[0124] Dans l'exemple du quatrième agencement IV, un quatrième dipôle couplé 14C est ajouté de sorte que les points d'accès 15 forment un pentagone régulier.

[0125] Dans l'exemple du cinquième agencement V, le troisième dipôle couplé 14C3 est supprimé de sorte que les points d'accès 15 forment un triangle équilatéral.

[0126] Le sixième agencement VI correspond au même cas que celui de l'agencement V sauf que les brins 16 et 18 ne sont plus rectilignes mais curvilignes. Plus généralement, il est possible d'envisager toute forme pour les brins 16 et 18, notamment avec des méandres ou des repliements, pourvus que les brins 16 et 18 voisins soient suffisamment proches pour assurer un couplage.

[0127] Ainsi, dans chacun des agencements de la [Fig.9], les points d'accès 15 sont agencés pour former un polygone, le premier brin 16 d'un dipôle 14 s'étendant le long du deuxième brin 18 d'un dipôle 14 voisin sur le polygone à une distance inférieure ou égale au dixième de la longueur d'onde de fonctionnement. La distance est dans ce cas définie comme la distance minimale entre deux points des deux brins 16 et 18.

[0128] Cela permet d'obtenir une antenne 10 capable d'émettre des ondes radiofréquences

de polarisation circulaire et présentant un encombrement réduit. Selon des cas particuliers, la polarisation de l'antenne 10 est une polarisation RHCP ou LHCP.

- [0129] Ainsi, une telle antenne est particulièrement adaptée pour de multiples applications parmi lesquelles les systèmes de positionnement par satellites quels que soient leur nature, la radio numérique par satellite, les communications avec des microsatellites en orbite basse, des lecteurs RFID, des radars ou des systèmes de communication entre véhicules.
- [0130] Il peut également être envisagé des variantes avec un nombre de dipôles 14 moindre dans le réseau antenne 12.
- [0131] En particulier, il est possible de considérer une variante à deux dipôles, un dipôle alimenté et un dipôle couplé.
- [0132] Cela permet de diminuer encore l'encombrement.
- [0133] Selon un mode de réalisation particulier, le nombre de dipôles 14 dans le réseau antenne 12 est plus élevé, par exemple plus que 5.
- [0134] Cela permet de générer une polarisation circulaire de meilleure qualité et d'adresser plus de bandes de fréquences.
- [0135] Selon un mode de réalisation, ces performances sont encore améliorées par un motif d'antennes symétriques, c'est-à-dire que les dipôles 14 sont agencés de manière symétrique par rapport à un axe et que les lignes réalisant l'alimentation sont parallèles à cet axe, comme cela est le cas pour l'agencement de la [Fig.5] où l'axe correspond à une direction à 45°.
- [0136] Comme expliqué précédemment, il est possible d'imprimer les motifs sur un matériau diélectrique rigide ou flexible, ce qui facilite la mise en œuvre des antennes.
- [0137] Il peut même être envisagé d'imprimer les antennes directement sur le système équipé de l'antenne.
- [0138] Enfin, dans l'ensemble des modes de réalisations précédents, l'antenne 10 est décrite comme fonctionnant en émission, le lecteur comprendra bien que l'agencement de l'antenne 10 peut également être utilisé pour une antenne fonctionnant en réception.
- [0139] Pour cela, il suffit de relier le dipôle alimenté 14A à un récepteur propre à recevoir une onde à la fréquence de fonctionnement f_0 au lieu de le relier à une source propre à générer une onde à la fréquence de fonctionnement f_0 .
- [0140] Aussi, dans le cas général, un dipôle alimenté 14A est relié en un point d'accès 15 à un transmetteur radiofréquence propre à générer ou recevoir une onde à la fréquence de fonctionnement f_0 .

