



DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
22.05.2024 Bulletin 2024/21

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H01Q 1/24 (2006.01) **H01Q 1/52** (2006.01)
H01Q 21/06 (2006.01) **H01Q 1/28** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **23208816.1**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H01Q 1/246; H01Q 1/523; H01Q 21/064;
H01Q 1/288

(22) Date de dépôt: **09.11.2023**

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

- **Nantes Université**
44000 Nantes (FR)
- **CentraleSupélec**
91190 - Gif sur Yvette (FR)

(30) Priorité: **18.11.2022 FR 2211991**

(72) Inventeurs:

- **LEGAY, Hervé**
31830 Plaisance Du Touch (FR)
- **STOUMPOS, Charalampos**
31000 Toulouse (FR)
- **FRAYSSE, Jean-Philippe**
31200 Toulouse (FR)

(71) Demandeurs:

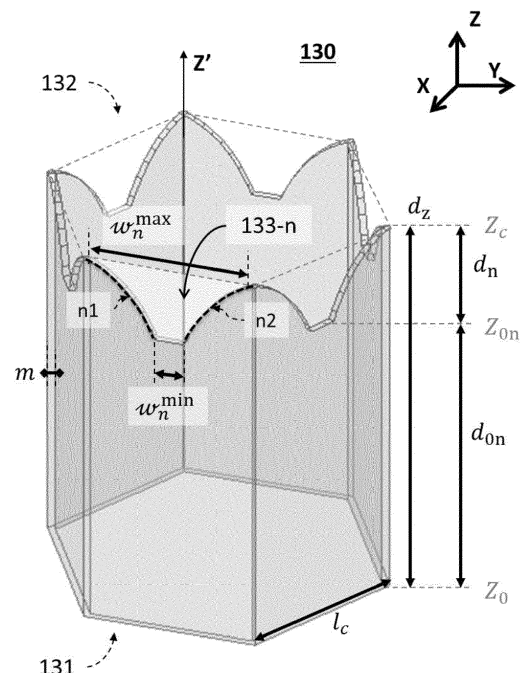
- **THALES**
92190 Meudon (FR)
- **Université de Rennes**
35042 Rennes (FR)
- **Centre National de la Recherche Scientifique**
75016 Paris (FR)
- **INSA de Rennes**
35708 Rennes Cedex 7 (FR)

(74) Mandataire: **Atout PI Laplace**
Immeuble Up On
25 Boulevard Romain Rolland
CS 40072
75685 Paris Cedex 14 (FR)

(54) **DISPOSITIF DE CONTRÔLE DE FAISCEAUX ÉLECTROMAGNÉTIQUES RF SELON LEUR ANGLE D'INCIDENCE ET PROCÉDÉ DE FABRICATION**

(57) Il est proposé un dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences (10) comprenant un ensemble de cellules (100). Chaque cellule comprend un cadre de support (130) et un élément d'excitation (150), et réalise une émission et/ou une réception de faisceaux invariante selon la direction de propagation du faisceau. Le cadre est inscrit dans une forme généralement tubulaire, orientée selon l'axe Z d'un repère (X,Y,Z), ayant une section transverse de périmètre P, et comprend une entrée (131), une sortie (132) et un nombre N de fentes (133-n) entre la sortie et une position Z₀ située entre l'entrée et la sortie. Chaque fente a une largeur variable le long de Z. La largeur de fente a une valeur minimale à la position Z₀, et une valeur maximale au niveau de la sortie déterminée en fonction du périmètre P et du nombre N.

Figure 3



Description

Domaine technique

- 5 [0001] La présente invention concerne de manière générale de domaine des radiofréquences (RF), et en particulier un dispositif de contrôle des faisceaux électromagnétiques RF, notamment pour contrôler l'émission et/ou la réception des faisceaux électromagnétiques selon un angle d'incidence de faisceau par rapport au dispositif, ainsi qu'un procédé de fabrication d'un tel dispositif.
- 10 [0002] Il est connu d'utiliser des dispositifs de contrôle de faisceaux, provenant de sources de signaux électromagnétiques RF, constitués d'un réseau d'éléments rayonnants de faibles dimensions dans lesquels circule une onde électromagnétique RF, tel que décrit par exemple dans la demande de brevet FR3117685A1. De tels dispositifs, généralement planaires, sont configurés pour émettre et/ou recevoir des faisceaux électromagnétiques caractérisés par une direction formant un angle d'incidence de faisceau par rapport au dispositif planaire. Chaque élément rayonnant (et ainsi le dispositif induit) peut être caractérisé par une impédance active.
- 15 [0003] Dans de tels dispositifs, il existe un couplage mutuel important entre les ondes électromagnétiques RF adjacentes d'un même réseau. Le couplage mutuel entre éléments rayonnants contribue à modifier, en fonction de l'angle d'incidence d'un faisceau par rapport au dispositif, l'impédance active des éléments rayonnants et limite ainsi de façon significative les performances de transmission de faisceaux RF d'un dispositif sur un secteur angulaire de faible élévation et/ou sur certaines directions spécifiques, appelées « directions d'aveuglement », comme décrit par exemple dans
- 20 l'article "Mutual impedance effects in large beam scanning arrays" de P. Carter et al., IRE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 8, no. 3, 1960, pages. 276-285.
- [0004] Certaines solutions connues, dites d'adaptation, sont utilisées pour stabiliser l'impédance active d'un dispositif de contrôle selon la direction de propagation de faisceaux. Ces solutions d'adaptation comprennent par exemple l'implémentation des écrans WAIM (acronyme pour l'expression anglo-saxonne de *Wide Angle Impédance Matching*) comme
- 25 décrit par exemple dans l'article "Wide-angle impedance matching of a planar array antenna by a dielectric sheet" de E. Magill et al., IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 14, no. 1, 1966, pages. 49-53, ou dans l'article "Wide angle impedance matching metamaterials for waveguide phased-array antennas" de S. Sajuyigbe et al., IET Microwaves, Antennas & Propagation, vol. 4, no. 8, 2010, pages. 1063-1072. D'autres solutions d'adaptation connues comprennent l'utilisation de dipôles fortement couplés entre eux par des capacités interdigitées, tel que décrit dans l'article
- 30 "The Planar Ultrawideband Modular Antenna (PUMA) Array" de S. S. Holland et al., IEEE TAP, vol. 60, no. 1, 2012, pages. 130-140. Cependant, la conception de ces solutions d'adaptation est complexe, et leur fabrication comprend de nombreuses contraintes, telles que la mise en oeuvre des technologies à base de substrats diélectriques, susceptibles d'induire des pertes ohmiques dans les fréquences de bande passante compatible du système de télécommunication.
- [0005] Il existe ainsi un besoin pour un dispositif amélioré permettant de contrôler des faisceaux d'ondes électromagnétiques RF selon un large secteur angulaire de dépointage de faisceau par rapport au dispositif et pour réduction des directions d'aveuglement, via une solution d'amélioration de la stabilité de l'impédance active du dispositif.
- 35

Résumé de l'invention

- 40 [0006] La présente invention vient améliorer la situation en proposant un dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences défini dans un repère orthogonal (X,Y,Z). Le dispositif s'étend généralement dans le plan (X,Y) du repère orthogonal (X,Y,Z). Le dispositif comprend un ensemble d'au moins une cellule correspondant à un élément rayonnant. La cellule comprend un cadre de support et un élément d'excitation de l'élément rayonnant, chaque faisceau radiofréquence étant défini selon une direction de propagation donnée ayant un angle d'incidence θ par rapport au dispositif.
- 45 Le cadre de support est inscrit dans une forme généralement tubulaire orientée selon l'axe Z du repère orthogonal (X, Y,Z). La forme tubulaire a une longueur d_z donnée selon l'axe du cadre Z et une section transverse définie dans le plan (X,Y). La section transverse a un périmètre P, le cadre de support comprend une entrée de cadre et une sortie de cadre. Le cadre de support comprend en outre un nombre N de fentes s'étendant, selon l'axe du cadre Z, entre la sortie de cadre et une position de fente Z_{0n} le long de l'axe de cadre Z. La position de fente Z_{0n} est située entre l'entrée de cadre
- 50 et la sortie de cadre, chaque fente a une largeur de fente w_n variable le long de l'axe du cadre Z. La largeur de fente w_n a une valeur minimale de fente

$$w_n^{\min}$$

à la position de fente Z_{0n} , et une valeur maximale de fente

$$w_n^{\max}$$

5 au niveau de la sortie du cadre, la valeur maximale de fente

$$w_n^{\max}$$

10

étant déterminée en fonction du périmètre P de la section transverse et du nombre N de fentes. Chaque cellule est configurée pour réaliser une émission et/ou une réception de faisceaux radiofréquences invariante selon la direction de propagation.

15 **[0007]** Chaque fente peut être associée à au moins deux bords de fente, les bords de fentes représentant les limites du cadre de support reliant la position de fente Z_{0n} à la sortie de cadre. Chaque bord de fente peut être associé à une fonction de variabilité, la fonction de variabilité étant une fonction polygonale concave et/ou convexe.

[0008] Dans des modes de réalisation, l'élément d'excitation peut comprendre un nombre H de nervures métalliques longitudinales agencées à l'intérieur de la forme tubulaire. Une nervure peut s'étendre selon l'axe du cadre Z entre l'entrée de cadre et une position de nervure Z_h . La position de nervure Z_h peut être définie entre l'entrée de cadre et la

20 sortie de cadre.

[0009] En particulier, le nombre H de nervures peut être égal au nombre N de fentes.

[0010] Les nervures de la cellule peuvent être identiques entre elles et les fentes de la cellule peuvent être identiques entre elles. La position de nervure Z_h peut être définie entre la position de fente Z_{0n} et la sortie de cadre.

25 **[0011]** Dans des modes de réalisation, l'élément d'excitation peut comprendre une transition antipodale dite « Vivaldi » agencée au moins en partie à l'intérieur de la forme tubulaire. La transition peut comprendre au moins une première gravure métallique et une deuxième gravure métallique s'étendant selon l'axe du cadre Z entre l'entrée de cadre et une position de gravure Z_{0g} . La position de gravure Z_{0g} peut être définie entre l'entrée de cadre et la sortie de cadre.

[0012] Dans des modes de réalisation, l'élément d'excitation peut comprendre un nombre T d'éléments métalliques plans agencés à l'intérieur de la forme tubulaire, un élément planaire s'étendant selon le plan (X,Y) au niveau d'une

30 position planaire Z_l . La position planaire Z_l peut être définie entre l'entrée de cadre et la sortie de cadre.

[0013] Les fentes de la cellule peuvent être identiques entre elles, la position planaire Z_l étant définie entre la position de fente Z_{0n} et la sortie de cadre.

[0014] Le dispositif peut être en partie métallique, La section transverse peut avoir une forme de cercle ou de polygone.

35 **[0015]** L'invention fournit également un procédé de fabrication du dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences caractérisé en ce que le dispositif est au moins partiellement métallique, et le procédé de fabrication utilise au moins une technique d'impression 3D.

[0016] Le dispositif selon les modes de réalisation de l'invention permet de contrôler des faisceaux d'ondes électromagnétiques RF selon un large secteur angulaire de dépointage de faisceau par rapport au dispositif et une diminution des directions d'aveuglement, grâce à une amélioration de la stabilité de l'impédance active du dispositif.

40 **[0017]** Un tel dispositif est particulièrement adapté aux bandes passantes RF compatibles avec les systèmes antenaires de télécommunication. Il fournit en outre une solution efficace, tout en limitant la complexité et les coûts de fabrication, et permet d'obtenir un poids réduit et une compacité significative. En particulier, dans le domaine spatial, un tel dispositif n'impacte pas la charge utile du satellite.

45 Description des figures

[0018] 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.

50 [Fig.1] La figure 1 est un schéma représentant un dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences, selon des modes de réalisation de l'invention.

[Fig.2] La figure 2 est un schéma représentant un système antenne, selon des modes de réalisation de l'invention.

55 [Fig.3] La figure 3 est un schéma représentant le cadre de support d'une cellule du dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences, selon des modes de l'invention.

[Fig.4] La figure 4 est une vue en perspective d'une cellule du dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences

montrant le cadre de support et des nervures interne de la cellule, selon des modes de l'invention.

[Fig.5] La figure 5 est une vue en perspective d'une cellule du dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences montrant le cadre de support et une transition antipodale interne de la cellule, selon des modes de l'invention.

[Fig.6] La figure 6 est une vue en perspective d'une cellule du dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences montrant le cadre de support et des éléments planaires internes de la cellule, selon des modes de l'invention.

[Fig.7a] et [Fig 7b] Les figures 7a et 7b sont des ensembles de graphiques illustrant les performances radioélectriques atteintes par un dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences selon des exemples de réalisation de l'invention.

[Fig.8] La figure 8 est un ensemble de graphiques illustrant les performances radioélectriques atteintes par un dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences, selon des exemples de réalisation de l'invention.

[0019] Des références identiques sont utilisées dans les figures pour désigner des éléments identiques ou analogues. Pour des raisons de clarté, les éléments représentés ne sont pas à l'échelle.

