



(11)

**EP 3 435 480 A1**

(12)

# DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:  
**30.01.2019 Bulletin 2019/05**

(51) Int Cl.: *H01Q 1/28* (2006.01) *H01Q 13/28* (2006.01)  
*H01Q 15/06* (2006.01) *H01Q 21/00* (2006.01)  
*H01P 5/19* (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **18185469.6**

(22) Date de dépôt: **25.07.2018**

(84) Etats contractants désignés:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
 GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
 PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
 Etats d'extension désignés:  
**BA ME**  
 Etats de validation désignés:  
**KH MA MD TN**

(72) Inventeurs:

- **TUBAU, Ségolène**  
**31000 TOULOUSE (FR)**
- **LEGAY, Hervé**  
**31830 PLAISANCE DU TOUCH (FR)**
- **GIRARD, Etienne**  
**31830 PLAISANCE DU TOUCH (FR)**
- **FRAYSSE, Jean-Philippe**  
**31200 TOULOUSE (FR)**

(30) Priorité: 27.07.2017 FR 1700799

(71) Demandeur: **THALES**  
**92400 Courbevoie (FR)**

(74) Mandataire: **Priori, Enrico**  
**Marks & Clerk France**  
**Immeuble "Visium"**  
**22, avenue Aristide Briand**  
**94117 Arcueil Cedex (FR)**

(54) **ANTENNE INTÉGRANT DES LENTILLES À RETARD À L'INTÉRIEUR D'UN RÉPARTITEUR À BASE DE DIVISEURS À GUIDE D'ONDES À PLAQUES PARALLÈLES**

(57) Formateur de faisceaux quasi-optique comprenant un répartiteur de puissance (1) composé d'une succession de diviseurs à plaques parallèles (3) s'étendant selon un plan YZ d'un premier étage ( $e_1$ ) à un dernier étage ( $e_N$ ), chaque diviseur à plaques parallèles (3) comprenant, sur chacun des étages de la structure en arborescence situé sous un étage supérieur, une première (B1) et une seconde branche (B2) de guide d'ondes à plaques parallèles menant à des diviseurs à plaques pa-

rallèles (3) respectifs de l'étage suivant de la structure en arborescence, le formateur comportant en outre une pluralité de lentilles (6, 7) s'étendant longitudinalement selon l'axe X sur au moins un étage du répartiteur de puissance (1), de façon à appliquer un retard variable continu selon l'axe X, et disposées dans chacune des branches (B1, B2) des diviseurs (3) d'au moins un étage du répartiteur de puissance (1).

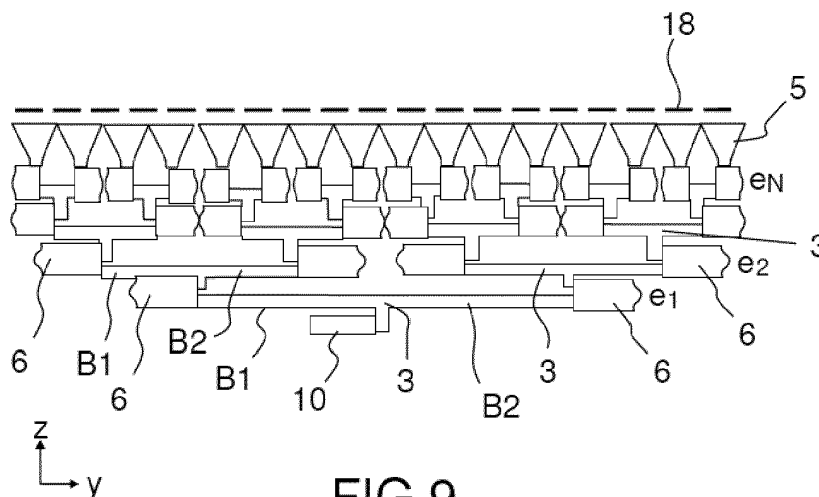


FIG.9

## Description

**[0001]** L'invention porte sur une antenne multifaisceaux, appliquée notamment aux communications spatiales, et destinée à être embarquée sur des satellites, ou dans des stations au sol. L'antenne peut indifféremment fonctionner en émission ou en réception, de façon réciproque. Dans la description qui suit, l'antenne multifaisceaux fonctionne en émission.