Revendications

[Revendication 1] Antenne radiofréquence (10) comportant au moins un réseau antenne (12, 12_1, 12_2) fonctionnant à une fréquence de fonctionnement (f_0), chaque réseau antenne (12, 12_1, 12_2) comprenant :

- un dipôle alimenté (14A), le dipôle alimenté (14A) étant relié en un point d'accès (15) à un transmetteur radiofréquence propre à générer ou recevoir une onde à la fréquence de fonctionnement (f_0),
- au moins un dipôle couplé (14C, 14C1, 14C2, 14C3, 14C4, 14C5, 14C6, 14C7), chaque dipôle couplé (14C, 14C1, 14C2, 14C3, 14C4, 14C5, 14C6, 14C7) étant relié en un point d'accès à une charge ($Z, Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7$) résistive et/ou capacitive et/ou inductive respective,

le dipôle alimenté (14A) et chaque dipôle couplé (14C, 14C1, 14C2, 14C3, 14C4, 14C5, 14C6, 14C7) comportant deux brins (16, 18), les brins (16, 18) s'étendant depuis le point d'accès (15), les points d'accès (15) étant agencés pour former un polygone, le premier brin (16) d'un dipôle (14) s'étendant le long du deuxième brin (18) d'un dipôle (14) voisin sur ledit polygone à une distance inférieure ou égale au dixième de la longueur d'onde (λ_0) correspondant à la fréquence de fonctionnement (f_0), ladite longueur d'onde étant dite longueur de fonctionnement (λ_0),

une direction étant définie pour chaque brin (16, 18), chaque dipôle couplé (14C, 14C1, 14C2, 14C3, 14C4, 14C5, 14C6, 14C7) étant agencés pour que chaque direction d'un brin (16, 18) présente une intersection avec une direction d'un autre brin (16, 18).

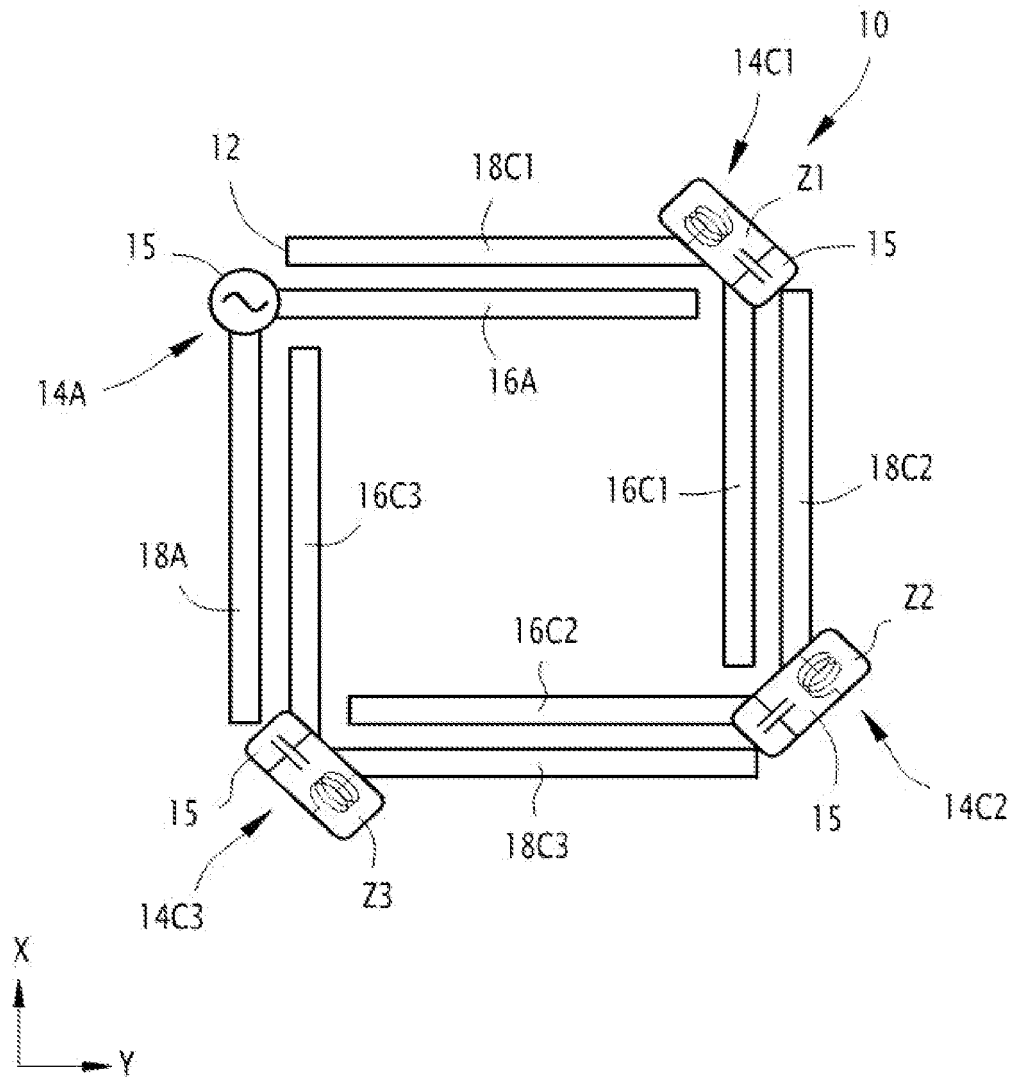
[Revendication 2] Antenne radiofréquence selon la revendication 1, dans lequel les deux brins (16, 18) présentent une longueur inférieure ou égale au quart de la longueur d'onde de fonctionnement (λ_0).

