

(19)



(11)

EP 3 843 202 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
20.09.2023 Bulletin 2023/38

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H01Q 1/28^(2006.01) H01Q 13/02^(2006.01)
H01Q 21/06^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **20216598.1**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H01Q 13/0258; H01Q 1/288; H01Q 13/0275;
H01Q 21/064

(22) Date de dépôt: **22.12.2020**

(54) **CORNET POUR ANTENNE SATELLITE BI-BANDE KA A POLARISATION CIRCULAIRE**
HORN FÜR EINE ZIRKULAR POLARISIERTE DUALE KA-BAND-SATELLITENANTENNE
HORN FOR KA DUAL-BAND SATELLITE ANTENNA WITH CIRCULAR POLARISATION

(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

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

(30) Priorité: **26.12.2019 FR 1915417**

(56) Documents cités:
EP-A1- 3 179 634 KR-B1- 101 117 648
US-A1- 2019 058 260 US-B2- 9 640 847

(43) Date de publication de la demande:
30.06.2021 Bulletin 2021/26

(73) Titulaire: **THALES**
92400 Courbevoie (FR)

• **TIANANG ELIE G ET AL: "Wide bandwidth cavity-backed dual-polarized vivaldi array antenna", 2017 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANTENNAS AND PROPAGATION & USNC/URSI NATIONAL RADIO SCIENCE MEETING, IEEE, 9 juillet 2017 (2017-07-09), pages 1311-1312, XP033229911, DOI: 10.1109/APUSNCURSINRSM.2017.8072698**

(72) Inventeur: **BOIN, Bertrand**
92622 GENNEVILLIERS CEDEX (FR)

EP 3 843 202 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] L'invention se situe dans le domaine des dispositifs antennaires, et porte plus particulièrement sur un cornet d'antenne pour radiocommunications, notamment par satellite dans la bande Ka.

[0002] Dans le domaine des communications satellitaires, la diversité de polarisation est fréquemment utilisée pour améliorer l'efficacité spectrale. La diversité de polarisation consiste à transmettre deux signaux polarisés orthogonalement dans une même bande de fréquence, ou dans des bandes de fréquences qui se recoupent. Cela permet par exemple de transmettre simultanément deux signaux, de recevoir simultanément deux signaux, ou d'émettre et de recevoir simultanément deux signaux.

[0003] Les communications par satellite se font généralement en utilisant des signaux polarisés circulairement, ayant à la fois une composante en polarisation verticale et une composante en polarisation horizontale.

[0004] Dans le cas particulier de la bande électromagnétique Ka, deux bandes de fréquences distinctes sont impliquées dans les communications satellites :

- la sous-bande 27.5 - 31 GHz en émission, et
- la sous-bande 17.3 - 21.2 GHz en réception.

[0005] Le pointage des antennes vers le satellite peut être réalisé mécaniquement par orientation d'une antenne passive (de type parabole par exemple), ou électriquement en utilisant des antennes actives à balayage de faisceau. Les antennes à balayage électronique sont des antennes constituées d'un grand nombre d'antennes élémentaires mises en réseau. En ajustant l'amplitude et la phase des signaux transmis par chaque antenne élémentaire, la direction du diagramme de rayonnement de l'antenne à balayage peut être ajustée. Ces antennes sont plus fiables, moins encombrantes, plus rapides et plus précises que les antennes montées sur des éléments de pointage mécanique.

[0006] Les antennes élémentaires sont disposées selon une maille dont la taille du pas impacte les performances de l'antenne, en particulier son dépointage. Les capacités de dépointage de l'antenne satellite augmentent lorsque la taille du pas de maille diminue. Les performances attendues des antennes à balayage électronique actuelles requièrent des pas de maille égaux ou inférieurs à $\lambda/2$, avec λ la longueur d'onde associée à la fréquence de transmission des signaux satellites. En bande Ka, $\lambda/2$ vaut 4.84 mm à la fréquence de 31 GHz, qui est la fréquence la plus élevée de la bande Ka, et donc la fréquence dimensionnante.

Technique antérieure :

[0007] Une antenne élémentaire pour transmissions satellitaires est généralement composée de deux guides

d'onde permettant d'acheminer les signaux vers/ depuis un équipement de radiocommunications, d'un polariseur configuré pour polariser les signaux selon des polarisations circulaires orthogonales, et d'un cornet d'antenne par lequel les signaux sont émis/reçus. Le cornet d'antenne est généralement évasé de manière à réaliser l'adaptation entre le milieu de propagation dans l'antenne élémentaire et la propagation en espace libre.

[0008] Il est connu de l'état de la technique des antennes élémentaires telles que celle décrite dans la demande de brevet EP 2.879.236. Elle est constituée d'un cornet ayant deux parties, une partie pour l'émission et une partie pour la réception, raccordées à un polariseur pour polariser les ondes électromagnétiques circulairement. Un diélectrique est inséré dans les éléments afin de réduire leur dimension électrique par rapport à la longueur d'onde, ce qui permet de diminuer la taille de l'antenne élémentaire. Cependant, elle ne permet pas de réaliser simultanément l'émission et la réception. En outre, la polarisation des signaux se fait en dehors du cornet d'antenne (avant le cornet lorsque l'on considère l'élément antennaire dans le sens de l'émission), ce qui est sous optimal en termes de compacité et de poids. Enfin, l'utilisation de diélectrique pour réduire les dimensions de l'antenne pose des problèmes de conception et de fiabilité (détaillés par la suite).

[0009] Il est également connu de l'état de la technique des antennes élémentaires telles que celle décrite dans la demande de brevet international WO 2014/05691 A1. Cette antenne élémentaire comprend un cornet formé à partir d'un guide d'onde carré nervuré (en anglais *ridged waveguide*). L'utilisation de guides d'onde nervurés permet de réduire leur dimension électrique par rapport à la longueur d'onde, dans des proportions supérieures à ce qui est obtenu par l'utilisation de diélectriques. Le cornet de l'antenne est adapté à la transmission simultanée de deux signaux polarisés orthogonalement, cependant la polarisation des signaux est réalisée en dehors du cornet, ce qui est sous optimal en termes de compacité et de poids. En outre, la forme évasée et les dimensions du cornet du dispositif décrit dans la demande de brevet international ne permettent pas la mise en oeuvre d'une antenne à balayage électronique avec un pas de réseau inférieur ou égale à une demi-longueur d'onde. L'article de Taniang Elie G et al. "Wide Bandwidth Cavity-Backed Dual-Polarized Vivaldi Array Antenna" IEEE international symposium on antennas and propagation & USNC/URSI national radio science meeting, et la demande de brevet EP 3.179.634 A1, décrivent chacun un cornet d'antenne de type Vivaldi configuré pour transmettre deux signaux large bande polarisés orthogonalement, mais la polarisation des signaux est faite à l'extérieur des cornets.

[0010] De plus, les documents US9640847 B2 et KR101117648 B1 décrivent des antennes ayant des paires capable de générer deux polarisations orthogonales,

[0011] Enfin, il est connu de l'état de la technique des cornets d'antenne réalisant simultanément la polarisation du signal et son rayonnement dans des dimensions

réduites. Un tel cornet 100 est représenté à la figure 1a. Il comprend un guide d'onde 101 s'étendant selon un axe longitudinal zz' . La figure 1a représente le cornet par l'arrière, soit du côté des accès aux signaux, opposé au côté rayonnant. Le guide d'onde 101 est de section carrée ou rectangulaire. Il est divisé en deux par une paroi métallique 102 de manière à former deux accès 103 et 104, chaque accès étant utilisé pour injecter un signal parmi les deux signaux à émettre. Les accès 103 et 104 sont chacun adaptés à la propagation des ondes électromagnétiques selon le mode fondamental TE₁₀ dans la bande de fréquence considérée. Le mode fondamental TE₁₀ correspond à un mode de propagation des ondes électromagnétiques dans un guide d'onde dans lequel le champ électrique est linéaire et orienté perpendiculairement par rapport au grand côté du guide d'onde. En positionnant horizontalement un guide d'onde rectangulaire, le mode TE₁₀ correspond donc à un signal polarisé verticalement, contrairement au mode fondamental TE₀₁, qui lui correspond à un mode de propagation des ondes électromagnétiques dans un guide d'onde dans lequel le champ électrique est linéaire et orienté horizontalement par rapport au grand côté du guide d'onde. En pratique, pour que le guide d'onde soit adapté à la propagation selon le mode TE₁₀, il faut que son plus grand côté soit de dimension supérieure à la longueur d'onde guidée minimum dans la bande de fréquence considérée.