**[0002]** Les antennes multifaisceaux sont couramment utilisées dans les communications spatiales, à bord d'un satellite (transmission de données de télémesure, télécommunications), ou au sol (terminal Satcom ou terminal utilisateur de système de télécommunications). Parmi les antennes multifaisceaux, les antennes à ouvertures linéaires rayonnantes continues utilisant un formateur de faisceaux en guide d'onde à plaques parallèles permettent de former plusieurs faisceaux sur un large secteur angulaire. Elles fonctionnent par ailleurs sur une très large bande, en raison de l'absence de modes de propagation résonants. Il est ainsi possible d'obtenir une antenne multifaisceaux à ouverture rayonnante linéaire continue fonctionnant simultanément à 20 et 30 GHz. Elles sont enfin capables de rayonner sur un très vaste secteur angulaire, et présentent des performances très supérieures par rapport à la mise en réseaux de plusieurs éléments rayonnants.

**[0003]** Il est connu d'utiliser un formateur de faisceaux quasi-optique à lentille, qui va réaliser la collimation des faisceaux. Les sources du formateur de faisceaux quasi-optique à lentille générant des ondes cylindriques, le formateur de faisceaux va permettre leur conversion en ondes planes. Les figures 1A et 1B illustrent un tel formateur de faisceaux quasi-optique. Un guide d'ondes à plaques parallèles 20 permet de guider les ondes en mode TEM (Transverse Electrique Magnétique), dans lequel le champ électrique E et le champ magnétique H évoluent dans des directions perpendiculaires à la direction de propagation. Les fronts d'onde sont incurvés dans le plan XZ ; afin de compenser cette courbure du front d'onde, on place au moins une lentille, qui peut être à profil droit ou à profil curviligne, introduisant un retard variable continu selon la direction X. La lentille à profil droit comprend une excroissance 13 et un insert 17. La lentille est dite à profil droit car l'excroissance et l'insert ont un profil droit et rectiligne dans le plan XZ. La hauteur de l'excroissance (selon l'axe y), plus importante au centre que sur les côtés crée donc un retard plus important au centre 14 de l'excroissance que sur les bords latéraux 15, 16, les dimensions de l'excroissance 13 étant telles qu'un front d'onde plan sorte ainsi du formateur. Une lentille à profil droit permet de convertir correctement les ondes issues d'une unique source centrale 10 placée au niveau du point focal de la lentille.

**[0004]** En revanche, lorsque plusieurs sources 10 sont réparties autour d'une source centrale 10<sub>C</sub>, selon un profil curviligne, afin de générer une pluralité de faisceaux, une lentille à profil droit peut induire des aberrations de

défocalisation dues à l'éloignement des sources 10 vis-à-vis du point focal. Pour résoudre ce problème, il est possible d'utiliser une lentille dite à profil curviligne, par exemple parabolique ou elliptique. La lentille est dite à profil curviligne car l'excroissance 13 et l'insert 17, en plus d'avoir une hauteur variable selon l'axe y (plus importante au centre que sur les côtés) ont un profil curviligne dans le plan XZ, comme l'illustrent les figures 1C et 1D. La lentille à profil curviligne, de par sa géométrie, est capable de convertir correctement les fronts d'ondes cylindriques émis par une pluralité de sources 10 réparties également de façon curviligne dans le plan XZ. L'utilisation de lentilles à profil curviligne permet de bénéficier d'un plus grand nombre de points de focalisation, et donc d'une qualité de faisceaux supérieure sur un secteur angulaire donné. Les degrés de liberté permettant de doter un formateur de faisceaux de plusieurs points focaux sont notamment le contour des sources 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>, ..., 10<sub>M</sub>, et les contours d'entrée et de sortie de l'excroissance, qui correspondent respectivement aux contours interne et externe de la lentille. L'utilisation de lentilles dite à profil curviligne, qui disposent d'un contour d'entrée et de sortie variable dans le plan XZ, ajoute ainsi avantageusement un degré de liberté supplémentaire par rapport à la lentille à profil droit. Ainsi, les faisceaux émis par des sources excentrées sont mieux formés qu'avec une lentille à profil droit.