Description détaillée

[0020] La figure 1 représente schématiquement un dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences (RF) 10 selon des modes de réalisation de l'invention.

[0021] Le dispositif de contrôle de faisceaux RF 10 (appelé également 'dispositif 10' par la suite) peut être utilisé dans un système antenne 1. Par exemple et sans limitation, un système antenne peut être implémenté sous la forme d'une antenne active montée à bord d'un satellite en orbite basse (ou LEO pour *Low Earth Orbit* selon l'appellation anglaise) et appartenant à une constellation de satellites destinée à fournir des services de télécommunication sur toute la Terre.

[0022] Un système antenne 1 peut ainsi être configuré pour émettre et/ou recevoir des faisceaux (ou signaux) d'ondes électromagnétiques RF. Un faisceau d'onde électromagnétique RF est associé à une bande de fréquences RF (étant inversement proportionnelle à une longueur d'onde λ). Par exemple, un système antenne 1 peut être configuré pour émettre un signal RF dans des bandes fréquentielles spécifiques. Une telle bande fréquentielle spécifique peut correspondre à une bande de basses fréquences, telle que par exemple une « bande L » ou une « bande S » comprise typiquement entre 1 et 2 GHz ou 2 et 4 GHz. Une telle bande fréquentielle spécifique peut également correspondre à une bande de plus hautes fréquences (utilisée pour les systèmes de télécommunication à haut débit par exemple), telle que par exemple une « bande Ku », une « bande Ka » ou une « bande Q/V » comprise typiquement entre 12 et 18 GHz ou 22.5 et 40 GHz. Une onde électromagnétique d'un signal RF peut être en outre caractérisée par une phase donnée, une amplitude donnée et une polarisation donnée. Les faisceaux RF émis par le système antenne 1 sont désignés par la notation SRF10 sur les figures 1 et 2, et les faisceaux RF reçus par le système antenne 1 sont désignés par la notation SRF20 sur les figures 1 et 2.

[0023] Le dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences 10 peut être configuré pour émettre les faisceaux SRF10. En outre, le dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences 10 peut également être configuré pour réceptionner des faisceaux SRF20 externes. Ainsi, tel qu'utilisé ici, le terme « contrôle de faisceaux radiofréquences » (encore appelé 'manipulation de faisceaux radiofréquences') fait référence à divers phénomènes liés à des ondes électromagnétiques qui peuvent se produire lorsqu'un faisceau RF interagit avec la matière d'un objet donné (ici le dispositif 10). Ces phénomènes peuvent comprendre notamment l'émission, la réception, la transmission, la réflexion, l'absorption, la diffusion, la réfraction et/ou la diffraction de l'onde électromagnétique.

[0024] Comme représenté sur la figure 1, le dispositif de contrôle de faisceaux RF 10 est défini dans un repère (X,Y, Z). En particulier, le dispositif 10 comprend une première face 11 (également appelée 'face d'entrée') et une deuxième face 12 (également appelée 'face de sortie') opposée à la première face 11. Le faisceau SRF10 est émis depuis la deuxième face 12 du dispositif 10 tandis que le faisceau et SRF20 est reçu par la deuxième face 12. Les termes « entrée » ou « sortie » sont utilisés ici en fonction du sens de circulation des ondes radiofréquence (RF) dans le dispositif 10 quand celui-ci fonctionne en émission, c'est-à-dire selon le sens de circulation allant de la première face 11 vers la deuxième face 12.

[0025] Les deux faces 11 et 12 sont distantes l'une de l'autre d'une distance d_z représentant l'épaisseur du dispositif 10. La valeur d'épaisseur du dispositif d_z est très petite par rapport à la taille globale du système antenne, le dispositif 10 peut avoir une structure généralement plane, définie dans le plan (X,Y) orthogonal à l'axe Z. Ainsi, le dispositif 10 s'étend généralement dans le plan (X,Y).

[0026] Dans un mode de réalisation, les deux faces 11 et 12 du dispositif 10 peuvent être parallèles entre elles. Dans un tel mode de réalisation, les deux faces 11 et 12 peuvent être des surfaces définies selon deux dimensions dans le

plan (X,Y) orthogonal à l'axe normal Z. En variante, les deux faces 11 et 12 peuvent être des surfaces définies selon trois dimensions dans le repère (X,Y,Z). Dans ces modes de réalisation, l'épaisseur du dispositif d_z entre les deux faces 11 et 12 parallèles est homogène le long du dispositif 10.

[0027] Alternativement, l'épaisseur du dispositif d_z entre les deux faces 11 et 12 est inhomogène le long du dispositif 10, l'épaisseur du dispositif d_z variant selon l'axe X et/ou selon l'axe Y. Dans ce mode de réalisation avec épaisseur du dispositif variable, au moins une des deux faces 11 et 12 peut être définie comme une surface définie selon trois dimensions dans le repère (X,Y,Z). Par exemple et de façon non limitative, le dispositif 10 peut comprendre un centre O positionné dans le plan (X,Y), l'épaisseur du dispositif d_z variant de façon croissante ou décroissante à partir de ce centre O selon l'axe X pour former un élément quasi-optique, pouvant être un élément concave ou convexe.

[0028] Le dispositif de contrôle de faisceaux RF 10 selon les modes de réalisation de l'invention comprend un ensemble de cellules 100 agencées dans le plan (X,Y), comme représenté sur la figure 1.

[0029] Un faisceau SRF10 émis par le dispositif 10 peut être caractérisé par une direction d'incidence d'émission donnée. Comme représenté sur la figure 1, la direction d'incidence d'émission d'un faisceau SRF10 forme avec l'axe normal Z du dispositif 10 un angle d'incidence d'émission noté θ_e .

[0030] Un faisceau SRF20 reçu par le dispositif 10 peut être caractérisé par une direction d'incidence de réception donnée. Comme représenté sur la figure 1, la direction d'incidence de réception d'un faisceau SRF20 forme avec l'axe normal Z du dispositif 10 un angle d'incidence de réception noté θ_r .

[0031] Les faisceaux SRF10 émis et/ou SRF20 reçus par le dispositif 10 peuvent également être caractérisés par un secteur angulaire maximal θ_{max} , les angles d'incidence d'émission θ_e et de réception θ_r étant alors compris entre 0 et θ_{max} . Les faisceaux SRF10 émis et/ou SRF20 reçus sont alors qualifiés de 'dépointés'. Par exemple et sans limitation, le secteur angulaire maximal noté θ_{max} peut être égal à $\pm 55^\circ$. Les faisceaux SRF10 émis et/ou SRF20 reçus peuvent également être associés à un secteur angulaire de vision noté θ_v et correspondant à un secteur angulaire où la transmission de faisceau doit être effectuée, c'est-à-dire un secteur angulaire sans « aveuglement ».

[0032] Dans l'exemple de réalisation représenté schématiquement sur la figure 2, le système antennaire 1 comprend le dispositif de contrôle de faisceaux RF 10 et une unité de formation de faisceaux 20.

[0033] L'unité de formation de faisceaux 20 (encore appelée plus simplement 'unité 20' dans la suite de la description) peut être un formateur multifaisceaux tel que décrit par exemple dans la demande de brevet FR2986377A1.

[0034] L'unité de formation de faisceaux 20 peut être configurée pour générer et transmettre au dispositif 10 un ou plusieurs signaux d'ondes électromagnétiques, désignés par la notation SRF12 sur la figure 2. Avantageusement, l'unité de formation de faisceaux 20 peut être configurée pour transmettre à chaque cellule 100 du dispositif 10 un signal SRF12 distinct.

[0035] Dans certains modes de réalisation de l'invention, l'unité 20 peut être configurée pour appliquer sur ces signaux SRF12 une modification de la phase et/ou de l'amplitude, de manière à dépointer les faisceaux SRF10 émis selon des angles d'incidence d'émission θ_e distincts et/ou variables entre 0 et θ_{max} .

[0036] Dans ces modes de réalisation, l'unité 20 peut donc être configurée pour recevoir un ou plusieurs signaux RF SRF22 issus de la transmission du faisceau SRF20 externe reçu par le dispositif 10. Ainsi, l'unité 20 peut être configurée pour recevoir de chaque cellule 100 un signal SRF22 distinct à traiter. L'unité 20 peut être configurée pour appliquer sur ces signaux SRF22 une mesure de la phase et/ou de l'amplitude de manière à estimer la direction d'incidence de réception du faisceau SRF20 reçu. L'unité 20 peut également être configurée pour appliquer une combinaison pondérée des signaux RF SRF22 en fonction de la direction estimée. Avantageusement, le système antennaire 1 peut comprendre une unité de traitement (par exemple un processeur de la charge utile du satellite non représenté sur les figures) configurée pour traiter les signaux SRF22 reçus et traités par l'unité 20.

[0037] Chaque cellule 100 du dispositif 10 correspond à un élément rayonnant et comprend un cadre de support externe de cellule 130 et un élément d'excitation interne de la cellule 150. Le dispositif 10 est ainsi qualifié de 'panneau rayonnant'.

[0038] La figure 3 ne montre que le cadre de support 130, pour faciliter la compréhension de l'invention. Les figures 4, 5 et 6 illustrent des vues en perspective d'une cellule 100 comprenant un cadre de support 130, selon différents modes de réalisation.

[0039] Le cadre de support 130 d'une cellule 100 est inscrit dans une forme généralement tubulaire ayant un axe principal s'étendant selon l'axe Z, encore appelé « axe du cadre ».

[0040] Tel que représentée sur la figure 3, le cadre de support 130 d'une cellule 100 (également appelé guide d'onde) comprend une entrée de cadre 131, agencée dans le plan (X,Y), au niveau de la face d'entrée 11. La position Z_0 de l'entrée de cadre 131 selon l'axe Z est appelée « position d'entrée ». Le cadre de support 130 d'une cellule 100 comprend en outre une sortie de cadre 132, alignée dans le plan (X,Y) au niveau de la face de sortie 12. La position Z_c de la sortie de cadre 132 selon l'axe Z est appelée « position de sortie ».

[0041] Le cadre de support 130 est constitué d'un ensemble de « murs » ayant une épaisseur de mur m. Le cadre de support 130 a une longueur de cadre définie selon l'axe du cadre Z. La longueur de cadre de support peut être sensiblement égale à l'épaisseur du dispositif d_z , tel que $d_z = Z_c - Z_0$. Par exemple et sans limitation, l'épaisseur du dispositif

d_z peut être inférieure ou égale à une valeur sensiblement égale à $\lambda/2$. Dans les modes de réalisation où l'épaisseur du dispositif d_z est variable dans le plan (X,Y), chaque cellule 100 peut être associée à une longueur spécifique de cellule $d_{z(n)}$.

[0042] La forme tubulaire du cadre de support 130 comprend une section transversale définie dans un plan (X,Y) perpendiculaire à l'axe Z. La section transversale est caractérisée par une forme donnée et une valeur de périmètre P calculée en fonction des dimensions de la forme de la section transversale. Par exemple et sans limitation, la section transversale peut être de forme circulaire, ovale, carré, rectangulaire, ou polygonal.

[0043] Dans certains modes de réalisation où la section transversale est un polygone comprenant un nombre N_c de côtés, la forme tubulaire peut correspondre à un polyèdre à N_c facettes ayant chacune une forme de parallélogramme. Chaque facette (ou « face prismatique » correspondant aux murs) s'étend selon l'axe du cadre Z. Un tel polyèdre peut être par exemple un polygone régulier d'ordre pair, et en particulier un polygone parallélépipède carré (où $N_c = 4$), dit cuboïde, ou un prisme hexagonal (où $N_c = 6$), tel que représenté sur la figure 3. Dans un tel mode de réalisation, les N_c facettes sont reliées entre elles par N_c arêtes orientées selon l'axe du cadre Z.

[0044] Le cadre de support 130 d'une cellule 100 comprend également un nombre N de fentes (ou entailles) notées 133-n, « n » étant un indice associé aux différentes fentes, avec $n \in [1, N]$. Chaque fente 133-n s'étend selon l'axe du cadre Z, de la position Z_c de sortie de cadre 132 à une position de fente (ou position initiale de fente) notée Z_{0n} . Comme représenté sur la figure 3, la position de fente Z_{0n} est agencée entre l'entrée de cadre 131 (i.e. position d'entrée Z_0) et la sortie de cadre 132 (i.e. position de sortie Z_c). Ainsi, chaque fente 133-n a une longueur de fente d_n définie selon l'axe du cadre Z, tel que $d_n = Z_c - Z_{0n}$ et $d_n < d_z$ (ou $d_n < d_{z(n)}$). Chaque fente 133-n est en outre associée à au moins deux bords de fentes, notés respectivement n1 et n2, représentant les limites du cadre de support 130 et reliant la position de fente Z_{0n} à la position de sortie Z_c comme indiqué sur la figure 3. Chaque bord de fentes, n1 ou n2, peut être caractérisé par une fonction prédéfinie dite de variabilité, notée respectivement f_{n1} ou f_{n2} . En conséquence, chaque fente 133-n a une largeur de fente w_n variable, selon l'axe du cadre Z, construite à partir des fonctions de variabilité f_{n1} et f_{n2} .