[0012] La largeur de la paroi métallique 102 séparant les deux guides d'onde 103 et 104 est interrompue en direction du côté rayonnant de l'antenne selon l'axe zz' , et présente une structure en forme de dents, de manière à implémenter un polariseur septum. Un polariseur septum, bien connu de l'homme du métier, permet de polariser circulairement un signal en lui ajoutant une composante orthogonale retardée. Il est conçu de manière à ce que la composante orthogonale soit déphasée de 90° et retardée d'un quart de longueur d'onde, ce qui a pour effet de polariser circulairement et de manière orthogonale chacun des signaux transmis dans les accès 103 et 104. Le cornet 100 décrit à la figure 1 a réalise donc à la fois le rôle d'élément rayonnant et de polariseur septum.

[0013] De manière à réduire les dimensions du cornet 100, les deux accès du cornet sont remplis de diélectrique. La figure 1b représente en éclaté les différents éléments du cornet de la figure 1a. On y retrouve :

- un guide d'onde métallique 101 dans lequel figure une paroi métallique 102 configurée pour former deux guides d'onde 103 et 104, et pour polariser circulairement les deux signaux transmis,
- deux matériaux diélectriques 113 et 114 configurés pour remplir les cavités du guide d'onde métallique 101. On observe en particulier que le diélectrique 114 épouse la forme de la paroi métallique 102 pour remplir le guide d'onde 101,
- un matériau diélectrique 115, positionné devant la

tête du guide d'onde 101 afin de réaliser l'adaptation permettant la propagation des ondes électromagnétiques entre le cornet d'antenne 101 et l'espace libre. Il permet d'utiliser un guide d'onde métallique 101 de dimensions réduites et non un cornet évasé, et donc de gagner en compacité et possibilités d'intégration dans un réseau d'antennes élémentaires ayant une maille de taille de pas réduite.

[0014] Si la solution présentée à la figure 1a présente l'avantage de pouvoir s'intégrer dans une maille de taille de pas inférieure ou égale à $\lambda/2$, l'utilisation de substrats sous la forme de matériaux diélectriques complexifie la réalisation du cornet d'antenne car les substrats et le cornet métallique doivent être fabriqués séparément puis assemblés avec une grande précision. Le moindre défaut d'assemblage des matériaux diélectriques et des pièces métalliques, en particulier lors de l'ajustement mécanique des éléments diélectriques 113 et 114 dans le guide d'onde 101, a des conséquences importantes sur les performances de l'élément antennaire élémentaire. Il est également difficile de garantir la constance des propriétés d'un matériau diélectrique dans le temps et dans des conditions variables de température. C'est pourquoi le dispositif de la figure 1a s'avère délicat à fabriquer, et est donc très coûteux. C'est d'autant plus problématique que les antennes à balayage peuvent disposer d'un très grand nombre d'antennes élémentaires (jusqu'à plusieurs milliers), ce qui entraîne des temps d'assemblage et des coûts importants. En outre, les performances non homogènes des éléments élémentaires se répercutent sur les performances générales de l'antenne à balayage.

[0015] Enfin, la taille du cornet d'antenne représenté à la figure 1a est directement liée aux propriétés de permittivité électrique du composant diélectrique utilisé. Réduire plus la taille du cornet requiert la conception d'un nouveau matériau diélectrique de permittivité plus élevée, opération complexe et elle aussi coûteuse. De plus, lorsque la permittivité d'un matériau diélectrique augmente, les pertes augmentent aussi. Le gain de l'antenne, et donc le bilan de liaison et les débits proposés, diminuent alors en proportion.

[0016] Un objet de l'invention est donc de décrire un cornet d'antenne permettant la transmission de deux signaux selon des polarisations circulaires orthogonales en bande Ka, compatible d'une intégration dans une antenne réseau ayant une maille dimensions réduites (typiquement inférieure ou égale à $\lambda/2$), et dont la conception soit simplifiée par rapport à l'antenne de la figure 1a. Le cornet d'antenne doit permettre de répondre aux besoins d'une bande passante de plus en plus grande, et d'une augmentation des fréquences utilisées pour les transmissions.

55 **Résumé de l'invention :**

[0017] A cet effet, la présente invention décrit un cornet d'antenne, notamment pour communications satellitai-

res, comprenant un guide d'onde s'étendant selon un axe longitudinal. Le guide d'onde a une extrémité ouverte et une extrémité permettant d'accéder à des signaux transmis dans le guide d'onde. Les parois opposées du guide d'onde les plus larges constituent une première

paire de parois du guide d'onde, les deux autres parois du guide d'onde constituent une deuxième paire de parois du guide d'onde.

[0018] Le cornet d'antenne selon l'invention comprend en outre :

- deux premières nervures s'étendant selon l'axe longitudinal à l'intérieur du guide d'onde, au milieu et sur toute la longueur de chacune des parois de la première paire de parois,
- une paroi centrale plane s'étendant dans le guide d'onde suivant l'axe longitudinal, la paroi centrale étant configurée pour :
 - au niveau de l'extrémité permettant d'accéder aux signaux transmis dans le guide d'onde, relier les deux parois de la deuxième paire de parois en leur milieu formant ainsi deux accès séparés auxdits signaux,
 - s'interrompre en direction de l'extrémité ouverte du guide d'onde de manière à polariser les signaux transmis par les deux accès selon des polarisations circulaires orthogonales,
 - du côté de l'extrémité ouverte du guide d'onde, former deux deuxième nervures s'étendant selon l'axe longitudinal au milieu de chacune des parois de la deuxième paire de parois.

[0019] Selon un mode de réalisation, le guide d'onde a une section carrée, deux parois opposées quelconques du guide d'onde constituant la première paire de parois, les deux autres parois opposées du guide d'onde formant la deuxième paire de parois.

[0020] Selon un mode de réalisation, le guide d'onde, la première paire de nervures et la deuxième paire de nervures ont des dimensions adaptées pour la propagation d'ondes électromagnétiques selon les modes de propagation TE₁₀ et TE₀₁ dans la bande de fréquence des signaux transmis, et dans lequel les deux accès ont des dimensions adaptées pour la propagation d'ondes électromagnétiques selon le mode de propagation TE₁₀.

[0021] Selon un mode de réalisation, le cornet d'antenne selon l'invention comprend en outre une couche de matériau diélectrique positionnée de manière à couvrir l'extrémité ouverte du guide d'onde et configurée pour réaliser l'adaptation entre la propagation à l'intérieur du guide d'onde et la propagation en espace libre.

[0022] Selon un mode de réalisation alternatif, les premières et deuxième nervures s'étendent à l'extérieur du guide d'onde par son extrémité ouverte en ayant une forme évasée en dehors du guide d'onde.

[0023] Avantagusement, les deux premières nervures ont des hauteurs et des largeurs identiques, et dans

lequel les deux deuxième nervures ont des hauteurs et des largeurs identiques.

[0024] Dans un mode de réalisation de l'invention, adapté aux communications satellitaires, un des accès du cornet d'antenne formés par la paroi centrale et le guide d'onde est utilisé pour l'injection d'un premier signal à une première fréquence. L'autre accès du cornet d'antenne est utilisé pour l'extraction d'un signal à une deuxième fréquence différente de la première fréquence. La première fréquence et la deuxième fréquence sont choisies comme appartenant à la bande Ka du spectre électromagnétique.

[0025] Avantagusement, le cornet d'antenne selon l'invention a un guide d'onde dont les côtés de la section sont de taille inférieure ou égale à $\lambda/2$, avec λ la longueur d'onde des signaux à émettre.

[0026] L'invention porte également sur une antenne comprenant au moins un cornet d'antenne selon l'invention.

[0027] Dans un mode de réalisation de l'invention, l'antenne comprend un réseau d'au moins deux cornets d'antenne selon l'invention disposés selon une maille de pas régulier, dans lequel les premières et deuxième nervures s'étendent à l'extérieur des guides d'onde par leurs extrémités ouvertes en ayant une forme évasée. Les cornets d'antenne adjacents sont alors reliés par l'extrémité d'une de leurs nervures en dehors des guides d'onde.

[0028] Enfin, l'invention porte sur un équipement de radiocommunications comprenant une antenne l'invention, et sur un procédé de télécommunications, notamment par satellite, entre deux stations, comprenant l'emploi d'un équipement de radiocommunications selon l'invention.

35 Brève description des figures :

[0029] L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques, détails et avantages apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit, donnée à titre non limitatif, et grâce aux figures annexées qui suivent, données à titre d'exemple.

[Fig. 1a] La figure 1a représente un cornet d'antenne selon l'état de l'art réalisant simultanément la polarisation du signal et son rayonnement dans une maille de dimensions réduites.

[Fig. 1b] La figure 1b représente en éclaté les différents éléments de la figure 1a.