**[0005]** Les figures 2A et 2B illustrent le principe de fonctionnement d'un formateur pillbox, utilisé dans une antenne CTS de l'état de l'art, décrite ci-après. Les ondes cylindriques incidentes, émises par au moins une source 10, sont émises dans un guide d'ondes à plaques parallèles inférieur 21, puis sont réfléchies à l'aide d'un réflecteur, dit jonction pillbox 23, vers un guide d'onde supérieur 22. La jonction pillbox 23 est incurvée, par exemple de forme parabolique ou elliptique. Il est à noter que la jonction pillbox est un type de lentille à profil droit, et le formateur quasi-optique à jonction pillbox est équivalent à un formateur quasi-optique à lentille à profil droit. En effet, la lentille à profil droit et la jonction pillbox ont la même courbure car elles doivent introduire le même retard pour convertir l'onde cylindrique en onde plane. La seule différence qui peut apparaître est que le formateur peut présenter un coude droit avant et/ou après la lentille à profil droit qu'il contient alors qu'un formateur pillbox ne présente pas de coude autre que celui à hauteur variable de la jonction.

**[0006]** L'homme du métier pourra trouver dans la demande de brevet EP 3 113 286 A1, plus de détails sur les formateurs de faisceaux quasi-optiques comprenant des lentilles à profil droit et/ou des lentilles à profil curviligne.

**[0007]** Une ouverture rayonnante, par exemple un cornet, permet ensuite de faire rayonner les ondes rendues planes par le formateur de faisceaux. Toutefois, un cornet couplé à un guide d'onde à plaques parallèles a nécessairement une forme très allongée selon l'axe X, et réalise donc des faisceaux fortement elliptiques selon

l'axe y. Ainsi les faisceaux ont des largeurs différentes, notamment selon les principaux plans de rayonnement E et H ce qui n'est pas satisfaisant. Une mesure connue de l'homme du métier pour obtenir des largeurs de faisceaux identiques selon les deux plans E et H consiste donc à mettre en réseau des cornets longitudinaux, en divisant le guide d'onde à plaques parallèles issu du formateur de faisceaux en plusieurs sous-guides. Les signaux issus du formateur de faisceaux sont ainsi divisés à l'aide d'un répartiteur, par exemple basé sur un ou plusieurs diviseurs en « T » à plaques parallèles, puis rayonnés via une pluralité de cornets juxtaposés, générant ainsi un faisceau circulaire, bien plus adapté aux communications par satellite. Le répartiteur est ainsi utilisé pour diviser la puissance à amplitude et phase égales pour les différents cornets.

**[0008]** L'agencement d'un répartiteur en sortie d'un formateur de faisceau quasi-optique du type pillbox est connu sous la dénomination d'antenne CTS (« Continuous Transverse Stub »). Le document « Continous Transverse Stub Array for Ka-Band Applications » (Ettore et al., IEEE Transactions on antennas and propagation, vol. 63, no. 11, novembre 2015) décrit une telle antenne. La figure 3A représente une vue en perspective d'une antenne CTS, et la figure 3B une coupe selon le plan XZ. L'antenne CTS est constituée d'une source 10, qui peut être un cornet d'entrée, d'un guide d'ondes à plaques parallèles 20, d'une jonction pillbox 23, d'un répartiteur 1, et de cornets de rayonnements longitudinaux 5. Lorsque la source 10 est placée au centre du guide d'ondes à plaques parallèles 20, selon l'axe Y, la largeur (dimension selon l'axe Y) des cornets de rayonnements longitudinaux 5 et du répartiteur 1 est généralement égale à celle du formateur pillbox selon ce même axe. Les ondes émises par la source centrale sont en effet peu ou pas réfléchies sur les bords du répartiteur 1, ainsi peu de réflexions se produisent sur les bords du répartiteur 1.

**[0009]** La figure 4 illustre schématiquement, selon une vue éclatée, l'antenne CTS décrite dans le document « Continous Transverse Stub Array for Ka-Band Applications » (Ettore et al., IEEE Transactions on antennas and propagation, vol. 63, no. 11, novembre 2015), et équipée de plusieurs sources  $10_1, 10_2, \dots, 10_M$ . L'utilisation de plusieurs sources 10 permet de générer autant de signaux distincts et simultanés qui se propagent selon des directions différentes mais coplanaires, dans le plan Xy à l'intérieur du guide d'ondes à plaques parallèles 20, puis dans le plan XZ dans le répartiteur 1 et après émission par les cornets de rayonnements longitudinaux 5. Lorsque l'antenne est embarquée dans un satellite, la pluralité de sources 10 permet ainsi de couvrir simultanément des zones distinctes de la surface terrestre. L'utilisation d'une pluralité de sources d'entrée 10 dans l'antenne CTS précitée présente toutefois des limites.