[Revendication 3] Antenne radiofréquence selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le premier brin (16) d'un dipôle (14) s'étend le long du deuxième brin (18) d'un dipôle (14) voisin sur ledit polygone à une distance inférieure ou égale au vingtième de la longueur d'onde de fonctionnement (λ_0).

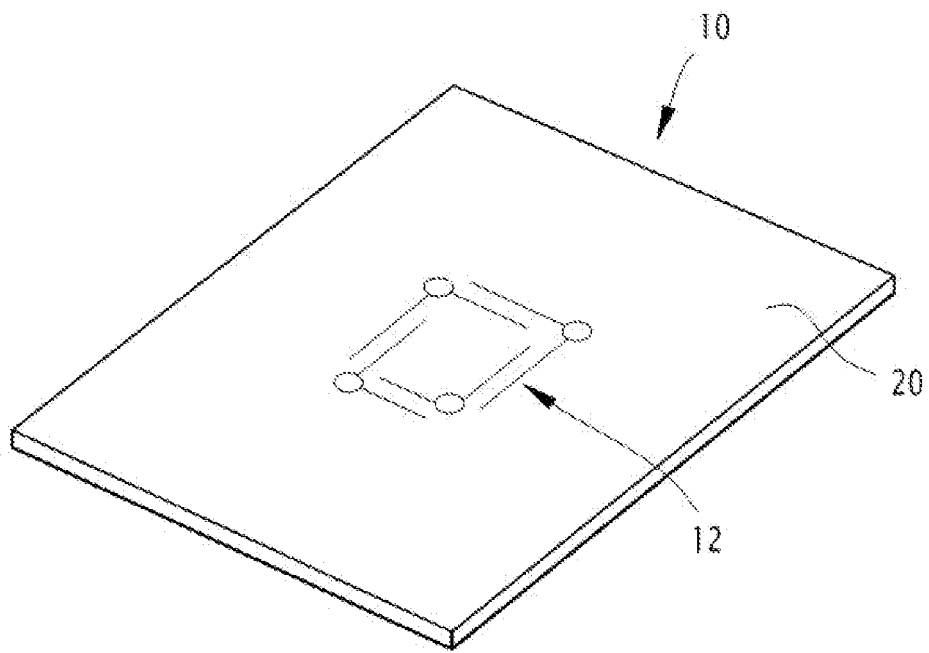
[Revendication 4] Antenne radiofréquence selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel les directions des deux brins (16,18) présentent entre elles

- un angle égal à 90° à 10% près, le dipôle alimenté (14A).
- [Revendication 5] Antenne radiofréquence selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le polygone est un polygone régulier.
- [Revendication 6] Antenne radiofréquence selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le nombre de dipôles couplés (14C, 14C1, 14C2, 14C3, 14C4, 14C5, 14C6, 14C7) d'un réseau antenne (12, 12_1, 12_2) est compris entre 2 et 4.
- [Revendication 7] Antenne radiofréquence selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel l'antenne radiofréquence (10) comporte deux réseaux antennaires (12, 12_1, 12_2), le polygone formé par les points d'accès (15) du deuxième réseau antenne (12, 12_2) étant inclus dans l'espace interne délimité par le polygone formé par les points d'accès (15) du premier réseau antenne (12_1), chaque réseau antenne (12, 12_1, 12_2) fonctionnant à une fréquence de fonctionnement respective.
- [Revendication 8] Antenne radiofréquence selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel l'antenne radiofréquence (10) comporte un plan réflecteur (20) situé à une distance inférieure ou égale au quart de la longueur d'onde de fonctionnement (λ_0).
- [Revendication 9] Antenne radiofréquence selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel les brins (16, 18) présentent des méandres ou des repliements.
- [Revendication 10] Antenne radiofréquence selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel les charges (Z, Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7) des dipôles couplés (14C, 14C1, 14C2, 14C3, 14C4, 14C5, 14C6, 14C7) sont choisies pour que :
- le rayonnement de l'antenne radiofréquence (10) présente une polarisation circulaire droite avec un gain maximum dans la direction perpendiculaire à l'antenne radiofréquence (10),
 - le rayonnement de l'antenne de l'antenne radiofréquence (10) présente une polarisation circulaire droite uniforme pour une ouverture d'élévation entre 90° et -90° autour de la direction perpendiculaire à l'antenne radiofréquence (10), et
 - le gain de la polarisation croisée est minimisé.
- [Revendication 11] Système, notamment système de positionnement par satellites, comportant au moins une antenne radiofréquence (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10.