[Fig. 2a] La figure 2a représente un cornet d'antenne selon un premier mode de réalisation de l'invention, en vue de trois-quarts dos.

[Fig. 2b] La figure 2b représente le cornet d'antenne de la figure 2a en vue de trois-quarts face.

[Fig. 2c] La figure 2c représente le cornet d'antenne

des figures 2a et 2b dans une vue en trois-quarts face en coupe selon un plan vertical situé au milieu du cornet.

[Fig. 2d] La figure 2d représente le cornet d'antenne des figures 2a et 2b dans une vue en trois-quarts face en coupe selon un plan horizontal situé au milieu du cornet.

[Fig. 3] La figure 3 représente un autre mode de réalisation d'un cornet d'antenne selon l'invention, en vue de trois-quarts face.

[Fig. 4] La figure 4 représente un réseau de cornets d'antenne selon un mode de réalisation de l'invention.

[0030] Des références identiques sont utilisées dans des figures différentes lorsque les éléments désignés sont identiques.

Description détaillée :

[0031] La figure 2a représente un cornet d'antenne selon un premier mode de réalisation de l'invention, en vue de trois-quarts dos.

[0032] Le cornet d'antenne 200 selon l'invention comprend un guide d'onde 201, de section rectangulaire, qui s'étend selon un axe longitudinal zz' . Le guide d'onde 201 est ouvert par une extrémité à l'avant, qui est l'extrémité par laquelle le cornet rayonne. L'autre extrémité du guide d'onde 201 présente des accès 202 et 203 par lesquels les signaux transmis par le cornet sont injectés/extraits.

[0033] Les deux parois opposées les plus larges 204 et 204' du guide d'onde constituent une première paire de parois. Les deux autres parois opposées 205 et 205' constituent une deuxième paire de parois. Lorsque le guide d'onde a une section carrée, qui est un rectangle particulier, la première paire de paroi peut être constituée indifféremment par les parois opposées 204 et 204' ou les parois opposées 205 et 205'.

[0034] Le cornet d'antenne selon l'invention comprend deux nervures 206 et 206', situées à l'intérieur du guide d'onde et venant former une excroissance au milieu et sur toute la longueur de chacune des parois de la première paire de parois 204 et 204'. Les deux nervures 206 et 206' sont de largeur et de hauteur identiques.

[0035] Enfin, le cornet d'antenne selon l'invention comprend une paroi centrale plane qui s'étend le long de l'axe longitudinal zz' . Du côté des accès, la paroi centrale 207 relie les milieux des parois de la deuxième paire de parois 205 et 205'. Elle forme ainsi, avec le guide d'onde 201, deux accès indépendants 202 et 203. Ces accès forment chacun un guide d'onde de section rectangulaire, de largeur a et de hauteur b .

[0036] Grâce aux nervures 206 et 206', chacun des accès 202 et 203 forme un guide d'onde nervuré dont la

dimension électrique est réduite par rapport à la longueur d'onde, ce qui rend le cornet d'antenne compact. Le choix en particulier de la largeur a , de la hauteur et de la largeur des nervures 206 et 206' conditionne la propagation des ondes électromagnétiques dans les guides d'onde 202 et 203, selon des règles connues de l'homme du métier, comme décrit par exemple dans l'article W. J. R. Hoefler and M. N. Burton, "Analytical Expressions for the Parameters of Finned and Ridged Waveguides," 1982 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, Dallas, TX, USA, 1982, pp. 311-313.

[0037] Les dimensions des accès 202 et 203 sont choisies pour permettre la propagation des ondes électromagnétiques selon le mode de propagation fondamental TE₁₀ dans la bande de fréquence d'intérêt. Avantagusement, dans le cas d'une antenne pour liaison satellitaire, la bande de fréquence d'intérêt est la bande Ka. En particulier, ils peuvent être adaptés à la propagation dans la bande de fréquence 17.3 - 31 GHz, qui couvre les bandes d'émission et de réception pour des transmissions satellite en bande Ka. Dans un cas particulier d'application, l'un des accès peut être utilisé pour injecter un signal à émettre dans le cornet, et l'autre accès peut être utilisé pour récupérer un signal reçu par le cornet, les deux signaux étant transmis à une même fréquence ou à des fréquences différentes dans la même bande de fréquence.

[0038] Les guides d'onde nervurés n'impliquent pas de pertes supplémentaires par rapport à des guides d'onde classiques. Le format du guide d'onde 201 est directement lié au format des deux accès 202 et 203 puisque la distance entre ses parois 205 et 205' est égale à la largeur a des accès 202 et 203. La hauteur intérieure du guide d'onde 201 vaut deux fois la hauteur b des guides d'onde 202 et 203, plus l'épaisseur de la paroi centrale 207. Cette paroi sera donc avantagusement choisie comme étant petite devant b . Typiquement, les guides d'onde du commerce ont un rapport de la hauteur b sur la largeur a valant 1/2, mais le cornet d'antenne selon l'invention peut être implémenté quel que soit le rapport a/b .

[0039] La figure 2b représente le cornet d'antenne de la figure 2a en vue de trois-quarts face, c'est-à-dire du côté de l'ouverture du guide d'onde 201. On y retrouve les nervures 206 et 206', qui s'étendent bien tout le long des parois 204 et 204' du guide d'onde selon l'axe longitudinal. On observe également que la paroi centrale se termine sous la forme de deux nervures 208 et 208' venant former une excroissance au milieu de chacune des parois de la deuxième paire de parois 205 et 205' au niveau de l'extrémité ouverte du guide d'onde. Les deux nervures 208 et 208' sont de largeur et de hauteur identiques.

[0040] Dans ce mode de réalisation, les nervures 206, 206', 208 et 208' s'étendent à l'extérieur du guide d'onde 201, où ils prennent une forme évasée de manière à réaliser l'adaptation entre la propagation guidée à l'intérieur du guide d'onde 201 et la propagation en espace libre.

Une forme elliptique est utilisée dans les illustrations mais toute forme permettant de réaliser un changement de dimensions progressif entre l'intérieur et l'extérieur du cornet sont appropriées. En particulier un évasement progressif par marches peut permettre une adaptation fine dans les deux bandes de fréquences.

[0041] Dans l'exemple de la figure 2b, les rainures forment un demi-cercle et se replient sur l'extérieur du guide d'onde 201. Cette réalisation est avantageuse pour la mise en réseau de cornets d'antenne, mais la partie hachurée des nervures n'est pas indispensable à la mise en oeuvre d'un cornet élémentaire selon l'invention.

[0042] La figure 2c représente le cornet d'antenne des figures 2a et 2b dans une vue en trois-quarts face en coupe selon un plan vertical situé au milieu du cornet. On y retrouve le guide d'onde 201 et la nervure 206'. Au fond du cornet d'antenne, à l'extrémité servant d'accès aux signaux, la paroi centrale 207 relie les deux parois 205 et 205' du guide d'onde de manière continue en leur milieu. A l'avant du cornet d'antenne, à l'extrémité ouverte par laquelle le cornet rayonne, la paroi centrale forme les deux nervures 208 et 208'. Entre les deux, la paroi centrale est interrompue en direction de la partie ouverte du guide d'onde 201, de manière à former un polariseur septum permettant de polariser les signaux transmis dans les deux accès 202 et 203 dans des polarisations circulaires orthogonales. En particulier, la fonction de polarisation est réalisée en concevant la paroi centrale de manière à ce qu'elle transfère une partie de l'énergie du mode vertical dans le mode horizontal tout en appliquant un retard égal à $\lambda_g/4$ entre ces deux modes, avec λ_g la longueur d'onde guidée de la bande de fréquence d'intérêt prenant en compte la présence des nervures. Un tel résultat peut être obtenu en utilisant une paroi centrale interrompue en son centre présentant une pluralité de dents, telles que les dents 209 et 209' sur la figure 2c.

[0043] Les dimensions du guide d'onde 201 sont choisies de manière à ce qu'il soit adapté pour la propagation des ondes électromagnétiques selon les modes de propagation TE₁₀ et TE₀₁ dans la bande de fréquence d'intérêt au niveau de son extrémité ouverte, et ce dans des dimensions réduites grâce aux nervures disposées sur chacune de ses parois. Ainsi, les premières nervures 206 et 206' positionnées contre la première paire de parois du guide d'onde et les deuxièmes nervures 208 et 208' positionnées contre la deuxième paire de parois du guide d'onde ne sont pas nécessairement de hauteur et de largeur identiques, les premières nervures étant dimensionnées à partir de la largeur a des parois 204 et 204' pour le mode de propagation TE₁₀, les deuxièmes nervures étant dimensionnées à partir de la largeur des parois 205 et 205', égale à 2b plus la hauteur de la paroi centrale 207, pour le mode de propagation TE₀₁. La hauteur de la paroi centrale 207 est donc liée à la largeur des nervures permettant la propagation selon le mode TE₀₁ dans le guide d'onde 201.