**[0010]** Tout d'abord, la jonction pillbox 23 ne comprend qu'un seul foyer. La focalisation n'étant parfaite que pour une source placée au niveau du foyer du réflecteur, des

aberrations de défocalisation apparaissent pour des sources 10 éloignées du foyer du réflecteur. Ces aberrations sont le résultat d'une conversion imparfaite des ondes cylindriques en ondes planes par le formateur pillbox.

**[0011]** Par ailleurs, comme l'illustre la figure 4, l'onde émise par une source excentrée 10 et réfléchiée par la jonction pillbox 23 dans une direction très dépointée se propage de manière oblique dans le répartiteur 1. Pour éviter des réflexions (simples ou multiples, d'un bord à l'autre) des ondes sur les côtés du répartiteur 1, il est alors nécessaire de surdimensionner le répartiteur 1 selon l'axe X. Ce surdimensionnement 4, du répartiteur 1, qui entraîne un surdimensionnement des cornets de rayonnements longitudinaux 5 selon ce même axe, présente un coût en termes de masse embarquée, notamment dans un satellite. Il dépend par ailleurs de l'angle de pointage maximal visé et de la longueur de propagation dans le répartiteur 1. Il est d'autant plus important qu'une couverture est requise sur un vaste secteur angulaire selon l'axe de la dimension principale des cornets de rayonnements longitudinaux 5, et que la longueur électrique du répartiteur 1 est importante.

**[0012]** L'invention vise donc à éviter un surdimensionnement du répartiteur et de l'ouverture rayonnante selon l'axe longitudinal de l'ouverture rayonnante, dû aux ondes émises par des sources d'entrée excentrées vis-à-vis du foyer du formateur de faisceau quasi-optique. L'invention vise aussi, dans certains modes de réalisation, à éviter une focalisation imparfaite des faisceaux dépointés.

**[0013]** Un objet de l'invention est donc un formateur de faisceaux quasi-optique comprenant un répartiteur de puissance composé d'une succession de diviseurs à plaques parallèles selon une structure en arborescence à étages s'étendant selon un plan YZ d'un premier étage à un dernier étage, les plaques parallèles desdits diviseurs ayant chacune une dimension principale selon un axe X orthogonal au plan YZ, chaque diviseur à plaques parallèles comprenant, sur chacun des étages de la structure en arborescence situé sous un étage supérieur, une première et une seconde branche de guide d'ondes à plaques parallèles menant à des diviseurs à plaques parallèles respectifs de l'étage suivant de la structure en arborescence, le formateur de faisceaux comportant en outre une pluralité de lentilles s'étendant longitudinalement selon l'axe X sur au moins un étage du répartiteur de puissance, de façon à appliquer un retard variable continu selon l'axe X, et disposées dans chacune des branches des diviseurs d'au moins un étage du répartiteur de puissance.

**[0014]** Avantageusement, les lentilles sont disposées sur une pluralité d'étages du répartiteur de puissance et ont des hauteurs respectives telles que le retard variable continu est appliqué progressivement aux étages du répartiteur de puissance.

**[0015]** Avantageusement, les lentilles sont disposées à chaque étage du répartiteur de puissance.

**[0016]** Selon une variante, les lentilles sont uniquement disposées au dernier étage du répartiteur de puissance.

**[0017]** Avantageusement, chacune des lentilles d'un même étage est une lentille à profil droit.

**[0018]** Avantageusement, chacune des lentilles d'un même étage est une lentille à profil curviligne.

**[0019]** Avantageusement, le répartiteur de puissance ne comprend que des lentilles à profil droit, disposées à chaque étage du répartiteur de puissance.

**[0020]** Avantageusement, le formateur est connecté à une pluralité de sources orientées selon des directions différentes selon le plan XY, chacune des sources étant apte à injecter une onde dans le répartiteur, les ondes se propageant respectivement selon lesdites différentes directions selon le plan XY, les lentilles étant adaptées pour collimater ces ondes.

