

(19)



(11)

EP 4 148 902 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
15.03.2023 Bulletin 2023/11

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H01Q 1/36 (2006.01) H01Q 9/27 (2006.01)
H01Q 17/00 (2006.01) H01Q 19/06 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **22193180.1**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H01Q 1/36; H01Q 9/27; H01Q 17/00; H01Q 17/001; H01Q 19/06

(22) Date de dépôt: **31.08.2022**

(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
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(30) Priorité: **09.09.2021 FR 2109426**

(71) Demandeurs:
• **THALES**
92400 Courbevoie (FR)
• **Indian Institute Of Science**
Bangalore 560012 (IN)
• **Université de Bretagne Occidentale**
29238 Brest (FR)
• **Centre national de la recherche scientifique**
75016 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
• **ROY, Aritra**
700103 West Bengal (IN)
• **MALLEGOL Stéphane, Stéphane**
29238 BREST (FR)
• **RENARD, Christian**
78851 ELANCOURT (FR)
• **QUENDO, Cédric**
29290 SAINT RENAN (FR)
• **MARTIN, Noham**
29520 LAZ (FR)
• **LAUR, Vincent**
29238 BREST (FR)

(74) Mandataire: **Atout PI Laplace**
Immeuble "Visium"
22, avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

(54) **SYSTEME ELECTROMAGNETIQUE AVEC DEVIATION ANGULAIRE DU LOBE PRINCIPAL DE RAYONNEMENT D'UNE ANTENNE**

(57) L'invention concerne un système d'antenne comprenant : un plan de masse avec une cavité recouverte d'un substrat diélectrique, magnétique ou magnéto-diélectrique ; une antenne disposée sur la

cavité ; une couronne périphérique absorbante disposée entre l'antenne et les parois de la cavité ; une demi-lentille absorbante, comprenant un élément de base couvrant sensiblement la moitié de la cavité

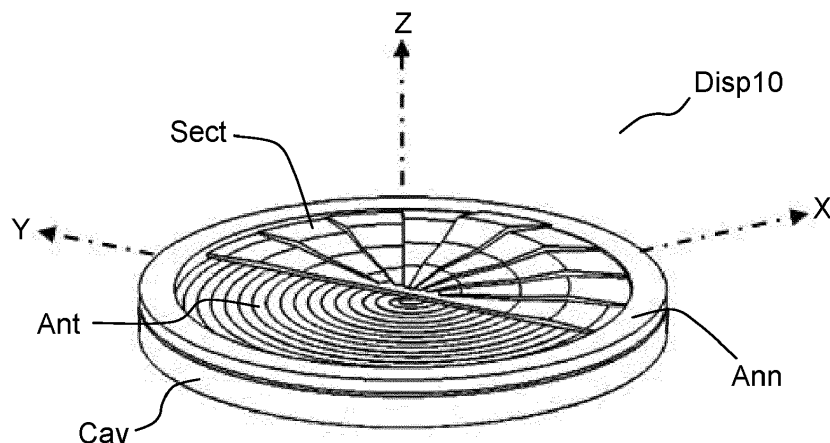


FIG.10

EP 4 148 902 A1

Description

Domaine de l'invention

[0001] La présente invention concerne le domaine des antennes. Plus spécifiquement, elle concerne le contrôle du diagramme de rayonnement, et en particulier de la direction angulaire du lobe principal de rayonnement d'antennes.

Etat de l'art précédent

[0002] Dans un système aéroporté et/ou naval, la communication électromagnétique est le mode de communication dominant en raison de sa précision, de sa facilité de contrôle et de sa large gamme de fonctionnalités. Une antenne est un élément essentiel d'un système sans fil. A des fins de communications, une antenne est idéalement une antenne large bande et polarisée circulairement ou polarisée linéairement double.

[0003] En raison de la contrainte d'espace sur les porteurs, un système d'antenne doit être aussi compact que possible. A cet effet, l'une des solutions possibles consiste à placer l'antenne dans une cavité compacte. La cavité rend le rayonnement unidirectionnel et assure à l'antenne un blindage électromagnétique vis-à-vis des systèmes électroniques environnants.

[0004] Cependant, une cavité compacte peut détériorer le mécanisme de rayonnement naturel de l'antenne, entraînant une mauvaise adaptation, une mauvaise polarisation, des ondulations dans le gain rayonné, etc... Une structure envisageable consiste à disposer une antenne spirale sur une cavité remplie d'un absorbant électromagnétique. Une telle antenne a un diagramme de rayonnement unidirectionnel, dans la direction de la ligne de visée, c'est-à-dire le long de l'axe radioélectrique de l'antenne.

[0005] Lorsqu'une antenne placée sous un aéronef volant est orientée vers le sol, le faisceau ou lobe principal de rayonnement de l'antenne doit être orienté légèrement vers l'avant (par exemple) plutôt que directement vers le sol, c'est-à-dire qu'il doit être orienté vers l'avant avec un angle par rapport à la perpendiculaire du sol.

[0006] Un autre objectif de cette déviation angulaire est d'éviter les interférences entre les différentes antennes de l'aéronef, y compris entre une antenne en émission et une antenne en réception. En effet, des antennes à large bande de fréquence ont habituellement des lobes de rayonnement assez larges, pouvant entraîner des interactions indésirables entre des antennes proches.

[0007] Dans le cadre d'un système d'antenne spirale chargé par un absorbant électromagnétique placé dans de la cavité d'antenne (la cavité d'antenne représentant la partie comprise entre la partie inférieure du substrat du circuit rayonnant et le plan réflecteur inférieur (ou plan de masse)), l'antenne est inclinée physiquement pour répondre à cette exigence. Cette inclinaison physique peut cependant ne pas être possible dans la conception

de l'aéronef sur lequel l'antenne doit être placée. L'utilisation d'un réseau d'antennes est une autre solution possible mais elle ne convient pas dans un environnement où l'espace est une contrainte forte.

[0008] Une autre solution consiste à appliquer une déviation angulaire au faisceau. La déviation électronique consiste à induire une déviation du faisceau principal par rapport à l'axe radioélectrique de l'antenne. Afin de pouvoir fonctionner sur une large bande de fréquences, une telle déviation électronique doit être cohérente sur une large gamme de fréquences, en maintenant une bonne adaptation, la pureté de la polarisation et sans dégradation du gain rayonné dans la direction voulue, afin que l'antenne puisse être qualifiée d'antenne à large bande de fréquences.

[0009] La problématique de la déviation du faisceau d'une antenne a été partiellement adressée par l'art antérieur.

[0010] La demande de brevet américaine publiée sous le numéro US 6,947,010 divulgue une antenne ayant une structure en spirale excentrique. Le principe de conception de cette antenne est similaire à celui d'une antenne spirale d'Archimède sauf que d'un côté les espaces entre les brins sont plus grands que ceux de l'autre côté. Ce dispositif permet d'orienter le faisceau de l'antenne, mais présente l'inconvénient d'être encombrant et de ne pas pouvoir assurer une déviation uniforme sur une large bande de fréquences.

[0011] Le papier P. Deo, A. Mehta, D. Mirshekar-Syahkal and H. Nakano, "An HIS-Based Spiral Antenna for Pattern Reconfigurable Applications," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 8, pp. 196-199, 2009, divulgue une antenne en spirale à un brin avec quatre commutateurs à circuit ouvert placée sur une structure à haute impédance pour obtenir un angle de balayage de 360°. Les quatre commutateurs sont activés et désactivés pour obtenir une orientation du faisceau dans différentes directions. Cependant, ce système ne fonctionne que pour une antenne monobrin, à une fréquence unique. De plus, la déviation angulaire souhaitée n'est pas toujours bien respectée en fonction des combinaisons de commutateurs et angles souhaités. Cette solution présente également l'inconvénient de nécessiter des éléments actifs pour piloter les commutateurs.

[0012] Les documents H. Nakano, T. Abe and J. Yamauchi, "A Metaspiral Antenna for Azimuthal Beam Steering," 2019 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Xi'an, China, 2019, pp. 1-3, et Tomoki Abe, Junji Yamauchi, Hisamatsu Nakano, Steering of the Circularly Polarized Beam from a Spiral Antenna, IEICE Communications Express, Article ID 2019SPL0014, [Advance publication] Released February 20, 2020, Online ISSN 2187-0136 divulguent également des solutions de déviation angulaire d'un faisceau d'antenne. Dans le premier des documents, une antenne en spirale rectangulaire en métamatériau est utilisée alors que dans le second une antenne en spirale à cavité conventionnelle est utilisée pour démontrer les perform-

ances de direction. Cependant, ces solutions sont intrinsèquement à bande étroite. Certaines combinaisons d'amplitudes et de phases d'entrée produisent en effet différents angles de déviation à différentes fréquences.

[0013] Cependant, aucun des systèmes de l'art antérieur n'est capable d'appliquer une déviation du faisceau, ni de modifier le lobe principal du diagramme de rayonnement d'une antenne à large bande filaire sur une large bande de fréquences.

[0014] Il y a donc besoin d'un système d'antenne apte à générer une déviation angulaire du faisceau de l'antenne sur une large bande de fréquence. Il y a également besoin d'un système d'antenne apte à générer une déviation du faisceau de l'antenne tout en limitant son encombrement.

Résumé de l'invention

[0015] A cet effet, l'invention a pour objet un système d'antenne comprenant : un plan de masse avec une cavité recouverte d'un substrat diélectrique, magnétique ou magnéto-diélectrique, la cavité comprenant une ouverture et des parois ; une antenne disposée sur le substrat diélectrique, magnétique ou magnéto-diélectrique ; une couronne périphérique absorbante disposée entre l'antenne et les parois ; une demi-lentille absorbante ayant une forme d'un secteur angulaire (ou segment angulaire), comprenant un élément de base couvrant sensiblement une première partie de l'ouverture de la cavité, une seconde partie de l'ouverture de la cavité n'étant pas couverte par ledit élément de base.

[0016] Avantageusement, la demi-lentille absorbante comprend un élément annulaire formant un prolongement de la couronne périphérique absorbante sur la seconde partie de l'ouverture.

[0017] Avantageusement, dans lequel la première partie de l'ouverture de la cavité correspond à la moitié de l'ouverture de la cavité

[0018] Avantageusement, la demi-lentille absorbante comprend au moins un élément secteur circulaire dont l'épaisseur varie en fonction de la distance au centre de la demi-lentille.