[0045] En particulier, les fentes peuvent être évasées en direction de la position de sortie 132. Ainsi, la largeur de fente

$$w_n$$

variable prend une valeur maximale de fente

$$w_n^{\max}$$

à la sortie du cadre de support 132 et une valeur minimale de fente

$$w_n^{\min}$$

à la position Z_{0n} . La valeur maximale de fente

$$w_n^{\max}$$

peut être déterminée en fonction du périmètre P de la section transversale de la cellule 100 et du nombre N de fentes 133-n. La valeur minimale de fente

$$w_n^{\min}$$

est inférieure à la valeur maximale de fente

$$w_n^{\max},$$

5 , soit :

$$w_n^{\max} > w_n^{\min} \quad (01)$$

10 **[0046]** Par exemple et sans limitation, une fonction de variabilité de fente f_n peut être une fonction linéaire (cf. figure 5), une fonction en escalier ou toute autre fonction (monotone ou non, polygonale croissante dite concave et/ou convexe comme illustré sur les figures 3, 4 et 6 par exemple) de sorte à faire varier la largeur w_n de la fente 133-n selon l'axe du cadre Z d'une valeur minimale

$$w_n^{\min}$$

20 à une valeur maximale

$$w_n^{\max}.$$

25 Avantageusement, une fonction de variabilité de fente f_n peut être définie par une fonction exponentielle de manière à faire varier la largeur w_n de façon exponentielle entre la valeur minimale

$$w_n^{\min}$$

à la valeur maximale

$$w_n^{\max}.$$

40 **[0047]** Dans certains modes de réalisation, les bords de fentes n1 et n2 d'une fente 133-n peuvent être symétriques entre elles par rapport à un axe Z défini au centre de cette fente 133-n. En particulier, dans les modes de réalisations où la fente 133-n est positionnée sur une facette du cadre de support 130, les bords de fentes n1 et n2 peuvent être symétriques par rapport à un axe Z défini au centre de cette facette.

45 **[0048]** Les dimensions des fentes (c'est-à-dire les largeurs w_n et variabilités f_n , et/ou les longueurs de fentes d_n par exemple) d'une même cellule 100 et/ou des fentes de l'ensemble des cellules 100 du dispositif de contrôle de faisceaux RF 10 peuvent être identiques ou différentes entre elles en fonction des applications de l'invention. Par exemple, et de façon non limitative, un dispositif de contrôle de faisceaux RF 10 peut comprendre des modulations de profil de fentes 133-n (de quelques micromètres par exemple) par rapport au centre O du dispositif 10 afin de moduler spatialement la phase du faisceau incident, de manière à traiter certains effets de bords. Ainsi, le dispositif de contrôle de faisceaux RF 10, s'étendant généralement dans un plan (X,Y), peut comprendre un ensemble de plusieurs cellules 100 ayant des formes géométriques et des dimensions de cadre de support et de fentes variables dans le plan (X,Y) choisies de manière à modifier de façon très fine (à l'échelle de la cellule) la phase et le front d'onde associé de l'onde électromagnétique dans le plan (X,Y).

50 **[0049]** Dans les modes de réalisation où les longueurs de fente d_n des fentes d'une même cellule 100 sont identiques, le cadre de support 130 de cette cellule 100 peut être décomposé en deux parties, représentées sur la figure 3, comprenant :

- Une première partie de longueur d_{0n} (ou d_0) correspondant à un cadre de support 130 sans fente, et

- Une deuxième partie de longueur d_n (ou d) correspondant à un cadre de support 130 avec fentes.

[0050] Selon certains modes de réalisation, la longueur de la première partie d_{0n} d'une fente 133-n (tel que $d_{0n} = Z_{0n} - Z_c$) peut être égale à l'épaisseur de mur m . Par exemple, la première partie sans fente peut être négligeable par rapport à la deuxième partie avec fentes dans le cas où toutes les fentes d'une même cellule 100 est caractérisé par une même longueur d_{0n} de première partie alors égale à l'épaisseur de mur m , tel que $Z_{0n} \equiv Z_0$, comme représenté sur la figure 6.

[0051] La valeur minimale

$$w_n^{\min}$$

de la largeur d'une fente 133-n peut être égale à 0, soit

$$w_n^{\min} = 0,$$

et

$$w_n^{\min} \lesssim m,$$

comme représenté sur les figures 5 et 6. Alternativement, la valeur minimale de fente

$$w_n^{\min}$$

peut être supérieure ou égale à l'épaisseur de mur m , comme représenté sur les figures 3 et 4. Une telle valeur minimale de fente

$$w_n^{\min}$$

différente de zéro permet d'obtenir une conception de cellule 100 compacte selon l'axe Z.

[0052] La valeur maximale

$$w_n^{\max}$$

de la largeur d'une fente 133-n est supérieure à l'épaisseur de mur m . En particulier, la valeur maximale de fente

$$w_n^{\max}$$

peut être définie en fonction du rapport entre le périmètre P de la section transversale, du nombre N de fentes 133-n, et d'un coefficient de proportion noté ε_n , tel que défini par l'expression (02) suivante :

$$w_n^{\max} = \varepsilon_n \times \frac{P}{N} \quad (02)$$

[0053] En particulier, la somme des coefficients de proportion ε_n sur l'ensemble des fentes 133-n est inférieure ou égale à N, selon l'expression (03) suivante :

$$\sum_n \varepsilon_n \leq N \quad (03)$$

[0054] Dans des modes de réalisation, les valeurs maximales

$$w_n^{\max}$$

de largeur des fentes d'une même cellule 100 peuvent être identiques.

[0055] En particulier, les coefficients de proportion ε_n peuvent être égaux pour les N fentes 130-n d'une cellule. Par exemple et sans limitation, les paramètres de largeur $\varepsilon_n = \varepsilon$ peuvent être égaux à 1, avec $\sum_n \varepsilon_n = \sum \varepsilon = N$, comme représenté sur les figures 3, 4 et 6, tandis que les valeurs maximales

$$w_n^{\max}$$

de largeur de fente 133-n sont définies selon l'équation (04) suivante :

$$w_n^{\max} = w^{\max} = \frac{P}{N} \quad (04)$$

[0056] En variante, les paramètres de largeur peuvent être inférieurs à 1, avec $\sum \varepsilon < N$, tel que représenté sur la figure 5 où $\sum \varepsilon = N/2$, tandis que les valeurs maximales de largeur de fente 133-n sont égales à $w^{\max} = P/4$.

[0057] Dans les modes de réalisation où la section transverse est un polygone régulier, une fente 133-n peut être

positionnée sur une des facettes du polyèdre de largeur $l_c = \frac{P}{N}$. La valeur maximale

$$w_n^{\max}$$

de largeur d'une fente peut être par exemple définie selon l'équation (05) suivante :

$$w_n^{\max} \leq l_c \quad (05)$$

[0058] Dans certains modes de réalisation où la section transverse est un polygone régulier, une fente 133-n peut être positionnée de manière à ce qu'elle coïncide avec une arête du polyèdre.

[0059] Le nombre N de fentes 133-n peut être égale au nombre N_c de côtés, comme représenté sur les figures 3, 4 et 6.

[0060] En variante, le nombre N de fentes 133-n peut être inférieur au nombre N_c de côtés, tel que représenté sur la figure 5. En particulier, dans les modes de réalisation où la section transverse est un carré et où l'onde électromagnétique du signal RF circulant dans le guide d'onde 130 comprend une polarisation linéaire donnée définie selon un axe X' défini dans le plan (X,Y), le nombre N de fentes 133-n peut être égal à 2 et chaque fente 133-n peut être positionnée sur une facette du polyèdre parallèle à l'axe de polarisation X' (i.e. les fentes étant alors agencées parallèlement au champ électrique de l'onde électromagnétique du signal RF circulant dans le guide d'onde 130).

[0061] En variante, le nombre N de fentes 133-n peut être supérieur au nombre N_c de côtés (non représenté sur les figures). Par exemple et sans limitation, une facette du polyèdre peut comprendre au moins deux fentes 133-n. En particulier, dans ces modes de réalisations, les fentes 133-n positionnées sur une même facette de cadre de support

130 peuvent être symétriques par rapport à un axe Z défini au centre de cette facette.

[0062] Avantageusement, dans les modes de réalisation où l'épaisseur du dispositif $d_{z(n)}$ est variable dans le plan (X, Y), les dimensions associées aux fentes longitudinales 133-n (en particulier, différentes longueurs de fentes d_n d'un même cadre de support 130) sont adapter pour compenser cette variabilité d'épaisseur $d_{z(n)}$, permettant l'ajustement des fentes 133-n à la variabilité des longueurs de murs entre cellules adjacentes.

[0063] Par ailleurs, le cadre de support 130 peut être entièrement ou partiellement métallique de sorte à former une structure électriquement conductrice. L'ouverture par entailles des cadres de support 132 au niveau des N fentes 133-n permet de simuler un matériau partiellement diélectrique et d'élargir significativement la bande de transmission du dispositif de contrôle de faisceaux RF 10.

[0064] Le cadre de support 130 d'une cellule 100 est en outre caractérisé par une impédance. En particulier, les dimensions associées aux fentes longitudinales 133-n permettent d'ajuster l'impédance caractéristique de la cellule 100. La variabilité de la largeur w_n des fentes longitudinales 133-n, et en particulier une fonction de variabilité définie par une fonction croissante ou exponentielle, permet de modifier progressivement l'impédance de la deuxième partie de cadre avec fentes, à partir d'une impédance d'entrée du guide d'onde (suivant l'impédance d'une première partie de cadre sans fente, typiquement une centaine d'ohms) jusqu'à une adaptation de l'impédance de l'espace libre (c'est-à-dire à 377Ω). Cette modification progressive de l'impédance du cadre de support 130 (et donc du dispositif 10) permet en particulier de stabiliser l'impédance active des éléments rayonnants du dispositif 10 dans un système antenneur quel que soit l'angle de dépointage du faisceau incident.

[0065] Par conséquent, un cadre de support 130, métallique et entaillé par les N fentes longitudinales 133-n (ou fendus), agit comme un guide d'onde permettant la propagation d'ondes électromagnétiques en mode TEM à transmettre par le dispositif de contrôle de faisceaux RF 10. De tels cadres de support 130 peuvent ainsi fonctionner comme éléments rayonnants dans toutes les bandes de fréquences des signaux RF, et peuvent être en particulier utilisés pour des bandes L, S, C, Ku, Ka et Q/V. En effet, les fentes longitudinales permettent aux champs électriques de ne pas s'annuler totalement sur les côtés du guide d'onde, ce qui permet aux ondes électromagnétiques en mode TEM de s'installer.

[0066] L'ensemble de cellules 100 forme un agencement périodique de guides d'ondes (ou un réseau de cellules 100) dont le dimensionnement est petit par rapport à la longueur d'onde λ associée à la bande de fréquence du faisceau RF émis ou réceptionné (SRF10 et SRF20). Le champ électrique excité dans un guide d'onde se couple alors aux guides d'onde avoisinants, induisant un couplage important entre cellules, ce qui permet de propager les ondes électromagnétiques en mode sur une large bande de fréquence, et d'assurer un fort couplage mutuel avec entre guides adjacents. Un tel ensemble de cellules 100 forme une fenêtre de transmission large bande permettant de ne pas introduire de dispersion fréquentielle dans les sections du guide d'onde.

[0067] Les différentes cellules 100 du dispositif 10 sont adjacentes et connectées entre elles, selon l'axe de cadre Z, par des parties de cellule communes. Par exemple et sans limitation, pour une section transverse de cellule polygonale, les différentes cellules 100 peuvent être connectées par les faces prismatiques.

[0068] L'agencement périodique de cellules peut être caractérisé par une taille de maille du réseau noté ϕ définie à partir de la forme et des dimensions associées aux sections transverses des cellules 100.

[0069] Dans un mode de réalisation dans lequel la section transverse des cellules 100 est de forme circulaire, la taille de maille ϕ correspond au diamètre de la section circulaire. Dans un mode de réalisation dans lequel la section transverse des cellules 100 est de forme polygonale, la maille du réseau ϕ correspond par exemple au diamètre du cercle circonscrit à la section polygonale ou à la largeur l_c de côté du polygone.

[0070] Avantageusement, la maille du réseau ϕ du dispositif 10 peut être uniforme ou variable dans le plan (X,Y) en fonction des modes d'application de l'invention. En particulier, la maille du réseau ϕ peut être déterminée par rapport à une valeur de maille maximale notée ϕ_{max} . La valeur de maille maximale ϕ_{max} peut être définie en fonction de la longueur d'onde λ du faisceau RF émis ou réceptionné (SRF10 et SRF20), le secteur angulaire maximal de dépointage $\pm \theta_{max}$ et le secteur angulaire de vision $\pm \theta_1$. La valeur de maille maximale ϕ_{max} peut être définie par exemple selon l'expression (06) suivante :

$$\phi_{max} = \frac{\lambda}{\sin(|\theta_{max}|) + \sin(|\theta_1|)} \quad (06)$$

[0071] Par exemple, la maille du réseau ϕ peut être inférieure à la valeur de maille maximale ϕ_{max} tel que $\phi < \phi_{max}$. Dans ce mode de réalisation, la maille du réseau ϕ permet de ne pas entraîner l'apparition de lobes de réseau générés par un effet de périodicité associé à la maille. En outre, la maille du réseau ϕ peut être déterminée de manière à minimiser le nombre d'éléments rayonnants dans le dispositif de contrôle de faisceaux RF 10. Avantageusement, la maille du réseau ϕ peut être comprise entre 0.4λ et 0.6λ . En particulier, dans les modes de réalisation où les faisceaux SRF10 et/ou SRF20 sont des signaux dits bi-bandes, c'est-à-dire comprenant deux bandes de fréquences RF distinctes, la

maille du réseau ϕ peut être égale à 0.4.