**[0021]** L'invention se rapporte également à une antenne multifaisceaux comprenant au moins un formateur de faisceaux quasi-optique tel que décrit précédemment, et comprenant en outre une pluralité de cornets de rayonnement, chaque cornet de rayonnement étant connecté à une branche du dernier étage du répartiteur de puissance.

**[0022]** Avantageusement l'antenne multifaisceaux comprend un polariseur configuré pour polariser circulairement les ondes émises par l'antenne selon une polarisation linéaire.

**[0023]** D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite en référence aux dessins annexés donnés à titre d'exemple et qui représentent, respectivement :

- la figure 1A : un formateur de faisceaux quasi-optique à lentille de l'état de l'art ;
- la figure 1B : une lentille à profil droit d'un formateur de faisceaux quasi-optique à lentille de l'état de l'art ;
- les figure 1C et 1D : un formateur de faisceaux quasi-optique à lentille à profil curviligne de l'état de l'art ;
- la figure 2A : un formateur pillbox de l'état de l'art ;
- la figure 2B : une coupe selon le plan « A-A » du formateur pillbox illustré par la figure 2A ;
- la figure 3A : vue en perspective d'une antenne CTS de l'état de l'art ;
- la figure 3B : une vue selon le plan YZ de l'antenne CTS illustrée par la figure 3A ;
- la figure 4 : une vue éclatée de l'antenne CTS des figures 3A et 3B ;
- la figure 5 : une illustration schématique des chemins électriques parcourus dans le formateur de faisceaux des figures 3A et 3B ;
- la figure 6A : une illustration schématique d'un premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 6B : une coupe selon le plan YZ dernier étage du formateur de faisceau selon le premier mode de réalisation
- la figure 7A : une illustration schématique d'un deuxième mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 7B : une coupe selon le plan YZ du dernier étage du formateur de faisceau selon le deuxième mode de réalisation ;
  - la figure 7C : une coupe selon le plan YZ du dernier étage du formateur de faisceau selon le deuxième mode de réalisation ;
  - la figure 8 : une illustration de l'antenne selon le deuxième mode de réalisation de l'invention ;
  - la figure 9 : une illustration schématique d'un troisième mode de réalisation de l'invention ;
- La figure 5 illustre schématiquement des chemins électriques parcourus dans le formateur de faisceaux de l'état de la technique, illustré également dans les figures 3A et 3B. Dans un formateur de faisceaux de l'état de la technique, les ondes issues des sources 10 parcourent une longueur électrique  $L_1$ , puis sont converties en onde plane en passant par la jonction pillbox 23. La source centrale 10<sub>C</sub> doit être disposée à la focale de la jonction pillbox 23. Le formateur pillbox, composé du guide d'ondes à plaques parallèles 20 et de la jonction pillbox 23, définit ainsi une longueur électrique  $L_1$ . La longueur électrique  $L_2$  restant à parcourir ensuite dans le répartiteur de puissance 1, qui dépend du nombre d'éléments rayonnants et de l'espacement entre les éléments rayonnants, est du même ordre de grandeur que  $L_1$ . Partant de ce constat, les inventeurs proposent d'effectuer la conversion des ondes cylindriques en ondes planes au sein du répartiteur 1, et avant les cornets 5 (selon un premier et un deuxième mode de réalisation) ou de façon progressive (selon un troisième mode de réalisation).

**[0024]** La figure 6A illustre un premier mode de réalisation, dans lequel la conversion des ondes est réalisée au dernier étage du répartiteur 1. Les sources 10 émettent des ondes, à fronts d'ondes cylindriques, vers le répartiteur de puissance 1. Le répartiteur de puissance 1 est composé d'une pluralité d'étages  $e_1, \dots, e_N$ . Au premier étage  $e_1$ , directement raccordé sources 10 éventuellement via un coude droit à 90°, se trouve un diviseur à plaques parallèles 3, composé de deux branches B1 et B2. Il y a lieu de noter que le coude droit ne rajoute pas de longueurs supplémentaires dans le formateur, c'est pour cela que les coudes droits n'ont aucun impact sur la structure. Le diviseur à plaques parallèles 3 est configuré pour répartir le champ électrique E issu des sources 10. Les diviseurs à plaques parallèles 3 peuvent être déséquilibrés afin de modifier la division de la puissance et ainsi contrôler la distribution de la puissance au niveau des cornets 5.