[0019] Avantageusement, la demi-lentille absorbante comprend une pluralité d'éléments secteur circulaire dont l'épaisseur est définie par une fonction croissante d'une distance angulaire des bords de la lentille.

[0020] Avantageusement, chaque élément secteur circulaire est défini par une fonction d'épaisseur croissant puis décroissant en fonction d'une distance au centre de la demi-lentille.

[0021] Avantageusement, un élément au moins parmi la couronne périphérique absorbante, et de la demi-lentille est faite d'un matériau diélectrique partiellement absorbant.

[0022] Avantageusement, le matériau diélectrique comprend partiellement du carbone.

[0023] Avantageusement, l'antenne est une antenne spirale, une antenne sinusoïde ou une antenne périodi-

que.

[0024] Avantageusement, l'antenne est une antenne définie par une spirale d'Archimède.

[0025] Avantageusement, l'antenne est une antenne large bande, permettant d'obtenir un angle de déviation substantiellement constant sur l'ensemble de la bande de fréquence de fonctionnement de l'antenne.

[0026] Avantageusement, le système d'antenne comprend : un premier dispositif comprenant le plan de masse, l'antenne et la couronne périphérique absorbante ; un deuxième dispositif comprenant la demi-lentille absorbante.

[0027] D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite en référence aux dessins annexés donnés à titre d'exemple et qui représentent, respectivement :

[Fig.1a] un premier exemple de système d'antenne dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[Fig.1b], un deuxième exemple de système d'antenne dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[Fig.2], un exemple d'antenne spirale dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[Fig.3], un exemple de section dite de référence d'un système d'antenne dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[Fig.4], un exemple de cavité métallique dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[Fig.5], un exemple de couronne périphérique absorbante dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[Fig.6], un exemple d'élément de base d'une demi-lentille absorbante dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[Fig.7], un exemple d'élément annulaire dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[Fig.8], un exemple d'un ensemble d'éléments secteurs circulaires d'une demi-lentille absorbante dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[Fig.9], un exemple de vue de profil d'un ensemble d'éléments secteurs circulaires d'une demi-lentille absorbante dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[Fig.10], un exemple de vue d'ensemble d'un système d'antenne comprenant un ensemble d'éléments secteurs circulaires d'une demi-lentille absorbante

dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[Fig.11a], un exemple de diagrammes de rayonnement d'une antenne de l'état de l'art selon différentes fréquences, sans déviation du faisceau de l'antenne ;

[Fig.11b], un exemple de diagrammes de rayonnement d'une antenne selon différentes fréquences, avec déviation du faisceau de l'antenne par un système d'antenne dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[Fig.12], deux coupes d'une représentation 3D du lobe principal du diagramme de rayonnement d'une antenne dévié par un système d'antenne dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[Fig.13], un exemple d'un angle de déviation obtenu par un système d'antenne en fonction de la fréquence dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[Fig.14], un exemple d'un angle de déviation angulaire obtenu par un système d'antenne en fonction de la fréquence dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[Fig.15], un exemple de gain de l'antenne obtenu par un système d'antenne en fonction de la fréquence dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[Fig.16], un exemple de rapport axial obtenu par un système d'antenne en fonction de la fréquence dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[Fig.17], un exemple de largeur de lobe à -3dB obtenu par un système d'antenne en fonction de la fréquence dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[Fig.18], un exemple d'adaptation d'impédance obtenue par un système d'antenne en fonction de la fréquence dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0028] La figure 1a représente un premier exemple de système d'antenne dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0029] Le système d'antenne Sys1a comprend un plan de masse avec une cavité cylindrique Cav emplie d'un substrat diélectrique, magnétique ou magnéto-diélectrique. La cavité comprend une ouverture et des parois. Le système d'antenne Sys1a comprend également une antenne Ant disposée sur le substrat diélectrique, magnétique ou magnéto-diélectrique.

[0030] L'invention sera décrite par le biais d'exemple où l'antenne est une antenne planaire, mais l'invention n'est pas restreinte à ces exemples, et des antennes 3D pourraient être utilisées.

[0031] Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, le substrat est un substrat diélectrique dit à faible perte, par exemple un substrat dont la tangente d'angle de perte diélectrique ($\tan\delta$) est inférieure à 10^{-2} . Ce substrat peut aussi être soit magnétique, soit magnéto-diélectrique.

[0032] La cavité peut également être emplie d'absorbant électromagnétique et/ou un film résistif partiel peut être placé dans celle-ci.

[0033] L'antenne Ant peut être de différents types, par exemple une antenne planaire. Par exemple, l'antenne planaire Ant peut être une antenne spirale, une antenne sinueuse ou une antenne périodique plane. Elle peut par exemple être formée de différents anneaux de courant correspondant à différentes fréquences, le périmètre d'un anneau donné étant égal à la longueur d'onde de la fréquence correspondante. Les anneaux extérieurs correspondant donc à des basses fréquences, et les anneaux intérieurs à de hautes fréquences.

[0034] Ce type de spirale permet donc de faire fonctionner l'antenne sur une large bande de fréquences, au sein de laquelle les différents anneaux contribuent au rayonnement pour différentes fréquences en fonction de leur diamètre (pour une longueur d'onde λ , c'est une zone en forme d'anneau de circonférence λ qui va contribuer au rayonnement).

[0035] L'antenne Ant peut être une antenne en émission ou en réception.

[0036] La figure 2 représente un exemple d'antenne spirale dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0037] Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, l'antenne présente par exemple la forme d'une spirale d'Archimède définie par l'équation $r(\varphi) = e^{a\varphi}$, où $r(\varphi)$ est le rayon de la spirale à un emplacement φ , et a est une constante.

[0038] La figure 2 représente un exemple d'une telle antenne spirale comportant deux brins Brin1 et Brin2, ladite antenne étant imprimée sur le substrat diélectrique Subs d'épaisseur $h1$ et de diamètre $d1$.

[0039] Les axes X, Y et Z représentent trois axes d'un repère orthogonal, où Z est l'axe de l'antenne. Les axes X et Y correspondent au plan de l'antenne, et peuvent être définis par exemple par la géométrie des points d'excitation de la spirale. Par convention, ces mêmes trois axes X, Y et Z seront représentés sur plusieurs figures. Pour faciliter l'intelligibilité de la description, on considérera que le « haut » du système correspondra à des valeurs élevées sur l'axe z, et le « bas » à des valeurs faibles. Ainsi, un élément sera considéré « sur » ou « au-dessus » d'un autre si sa position est plus élevée sur l'axe z, et au contraire « sous » ou « en-dessous » d'un autre si sa position est plus faible sur l'axe z.

[0040] La figure 3 représente un exemple d'une section

dite de référence d'un système d'antenne dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0041] La section dite de référence comprend une cavité métallique Cav, sur laquelle est disposé le substrat diélectrique Subs dans lequel l'antenne planaire Ant est imprimée. Comme indiqué ci-dessus, l'antenne peut fonctionner à différentes fréquences, et, à une fréquence donnée, c'est une zone spécifique de l'antenne qui va participer au rayonnement. Par exemple, dans une antenne spirale, pour une longueur d'onde λ , c'est une zone en forme d'anneau de circonférence λ qui va contribuer au rayonnement.

[0042] Le système d'antenne Sys1a comprend également une couronne périphérique absorbante, non visible sur la figure 3, disposée entre l'antenne et les parois de la cavité.

[0043] La couronne périphérique absorbante permet de piéger les effets de bouts de brins, c'est-à-dire limiter l'effet de circuit ouvert. En effet, ces effets, en se recombinant localement avec le reste du circuit rayonnant vers le centre de l'antenne, peuvent notamment engendrer une désadaptation et une perte d'efficacité de rayonnement suivant la fréquence.

[0044] Revenant à la figure 1a, Le système d'antenne Sys1a comprend également une demi-lentille absorbante Lent1a ayant une forme d'un secteur angulaire et comprenant un élément de base couvrant sensiblement une première partie de l'ouverture de la cavité, une seconde partie de l'ouverture de la cavité n'étant pas couverte par ledit élément de base.

[0045] Dans certains modes de réalisation, la première partie de l'ouverture de la cavité correspond à la moitié de l'ouverture de la cavité.

[0046] Par exemple, la demi-lentille absorbante peut couvrir :

- Entre 45% et 55% de la surface de la cavité ;
- Et, plus préférentiellement, entre 48% et 52% de la surface de la cavité ;
- Et, plus préférentiellement, entre 49% et 51% de la surface de la cavité ;
- Et, plus préférentiellement, entre 49,5% et 50,5% de la surface de la cavité ;
- Et, plus préférentiellement, entre 49,9% et 50,1% de la surface de la cavité ;
- Et, plus préférentiellement, la moitié de la surface de la cavité.

[0047] Ainsi, les ondes électromagnétiques émises par l'antenne seront affectées, dans la moitié de cavité couverte par la demi-lentille, d'un décalage de phase, alors qu'elles ne seront pas modifiées dans la moitié non couverte par la demi-lentille.

[0048] Ceci crée un déséquilibre de phase et d'amplitude entre les deux moitiés de l'ouverture de la cavité, générant ainsi une déviation par rapport à l'axe de l'antenne.

5 **[0049]** Ceci permet donc d'obtenir une déviation du faisceau de l'antenne, tout en conservant un système compact et passif.

10 **[0050]** La couronne périphérique absorbante, et la demi-lentille absorbante peuvent être solidaires, et former un élément absorbant unique, ou être formées de deux éléments distincts.

[0051] La couronne périphérique absorbante, et la demi-lentille absorbante peuvent être faites d'un matériau diélectrique partiellement absorbant.

15 **[0052]** Par exemple, un matériau absorbant comprenant du carbone peut être utilisé. Ce type de matériau présente l'avantage, de disposer de propriété absorbantes tout en étant compatible avec l'impression 3D, ce qui rend le système d'antenne plus flexible à reproduire et modifier.

20 **[0053]** Plus généralement, la demi-lentille peut être solidaire de la cavité Cav et de l'antenne Ant, auquel cas le système Sys1a est formé d'un dispositif unique.

25 **[0054]** Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, la demi-lentille peut au contraire être située dans un dispositif indépendant de celui de l'antenne.