[0072] Par ailleurs, l'épaisseur de murs communs entre deux cellules 100 peut être définie comme étant égale à une valeur $2 \times m$. L'épaisseur m du cadre de support 132 peut être faible et être en outre ajustée, par exemple minimisée, de manière à atténuer les pertes de transmission des faisceaux SRF10 et/ou SRF20 aux interfaces entre l'air et le guide d'onde (par exemple en entrée de cadre 131 et/ou en sortie de cadre 132). Il est à noter que les pertes de transmission sur une bande de fréquence et un secteur angulaire donnés sont proportionnelles au rapport m/ϕ . La réduction de la bande passante et la réduction du secteur angulaire associé à l'onde RF peuvent être corrélées à la quantité de matière métallique formant le cadre de support 130. La minimisation de l'épaisseur de mur m peut de surcroît entraîner une minimisation de la masse totale du dispositif 10, tout en garantissant sa rigidité. Avantageusement, l'épaisseur de mur m est inférieure à la longueur d'onde λ , ce qui permet de conférer une stabilité de transmission de l'onde RF par rapport à la variation de l'angle d'ouverture d'incidence (notamment de réception θ_p) sur le dispositif 10. En particulier, l'épaisseur de mur m selon les modes de l'invention peut être comprise entre $250\mu m$ et $500\mu m$. L'épaisseur de mur m peut être en outre définie en fonction des avantages et contraintes associées au processus de fabrication du dispositif 10. Par exemple et de façon non limitative, lorsque le dispositif est fabriqué en utilisant un processus de fabrication additive (ou technique d'impression 3D), l'épaisseur de murs entre deux cellules 100 d'un dispositif de contrôle de faisceaux RF 300 peut être égale à une valeur $2 \times m = 500\mu m$. Lorsque le dispositif est fabriqué en utilisant un processus de fabrication dit traditionnelle, l'épaisseur de murs entre deux cellules 100 peut être égale à une valeur $2 \times m = 1mm$.

[0073] Dans certains modes de réalisation, l'entrée de cadre 131 peut être « refermée » (ou « scellée ») dans le plan (X,Y) par une paroi de fermeture 11-0 (non représentée sur la figure 3 mais illustrée sur la figure 6). Avantageusement, l'épaisseur de cette paroi de fermeture 11-0 peut être égale à l'épaisseur de mur m . En particulier, chaque cadre de support 130 peut comprendre une entrée de cadre 131 refermée suivant la face d'entrée 11 du dispositif 10. Un dispositif 10 comprenant des parois de fermeture 11-0 de l'entrée de cadre 131 des cellules présente des avantages de fabrication et de solidité de structure. Cette paroi de fermeture 11-0 peut être métallique.

[0074] Dans les modes de réalisation où la section transversale des cellules 100 du dispositif 10 est polygonale, les différentes cellules 100 étant adjacentes et connectées entre elles par les faces prismatiques, l'ensemble des parois de fermeture 11-0 de l'entrée de cadre 131 des cellules peut former une plaque d'entrée unique. Cette plaque d'entrée correspond à un plan de masse du dispositif 10.

[0075] Pour un dispositif 10 comprenant des cellules 100 de section transversale polygonale comprenant un nombre de côtés $N_c \leq 4$, le dispositif 10 peut présenter des avantages de fabrication puisque la structure globale présente moins de matière. Alternativement, pour un dispositif 10 comprenant des cellules 100 de section transversale circulaire ou polygonale définie selon $N_c > 4$, le dispositif 10 peut présenter de meilleures propriétés d'impédance (en partie d'entrée active) des éléments rayonnants par rapport à la variation de l'angle d'ouverture (i.e. l'orientation angulaire) des faisceaux SRF10 et/ou SRF20 au niveau des interfaces entre l'air et le guide d'onde.

[0076] Chaque cellule 100 du dispositif de contrôle de faisceaux RF 10 comprend un élément d'excitation interne 150 de la cellule 100 tel que représenté sur les figures 4, 5 et 6. L'implémentation d'un élément d'excitation 150 interne au cadre de support 130 permet de préserver les propriétés intrinsèques large bande du guide d'onde. En particulier, l'implémentation d'un élément d'excitation 150 interne dans le cadre de support 130 permet la conversion progressive du mode fondamental du signal RF circulant dans le guide d'onde vers le mode TEM du signal RF qui se propage dans les sections à fentes.

[0077] Selon certains modes de réalisation, un élément d'excitation 150 peut comprendre un nombre H de structures métalliques longitudinales 152-h s'étendant selon l'axe du cadre Z et agencées à l'intérieur de la cellule 100. « h » est un indice associé aux différentes fentes, avec $h \in [1, H]$. Chaque structure métallique 152-h, également appelée « nervure », est connectée au cadre de support 130 par un bord de nervure h_0 défini, selon l'axe du cadre Z, s'étendant de l'entrée de cadre 131 (i.e. position d'entrée Z_0) jusqu'à une position de nervure notée Z_h . Comme représenté sur la vue en perspective d'une cellule de la figure 4, la position de nervure Z_h est agencée entre l'entrée de cadre 131 (i.e. position d'entrée Z_0) et la sortie de cadre 132 (i.e. position de sortie Z_c). Ainsi, chaque nervure 152-h a une longueur de nervure d_h selon l'axe du cadre Z, tel que $d_h = Z_h - Z_0$ et que $d_h < d_z$ (ou $d_h < d_{z(n)}$).

[0078] La répartition de l'ensemble des nervures à l'intérieur du cadre de support 130 peut être déterminée en fonction du périmètre P de la section transversale de la cellule 100 et du nombre H de nervures 152-h.

[0079] Dans le mode de réalisation où la section transversale de la cellule 100 est une section transversale polygonale, une nervure 152-h peut être disposée à l'intérieur du cadre au niveau d'une arête du polyèdre formant la cellule et orientée selon l'axe du cadre Z. Le nombre H de nervures dans une cellule peut en outre être défini en fonction du nombre N de fentes 133-n et/ou du nombre N_c de côtés de la section transversale polygonale d'une cellule 100. Par exemple et sans limitation, le nombre H de nervures 152-h peut être égal au nombre N de fentes 133-n. L'ensemble des nervures peuvent être régulièrement réparties autour du guide d'onde selon un espacement régulier entre les nervures, par exemple égal au rapport du périmètre P sur le nombre H . Comme représenté dans l'exemple de la figure

$$\frac{P}{H} = l_c$$

4, chaque nervure 152-h peut être positionnée au niveau de chaque arête du polyèdre formant la cellule (tel que $\frac{P}{H} = l_c$), tandis que chaque fente 133-n peut être positionnée sur un côté de la cellule 100. Dans une variante, chaque nervure 152-h peut être positionnée au niveau d'une surface latérale intérieure de la cellule 100.

[0080] En particulier, dans les modes de réalisation où l'onde électromagnétique du signal RF circulant dans le guide d'onde 130 comprend une polarisation linéaire donnée définie selon un axe X' défini dans le plan (X,Y), chaque nervure 152-h peut être positionnée dans un plan orthogonal aux fentes 133-n de la cellule 100, les fentes étant alors agencées parallèlement au champ électrique de l'onde électromagnétique du signal RF circulant dans le guide d'onde 130.

[0081] Dans des modes de réalisation, la position de nervure Z_h selon l'axe du cadre Z peut être agencée entre l'entrée de cadre 131 (i.e. position d'entrée Z_0) et une position de fente Z_{0n} , de sorte que la nervure 152-h se situe dans une première partie de longueur d_{0n} correspondant au cadre de support 130 sans fente avec $d_h \leq d_{0n}$. Alternativement, la position de nervure Z_h peut être agencée entre la sortie de cadre 132 (i.e. position de sortie Z_c) et une position Z_{0n} d'une fente 133-n, tel $d_h > d_{0n}$. Dans ce cas, une partie de la nervure 152-h et une partie de la fente 133-n peuvent se recouvrir (ou être « superposées ») au moins partiellement sur une distance de recouvrement comprise entre Z_h et Z_{0n} . Une cellule 100 comprenant une superposition entre des nervures et des fentes permet d'assurer une conversion progressive du mode fondamental du signal RF circulant dans le guide d'onde (guide nervuré dans ce cas) vers le mode TEM du signal RF qui se propage dans les sections à fentes (guide à fentes). Une telle superposition entre des nervures et des fentes permet également d'obtenir une conception de cellule 100 compacte.

[0082] En outre, chaque nervure 152-h a une épaisseur m_h et une largeur l_h . L'épaisseur de nervure m_h et/ou la largeur de nervure l_h sont des dimensions variables selon l'axe Z tel que chaque nervure 152-h comprend une pluralité de « marches » distribuées le long de l'axe du cadre Z.

[0083] Dans certains modes de réalisation, l'épaisseur de nervure m_h et/ou la largeur de nervure l_h prend une valeur

maximale (respectivement $m_h^{\max}$ et $l_h^{\max}$) à l'entrée de cadre 131 (i.e. position d'entrée Z_0), et une valeur minimale

(respectivement $m_h^{\min}$ et $l_h^{\min}$) à la position de nervure Z_h . Le nombre de marches et leur dimensions peuvent être déterminées en fonction de la longueur de nervure d_h et de valeurs maximales et minimales de nervures (

$m_h^{\max}$, $l_h^{\max}$, $m_h^{\min}$ et $l_h^{\min}$), selon un profil de variabilité de nervure noté f_h . Avantagusement, la valeur minimale

de l'épaisseur de nervure $m_h^{\min}$ et/ou de la largeur de nervure $l_h^{\min}$ peut être égale à l'épaisseur de mur m.

[0084] Les différentes dimensions de la nervure 152-h sont configurées pour contribuer à la conversion de modes dans le guide d'onde de la cellule 100. De manière générale, les épaisseurs et les hauteurs des marches des nervures 152-h peuvent notamment varier de façon décroissante selon l'axe Z, de la position d'entrée Z_0 à la position de nervure Z_h .

[0085] Avantagusement, les dimensions des nervures d'une même cellule 100 et/ou des fentes de l'ensemble des cellules 100 du dispositif de contrôle de faisceaux RF 10 peuvent être identiques ou différentes entre elles en fonction des modes d'application de l'invention.

[0086] En l'absence de ces éléments de nervures 152-h, et avec une maille du réseau ϕ faible (entre 0.4λ et 0.6λ), il n'est plus possible de propager un mode sur une large bande RF pour exciter l'élément rayonnant.

[0087] Dans des modes de réalisation, un cadre de support 130 associé à des nervures 152-h peut comprendre un polariseur (ou polariseur dit 'à septum' et non représenté sur les figures) permettant de générer un rayonnement à double polarisation circulaire. Tel qu'utilisé ici, un « polariseur » fait référence à un élément destiné à convertir, d'une part, les signaux SRF20 reçus ayant une polarisation circulaire en des signaux SRF22 ayant une polarisation linéaire et, d'autre part, les signaux SRF12 à émettre ayant une polarisation linéaire en des signaux SRF10 ayant une polarisation circulaire. Le polariseur peut être formé par une lame interne s'étendant selon l'axe du cadre Z et générée à partir de deux nervures 152-h reliées au moins en partie entre elles à l'intérieur de la cellule 100. Par exemple, les deux nervures 152-h reliées pour former le polariseur peuvent être issues de arêtes opposées du cylindre droit polygonal ou sur deux surfaces latérales intérieures opposées du cylindre droit polygonal.

[0088] Les figures 7(a), 7(b) et 8 sont des graphiques illustrant des exemples de performances radioélectriques atteintes par un dispositif 10 comprenant un élément d'excitation 150.

[0089] En particulier, les graphiques de la figure 7(a) montrent l'évolution du coefficient de réflexion actif simulé en fonction de la fréquence pour un dispositif 10 dont chaque cellule 100 comprend des nervures 152-h, selon des modes de réalisation de l'invention. La détermination par simulation du coefficient de réflexion actif permet notamment de caractériser la variation de l'impédance active du dispositif 10, en prenant en compte un élément rayonnant entouré d'une infinité d'éléments rayonnants semblables (i.e. réseau infini) associés à un gradient de phase d'une onde élec-

tromagnétique. Le gradient de phase permet d'orienter le faisceau résultant en émission du dispositif 10 selon un angle d'incidence θ donné. Les graphiques de la figure 7(a) mettent en évidence une stabilisation de l'impédance active sur un grand secteur angulaire. En effet, le coefficient de réflexion actif représenté sur la figure 7(a) est inférieur à -10 dB pour une large bande de fréquences Ka et X de l'onde électromagnétique quelle que soit la direction de propagation du faisceau d'émission (i.e. selon les coordonnées sphériques θ , avec $\phi = 0^\circ$ et $\phi = 60^\circ$).