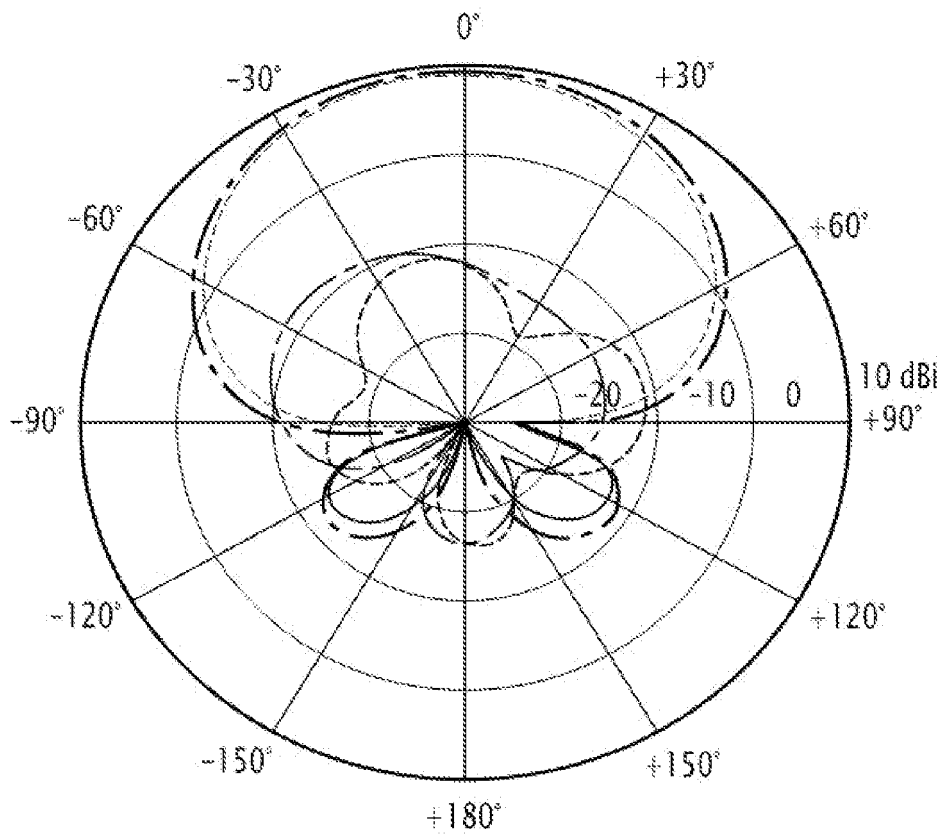
[Fig. 1]



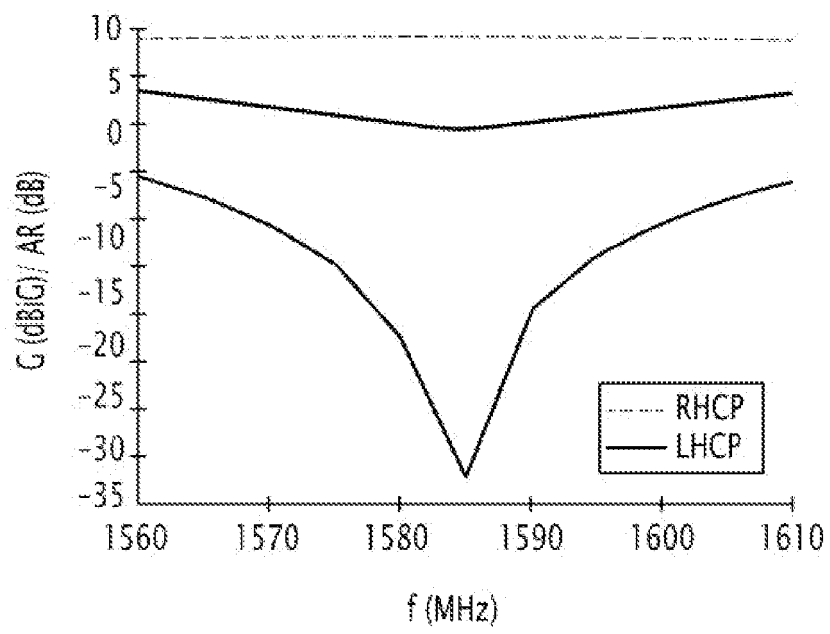
[Fig. 2]