30 **[0055]** Par exemple, la demi-lentille peut être disposée légèrement au-dessus de l'antenne. Ceci permet d'intégrer la demi-lentille à des dispositifs d'antenne déjà existant. Par exemple, la demi-lentille peut être intégrée à un radôme venant s'ajouter au-dessus d'une antenne préexistante.

35 **[0056]** La figure 4 représente un exemple de cavité métallique dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0057] Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, la cavité Cav est de forme cylindrique, avec a un diamètre d1 et une hauteur h2. La cavité métallique a un fond 410 et des parois métalliques 420.

40 **[0058]** Cependant, cette forme est donnée à titre d'exemple non limitatif uniquement, et d'autres formes de cavité peuvent être envisagées. Par exemple, la cavité peut être carrée. Le plan de masse de la cavité peut être plan ou non. Dans ce dernier cas, la profondeur de la cavité peut être plus faible vers le centre de celle-ci. Par exemple, la cavité peut être de forme conique.

45 **[0059]** La figure 5 représente un exemple de couronne périphérique absorbante dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

50 **[0060]** Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, la couronne périphérique absorbante Cour se présente sous la forme d'un cylindre creux.

[0061] Dans l'exemple de la figure 5, le cylindre creux a une hauteur h2, et un diamètre extérieur d1 respectivement identiques aux hauteur et diamètre extérieur de la cavité métallique Cav représentée en figure 4, et une épaisseur w1, correspondant à un diamètre intérieur d1 - w1.

[0062] La couronne périphérique absorbante représentée en figure 5 peut donc être placée dans la cavité métallique représentée en figure 4, et absorber les ondes électromagnétiques entre l'antenne et la latérale 420 de la cavité métallique.

[0063] La figure 6 représente un exemple d'élément de base d'une demi-lentille absorbante dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0064] L'élément de base Bas de la demi-lentille absorbante se présente ici comme un demi-cylindre d'épaisseur h_4 et de diamètre $d_2 > d_1$. L'élément de base peut donc obturer la moitié de la cavité métallique.

[0065] L'élément de base contribue ainsi à la déviation du faisceau.

[0066] L'élément de base peut, dans certains modes de réalisation, servir de support à d'autres éléments de la lentille tels que ceux représentés en figure 8

[0067] Dans d'autres modes de réalisation de l'invention, l'élément de base est le seul élément de la demi-lentille obturant la cavité métallique. Dans ces modes de réalisation, la hauteur de l'élément de base peut être définie en fonction de la déviation désirée du faisceau. En particulier, certaines hauteurs peuvent favoriser la déviation du faisceau dans certaines bandes de fréquences ; la hauteur h_4 peut donc être définie en fonction d'une bande de fréquence à dévier de manière préférentielle.

[0068] Le design de l'élément de base présenté en figure 6 est fourni à titre d'exemple uniquement, et d'autres designs sont possibles. Par exemple, l'élément de base peut être formé d'un demi-cylindre de diamètre d_1 rentrant légèrement dans la cavité métallique, ou l'élément annulaire représenté en figure 7, et un demi-cylindre de diamètre d_2 comme représenté en figure 6. De manière générale, le design de l'élément de base peut obéir aux considérations suivantes :

- l'élément de base doit obturer la moitié de la cavité métallique, ou la moitié de la partie creuse de la couronne périphérique annulaire ;
- l'élément de base peut avoir une hauteur constante, pour la partie venant obturer la cavité métallique, ou la moitié de la partie creuse de la couronne périphérique annulaire.

[0069] La figure 7 représente un exemple d'élément annulaire dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0070] Dans ensemble de modes de réalisation de l'invention, la demi-lentille absorbante est disposée sur un élément annulaire formant un prolongement de la couronne périphérique absorbante hors de la cavité jusqu'à l'élément de base. Selon les modes de réalisation de l'invention, la demi-lentille absorbante et l'élément annulaire peuvent être solidaires et former un élément unique, ou être deux éléments distincts juxtaposés.

[0071] Dans l'exemple de la figure 7, l'élément annu-

laire Ann se présente comme un cylindre creux de diamètre extérieur d_1 , d'épaisseur w_1 et de hauteur h_3 . Il s'agit donc d'un demi-cylindre creux de même diamètre extérieur et épaisseur que le demi-cylindre creux de la couronne périphérique représentée en figure 5, qui vient prolonger celle-ci hors de la cavité métallique, jusqu'à l'élément de base Bas, et donc former un support de l'élément de base Bas.

[0072] Cet élément annulaire absorbe donc les réflexions de l'antenne, tout fixant les autres éléments de la lentille et maintenant une distance fixe entre l'antenne et l'élément de base de la demi-lentille.

[0073] Lorsque la demi-lentille et l'élément annulaire sont joints, ceci permet de plus de réaliser la demi-lentille sans nécessiter d'interface mécanique entre sa face inférieure et la face supérieure du circuit rayonnant. Autrement dit, l'association monobloc de la demi-lentille et de l'élément annulaire ces deux éléments (par exemple par impression 3D) permet de réduire les interfaces d'assemblage suivant l'axe perpendiculaire au circuit rayonnant, tout en permettant de choisir précisément la lame d'air entre la face supérieure du circuit rayonnant et celle inférieure de la demi-lentille : il n'y a par exemple pas besoin de film de colle-mousse-film de colle entre le circuit rayonnant et la demi-lentille.

[0074] La figure 8 représente un exemple d'un ensemble d'éléments secteurs circulaires d'une demi-lentille absorbante dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0075] Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, la demi-lentille absorbante comprend au moins un élément secteur circulaire dont l'épaisseur varie en fonction de la distance au centre de la demi-lentille.

[0076] Comme indiqué ci-dessus, l'antenne peut traiter, qu'il s'agisse d'une antenne en émission ou en réception, des fréquences dépendant de la distance au centre de l'antenne, et donc au centre de la demi-lentille. Par exemple une antenne spirale, sinueuse ou log-périodique, pour laquelle la zone active à une longueur d'onde donnée à une forme d'anneau dont le diamètre correspond à la longueur d'onde donnée, les anneaux inférieurs correspondant donc à des basses fréquences, et les anneaux intérieurs à des hautes fréquences. En parallèle, l'épaisseur de la lentille permet de dévier plus ou moins le faisceau selon les fréquences des ondes électromagnétiques.

[0077] L'adaptation de l'épaisseur de la demi-lentille en fonction de la distance au centre permet donc d'adapter localement la déviation du faisceau à la fréquence des ondes émises à une distance donnée du centre de l'antenne. Ceci permet d'obtenir une déviation du faisceau qui soit cohérente sur une large bande de fréquence.

[0078] Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, la demi-lentille comprend une pluralité d'éléments secteur circulaire dont l'épaisseur est définie par une fonction croissante d'une distance angulaire des bords de la lentille.

[0079] Dans l'exemple de la figure 8, la demi-lentille comprend 9 éléments secteur circulaire, disposés de manière symétrique, avec, à partir bords de la demi-lentille :

- deux éléments secteur circulaire 8e ;
- deux éléments secteur circulaire 8d ;
- deux éléments secteur circulaire 8c ;
- deux éléments secteur circulaire 8b ;
- un élément secteur circulaire 8a.

[0080] Chaque élément secteur circulaire est défini par un profil d'épaisseur dépendant de la distance au centre de la demi-lentille, et l'épaisseur est définie par une fonction croissante d'une distance angulaire des bords de la lentille (la distance angulaire étant par exemple représentée par l'angle α en partant du bord droit de la demi-lentille), c'est-à-dire que, dans l'exemple de la figure 8, à une distance donnée du centre, l'épaisseur de l'élément 8a sera supérieure aux épaisseurs des éléments 8b, elles-mêmes supérieures aux épaisseurs des éléments 8c, elles-mêmes supérieures aux épaisseurs des éléments 8d, elles-mêmes supérieures aux épaisseurs des éléments 8e.

[0081] L'utilisation d'une pluralité d'éléments secteur circulaires dont l'épaisseur est définie par une fonction croissante d'une distance angulaire des bords de la lentille permet de limiter la dépendance en fréquence de la déviation angulaire du lobe principal de rayonnement. Cela permet également de restreindre les discontinuités le long des brins de la spirale, et donc d'éviter les désadaptations d'impédance.

[0082] La figure 9 représente un exemple de vue de profil d'un ensemble d'éléments secteurs circulaires d'une demi-lentille absorbante dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0083] La figure 9 représente plus précisément une vue de profil des éléments secteur circulaire (ou secteurs) 8a, 8b, 8c, 8d et 8e représentés en figure 8. Pour chacun des profils, la figure 9 représente l'épaisseur du profil en fonction de la distance du centre de la demi-lentille, la distance étant représentée croissante de gauche à droite.

[0084] Comme en figure 8, on peut noter que, à une distance donnée du centre, l'épaisseur est respectivement de moins en moins importante pour les secteurs 8a, 8b, 8c, 8d et 8e. En effet, tous les secteurs suivent un modèle de profil similaire, dans lequel :

- les épaisseurs pour le secteur 8a sont définies par une fonction paramétrée par quatre épaisseurs s_1 , s_2 , s_3 et s_4 ; et
- les épaisseurs pour les secteurs 8b sont définies par la même fonction, paramétrée avec les épaisseurs

$0,8 * s_1$, $0,8 * s_2$, $0,8 * s_3$ et $0,8 * s_4$;

- les épaisseurs pour les secteurs 8c sont définies par la même fonction, paramétrée avec les épaisseurs $0,6 * s_1$, $0,6 * s_2$, $0,6 * s_3$ et $0,6 * s_4$;
- les épaisseurs pour les secteurs 8d sont définies par la même fonction, paramétrée avec les épaisseurs $0,4 * s_1$, $0,4 * s_2$, $0,4 * s_3$ et $0,4 * s_4$;
- les épaisseurs pour les secteurs 8e sont définies par la même fonction, paramétrée avec les épaisseurs $0,2 * s_1$, $0,2 * s_2$, $0,2 * s_3$ et $0,2 * s_4$.

[0085] Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, chaque élément secteur circulaire est défini par une fonction d'épaisseur croissant puis décroissant en fonction d'une distance au centre de la demi-lentille.

[0086] C'est par exemple le cas des éléments secteur circulaire représentés en figure 9, pour lesquels l'épaisseur croît d'abord, du centre de la lentille (à gauche sur la figure 9) jusqu'à une distance ds_3 , puis décroît entre la distance ds_3 et une distance ds_4 représentant le rayon des éléments secteur circulaire.