**[0025]** Comme l'illustre la figure 6B, au dernier étage du répartiteur, en sortie de chaque branche B1, B2 de chaque diviseur 3 de cet étage, éventuellement connecté via un coude à 90° 18, se trouve une lentille à profil droit 6. La lentille à profil droit 6 peut comprendre une excroissance 13 munie d'un insert 17, par exemple métallique, disposé entre les plaques parallèles de chacune des

branches B1 et B2, juste avant les cornets 5. Les dimensions de l'excroissance peuvent être définies par une variation de hauteur de l'insert selon l'axe y (voir figure 1B). Typiquement, la hauteur de l'excroissance 13 peut être nulle ou quasiment nulle aux extrémités de la lentille selon l'axe X, alors qu'elle peut être maximale au centre de la lentille selon ce même axe. L'insert peut être notamment en forme de « I ».

**[0026]** Selon ce premier mode de réalisation, le répartiteur 1 divise à chaque étage  $e_1, \dots, e_N$  le champ électrique E des ondes, dont le front d'onde reste cylindrique dans le répartiteur. Cette répartition des ondes cylindriques génère beaucoup moins de réflexions sur les bords du répartiteur 1 pour les ondes issus des sources les plus dépointées, par rapport à l'antenne CTS de l'état de l'art. En effet, dans l'antenne CTS de l'état de l'art, des ondes cylindriques (dans le formateur) puis planes (dans le répartiteur) se propagent sur une grande distance (longueur du formateur additionnée à la longueur du répartiteur), alors que selon l'invention, les ondes se propagent dans le répartiteur directement depuis les sources, uniquement sur une longueur correspondant à celle du formateur de faisceaux. La distance de propagation des ondes est donc plus courte. Ainsi, un surdimensionnement du répartiteur 1 et des cornets 5 selon l'axe X, visant dans l'état de l'art à empêcher les réflexions, n'est plus nécessaire avec l'antenne selon l'invention. On obtient ainsi, selon ce premier mode de réalisation, un gain en compacité selon l'axe X, vis-à-vis de l'antenne CTS de l'état de l'art.

**[0027]** Par ailleurs, les lentilles à profil droit 6, qui ne comprennent qu'une seule excroissance, ont une dimension réduite selon l'axe Z ; ainsi, elle présente un faible profil selon ce même axe. Ce mode de réalisation impose toutefois un certain espacement entre les cornets 5, selon l'axe y, dû à la hauteur des lentilles à profil droit 6.

**[0028]** La figure 7A illustre un deuxième mode de réalisation, dans lequel la conversion des ondes est réalisée au dernier étage du répartiteur 1. Les sources 10 émettent des ondes cylindriques, dans le répartiteur de puissance 1. Le répartiteur de puissance 1 est composé d'une pluralité d'étages  $e_1, \dots, e_N$ . Au premier étage  $e_1$ , directement raccordé aux sources 10 éventuellement via un coude à 90°, se trouve un diviseur à plaques parallèles 3, composé de deux branches B1 et B2. Le diviseur à plaques parallèles 3 est configuré pour répartir le champ électrique E issu des sources 10. Au dernier étage du répartiteur, en sortie de chaque diviseur de cet étage, éventuellement connectée via un coude à 90°, se trouve une lentille à profil curviligne 7. Comme pour le premier mode de réalisation, les ondes se propagent dans le répartiteur directement depuis les sources, uniquement sur une longueur correspondant à celle du formateur de faisceaux. On obtient ainsi également, selon ce deuxième mode de réalisation, un gain en surface selon l'axe X, vis-à-vis de l'antenne CTS de l'état de l'art. Par ailleurs, en ajoutant un degré de liberté par rapport au premier mode de réalisation, il est ainsi possible de doter le for-

mateur de faisceaux d'une pluralité de points focaux.