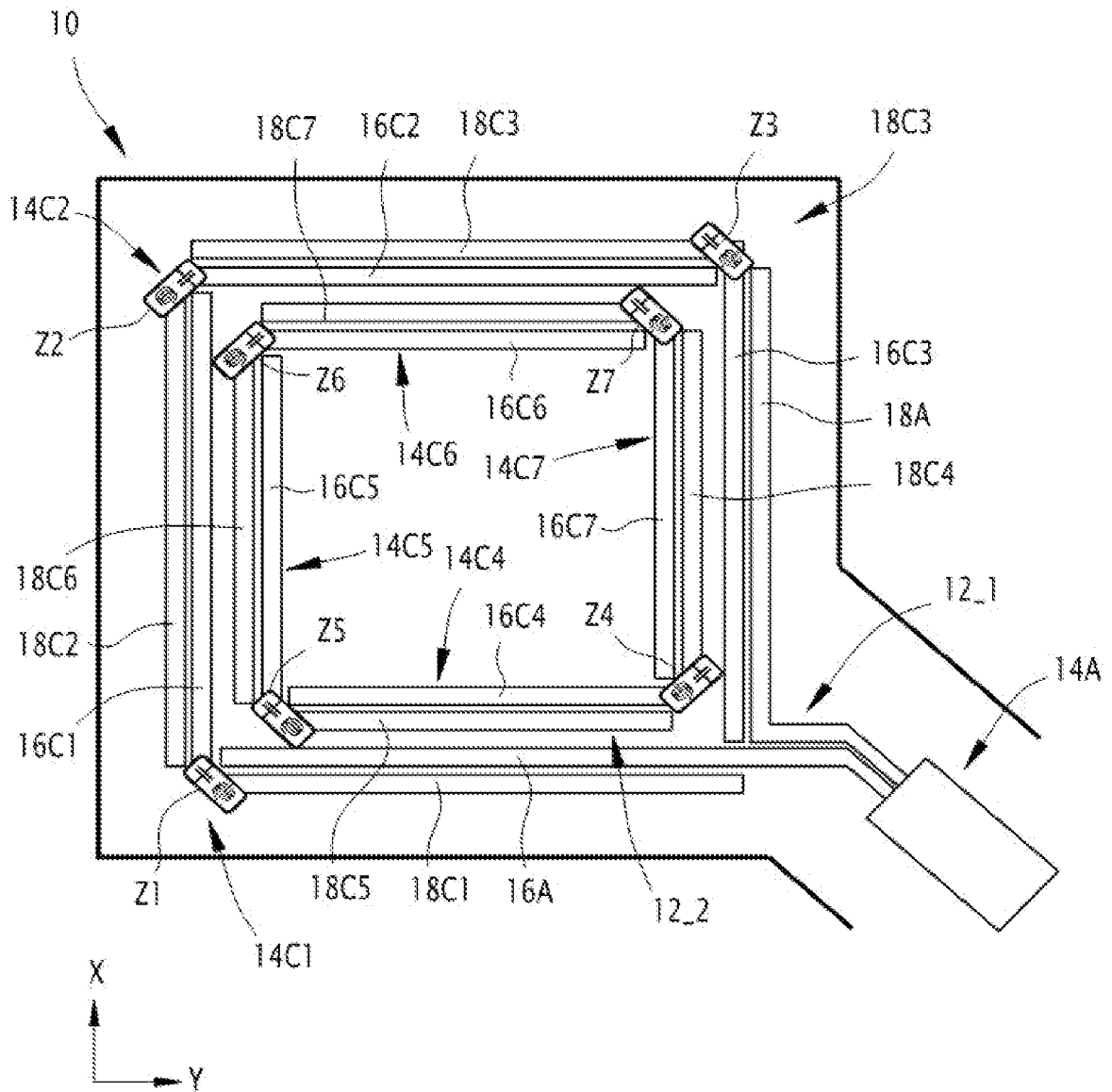
[Fig. 3]