[0087] La distance ds_3 peut par exemple correspondre substantiellement au rayon de l'antenne. Ceci permet d'obtenir une épaisseur de la demi-lentille croissante avec la distance au centre de l'antenne, et donc avec la longueur d'onde des ondes utilisées localement par l'antenne. Ceci permet d'avoir une épaisseur importante pour les basses fréquences, et plus faibles pour les hautes fréquences. Ceci permet d'obtenir une déviation du faisceau homogène sur une large bande de fréquences.

[0088] La figure 10 représente un exemple de vue d'ensemble d'un système d'antenne comprenant un ensemble d'éléments secteurs circulaires d'une demi-lentille absorbante dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0089] La figure 10 représente une vue d'ensemble d'un système d'antenne Sys10 comprenant un certain nombre des éléments discutés ci-dessus. Le système d'antenne Sys10 comprend notamment :

- une cavité métallique Cav ;
- une antenne Ant dans la cavité métallique ;
- une demi-lentille comprenant :
 - un élément annulaire Ann ;
 - une pluralité d'éléments secteur circulaire Sect.

[0090] Certains éléments du système d'antenne Sys10 ne sont pas visibles sur la figure 10. Par exemple, l'élément de base de la demi-lentille est situé soit la pluralité d'éléments secteur circulaire Sect, et la couronne

périphérique absorbante à l'intérieur des parois de la cavité métallique.

[0091] La figure 11a représente un exemple de diagrammes de rayonnement d'une antenne de l'état de l'art selon différentes fréquences, sans déviation du faisceau de l'antenne.

[0092] La figure 11b représente un exemple de diagrammes de rayonnement d'une antenne selon différentes fréquences, avec déviation du faisceau de l'antenne par un système d'antenne dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0093] De manière générale, les figures 11a à 18 correspondent à des simulations électromagnétiques 3D réalisées sur un modèle de système d'antenne selon l'invention. Ils sont donnés à titre d'exemple illustratif et non limitatif uniquement des résultats obtenus par un système d'antenne selon l'invention, des résultats différents pouvant être obtenus dans d'autres modes de réalisation de l'invention (par exemple, avec un autre type d'antenne, ou d'autres dimensions).

[0094] Chacun des 6 diagrammes représentés sur les figures 11a et 11b correspond à une fréquence donnée, de gauche à droite et de haut en bas, 3,5 GHz, 4,5 GHz, 5,5 GHz, 6,5 GHz, 7,5 GHz, et 8,5 GHz.

[0095] Pour chacune des fréquences la figure 11a représente le diagramme sans déviation, et la figure 11b le diagramme avec déviation. La déviation est représentée par l'angle de roulis φ et de site θ .

[0096] La figure 11b montre que le système selon l'invention permet bien une déviation du diagramme de rayonnement de l'antenne, et que cette déviation est assez homogène sur une large bande de fréquences, dans cet exemple de 3,5 GHz à 8,5 GHz.

[0097] La figure 12 représente deux coupes d'une représentation 3D du lobe principal du diagramme de rayonnement d'une antenne dévié par un système d'antenne dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0098] Les deux coupes correspondent à des coupes selon les plans définis par les axes X et Y, et les axes X et Z respectivement.

[0099] Cet exemple montre que le système selon l'invention permet de dévier le faisceau de l'antenne, à la fois selon l'angle roulis φ et de site θ .

[0100] La figure 13 représente un exemple d'un angle de déviation obtenu par un système d'antenne en fonction de la fréquence dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0101] La figure 13, ainsi que les figures 14 à 18, concernent le même exemple que les figures 11a à 12. On observe sur la figure 13 que l'angle de déviation du lobe principal du diagramme de rayonnement de l'antenne est compris entre 11° et 22° . L'invention permet donc d'obtenir un angle de déviation relativement constant sur une large bande de fréquences.

[0102] La figure 14 représente un exemple d'un angle de déviation angulaire obtenu par un système d'antenne en fonction de la fréquence dans un ensemble de modes

de réalisation de l'invention.

[0103] L'angle de déviation angulaire est compris entre 340° et 25° , et peut donc être limité sur l'ensemble de la bande de fréquence.

[0104] La figure 15 représente un exemple de gain de l'antenne obtenu par un système d'antenne en fonction de la fréquence dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0105] Le gain de l'antenne est représenté sur l'axe vertical, en dB, en fonction de la fréquence, sur l'axe horizontal, en GHz.

[0106] On observe que le gain rayonné typiquement supérieur à 2 dB, ce qui montre que la demi-lentille permet d'obtenir la déviation angulaire montrée Figure 13, sans dégradation importante du niveau de gain rayonné. On observe aussi qu'il n'existe pas de creux de gain suivant la fréquence : ceci montre que l'ajout de la demi-lentille ne crée pas de phénomène d'interférence destructive supplémentaire avec le plan de masse inférieur de la cavité d'antenne.

[0107] La figure 16 représente un exemple de rapport axial obtenu par un système d'antenne en fonction de la fréquence dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0108] Le rapport axial est représenté sur l'axe vertical, en dB, en fonction de la fréquence, sur l'axe horizontal, en GHz.

[0109] On observe que le rapport axial est largement inférieur à -3dB, ce qui représente une bonne pureté de la polarisation, sur une large bande de fréquences, en l'occurrence l'ensemble des fréquences testées entre 3,5 et 8,5 GHz.

[0110] La figure 17 représente un exemple de largeur de lobe à -3dB obtenu par un système d'antenne en fonction de la fréquence dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0111] La largeur de lobe est représentée sur l'axe vertical, en dB, en fonction de la fréquence, sur l'axe horizontal, en GHz.

[0112] On observe que la largeur de lobe à -3 dB, en présence de la demi-lentille, reste cohérente de celle attendue pour ce type d'antenne : la demi-lentille crée donc une déviation angulaire du lobe principal de rayonnement mais n'altère pas le domaine d'ouverture angulaire à mi-puissance dans les plans de rayonnement étudiés, avec une ouverture angulaire plutôt stable en fréquence.

La figure 18 représente un exemple d'adaptation d'impédance obtenue par un système d'antenne en fonction de la fréquence dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

Le matching est représenté sur l'axe vertical, en dB, en fonction de la fréquence, sur l'axe horizontal, en GHz.

[0113] On observe que l'ajout de la demi-lentille diélectrique absorbante n'induit pas de désadaptation de

l'antenne.

[0114] Les exemples ci-dessus démontrent la capacité de l'invention à générer une déviation du faisceau d'une antenne de manière homogène sur une large bande de fréquence, tout en limitant l'encombrement du système d'antenne et en préservant les performances de l'antenne. Ils ne sont cependant donnés qu'à titre d'exemple et ne limitent en aucun cas la portée de l'invention, définie dans les revendications ci-dessous.

Revendications

1. Système d'antenne (Sys1a, Sys1b, Sys10) comprenant :

- un plan de masse avec une cavité (Cav) recouverte d'un substrat diélectrique, magnétique ou magnéto-diélectrique (Subs), la cavité comprenant une ouverture et des parois ;
- une antenne (Ant) disposée sur le substrat diélectrique, magnétique ou magnéto-diélectrique ;
- une couronne périphérique absorbante (Cour) disposée entre l'antenne et les parois ;
- une demi-lentille absorbante (Lent1a, Lent1b) ayant une forme d'un secteur angulaire, comprenant un élément de base (Bas) couvrant sensiblement une première partie de l'ouverture de la cavité, une seconde partie de l'ouverture de la cavité n'étant pas couverte par ledit élément de base.

2. Système d'antenne selon la revendication 1, dans lequel la demi-lentille absorbante comprend un élément annulaire (Ann) formant un prolongement de la couronne périphérique absorbante sur la seconde partie de l'ouverture.

3. Système d'antenne selon la revendication 1, dans lequel la première partie de l'ouverture de la cavité correspond à la moitié de l'ouverture de la cavité.

4. Système selon la revendication 1, dans lequel la demi-lentille absorbante comprend au moins un élément secteur circulaire (Sect) dont l'épaisseur varie en fonction de la distance au centre de la demi-lentille.

5. Système selon la revendication 4, dans lequel la demi-lentille absorbante comprend une pluralité d'éléments secteur circulaire dont l'épaisseur est définie par une fonction croissante d'une distance angulaire des bords de la lentille.

6. Système selon l'une des revendications 4 ou 5, dans lequel chaque élément secteur circulaire est défini par une fonction d'épaisseur croissant puis décrois-

sant en fonction d'une distance au centre de la demi-lentille.

7. Système d'antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un élément au moins parmi la couronne périphérique absorbante, et de la demi-lentille est faite d'un matériau diélectrique partiellement absorbant.

8. Système d'antenne selon la revendication 7, dans lequel le matériau diélectrique comprend partiellement du carbone.

9. Système d'antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'antenne est une antenne spirale, une antenne sinusoïde ou une antenne périodique

10. Système d'antenne selon la revendication 9, dans lequel l'antenne est une définie par une spirale d'Archimède.

11. Système d'antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'antenne est une antenne large bande, permettant d'obtenir un angle de déviation substantiellement constant sur l'ensemble de la bande de fréquence de fonctionnement de l'antenne.

12. Système d'antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant :

- un premier dispositif comprenant le plan de masse, l'antenne et la couronne périphérique absorbante ;
- un deuxième dispositif comprenant la demi-lentille absorbante.