[0090] Les graphiques de la figure 7(b) montrent l'évolution du gain simulé d'une onde électromagnétique dans une continuité de directions d'émission θ (ou ϕ) données du faisceau résultant en émission, en co-polarisation et cross-polarisation de la source RF, pour un dispositif 10 dont chaque cellule 100 comprend des nervures 152-h, selon des modes de réalisation de l'invention. La détermination par simulation d'un tel diagramme de rayonnement sur un secteur angulaire donné peut être corrélée à la variation de l'impédance active sur ce secteur angulaire d'un élément rayonnant alimentée par une onde électromagnétique et positionné au centre d'un petit réseau (par exemple au centre de 24 autres éléments rayonnants similaires et connectés à une charge), prenant ainsi en compte le couplage mutuel entre les éléments rayonnants ainsi que les effets de bord associés à ce petit réseau. Les graphiques de la figure 7(b) mettent en évidence une stabilisation du diagramme de rayonnement dans tous les plans d'émission du dispositif 10, ainsi qu'une faible diminution de gain en polarisation croisée allant de 3 à 5 dB. En effet, la variation du gain en polarisation principale de ce diagramme de rayonnement dit « environné » (i.e. graphiques de la figure 7(b)) est reliée à la variation de l'impédance active en fonction de la direction du faisceau. Ainsi, plus le gain est stable sur un ensemble de directions d'incidence du faisceau, plus la dégradation de l'impédance active est faible lorsqu'un faisceau est pointé dans ces directions.

[0091] Le mode de transmission des ondes hyperfréquences dans les amplificateurs et dans le panneau rayonnant 10 sont différents. En effet, les ondes à la sortie du panneau rayonnant sont transmises par l'intermédiaire d'un guide d'onde (ridgé) alors que les ondes dans l'amplificateur se propagent généralement à l'aide d'une ligne dite « ligne microruban » ou « ligne microstrip » (« microstrip line » en anglais) qui peut être tout type de ligne de transmissions hyperfréquences adaptée. Le passage du mode de propagation des ondes HF en guide d'ondes depuis le panneau rayonnant vers la ligne microstrip des amplificateurs est réalisé via l'intermédiaire d'une transition adaptée.

[0092] Selon certains modes de réalisation, un élément d'excitation 150 peut comprendre une transition antipodale dite « Vivaldi » 154 agencée à l'intérieure de la cellule 100, permettant de réaliser une transition entre un guide d'onde et une ligne microstrip.

[0093] Comme représenté sur la vue en perspective d'une cellule de la figure 5, une transition antipodale 154 comprend une première structure métallique 154-1 s'étendant dans un premier plan (X', Z), et une deuxième structure métallique 154-2 s'étendant dans un deuxième plan (X', Z) parallèle au premier plan (X', Z).

[0094] Selon certains modes de réalisation, la transition antipodale 154 peut être une « structure tri-plan » (ou « ligne tri-plaque ») telle que la transition antipodale 154 comprend une troisième structure métallique 154-3 s'étendant dans un troisième plan (X', Z) parallèle aux premier et deuxième plans (X', Z). En particulier, la première structure métallique 154-1 peut être disposée entre la deuxième structure métallique 154-2 et la troisième structure métallique 154-3. Dans ce cas, la troisième structure métallique 154-3 a une forme équivalente à la deuxième structure métallique 154-2.

[0095] Dans des modes de réalisation, une transition antipodale 154 peut comprendre en outre un substrat diélectrique 154-0 comprenant au moins une première face diélectrique et une deuxième face diélectrique, la deuxième face diélectrique étant opposée et parallèle à la première face diélectrique, les première et deuxième faces diélectriques s'étendant l'axe du cadre Z. Dans ces modes de réalisation, la première structure métallique 154-1 correspond à une première gravure métallique 154-1 disposée sur la première face diélectrique, et la deuxième structure métallique 154-2 correspond à une deuxième gravure métallique 154-2 disposée sur la deuxième face diélectrique. Dans les modes de réalisation où la transition antipodale 154 est une « structure tri-plan », le substrat diélectrique 154-0 peut comprendre une troisième face diélectrique s'étendant l'axe du cadre Z et parallèle aux première et deuxième faces diélectriques. En particulier, la première face diélectrique peut être disposée entre la deuxième et la troisième face du substrat diélectrique 154-0. Dans ce cas, la troisième structure métallique 154-3 correspond à une troisième gravure métallique 154-3 disposée sur la troisième face diélectrique et ayant une forme équivalente à la deuxième gravure métallique 154-2.

[0096] Dans certains modes de réalisation, le substrat diélectrique 154-0 peut être positionné à l'intérieur du cadre de support 130 et relié par une ou deux arêtes opposées ou bien par deux surfaces latérales intérieures opposées du cadre de support 130, par un bord de substrat, et/ou un premier et un deuxième bords de substrat noté $g0-1$ ou $g0-2$, de longueur de substrat d_g et définis selon l'axe du cadre Z, à partir de l'entrée de cadre 131 (i.e. position d'entrée Z_0) jusqu'à une position de substrat notée Z_g , tel que $d_g = Z_g - Z_0$ et que $d_g < d_z$ (ou $d_g < d_{z(n)}$).

[0097] Dans des modes de réalisation, la position de substrat Z_g selon l'axe du cadre Z peut être agencée entre l'entrée de cadre 131 et une position de fente Z_{0n} , de sorte que le substrat diélectrique 154-0 se situe dans une première partie de longueur d_{0n} correspondant au cadre de support 130 sans fente avec $d_g \leq d_{0n}$. Alternativement, la position de substrat Z_g peut être agencée entre la sortie de cadre 132 (i.e. position de sortie Z_c) et une position Z_{0n} d'une fente 133-n, tel $d_g > d_{0n}$. Dans ce cas, une partie du substrat diélectrique 154-0 et une partie de la fente 133-n peuvent se recouvrir (ou être « superposées ») sur une distance de recouvrement comprise entre Z_g et Z_{0n} .

[0098] En outre, la première structure métallique (ou gravure) 154-1 peut former un microruban conducteur agencé à l'entrée de cadre 131 (i.e. position d'entrée Z_0). La première structure métallique (ou gravure) 154-1 est progressivement élargie dans le premier plan (X',Z), à l'intérieur du guide d'onde jusqu'à une première position de gravure Z_{0g} de manière à être connectée à un premier bord de substrat g0-1. La deuxième structure métallique (ou gravure) 154-2 (et éventuellement la troisième structure métallique ou gravure 154-3) peut former un plan de masse à partir d'une position Z_m inférieure à la position d'entrée Z_0 de l'entrée de cadre 131 jusqu'à une deuxième position de gravure Z_{mg} . La deuxième structure métallique (ou gravure) 154-2 (et éventuellement la troisième structure métallique ou gravure 154-3) peut également former un microruban conducteur progressivement élargi dans le deuxième plan (X',Z), à l'intérieur du guide d'onde de la deuxième position de gravure Z_{mg} jusqu'à la première position de gravure Z_g de manière à être connectée au deuxième bord de substrat g0-2. Il est à noter que le champ électrique s'établit alors entre la première structure métallique (ou gravure) 154-1 et la deuxième structure métallique (ou gravure) 154-2 (et éventuellement entre la première structure métallique ou gravure 154-1 et la troisième structure métallique ou gravure 154-3) selon l'axe de polarisation X' représenté sur la figure 5.

[0099] Avantagusement, la première position de gravure Z_{0g} , selon l'axe du cadre Z , est disposée entre l'entrée de cadre 131 et la position de substrat Z_g , et la deuxième position de gravure Z_{mg} , selon l'axe du cadre Z , est disposée entre l'entrée de cadre 131 et la première position de gravure Z_{0g} .

[0100] Dans les modes de réalisation où la position de substrat Z_g est agencée entre la sortie de cadre 132 et une position Z_{0n} d'une fente 133-n, la première position de gravure Z_{0g} selon l'axe du cadre Z peut être agencée entre la position de substrat Z_g et la position Z_{0n} de la fente 133-n. Dans ce cas, une partie des première et deuxième gravures métalliques et une partie de la fente 133-n peuvent se recouvrir (ou être « superposées ») au moins partiellement sur une distance de recouvrement comprise entre Z_g et Z_{0n} .

[0101] Dans des modes de réalisation, les structures métalliques (ou gravures) 154-1, 154-2 (et éventuellement 154-3) peuvent être caractérisées par une épaisseur m_s définie dans un plan perpendiculaire aux plans (X',Z). En particulier, l'épaisseur m_s de chaque structure métallique (ou gravure) peut être égale à l'épaisseur de mur m .

[0102] Avantagusement, la forme de chaque gravure métallique de la transition antipodale 154 est configurée pour faire « tourner » le champ électrique.

[0103] Selon certains modes de réalisation, un élément d'excitation 150 peut comprendre un nombre T d'éléments métalliques planaires 156-t s'étendant dans le plan (X,Y) et disposés les uns au-dessus des autres selon l'axe du cadre Z . « t » est un indice associé aux différentes fentes, avec $t \in [1, T]$. Avantagusement, dans de tels modes de réalisation, l'élément d'excitation 150 comprend en outre une paroi de fermeture 11-0 agencée au niveau de l'entrée de cadre 131 de la cellule (et par extension de la face d'entrée 11 du dispositif 10).

[0104] En particulier, chaque élément planaire 156-t (également appelé élément rayonnant planaire ou 'patch') peut être de forme quelconque. Par exemple et sans limitation, un élément planaire 156-t peut être de forme circulaire ou de forme polygonale comprenant un nombre N_c de côtés. Un élément planaire 156-t peut en outre être centré à l'intérieure du cadre de support 130. Chaque élément planaire 156-t peut être agencé à une position planaire Z_t définie entre l'entrée de cadre 131 (i.e. position d'entrée Z_0) et la sortie de cadre 132 (i.e. position de sortie Z_c), comme représenté sur la figure 6.

[0105] Dans des modes de réalisation, une position planaire Z_t définie selon l'axe du cadre Z peut être située entre l'entrée de cadre 131 (i.e. position d'entrée Z_0) et une position de fente Z_{0n} , de sorte qu'un élément planaire 156-t se situe dans une première partie de longueur d_{0n} correspondant au cadre de support 130 sans fente avec $d_h \leq d_{0n}$. Alternativement, une position planaire Z_t peut être située entre la sortie de cadre 132 (i.e. position de sortie Z_c) et une position Z_{0n} d'une fente 133-n, tel $d_h > d_{0n}$. Dans ce cas, l'élément planaire 156-t peut être situé au-dessus de la position Z_{0n} de fente 133-n au niveau de la position Z_t . Une cellule 100 comprenant au moins un élément planaires 156-t situé au-dessus de la base de l'ensemble des fentes (i.e. position Z_{0n}) permet d'obtenir une conception de cellule compacte.

[0106] En outre, chaque élément planaire 156-t peut être séparé d'un espacement δz entre la paroi de fermeture 11-0 et/ou un des autres éléments planaires 156-t. Chaque élément planaire 156-t peut être caractérisé par une épaisseur m_t et une largeur D_t . En particulier, l'épaisseur m_t de chaque élément planaire 156-t peut être égale à l'épaisseur de mur m .

[0107] Avantagusement, les éléments planaires 156-t peuvent être reliés entre eux et/ou à la paroi de fermeture 11-0 par un ou plusieurs substrats 156-0, s'étendant selon l'axe du cadre Z à l'intérieur du cadre de support 130. Par exemple et sans limitation, un substrat 156-0 d'un élément planaire 156-t peut être métallique de manière à former une cellule 100 entièrement métallique. Alternativement, un substrat 156-0 d'un élément planaire 156-t peut être diélectrique.

[0108] Le couplage électromagnétique entre plusieurs patches de dimensions différentes produit des résonances supplémentaires qui permettent d'accroître la bande passante, comme illustré sur les graphiques de la figure 8 présentant l'évolution du coefficient de réflexion actif simulé en fonction de la fréquence, pour un dispositif 10 dont les cellules 100 comprennent des éléments planaires 156-t selon des modes de réalisation de l'invention, en fonction de différentes directions de faisceau d'émission (i.e. $\theta = 25^\circ$ et $\theta = 50^\circ$).

[0109] Dans des modes de réalisation, un élément planaire 156-t peut comprendre un nombre T_x de cavités 156-tx qui permet notamment de modifier la fréquence de résonance de la cellule 100. L'agencement de cavités 156-tx sur élément planaire 156-t de la cellule 100 permet également de diminuer la masse de l'élément planaire 156-t.