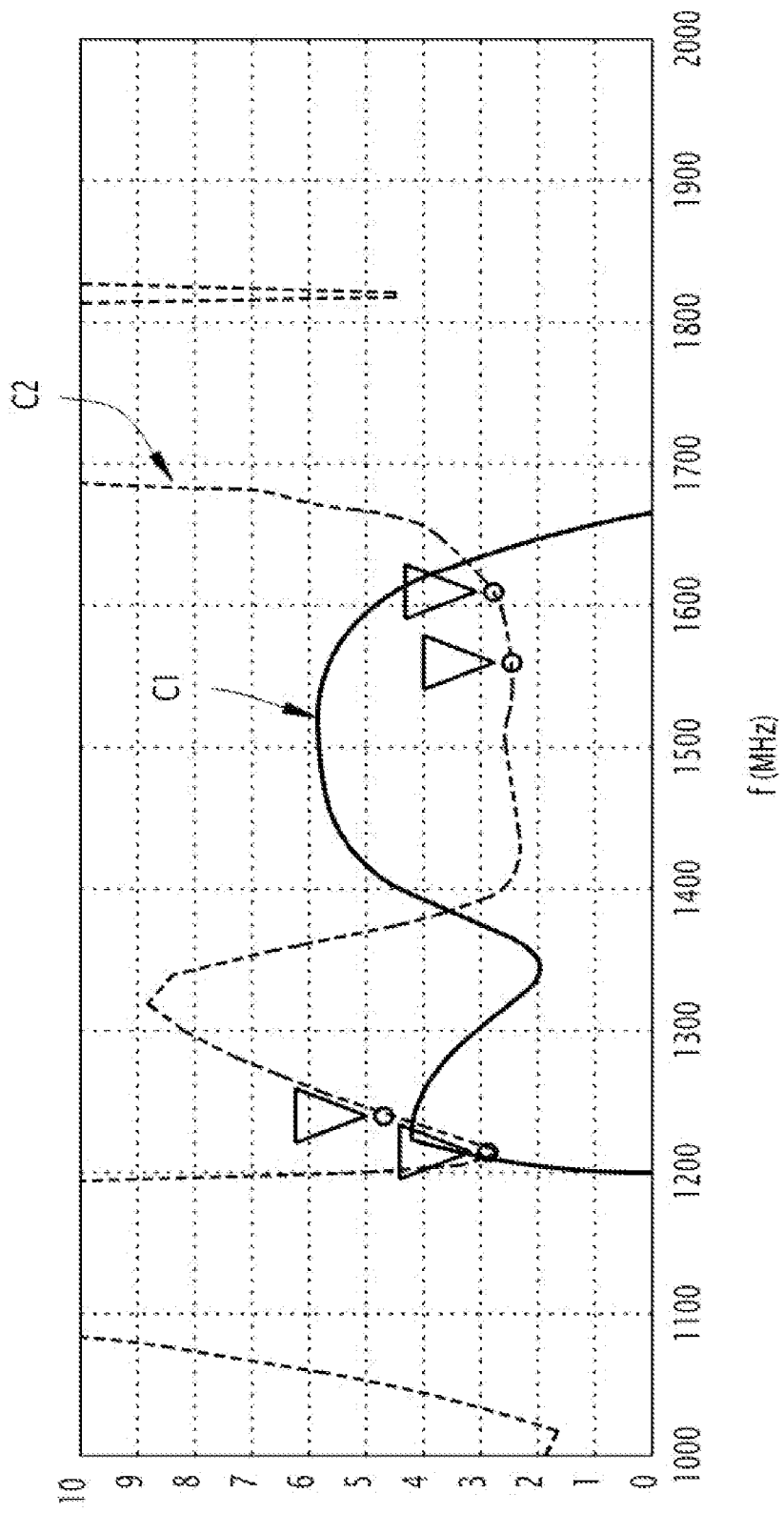
[Fig. 4]