[0044] La paroi centrale joue donc un rôle triple: elle permet de délimiter les accès 202 et 203, de réaliser la

fonction de polarisation circulaire en formant un septum quart d'onde, et de permettre la propagation des ondes polarisées circulairement dans un guide d'onde de dimensions réduites grâce à ses extrémités 208 et 208'.

[0045] La figure 2d représente le cornet d'antenne des figures 2a et 2b dans une vue en trois-quarts face en coupe selon un plan horizontal situé au milieu du cornet. On peut y observer en particulier que les nervures 206 et 206' forment des excroissances positionnées le long et au milieu de paroi opposées 204 et 204' du guide d'onde 201.

[0046] Selon un mode de réalisation de l'invention, le guide d'onde 201 est de section carrée. Dans ce cas, les parois sur lesquelles sont attachées les nervures 206 et 206' peuvent indifféremment être choisies comme étant les parois horizontales opposées 204 et 204' ou les parois verticales opposées 205 et 205'. Dans le deuxième cas, cela implique que la paroi centrale 207 s'étend verticalement le long de l'axe longitudinal zz', de manière à relier les milieux des parois 204 et 204' au niveau des accès.

[0047] En choisissant le guide d'onde 201 de section carrée, les nervures 206 et 206' des parois horizontales et les nervures 208 et 208' des parois verticales peuvent avoir les mêmes hauteurs et largeurs. Dans ce cas, le taux d'ellipticité des signaux transmis est optimal, et la polarisation circulaire est très pure.

[0048] Le guide d'onde 201 peut être choisi comme ayant une section rectangulaire non carrée, afin par exemple d'avoir des accès 202 et 203 de format standard avec un rapport a/b égal à 1/2, ou pour une maille de taille contrainte afin de satisfaire à des exigences concernant l'angle maximal de balayage et la fréquence maximale de fonctionnement.

[0049] Le guide d'onde selon l'invention permet de réaliser simultanément l'émission et la réception, par exemple dans la bande Ka pour des communications satellitaires, à partir d'un seul cornet d'antenne de dimensions réduites, répondant ainsi à un besoin de diminution du pas de maille des réseaux de cornets dans les antennes à balayages. Il présente de nombreux avantages par rapport à l'état de la technique :

- il est très compact, de par l'utilisation de guides d'ondes nervurés,
- il ne comprend pas d'éléments diélectriques, ce qui lui permet d'être simple à assembler, peu coûteux à fabriquer, et de présenter des performances homogènes dans le temps et lors des variations de température ;
- il ne présente pas de pertes liées à l'utilisation de matériaux diélectriques, ce qui permet d'avoir un gain d'antenne maximal ;
- les dimensions du cornet d'antenne ou de la bande de fréquence de fonctionnement sont très facilement ajustables, puisqu'elles sont liées à la taille des nervures situées dans le guide d'onde. Il est donc compatible du besoin continu d'augmentation de la fré-

- quence de fonctionnement ;
- il peut être intégré dans une maille de taille plus réduite que les cornets d'antenne de l'état de la technique, en particulier une maille de taille de pas inférieure à $\lambda/2$, et permet donc de fabriquer des antennes à balayage sur un angle plus important ;
 - il est totalement métallique, et peut être fabriqué par usinage ou par fabrication additive (impression 3D). Ce dernier mode de fabrication permet de produire des cornets d'antenne ou des réseaux de cornets de manière rapide et peu coûteuse, à partir d'une simple modélisation en trois dimensions ;
 - les extrémités des nervures 206, 206', 208 et 208' situées à l'extérieur du guide d'onde 201 permettent de prévenir certains effets néfastes en balayage élevé : chute du gain (en anglais *scan loss*), angle aveugle (perte du faisceau), dépolarisation (effets habituellement encouragés par la présence de diélectrique).

[0050] La figure 3 représente un autre mode de réalisation d'un cornet d'antenne selon l'invention, en vue de trois-quarts face. Ce mode de réalisation se différencie de celui présenté aux figures 2a à 2d en ce que les nervures 206, 206', 208 et 208' ne s'étendent pas en dehors du guide d'onde 201. Dans ce mode de réalisation, une couche de diélectrique telle que la couche 115 doit être ajoutée à l'extrémité ouverte du cornet d'antenne 300 afin de réaliser l'adaptation entre la propagation guidée à l'intérieur du cornet et la propagation en espace libre.

[0051] Ce mode de réalisation présente le défaut de nécessiter l'assemblage d'une couche de matériau diélectrique avec la partie métallique du cornet. Cependant, la couche de diélectrique 115 est déposée sur l'ouverture du guide d'onde 201. Elle est alors simple à assembler et peut être ajustée en une pièce à l'ensemble des cornets d'un réseau de cornets d'antenne selon l'invention, limitant ainsi les coûts de fabrication.

[0052] La figure 4 représente un réseau de cornets d'antenne selon un mode de réalisation de l'invention, implémentant des cornets d'antenne élémentaires tels que celui décrit aux figures 2a à 2d.

[0053] Le réseau 400 présente une maille de pas α selon une dimension et de pas β selon l'autre dimension correspondant exactement aux dimensions extérieures du guide d'onde 201. Chaque cornet d'antenne épouse alors totalement l'espace qui lui est attribuée, ce qui est optimal en termes d'occupation.

[0054] Dans le mode de réalisation de la figure 4, les nervures adjacentes de cornets adjacents, telles que les nervures 401 et 402, sont reliés de manière à ne former qu'une seule et même nervure continue. L'absence de discontinuités permet entre autres de réduire la surface équivalente radar (SER) de l'antenne réseau.

[0055] L'invention porte donc sur un cornet d'antenne compact pouvant être intégré dans un réseau d'antennes élémentaires. Le cornet est décrit par rapport au cas d'application que constituent les communications satellites

en bande Ka, mais pourrait être utilisé pour n'importe quel type de communications dans une bande de fréquence donnée impliquant la transmission de deux signaux polarisés circulairement.

5 **[0056]** L'invention porte également sur un équipement de radiocommunications comprenant un cornet d'antenne ou un réseau de cornets d'antenne selon l'invention. L'équipement de radiocommunications peut par exemple être embarqué sur un véhicule terrestre ou aérien.

10 **[0057]** Enfin, l'invention porte sur un procédé de télécommunications, notamment par satellite, entre deux équipements de radiocommunications selon l'invention. Le procédé comprend l'émission et/ou la réception de signaux en utilisant un cornet d'antenne ou un réseau de
15 cornet d'antenne selon l'invention.

Revendications

20 1. Cornet d'antenne (200, 300), notamment pour communications satellitaires, comprenant :

- un guide d'onde (201) s'étendant selon un axe longitudinal (zz'), le guide d'onde ayant une extrémité ouverte et une extrémité permettant d'accéder à des signaux transmis dans le guide d'onde, les parois opposées du guide d'onde les plus larges (204, 204') constituant une première
25 paire de parois du guide d'onde, les deux autres parois (205, 205') du guide d'onde constituant une deuxième paire de parois du guide d'onde,

le cornet d'antenne comprenant en outre :

- deux premières nervures (206, 206') s'étendant selon l'axe longitudinal à l'intérieur du guide d'onde, au milieu et sur toute la longueur de chacune des parois de la première paire de parois,
- une paroi centrale plane (207, 208, 208') s'étendant dans le guide d'onde suivant l'axe longitudinal, la paroi centrale étant configurée pour, au niveau de l'extrémité permettant d'accéder aux signaux transmis dans le guide d'onde, relier (207) les deux parois de la deuxième
35 paire de parois en leur milieu formant ainsi deux accès séparés (202, 203) auxdits signaux, et pour s'interrompre en direction de l'extrémité ouverte du guide d'onde de manière à polariser les signaux transmis par les deux accès selon des polarisations circulaires orthogonales, la paroi centrale formant deux deuxièmes nervures (208, 208') s'étendant selon l'axe longitudinal au milieu de chacune des parois de la deuxième paire de parois du côté de l'extrémité ouverte du guide d'onde.