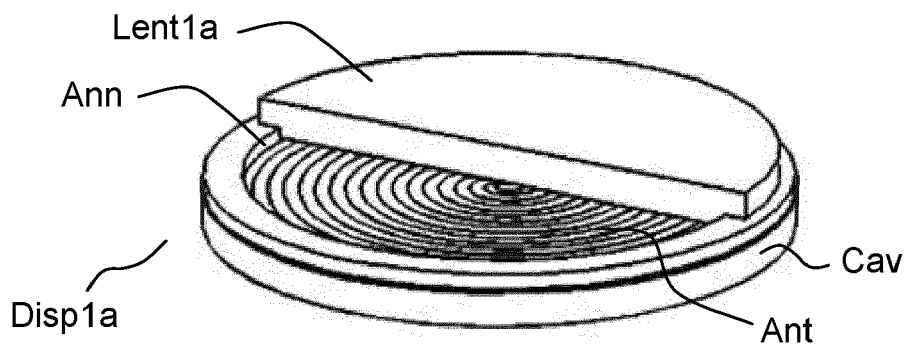


FIG.1a

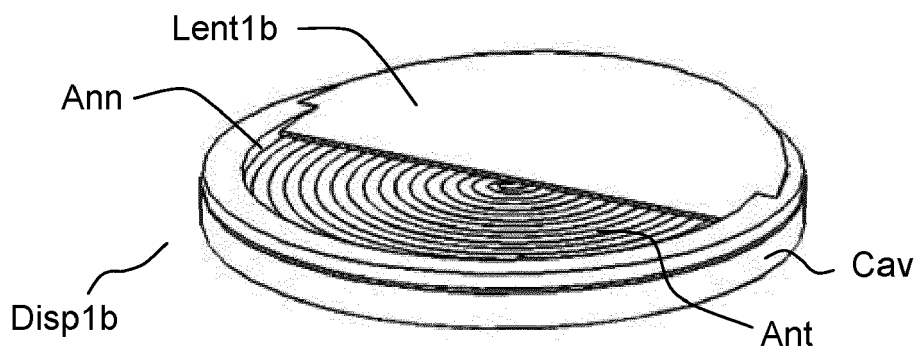


FIG.1b

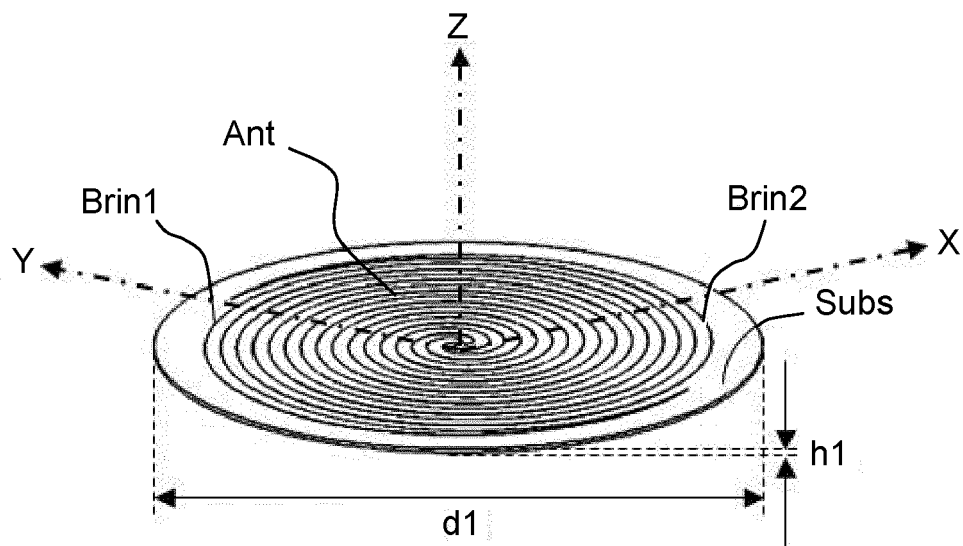


FIG.2

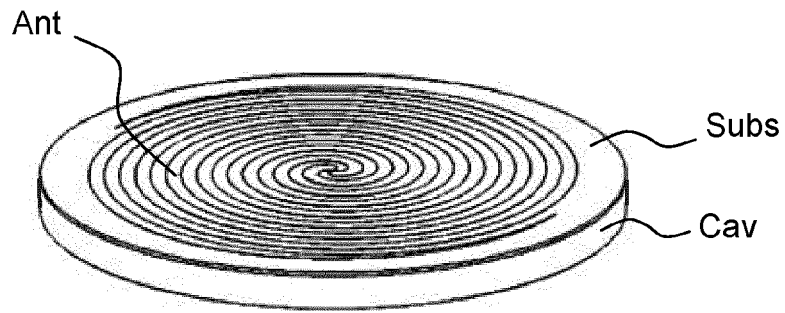


FIG.3

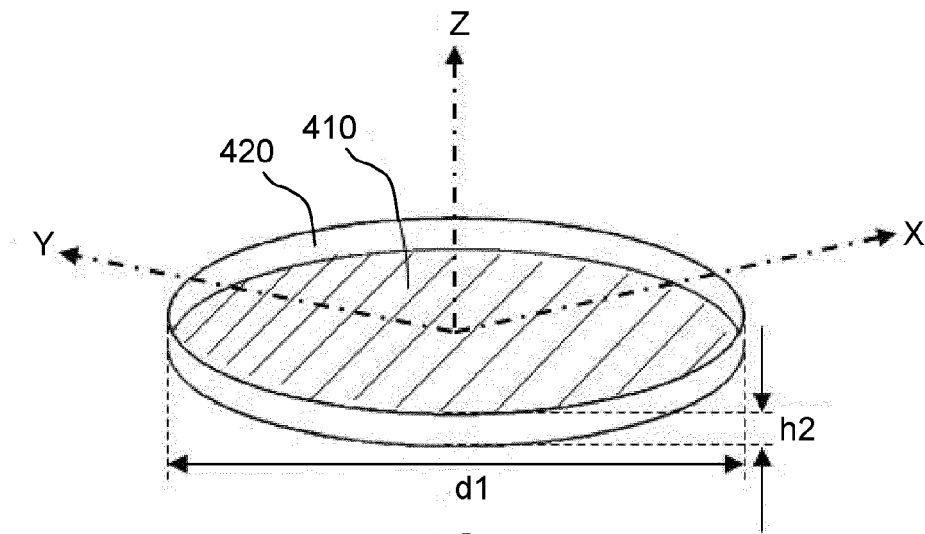


FIG.4

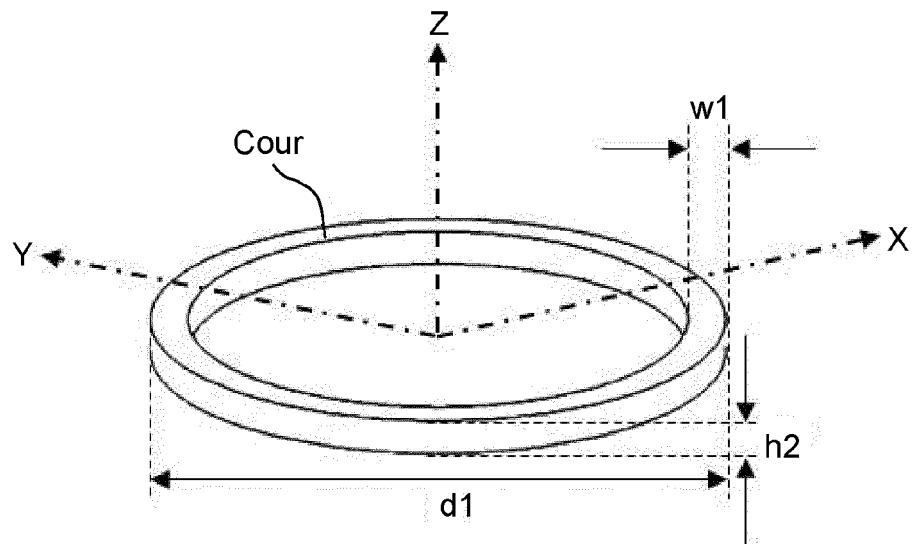


FIG.5

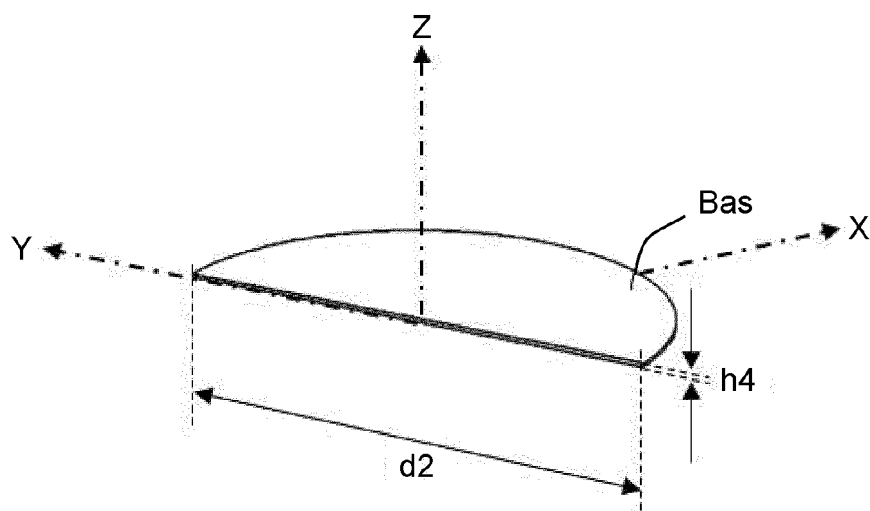


FIG. 6

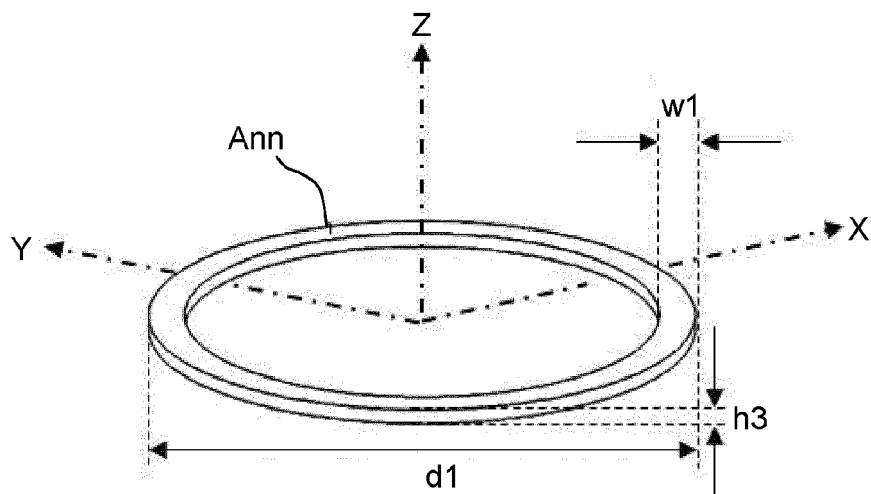


FIG. 7

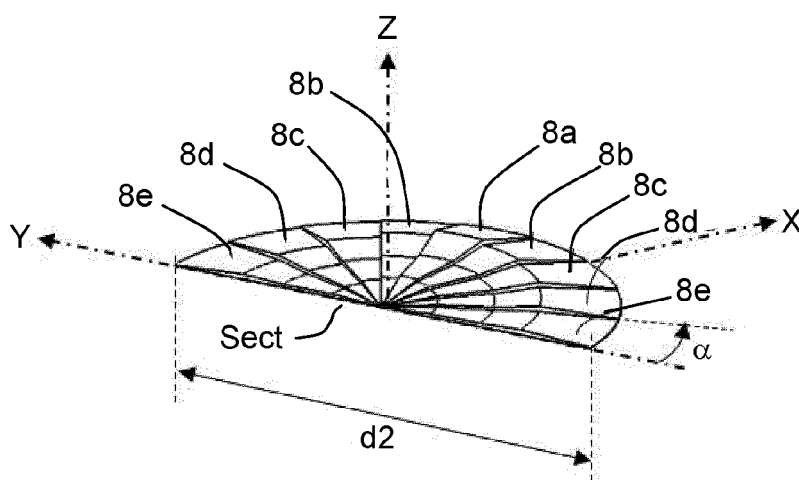


FIG. 8

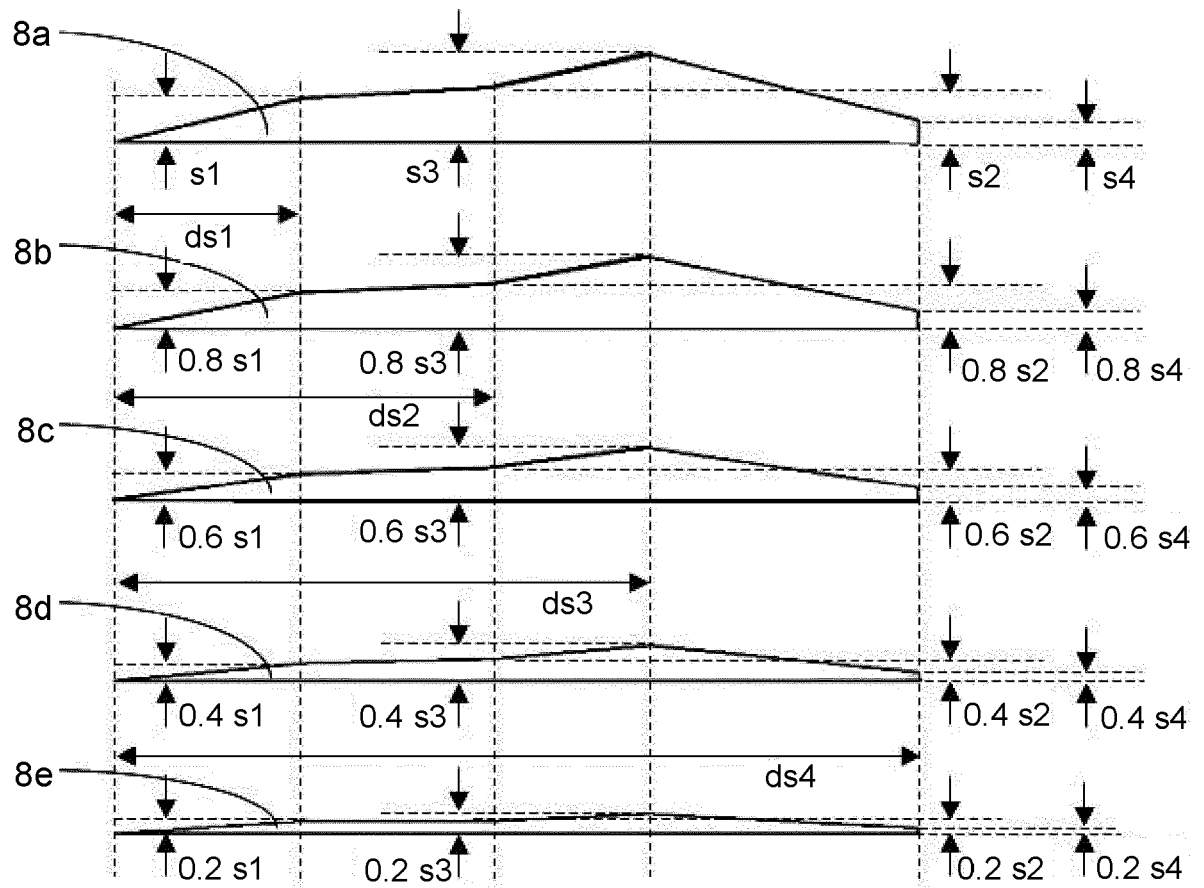


FIG.9

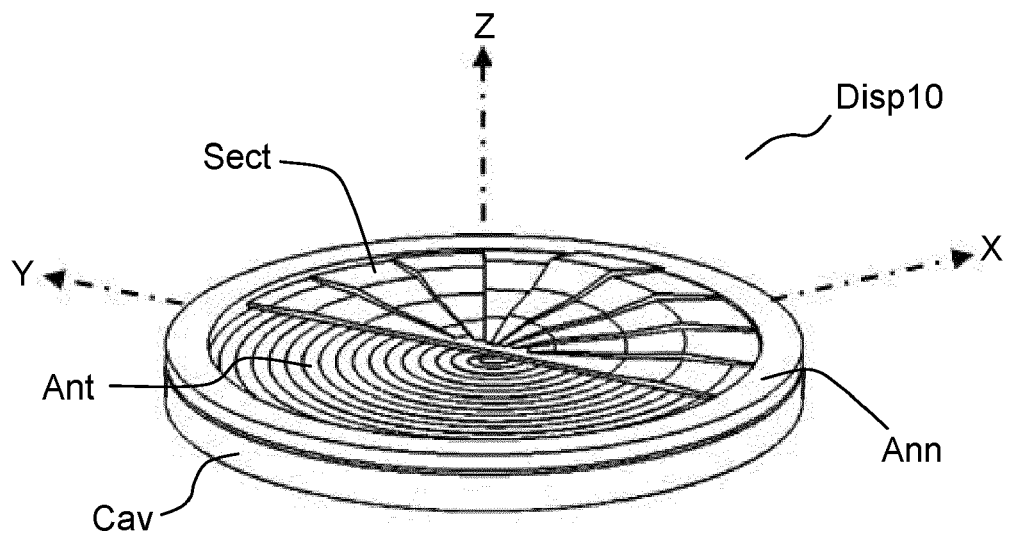


FIG.10

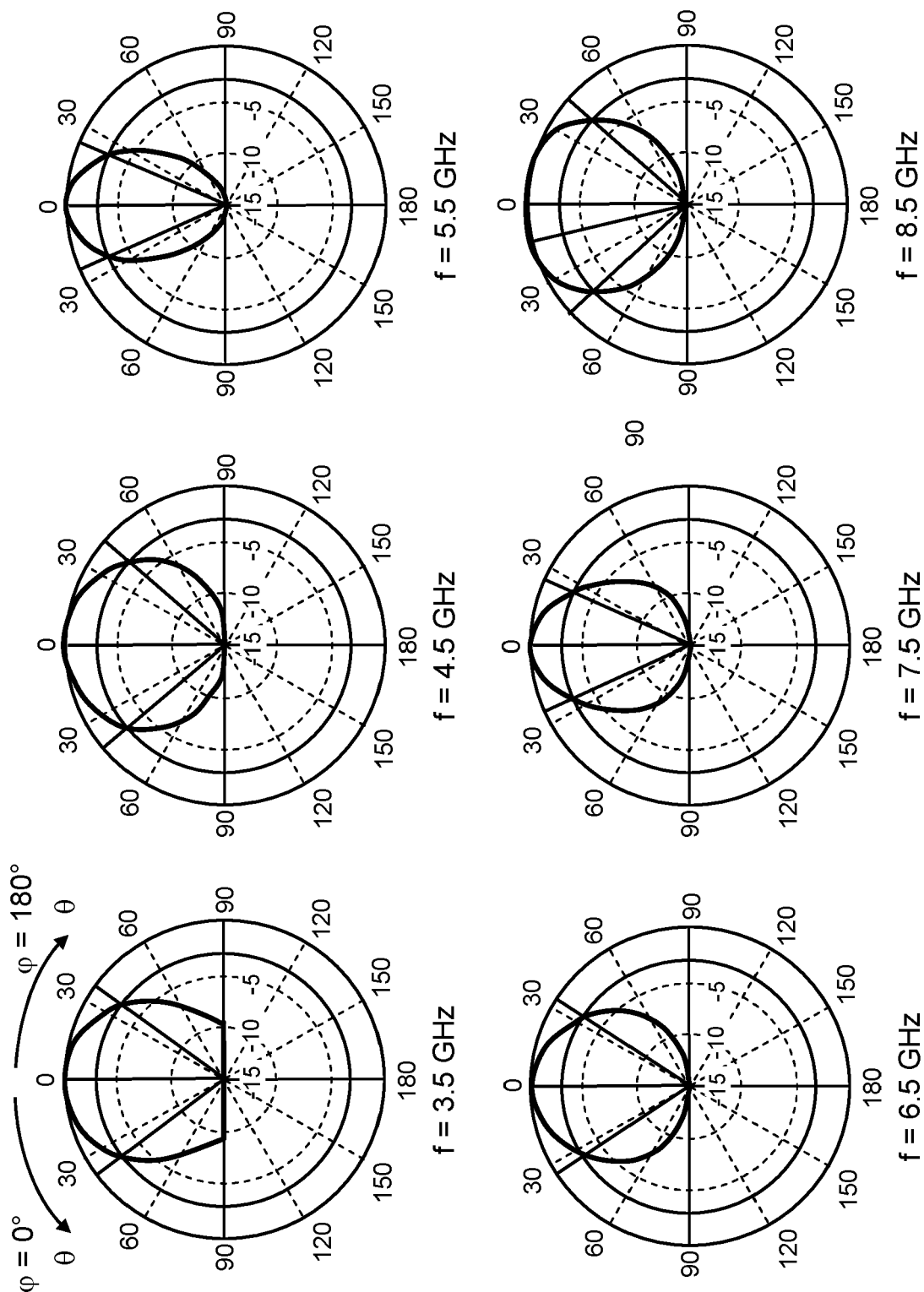


FIG.11a

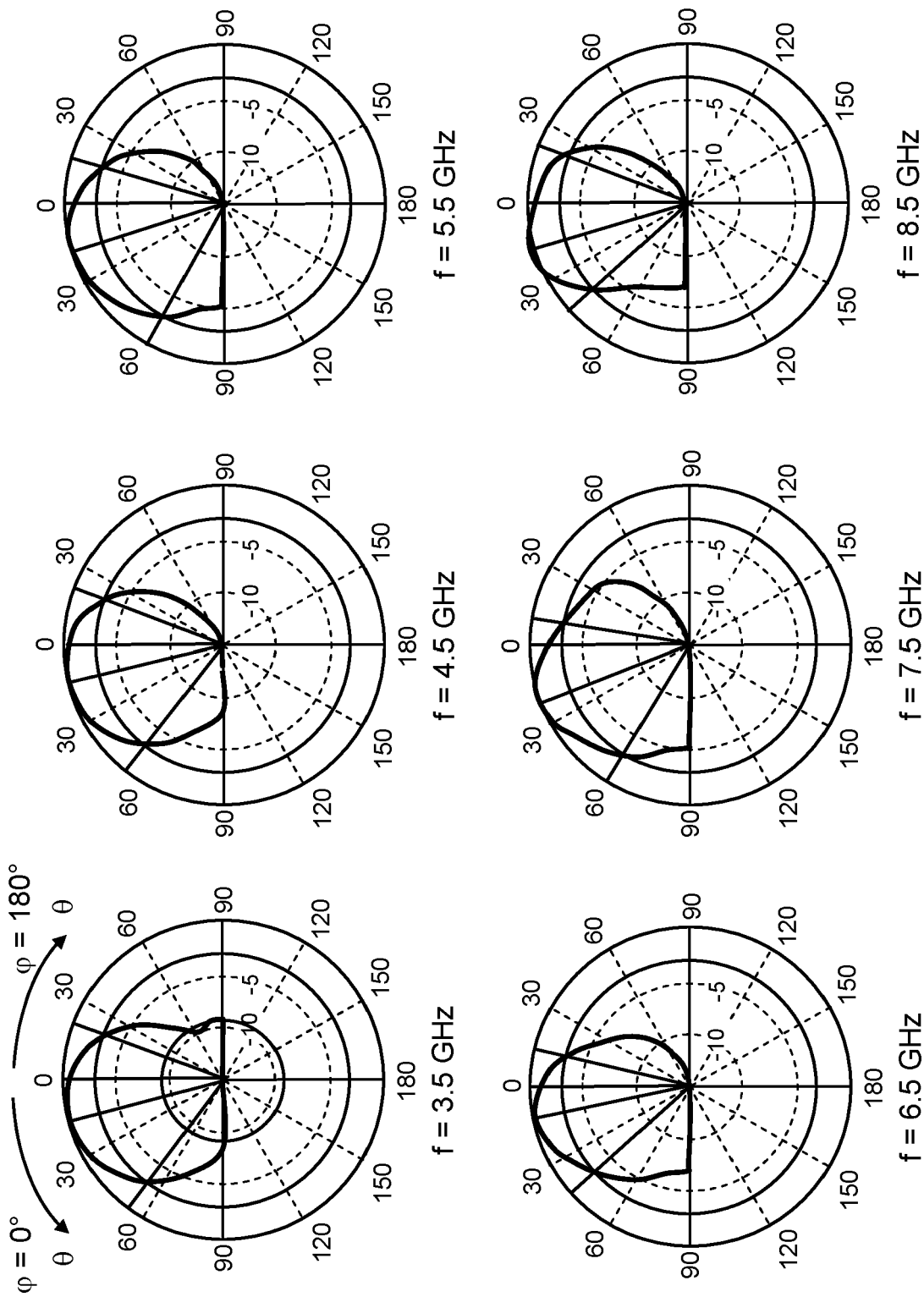


FIG.11b

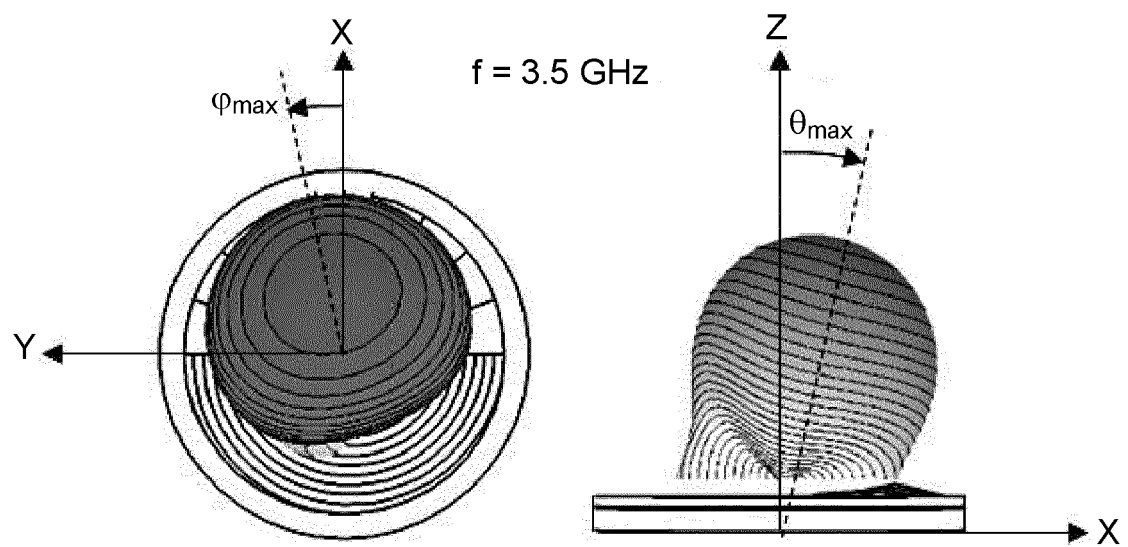


FIG.12

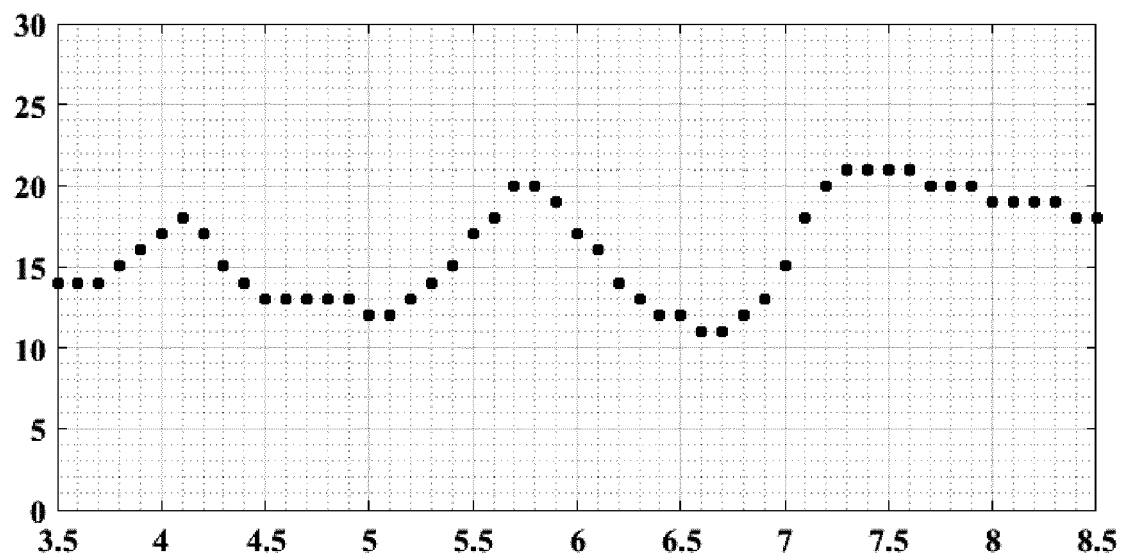


FIG.13

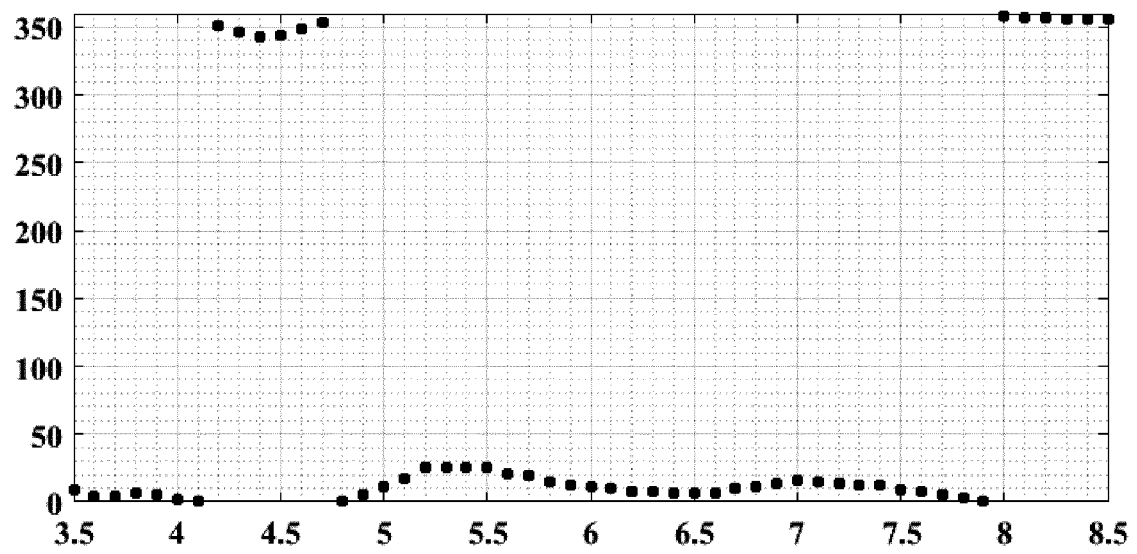