[0110] Les différentes dimensions des éléments planaires d'une même cellule 100 et/ou des éléments planaires de l'ensemble des cellules 100 du dispositif de contrôle de faisceaux RF 10 peuvent être identiques ou différentes entre elles en fonction des applications de l'invention. Par exemple et sans limitation, la largeur D_t des éléments planaires peut être progressivement réduite entre la largeur d'un élément planaire à la sortie de la cellule 100 par rapport à la

largeur d'un élément planaire à l'entrée de la cellule 100. Cette réduction de largeur D_t d'éléments planaires permet de contribuer à l'adaptation progressive de l'impédance de la cellule avec l'impédance de l'espace libre.

[0111] Les modes de réalisation où l'élément d'excitation 150 comprend des éléments métalliques planaires sont particulièrement adaptés à une utilisation pour les éléments rayonnants dans des bandes de basses fréquences L ou S. En outre, ces modes de réalisation permettent la conception d'un dispositif compact, d'encombrement vertical réduit notamment selon l'axe Z, et de faible masse profitable à des applications antennaires sur satellite.

[0112] Le dispositif de contrôle de faisceaux RF 10 peut être fabriqué en utilisant différentes techniques. Une technique de fabrication peut être une technique d'impression 3D, encore appelée fabrication additive. Certaines techniques d'impressions 3D permettent d'obtenir un dispositif 10 uniforme, ne comportant pas de diélectrique et entièrement métallique, en utilisant un matériau électriquement conducteur tel que l'aluminium ou le titane par exemple. Le matériau électriquement conducteur comme le titane peut ensuite être recouvert d'un autre matériau électriquement conducteur tel que l'argent par exemple afin de réduire les pertes ohmiques. Ces techniques d'impressions 3D sont particulièrement adaptées à une utilisation du dispositif 10 dans des bandes Ku, Ka et Q/V. Une technique de fabrication des patches relatifs à une utilisation du dispositif 10 dans des bandes basses fréquences L ou S, peut être mise en oeuvre par une fabrication classique et un assemblage de pièces tout métalliques, ou par une fabrication additive du cadre de support associée à un assemblage de patches obtenus par une technologie imprimée.

[0113] Il est à noter que, sauf indication contraire ou techniquement impossible, les différents modes, variantes et alternatives de réalisation de l'invention peuvent être combinés. Le dispositif de contrôle de faisceaux RF en particulier peut ainsi comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques précédemment énoncées prises isolément ou suivant toutes combinaisons techniques possibles.

[0114] En outre, la présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits ci-avant à titre d'exemple non limitatif. Elle englobe toutes les variantes de réalisation qui pourront être envisagées par l'homme du métier. En particulier, l'homme du métier comprendra que l'invention n'est pas limitée aux géométries de cellules, de cadre correspondant à l'élément rayonnant, et de l'élément d'excitation décrites à titre d'exemple non limitatif.

Revendications

1. Dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences (10) défini dans un repère orthogonal (X,Y,Z), le dispositif (10) s'étendant généralement dans le plan (X,Y) dudit repère orthogonal (X,Y,Z), le dispositif comprenant un réseau de cellules (100), chaque cellule correspondant à un élément rayonnant, ladite cellule comprenant un cadre de support (130) et un élément d'excitation (150) dudit élément rayonnant, chaque faisceau radiofréquence étant défini selon une direction de propagation donnée ayant un angle d'incidence θ par rapport audit dispositif, caractérisé en ce ledit cadre de support (130) est inscrit dans une forme généralement tubulaire orientée selon l'axe Z dudit repère orthogonal (X,Y,Z), ladite forme tubulaire ayant une longueur d_z donnée selon l'axe du cadre Z et une section transverse définie dans le plan (X,Y), ladite section transverse ayant un périmètre P , ledit cadre de support (130) comprenant une entrée de cadre (131) et une sortie de cadre (132), ledit cadre de support comprenant en outre un nombre N de fentes (133-n) s'étendant, selon l'axe du cadre Z, entre ladite sortie de cadre (132) et une position de fente Z_{0n} le long de l'axe de cadre Z, ladite position de fente Z_{0n} étant située entre ladite entrée de cadre (131) et ladite sortie de cadre (132), chaque fente ayant une largeur de fente w_n variable le long de l'axe du cadre Z, ladite largeur de fente w_n ayant une valeur minimale de fente

$$w_n^{\min}$$

à ladite position de fente Z_{0n} , et une valeur maximale de fente

$$w_n^{\max} ;$$

au niveau de la sortie du cadre (132), la valeur maximale de fente

$$w_n^{\max}$$

- 5 étant déterminée en fonction du périmètre P de la section transverse et du nombre N de fentes (133-n), chaque cellule (100) étant configurée pour réaliser une émission et/ou une réception de faisceaux radiofréquences invariante selon ladite direction de propagation.
- 10 **2.** Dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences (10), selon la revendication 1, dans lequel chaque fente (133-n) est associée à au moins deux bords de fente (n_1 et n_2), les bords de fentes représentant les limites du cadre de support (130) reliant ladite position de fente Z_{0n} à ladite sortie de cadre (132), chaque bord de fente (n_1 , n_2) étant associé à une fonction de variabilité (f_{n1} f_{n2}), ladite fonction de variabilité étant une fonction polygonale concave et/ou convexe.
- 15 **3.** Dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences (10), selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel l'élément d'excitation (150) comprend un nombre H de nervures métalliques longitudinales (152-h) agencées à l'intérieur de ladite forme tubulaire, une nervure (152-h) s'étendant selon l'axe du cadre Z entre ladite entrée de cadre (131) et une position de nervure Z_h , ladite position de nervure Z_h étant définie entre ladite entrée de cadre (131) et ladite sortie de cadre (132).
- 20 **4.** Dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences (10), selon la revendication 3, dans lequel le nombre H de nervures (152-h) est égal au nombre N de fentes (133-n).
- 25 **5.** Dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences (10), selon l'une des revendications 3 ou 4, dans lequel les nervures (152-h) de la cellule (100) sont identiques entre elles et les fentes (133-n) de la cellule (100) sont identiques entre elles, ladite position de nervure Z_h étant définie entre ladite position de fente Z_{0n} et ladite sortie de cadre (132).
- 30 **6.** Dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences (10), selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'élément d'excitation (150) comprend une transition antipodale dite « Vivaldi » (154) agencée au moins en partie à l'intérieur de ladite forme tubulaire, la transition (154) comprenant au moins une première gravure métallique 154-1 et une deuxième gravure métallique 154-2 s'étendant selon l'axe du cadre Z entre ladite entrée de cadre (131) et une position de gravure Z_{0g} , ladite position de gravure Z_{0g} étant définie entre ladite entrée de cadre (131) et ladite sortie de cadre (132).
- 35 **7.** Dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences (10), selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'élément d'excitation (150) comprend un nombre T d'éléments métalliques plans (156-t) agencés à l'intérieur de ladite forme tubulaire, un élément planaire (152-h) s'étendant selon le plan (X,Y) au niveau d'une position planaire Z_t , ladite position planaire Z_t étant définie entre ladite entrée de cadre (131) et ladite sortie de cadre (132).
- 40 **8.** Dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences (10), selon la revendication 7, dans lequel les fentes (133-n) de la cellule (100) sont identiques entre elles, ladite position planaire Z_t étant définie entre ladite position de fente Z_{0n} et ladite sortie de cadre (132).
- 45 **9.** Dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences (10), selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le dispositif (10) est en partie métallique, et dans lequel la section transverse a une forme de cercle ou de polygone.
- 50 **10.** Procédé de fabrication du dispositif de contrôle de faisceaux radiofréquences (10) selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** le procédé de fabrication utilise au moins une technique d'impression 3D pour fabriquer ledit dispositif (10).
- 55