50 2. Cornet d'antenne selon la revendication 1, dans lequel le guide d'onde a une section carrée, deux pa-

- rois opposées quelconques du guide d'onde constituant la première paire de parois, les deux autres parois opposées du guide d'onde formant la deuxième paire de parois.
3. Cornet d'antenne selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le guide d'onde (201), la première paire de nervures (206, 206') et la deuxième paire de nervures (208, 208') ont des dimensions adaptées pour la propagation d'ondes électromagnétiques selon les modes de propagation TE₁₀ et TE₀₁ dans la bande de fréquence des signaux transmis, et dans lequel les deux accès (202, 203) ont des dimensions adaptées pour la propagation d'ondes électromagnétiques selon le mode de propagation TE₁₀.
4. Cornet d'antenne selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre une couche de matériau diélectrique (115) positionnée de manière à couvrir l'extrémité ouverte du guide d'onde et configurée pour réaliser l'adaptation entre la propagation à l'intérieur du guide d'onde et la propagation en espace libre.
5. Cornet d'antenne selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel les premières (206, 206') et deuxièmes (208, 208') nervures s'étendent à l'extérieur du guide d'onde par son extrémité ouverte en ayant une forme évasée en dehors du guide d'onde.
6. Cornet d'antenne selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les deux premières nervures (206, 206') ont des hauteurs et des largeurs identiques, et dans lequel les deux deuxièmes nervures (208, 208') ont des hauteurs et des largeurs identiques.
7. Cornet d'antenne selon l'une des revendications précédentes, dans lequel un des accès (202) formés par la paroi centrale (207) et le guide d'onde (201) est utilisé pour l'injection d'un premier signal à une première fréquence, et dans lequel l'autre accès (203) est utilisé pour l'extraction d'un signal à une deuxième fréquence différente de la première fréquence, la première fréquence et la deuxième fréquence appartenant à la bande Ka du spectre électromagnétique.
8. Cornet d'antenne selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les côtés de la section du guide d'onde sont de taille inférieure à $\lambda/2$, avec λ la longueur d'onde des signaux à émettre.
9. Antenne comprenant au moins un cornet d'antenne selon l'une des revendications précédentes.
10. Antenne selon la revendication 9 comprenant un ré-
- seau (400) d'au moins deux cornets d'antenne selon l'une des revendications précédentes disposés selon une maille de pas régulier, dans lequel les premières (206, 206') et deuxièmes (208, 208') nervures s'étendent à l'extérieur des guides d'onde par leurs extrémités ouvertes en ayant une forme évasée, les cornets d'antenne adjacents étant reliés par l'extrémité d'une de leurs nervures en dehors des guides d'onde.
11. Equipement de radiocommunications comprenant une antenne selon l'une des revendications 9 et 10.
12. Procédé de télécommunications, notamment par satellite, entre deux stations, le procédé comprenant l'emploi d'un équipement de radiocommunications selon la revendication 11.

20 Patentansprüche

1. Antennenhorn (200, 300), insbesondere für Satellitenkommunikation, das Folgendes umfasst:

- einen Wellenleiter (201), der sich entlang einer Längsachse (zz') erstreckt, wobei der Wellenleiter ein offenes Ende und ein den Zugang zu in dem Wellenleiter übertragenen Signalen ermöglichendes Ende aufweist, wobei die gegenüberliegenden breitesten Wände (204, 204') des Wellenleiters ein erstes Paar Wände des Wellenleiters bilden und die beiden anderen Wände (205, 205') des Wellenleiters ein zweites Paar Wände des Wellenleiters bilden,

wobei das Antennenhorn ferner Folgendes umfasst:

- zwei erste Rippen (206, 206'), die sich entlang der Längsachse innerhalb des Wellenleiters, in der Mitte und über die gesamte Länge jeder der Wände des ersten Wandpaares erstrecken,
 - eine flache Mittelwand (207, 208, 208'), die sich im Wellenleiter entlang der Längsachse erstreckt, wobei die Mittelwand so konfiguriert ist, dass sie an dem Ende, das den Zugang zu den im Wellenleiter übertragenen Signalen ermöglicht, die beiden Wände des zweiten Wandpaares in ihrer Mitte verbindet (207) und so zwei separate Zugänge (202, 203) zu den Signalen bildet, und in Richtung des offenen Endes des Wellenleiters stoppt, um die von den beiden Zugängen übertragenen Signale gemäß orthogonalen zirkularen Polarisationen zu polarisieren, wobei die Mittelwand zwei zweite Rippen (208, 208') bildet, die sich entlang der Längsachse in der Mitte jeder der Wände des zweiten Wandpaares vom offenen Ende des Wellenleiters aus erstrecken.

2. Antennenhorn nach Anspruch 1, wobei der Wellenleiter einen quadratischen Querschnitt hat, wobei zwei beliebige gegenüberliegende Wände des Wellenleiters das erste Wandpaar bilden und die beiden anderen gegenüberliegenden Wände des Wellenleiters das zweite Wandpaar bilden. 5
3. Antennenhorn nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Wellenleiter (201), das erste Paar Rippen (206, 206') und das zweite Paar Rippen (208, 208') Abmessungen haben, die für die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen gemäß den Ausbreitungsmoden TE₁₀ und TE₀₁ im Frequenzband der übertragenen Signale ausgelegt sind, und wobei die beiden Zugänge (202, 203) Abmessungen haben, die für die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen gemäß der Ausbreitungsmoden TE₁₀ ausgelegt sind. 10
4. Antennenhorn nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das ferner eine Schicht aus dielektrischem Material (115) umfasst, die so positioniert ist, dass sie das offene Ende des Wellenleiters bedeckt, und zum Realisieren des Abgleichs zwischen der Ausbreitung innerhalb des Wellenleiters und der Ausbreitung im freien Raum konfiguriert ist. 15
5. Antennenhorn nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei sich die ersten (206, 206') und zweiten (208, 208') Rippen außerhalb des Wellenleiters durch sein offenes Ende erstrecken, während sie außerhalb des Wellenleiters eine aufgeweitete Form haben. 20
6. Antennenhorn nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die beiden ersten Rippen (206, 206') identische Höhen und Breiten haben und wobei die beiden zweiten Rippen (208, 208') identische Höhen und Breiten haben. 25
7. Antennenhorn nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei einer der durch die Mittelwand (207) und den Wellenleiter (201) gebildeten Zugänge (202) zum Einspeisen eines ersten Signals mit einer ersten Frequenz verwendet wird, und wobei der andere Zugang (203) zum Extrahieren eines Signals mit einer zweiten Frequenz verwendet wird, die sich von der ersten Frequenz unterscheidet, wobei die erste Frequenz und die zweite Frequenz zum Ka-Band des elektromagnetischen Spektrums gehören. 30
8. Antennenhorn nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Seiten des Querschnitts des Wellenleiters kleiner als $\lambda/2$ sind, wobei λ die Wellenlänge der auszusendenden Signale ist. 35
9. Antenne, die mindestens ein Antennenhorn nach einem der vorhergehenden Ansprüche umfasst. 40

10. Antenne nach Anspruch 9, das ein Netzwerk (400) von mindestens zwei Antennenhörnern nach einem der vorhergehenden Ansprüche umfasst, die in einem Maschennetz mit regelmäßiger Teilung angeordnet sind, wobei sich die ersten (206, 206') und zweiten (208, 208') Rippen mit ihren offenen Enden außerhalb der Wellenleiter erstrecken, indem sie eine aufgeweitete Form haben, wobei die benachbarten Antennenhörner durch das Ende eines ihrer Rippen außerhalb der Wellenleiter verbunden sind. 45
11. Funkkommunikationsausrüstung, die eine Antenne nach einem der Ansprüche 9 und 10 umfasst. 50
12. Telekommunikationsverfahren, insbesondere über Satellit, zwischen zwei Stationen, wobei das Verfahren die Verwendung einer Funkkommunikationsausrüstung nach Anspruch 11 umfasst. 55

Claims

1. An antenna horn (200, 300), in particular for satellite communications, comprising:
- a waveguide (201) extending along a longitudinal axis (zz'), the waveguide having an open end and an end allowing access to signals transmitted in the waveguide, the widest opposite walls of the waveguide (204, 204') constituting a first pair of walls of the waveguide, the other two walls (205, 205') of the waveguide constituting a second pair of walls of the waveguide,
- the antenna horn further comprising:
- two first ridges (206, 206') extending along the longitudinal axis inside the waveguide, in the middle and over the whole length of each of the walls of the first pair of walls,
 - a flat central wall (207, 208, 208') extending in the waveguide along the longitudinal axis, the central wall being configured so as, at the level of the end allowing access to the signals transmitted in the waveguide, to connect (207) the two walls of the second pair of walls at their midpoints, thus forming two separate accesses (202, 203) to said signals, and to stop in the direction of the open end of the waveguide so as to polarise the signals transmitted by the two accesses according to orthogonal circular polarisations, the central wall forming two second ridges (208, 208') extending along the longitudinal axis in the middle of each of the walls of the second pair of walls from the open end of the waveguide.
2. The antenna horn according to claim 1, wherein the

waveguide has a square section, any two opposite walls of the waveguide constituting the first pair of walls, the other two opposite walls of the waveguide forming the second pair of walls.