FIG.14

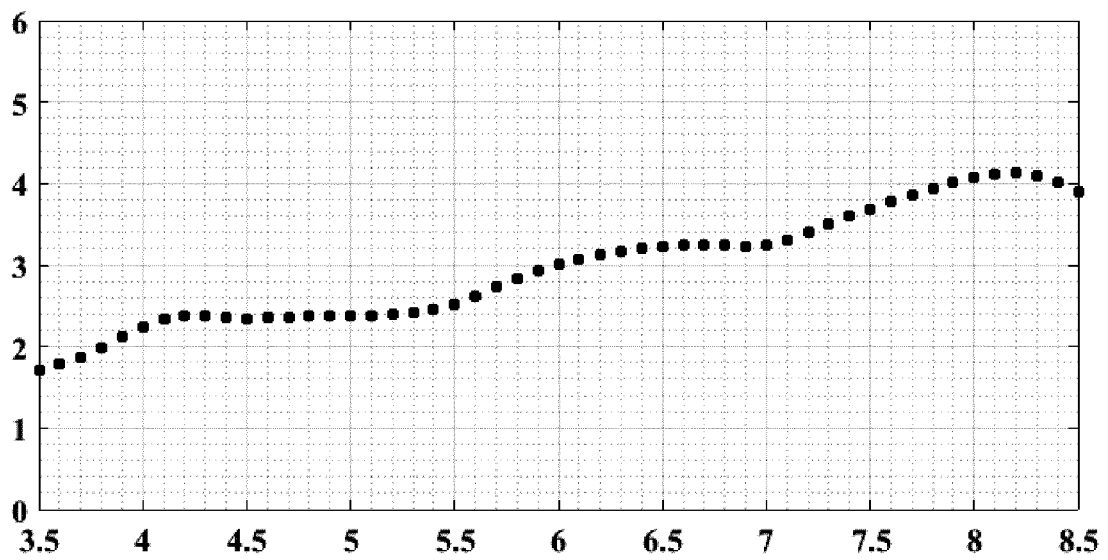


FIG.15

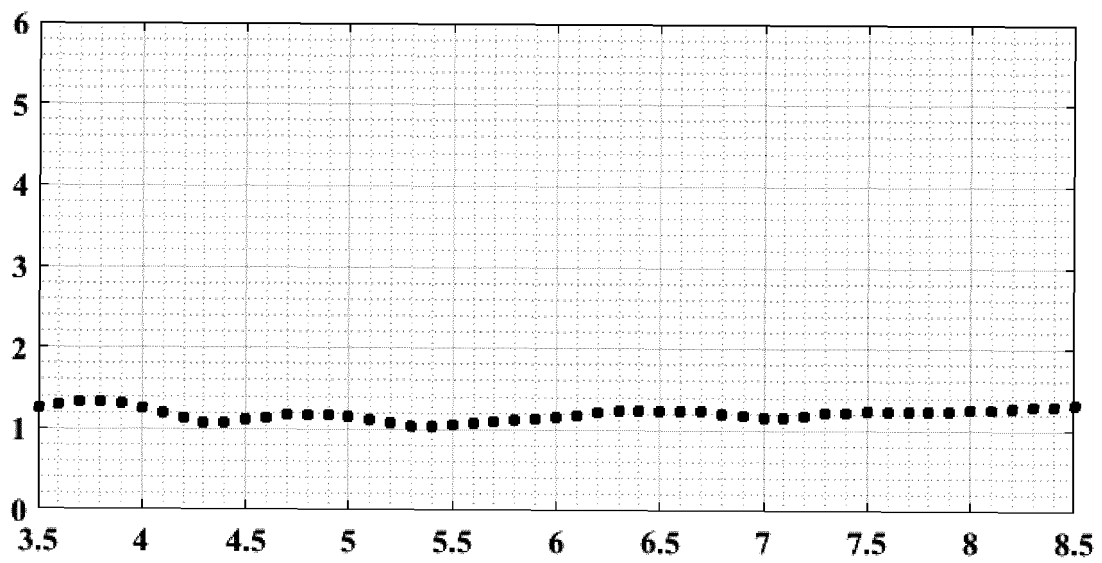


FIG.16

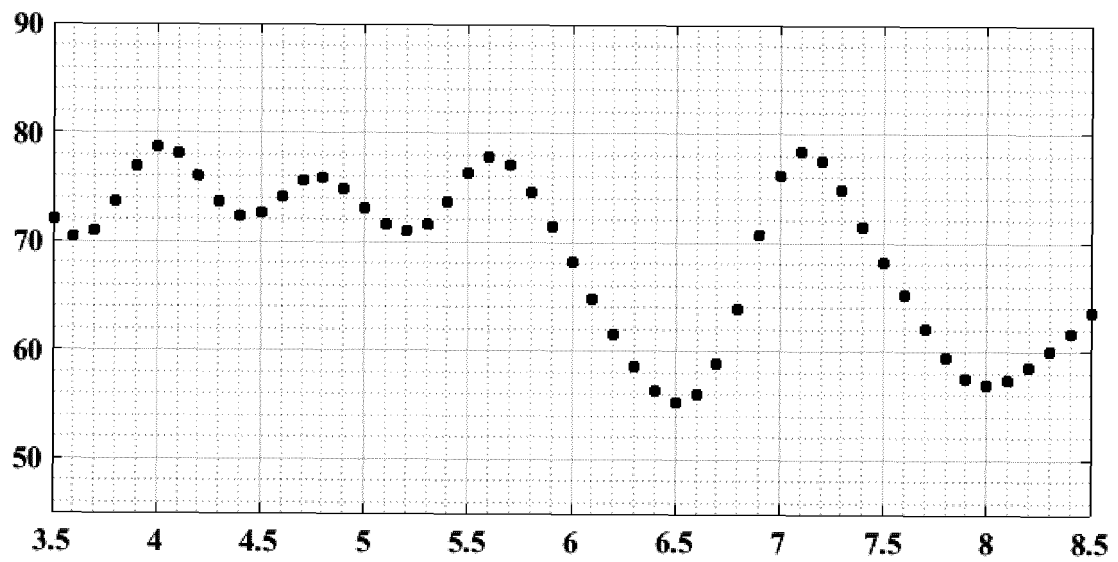


FIG.17

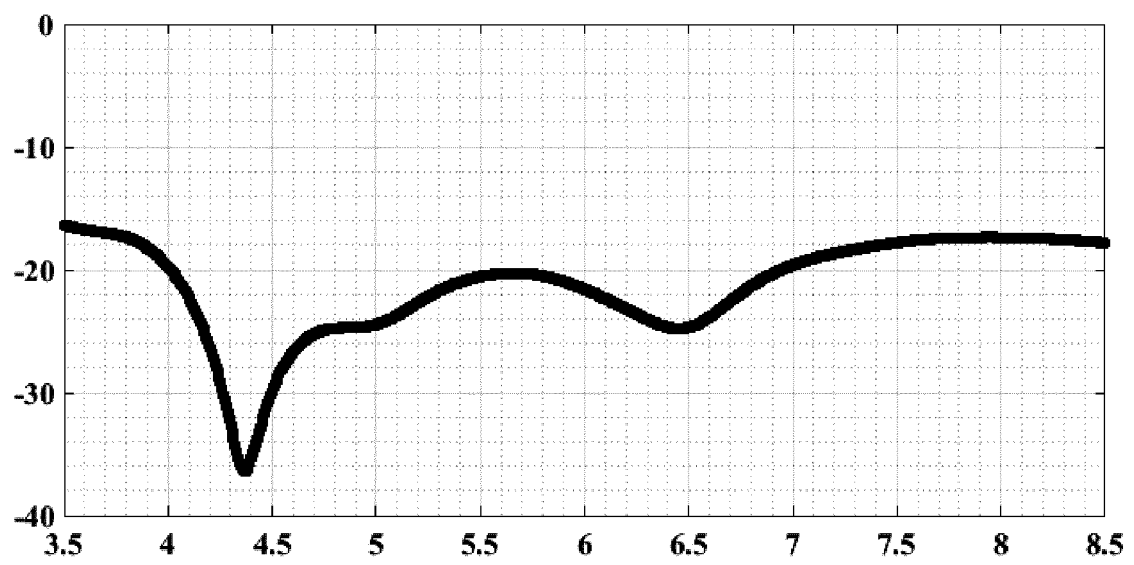


FIG.18



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 22 19 3180

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	JP 2012 205144 A (TOSHIBA DENPA PRODUCTS KK; TOSHIBA CORP) 22 octobre 2012 (2012-10-22) * alinéa [0009] - alinéa [0025]; figures 1-15 *	1-12	INV. H01Q1/36 H01Q9/27 H01Q17/00 H01Q19/06
A	US 5 162 806 A (MONSER GEORGE J [US]) 10 novembre 1992 (1992-11-10) * colonne 2 - colonne 4; figures 1-35 *	1-12	
A	US 2010/328779 A1 (LLOMBART JUAN NURIA [ES] ET AL) 30 décembre 2010 (2010-12-30) * alinéa [0066] - alinéa [0067]; figure 12 *	1-12	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01Q