Figure 1

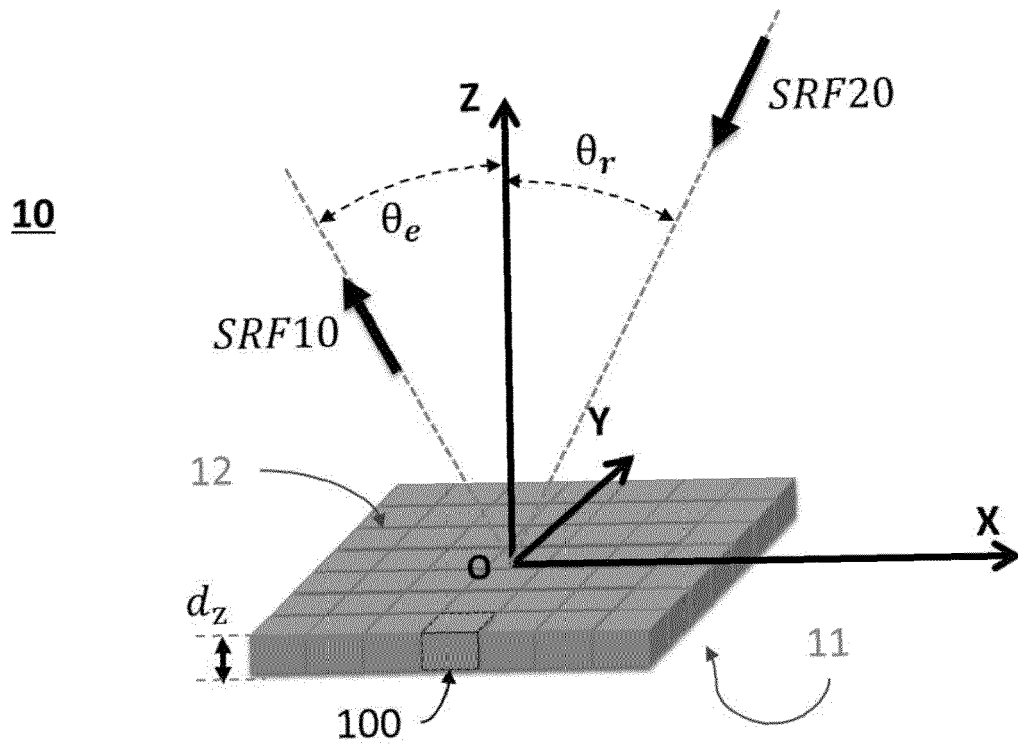


Figure 2

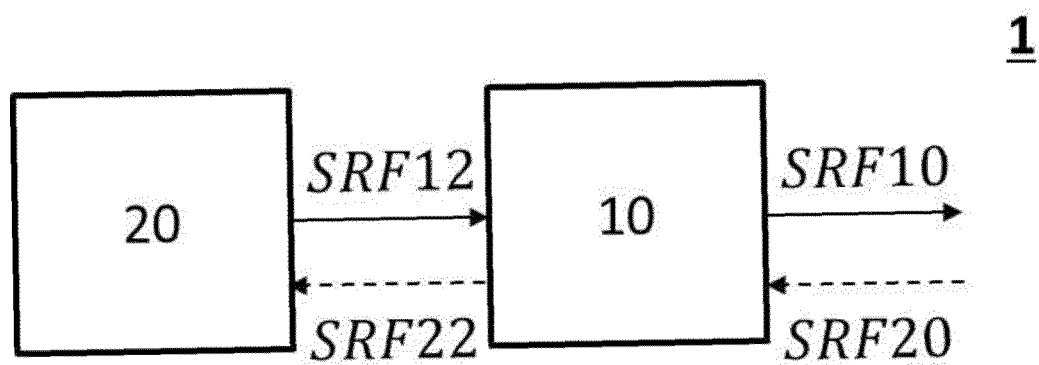


Figure 3

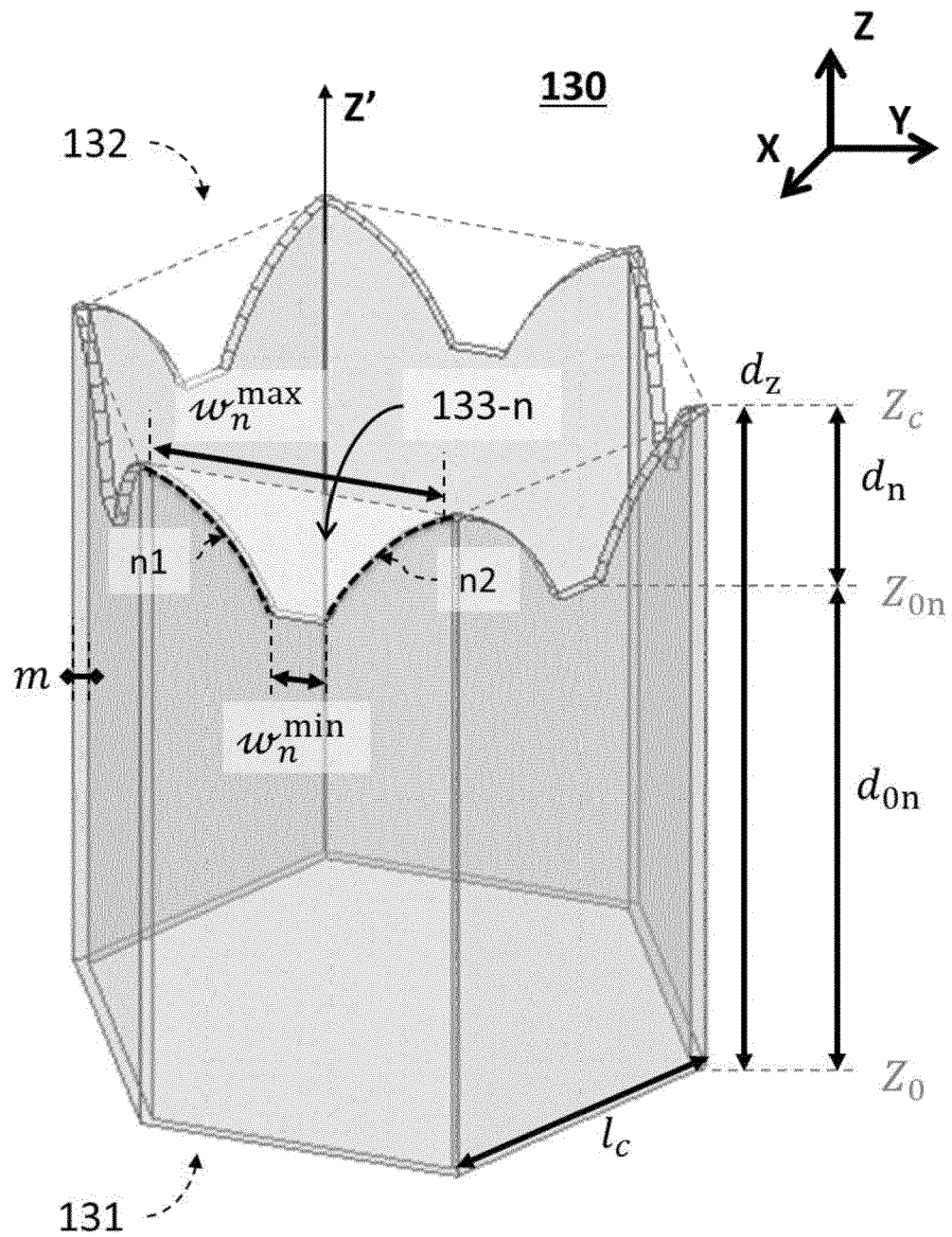


Figure 4

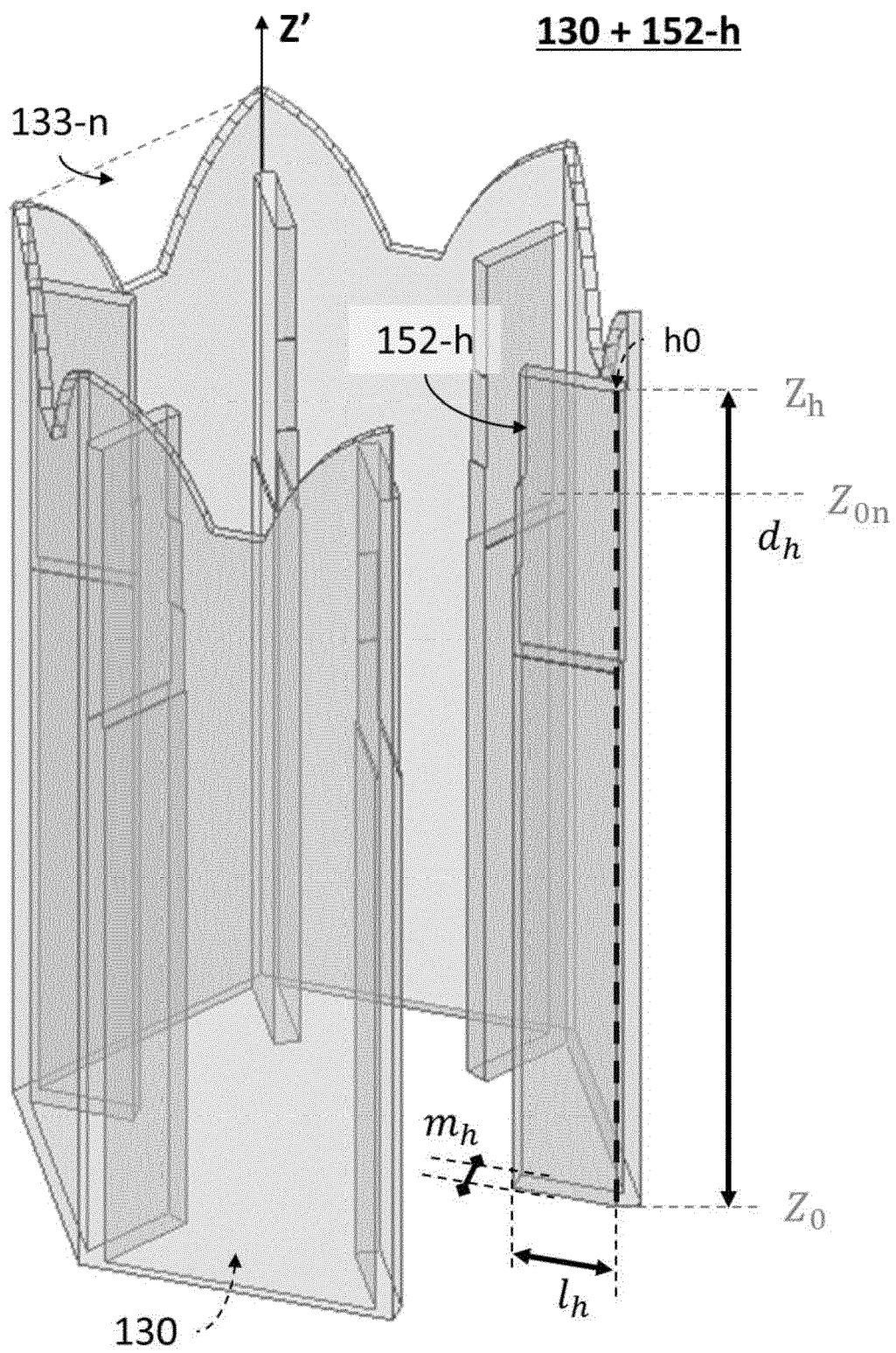


Figure 5

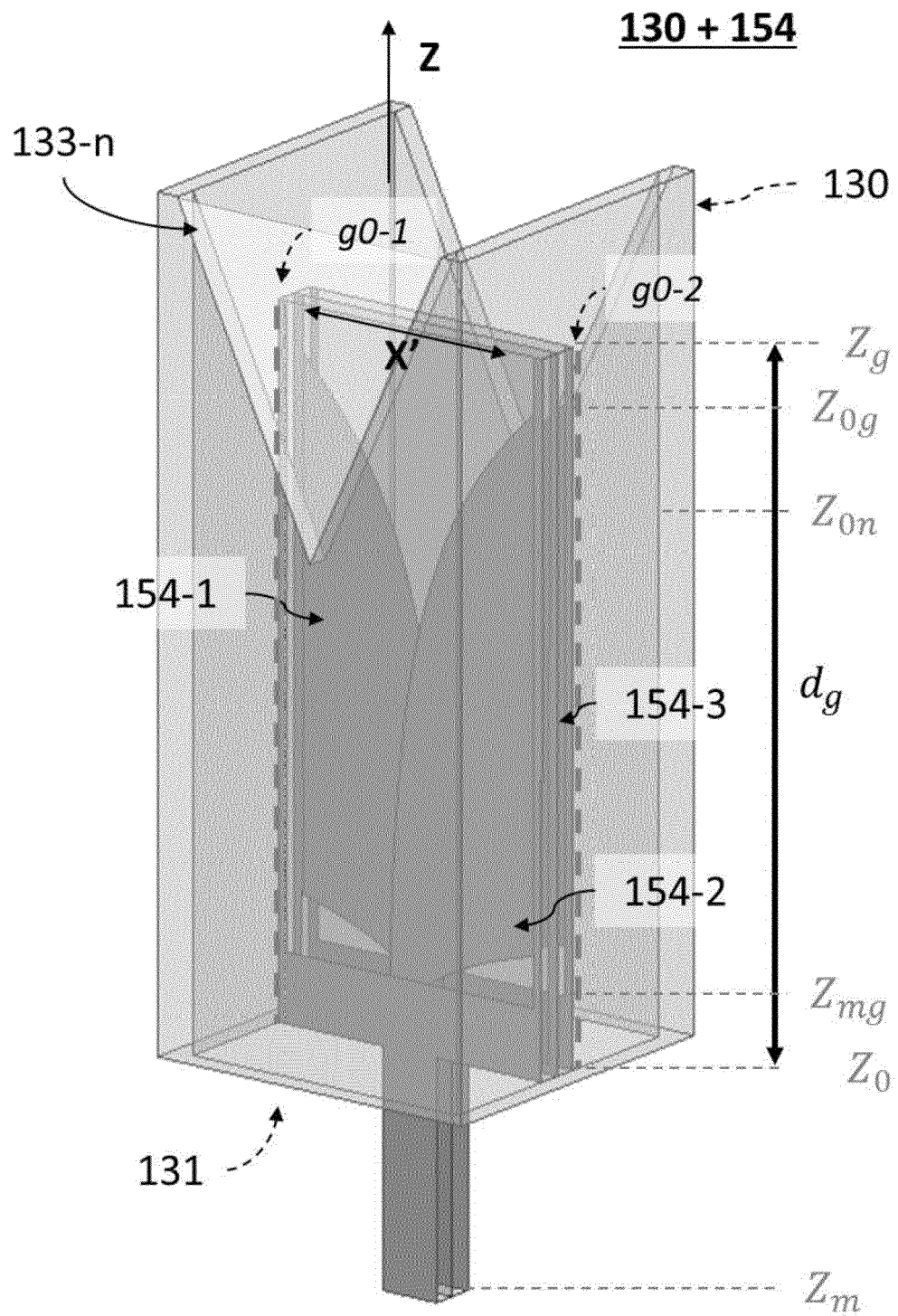


Figure 6

130 + 156

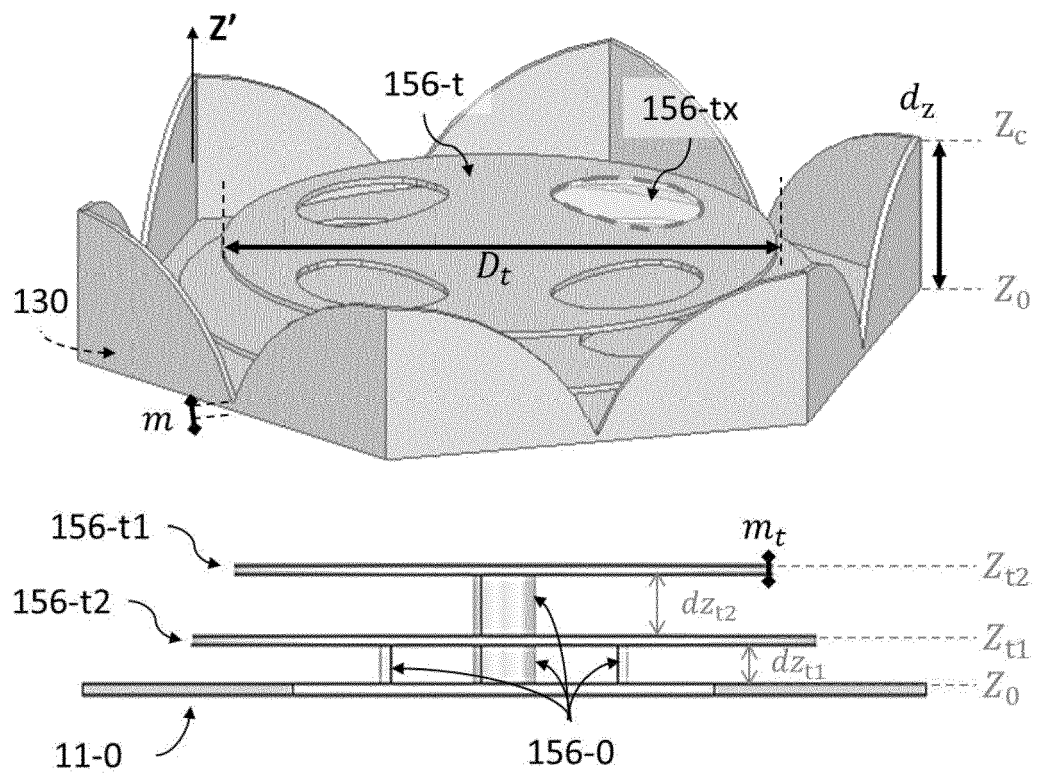


Figure 7a

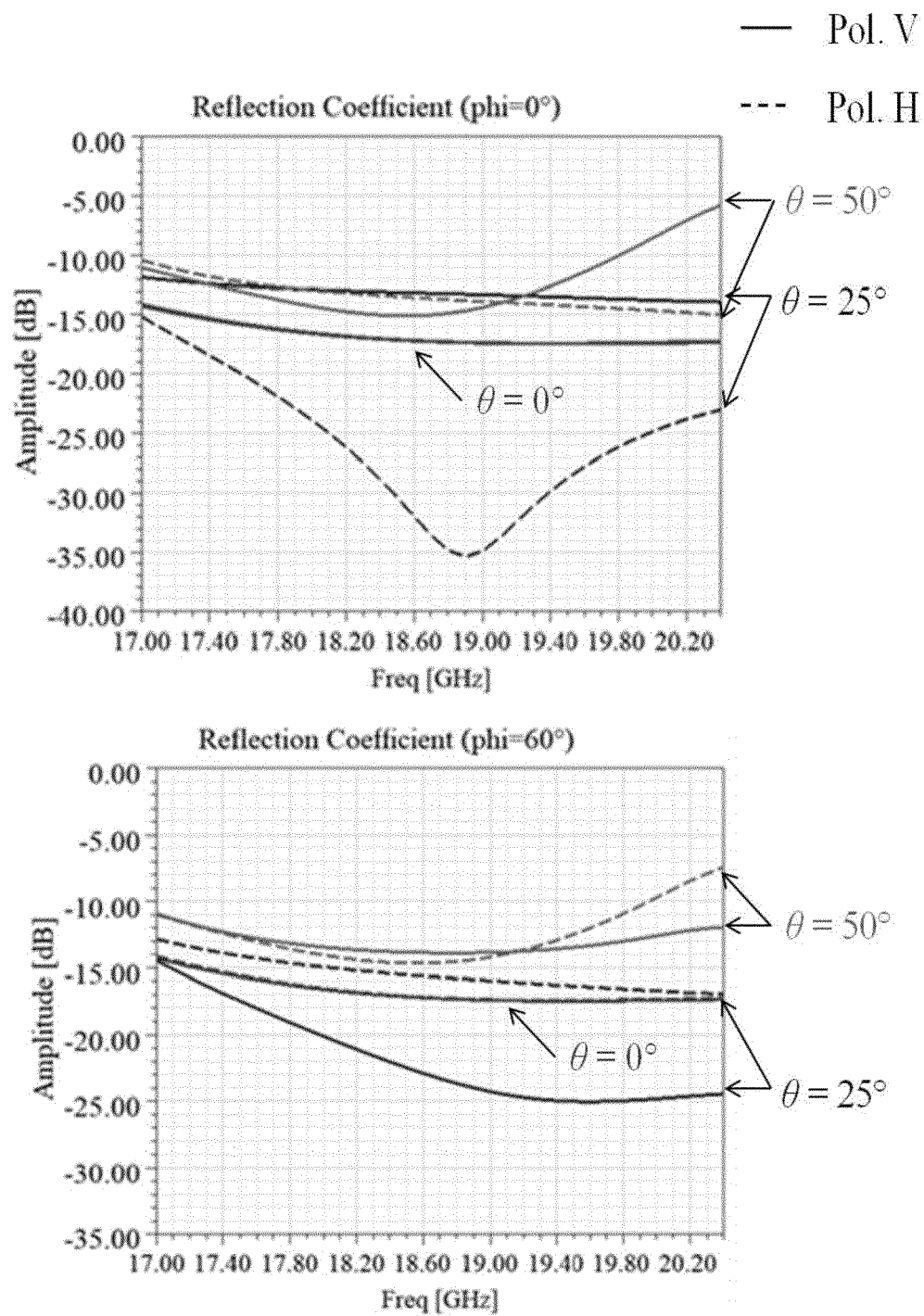


Figure 7b

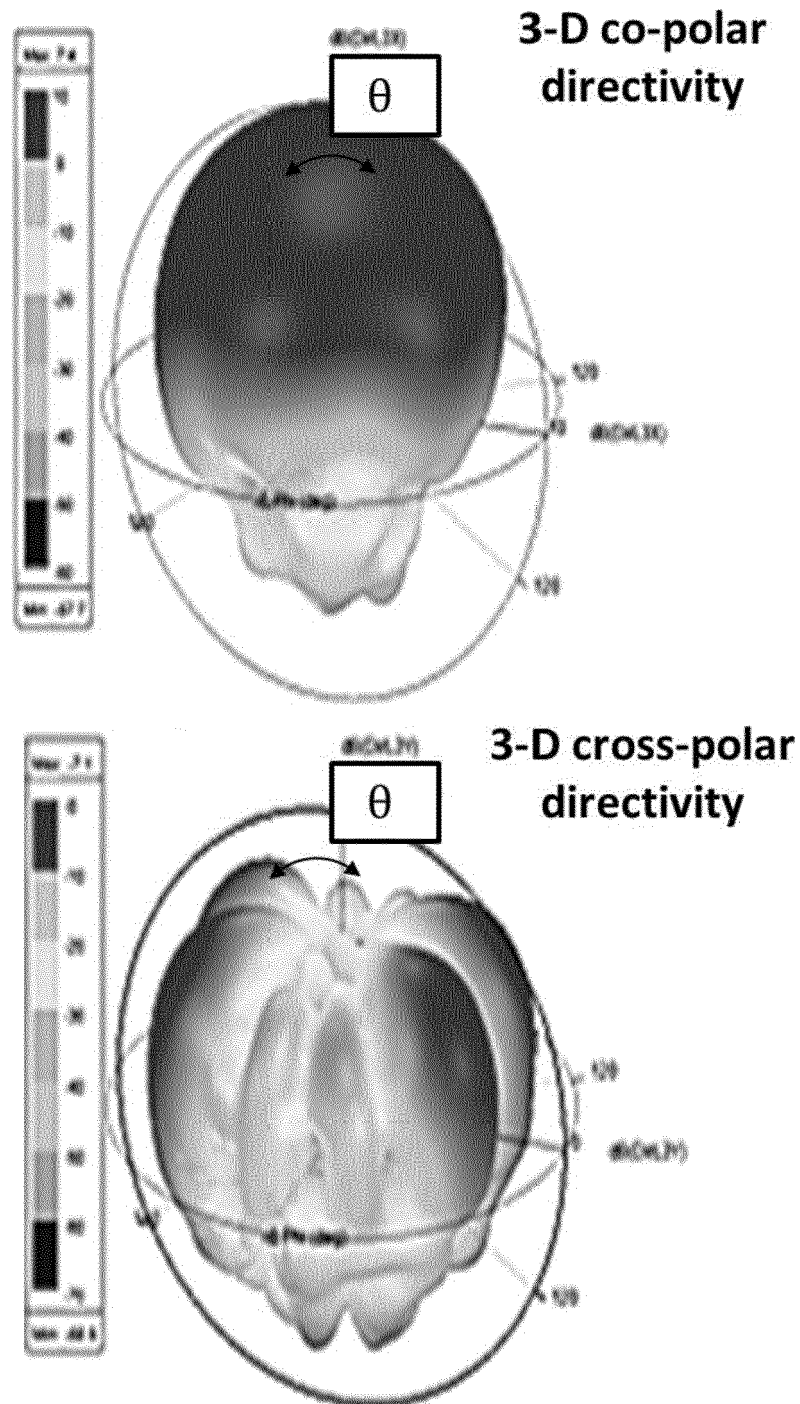
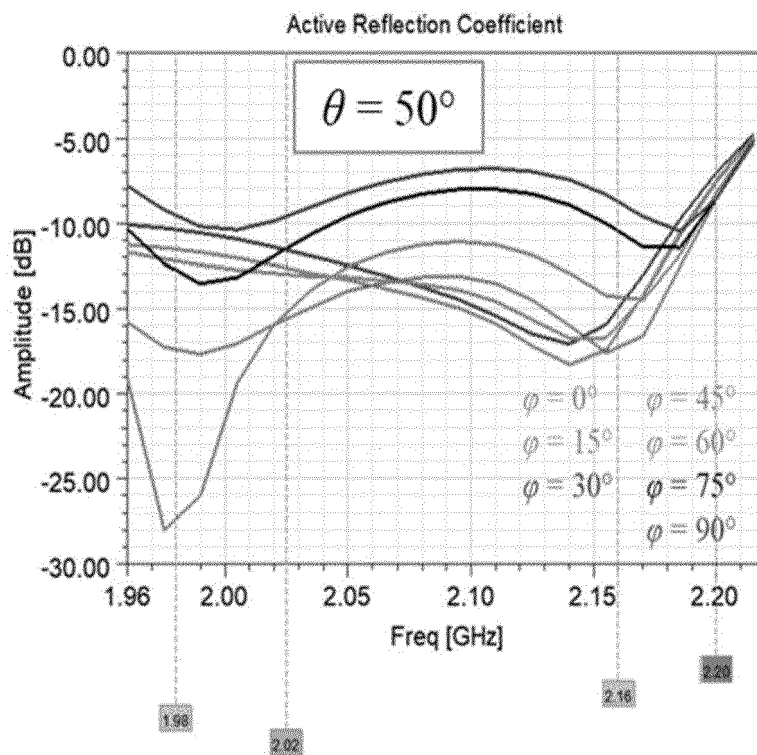
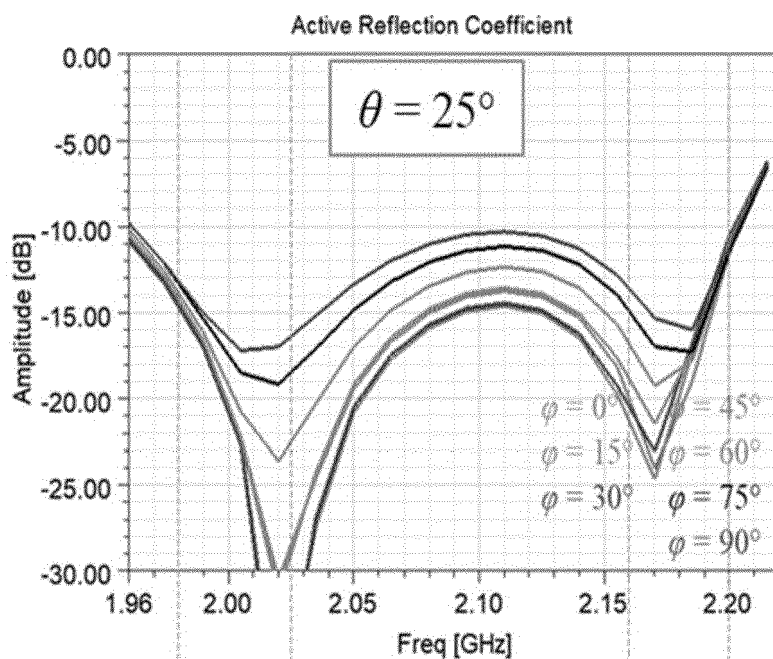


Figure 8





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 23 20 8816

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	US 2020/091621 A1 (HUANG TSUN-CHE [TW] ET AL) 19 mars 2020 (2020-03-19)	1, 2, 9, 10	INV. H01Q1/24
A	* alinéa [0003] - alinéa [0004] * * figures 1, 2, 3, 11 * * alinéa [0031] - alinéa [0038] * * alinéa [0043] - alinéa [0044] *	3-8	H01Q1/52 H01Q21/06
X	US 2022/077598 A1 (DA SILVEIRA MARTIN [CA] ET AL) 10 mars 2022 (2022-03-10) * alinéas [0001], [0003], [0041], [0042], [0043], [0045], [0058] * * figures 1, 3, 11 *	1, 9, 10	ADD. H01Q1/28
X	WO 2007/076963 A1 (KATHREIN WERKE KG [DE]; BOSS MICHAEL [DE] ET AL.) 12 juillet 2007 (2007-07-12) * figures 1, 5 *	1, 10	
A, D	FR 3 117 685 A1 (THALES SA [FR]) 17 juin 2022 (2022-06-17) * le document en entier *	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 15 décembre 2023	Examineur Wattiaux, Véronique
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

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