3. The antenna horn according to one of the preceding claims, wherein the waveguide (201), the first pair of ridges (206, 206') and the second pair of ridges (208, 208') have dimensions adapted for the propagation of electromagnetic waves according to the modes of propagation TE₁₀ and TE₀₁ in the frequency band of the transmitted signals, and wherein the two accesses (202, 203) have dimensions adapted for the propagation of electromagnetic waves according to the mode of propagation TE₁₀. 5
4. The antenna horn according to one of the preceding claims, further comprising a layer of dielectric material (115) positioned so as to cover the open end of the waveguide and configured to perform the matching between propagation inside the waveguide and propagation in free space. 10
5. The antenna horn according to one of claims 1 to 3, wherein the first (206, 206') and second (208, 208') ridges extend outside the waveguide through its open end while having a flared shape outside the waveguide. 15
6. The antenna horn according to one of the preceding claims, wherein the two first ridges (206, 206') have identical heights and widths and wherein the two second ridges (208, 208') have identical heights and widths. 20
7. The antenna horn according to one of the preceding claims, wherein one of the accesses (202) formed by the central wall (207) and the waveguide (201) is used to inject a first signal at a first frequency, and wherein the other access (203) is used to extract a signal at a second frequency, which is different from the first frequency, the first frequency and the second frequency belonging to the Ka band of the electromagnetic spectrum. 25
8. The antenna horn according to one of the preceding claims, wherein the sides of the section of the waveguide have a size less than $\lambda/2$, where λ is the wavelength of the signals to be transmitted. 30
9. The antenna comprising at least one antenna horn according to one of the preceding claims. 35
10. The antenna according to claim 9 comprising a network (400) of at least two antenna horns according to one of the preceding claims, which are arranged in a mesh of regular pitch, wherein the first (206, 206') and second (208, 208') ridges extend outside 40

the waveguides through their open ends while having a flared shape, the adjacent antenna horns being connected by the end of one of their ridges outside the waveguides. 45

11. A radio communication equipment comprising an antenna according to one of claims 9 and 10. 50
12. A telecommunication method, in particular by satellite, between two stations, the method comprising the use of a piece of radio communication equipment according to claim 11. 55