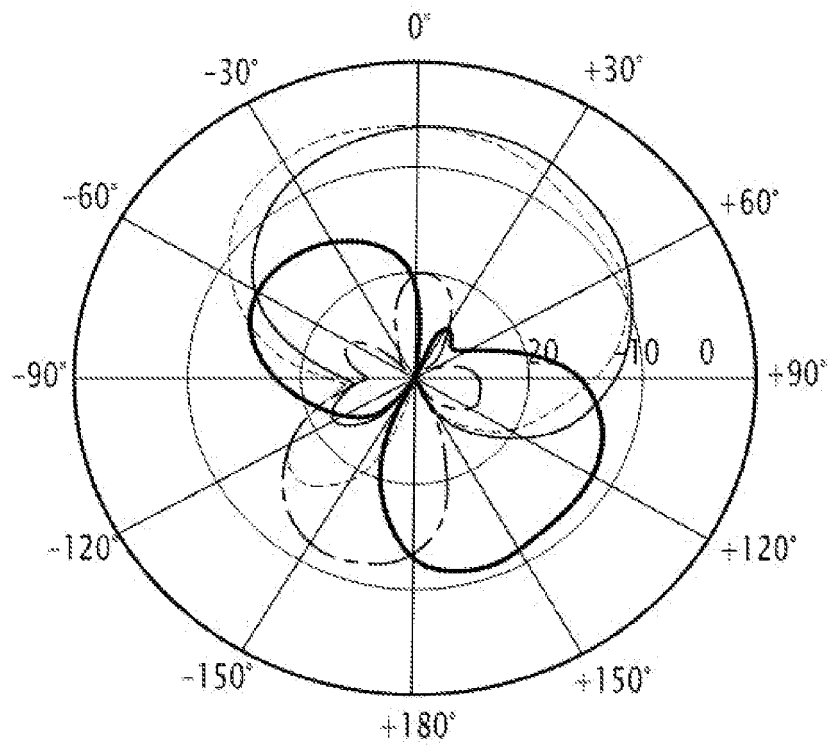
[Fig. 5]



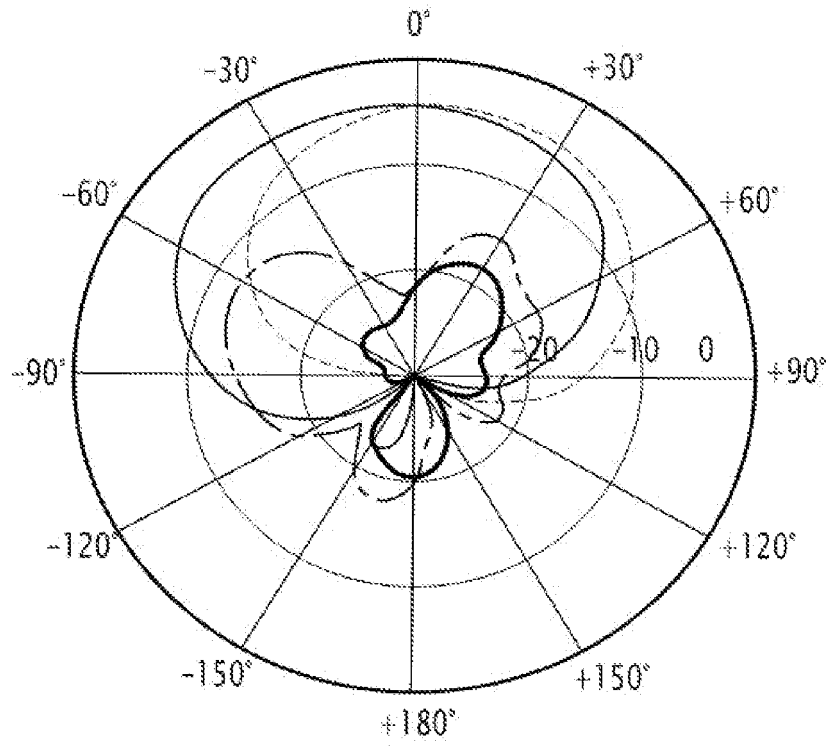
[Fig. 6]