EP 23 20 8816

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.

15-12-2023

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2020091621 A1	19-03-2020	TW 202013808 A	01-04-2020
		US 2020091621 A1	19-03-2020

US 2022077598 A1	10-03-2022	EP 3949013 A2	09-02-2022
		US 2022077598 A1	10-03-2022
		WO 2020194188 A2	01-10-2020

WO 2007076963 A1	12-07-2007	AT E452437 T1	15-01-2010
		CN 101160692 A	09-04-2008
		DE 102005061636 A1	28-06-2007
		EP 1964205 A1	03-09-2008
		ES 2336259 T3	09-04-2010
		KR 20080081121 A	08-09-2008
		WO 2007076963 A1	12-07-2007

FR 3117685 A1	17-06-2022	CA 3141535 A1	10-06-2022
		EP 4012834 A1	15-06-2022
		FR 3117685 A1	17-06-2022
		US 2022190477 A1	16-06-2022

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

- FR 3117685 A1 [0002]
- FR 2986377 A1 [0033]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **P. CARTER et al.** Mutual impedance effects in large beam scanning arrays. *IRE Transactions on Antennas and Propagation*, 1960, vol. 8 (3), 276-285 [0003]
- **E. MAGILL et al.** Wide-angle impedance matching of a planar array antenna by a dielectric sheet. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 1966, vol. 14 (1), 49-53 [0004]
- **S. SAJUYIGBE et al.** Wide angle impedance matching metamaterials for waveguide-fed phased-array antennas. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 2010, vol. 4 (8), 1063-1072 [0004]
- **S. S. HOLLAND et al.** The Planar Ultrawideband Modular Antenna (PUMA) Array. *IEEE TAP*, 2012, vol. 60 (1), 130-140 [0004]