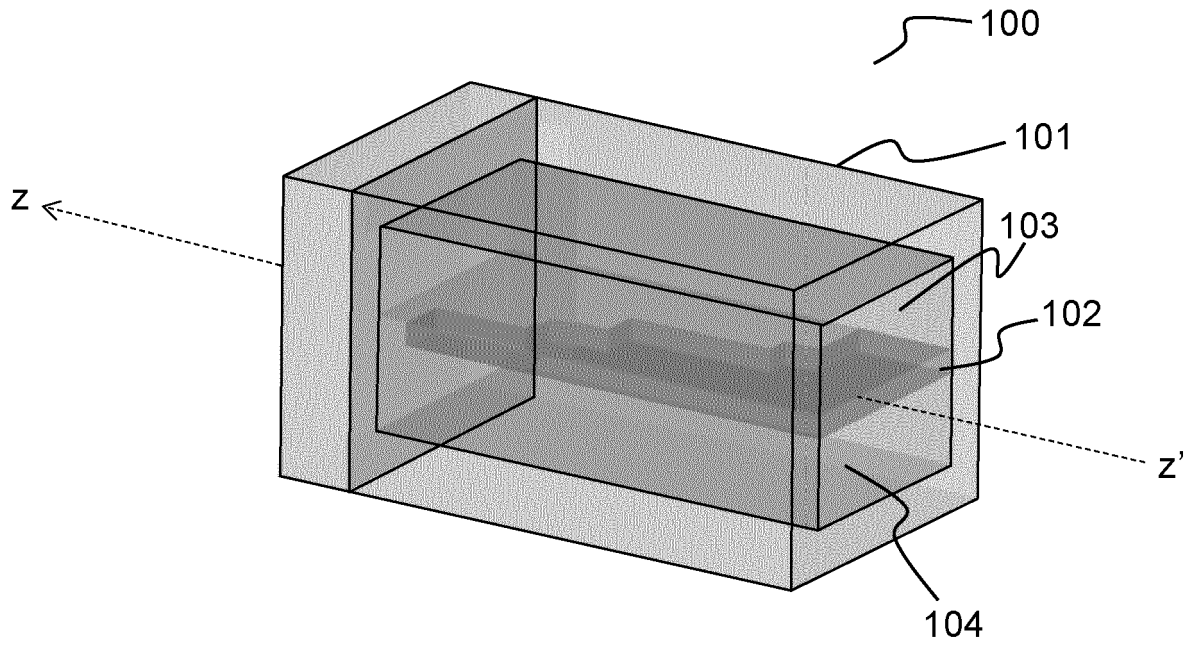


FIG. 1a

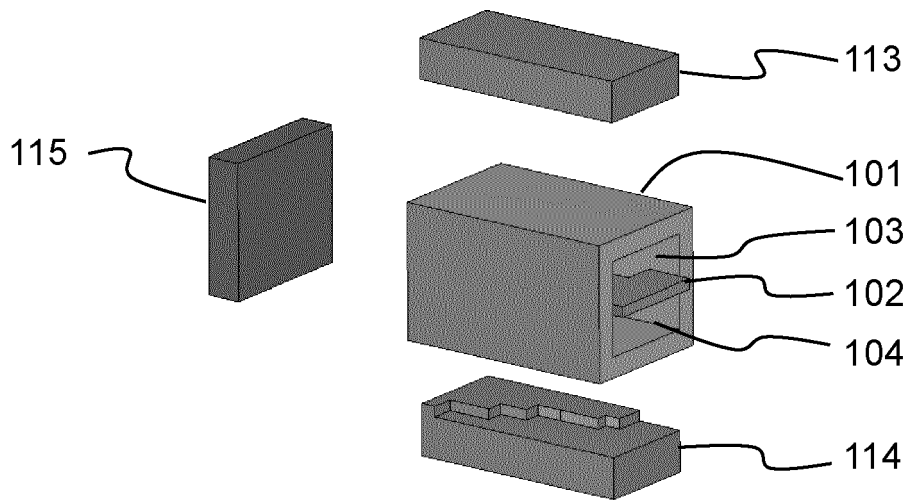


FIG. 1b

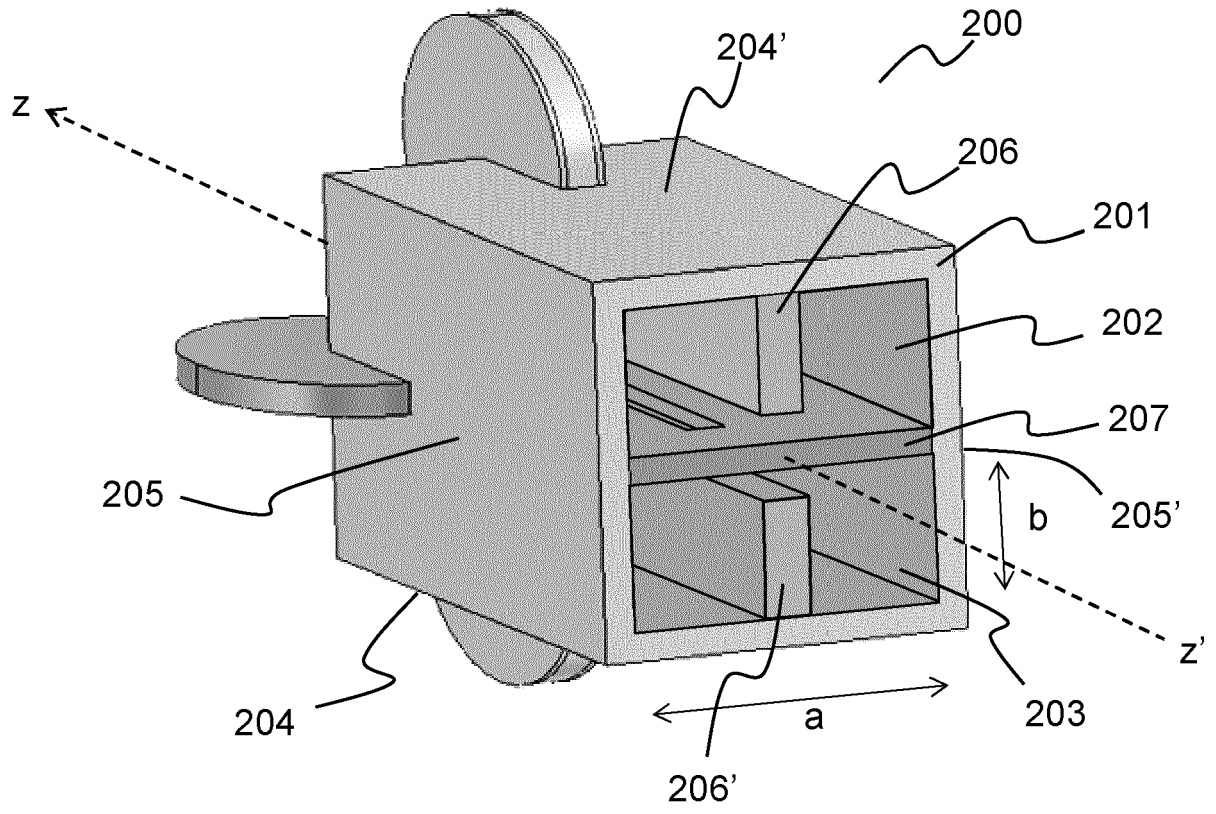


FIG.2a

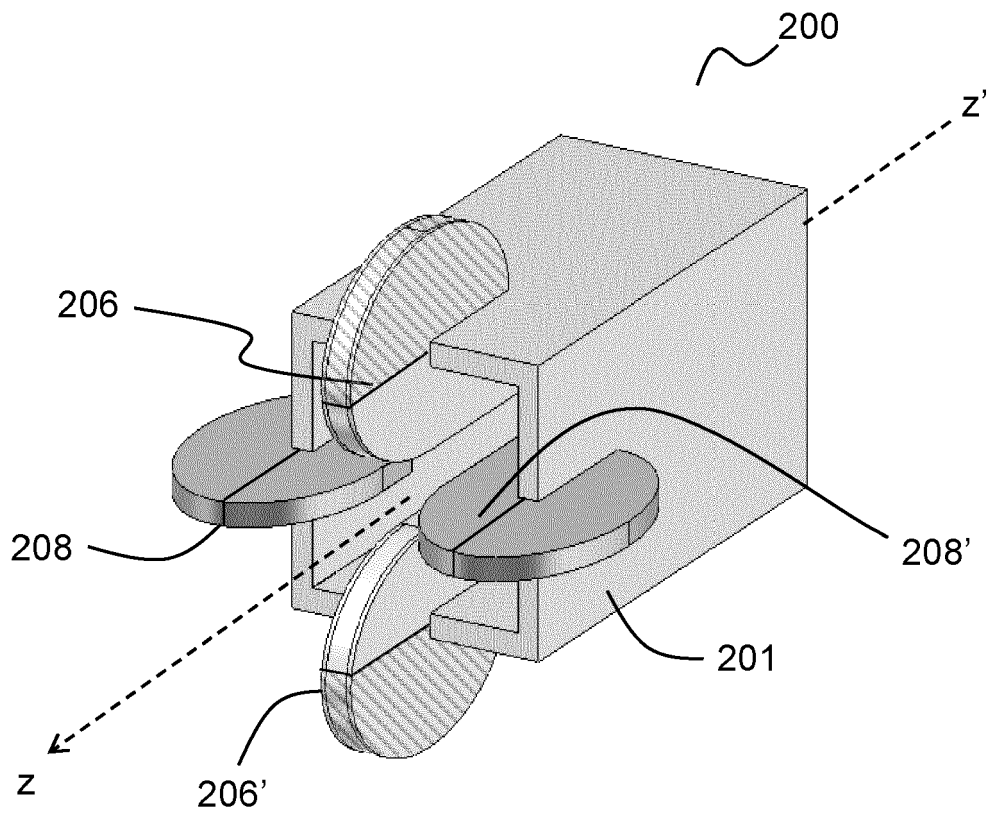


FIG.2b

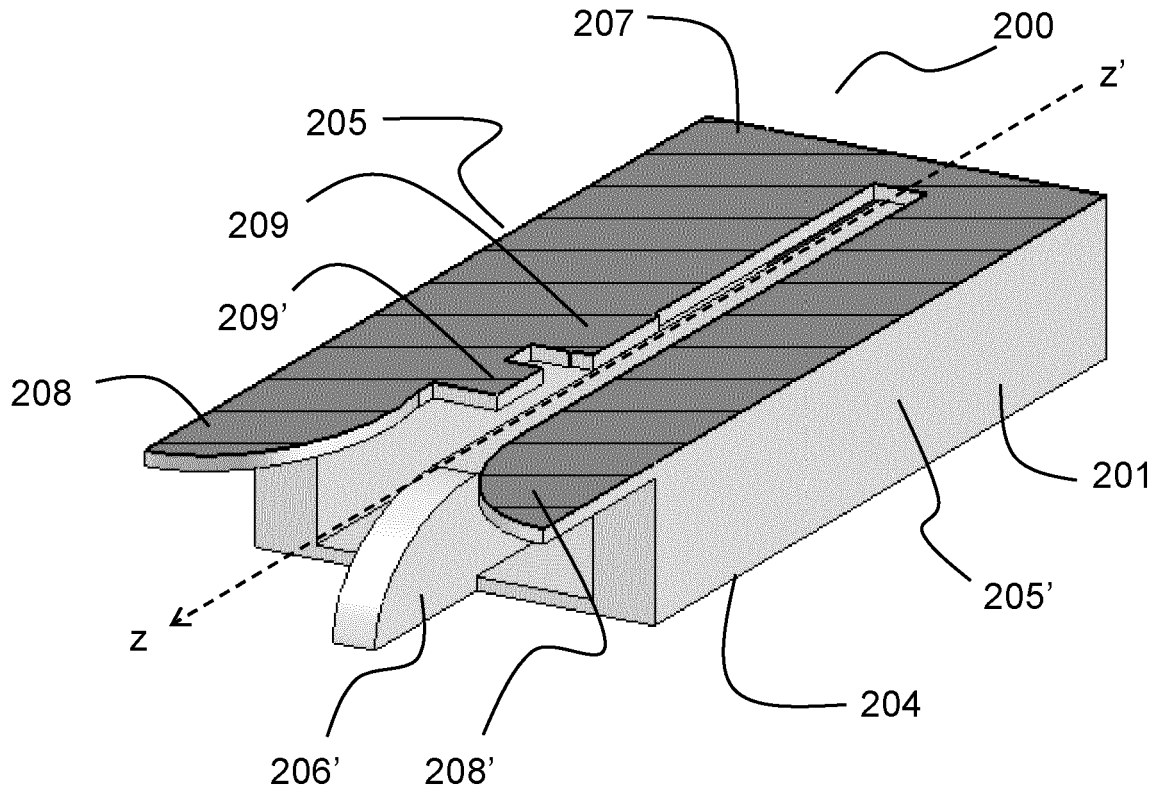


FIG.2c

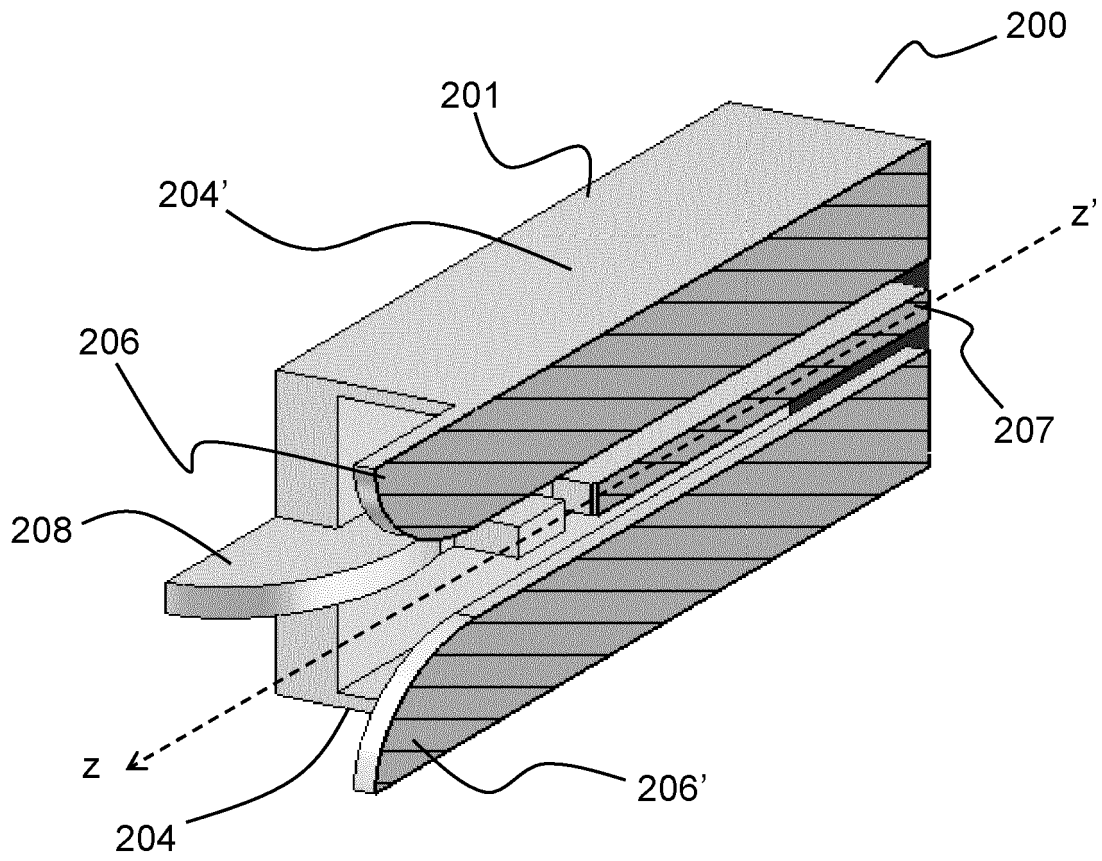


FIG.2d

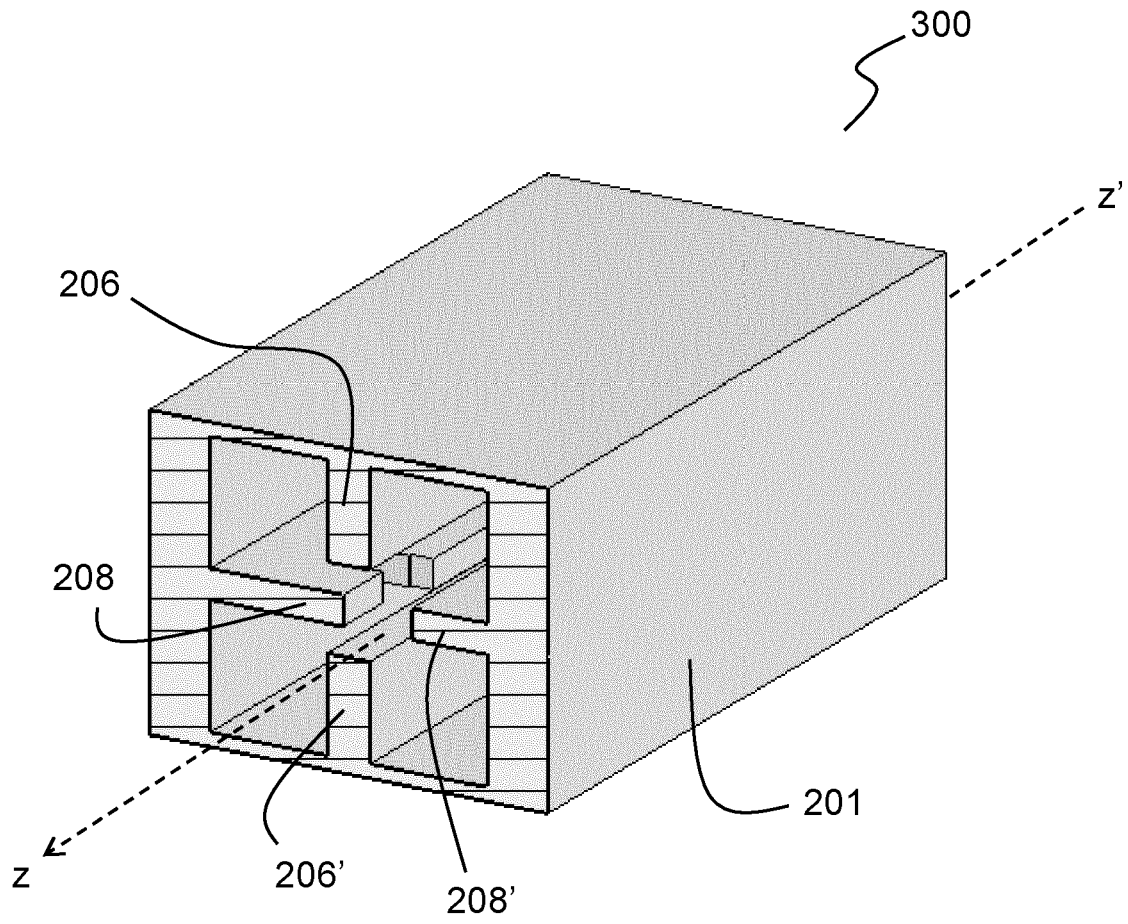


FIG.3

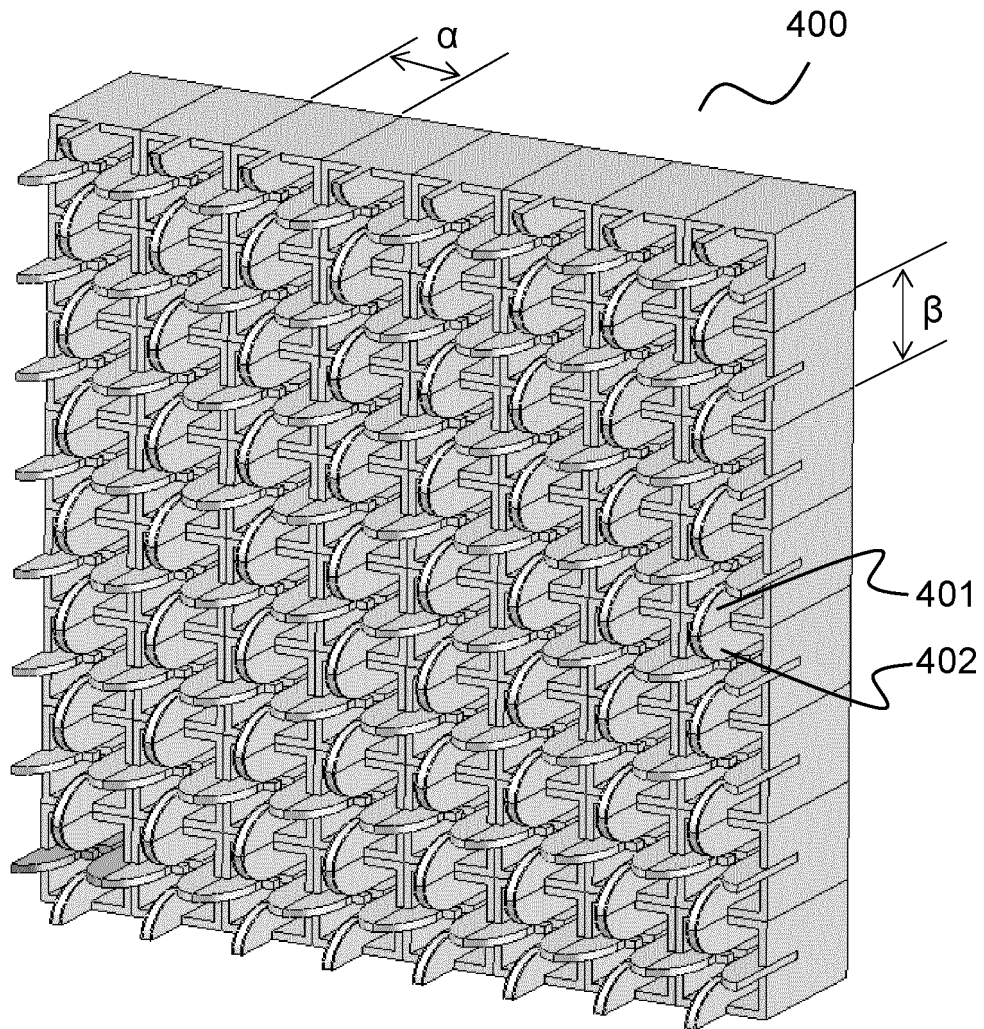


FIG.4

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

- EP 2879236 A [0008]
- WO 201405691 A1 [0009]
- EP 3179634 A1 [0009]
- US 9640847 B2 [0010]
- KR 101117648 B1 [0010]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **TANIANG ELIE G et al.** Wide Bandwidth Cavity-Backed Dual-Polarized Vivaldi Array Antenna. *IEEE international symposium on antennas and propagation & USNC/URSI national radio science meeting* [0009]
- **W. J. R. HOEFER ; M. N. BURTON.** Analytical Expressions for the Parameters of Finned and Ridged Waveguides. *1982 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, Dallas, TX, USA, 1982, 311-313* [0036]