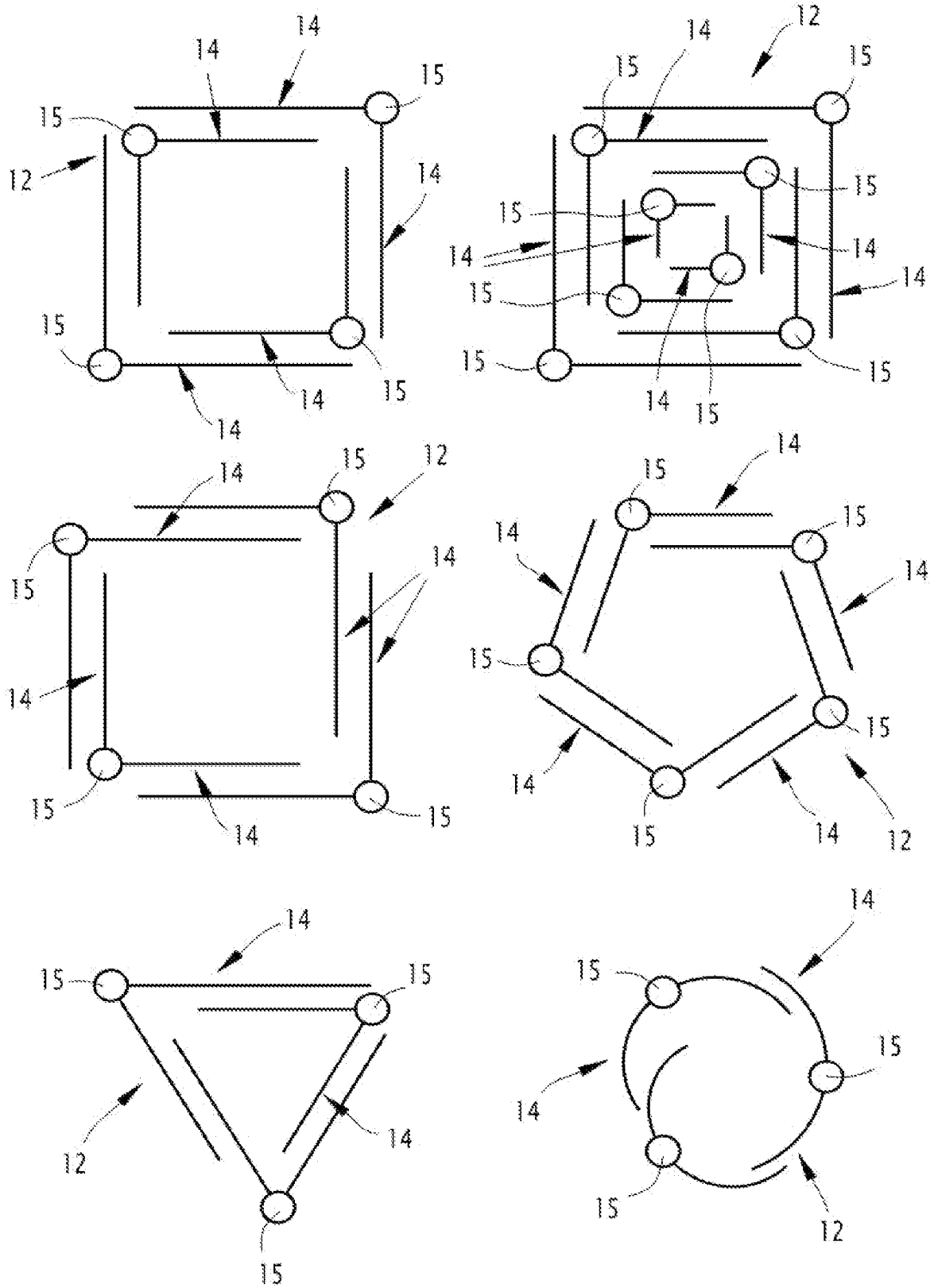
[Fig. 7]



[Fig. 8]



[Fig. 9]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.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'ETABLISSEMENT DU PRESENT 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 CITES DANS LE PRESENT 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

NEANT

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

EP 2 840 654 B1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 17 juin 2020 (2020-06-17)

GE LEI ET AL: "A magneto-electric dipole antenna with tunable H-plane beamwidth", 2016 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL ELECTROMAGNETICS (ICCEM), IEEE, 23 février 2016 (2016-02-23), pages 248-250, XP032978223, DOI: 10.1109/COMPEN.2016.7588583 [extrait le 2016-10-11]

CN 109 149 094 A (UNIV SHENZHEN) 4 janvier 2019 (2019-01-04)

JP 2000 341035 A (HARADA IND CO LTD) 8 décembre 2000 (2000-12-08)

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

NEANT