Lieu de la recherche			Examineur
La Haye			Keyrouz, Shady
Date d'achèvement de la recherche			
12 janvier 2023			
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul			T : théorie ou principe à la base de l'invention
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie			E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date
A : arrière-plan technologique			D : cité dans la demande
O : divulgation non-écrite			L : cité pour d'autres raisons
P : document intercalaire			& : membre de la même famille, document correspondant

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 22 19 3180

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

12-01-2023

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 2012205144 A	22-10-2012	JP 5496941 B2 JP 2012205144 A	21-05-2014 22-10-2012
US 5162806 A	10-11-1992	AUCUN	
US 2010328779 A1	30-12-2010	AUCUN	

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

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 6947010 B [0010]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **P. DEO ; A. MEHTA ; D. MIRSHEKAR-SYAHKAL ; H. NAKANO.** An HIS-Based Spiral Antenna for Pattern Reconfigurable Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2009, vol. 8, 196-199 [0011]
- A Metaspiral Antenna for Azimuthal Beam Steering. **H. NAKANO ; T. ABE ; J. YAMAUCHI.** 2019 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP). Xi'an, 2019, 1-3 [0012]
- **TOMOKI ABE ; JUNJI YAMAUCHI ; HISAMATSU NAKANO.** Steering of the Circularly Polarized Beam from a Spiral Antenna. *IEICE Communications Express*, 20 Février 2020, ISSN 2187-0136 [0012]