**[0029]** Pour ce deuxième mode de réalisation, la conversion des ondes cylindriques se fait uniquement au dernier étage  $e_N$ . Dès lors, la hauteur (selon l'axe y) de certaines excroissances de la lentille à profil curviligne impose un espacement entre les cornets 5. Ainsi, dans ce deuxième mode de réalisation, l'espacement entre les cornets 5 est imposé par la hauteur des lentilles, comme pour le premier mode de réalisation décrit précédemment.

**[0030]** Les figures 7B et 7C illustrent deux coupes, selon le plan YZ, de lentilles à profil curviligne 7 disposées au dernier étage du répartiteur, à deux endroits différents de la lentille 7 selon l'axe X. La lentille à profil curviligne 7 est disposée entre les plaques parallèles de chacune des branches B1 et B2, juste avant les cornets 5. La lentille à profil curviligne 7 peut comprendre une excroissance 13, repliée sur elle-même, ayant une partie  $p_1$  s'étendant selon l'axe Y, une partie  $p_2$  s'étendant selon l'axe Z, et une partie  $p_3$  s'étendant selon l'axe Y. La distance d'espacement entre les deux parties repliées  $p_1$  et  $p_3$  qui s'étendent selon l'axe Y croît depuis les extrémités de la lentille selon l'axe X (figure 7B), pour atteindre un maximum au centre de la lentille (figure 7C). La hauteur de l'excroissance selon l'axe y, varie également ; elle peut être nulle ou quasiment nulle aux extrémités de la lentille selon l'axe X, alors qu'elle peut être maximale au centre de la lentille selon ce même axe.

**[0031]** La figure 8 illustre une telle antenne, notamment le répartiteur de puissance 1, les lentilles 7 ainsi que les cornets 5. Il apparaît que cette antenne est beaucoup moins compacte, selon l'axe Z, que celle du premier mode de réalisation en raison des dimensions des lentilles à profil curviligne 7.

**[0032]** La figure 9 illustre un troisième mode de réalisation de l'invention. Les sources 10 émettent des ondes cylindriques vers le répartiteur de puissance 1. Le répartiteur de puissance 1 est composé d'une pluralité d'étages  $e_1, \dots, e_N$ . Au premier étage  $e_1$ , directement raccordé aux sources 10 éventuellement via un coude à 90°, se trouve un diviseur à plaques parallèles 3, composé de deux branches B1 et B2. Le diviseur à plaques parallèles 3 est configuré pour répartir le champ électrique E issu des sources 10.

**[0033]** Les lentilles mises en oeuvre dans le troisième mode de réalisation peuvent prendre la forme de lentilles à profil droit comprenant une excroissance (voir figure 1B), au niveau de chacune des branches B1, B2 de chaque diviseur. Chacune des branches de l'étage  $e_1$  mène à un diviseur à un étage supérieur  $e_2$ . Ainsi, un diviseur à plaques parallèles 3 est connecté à la première branche B1. Il comprend lui-même deux branches B1 et B2, chacune des branches B1 et B2 de ce diviseur à plaques parallèles 3 comprenant aussi une lentille à profil droit 6. Le répartiteur 1 est ainsi défini par une structure en arborescence, où les lentilles à profil droit se retrouvent à chaque étage du répartiteur 1 sur les branches B1 et B2. En alternative, l'excroissance peut être intégrée à la jonc-

tion des branches B1 et B2 ; le contour de la jonction n'est alors plus rectiligne, et doit être modifié de sorte à intégrer le retard à réaliser par l'excroissance.

**[0034]** Comme pour le premier et pour le deuxième mode de réalisation, les ondes se propagent dans le répartiteur directement depuis les sources, uniquement sur une longueur correspondant à celle du formateur de faisceaux. On obtient ainsi également, selon ce troisième mode de réalisation, un gain en surface selon l'axe X, vis-à-vis de l'antenne CTS de l'état de l'art.

**[0035]** Un tel agencement offre des performances en dépointage similaires au deuxième mode de réalisation, et donc bien supérieures par rapport aux formateurs de faisceaux de l'état de l'art. En effet, la conversion en ondes planes étant faite progressivement, il n'y a pas de réflexions sur les bords du répartiteur 1, contrairement au cas où il y a des ondes planes fortement inclinées dans le répartiteur 1. La multiplicité d'excroissances permet de répartir et de fractionner, entre les différentes excroissances, les retards à réaliser, et d'obtenir ainsi un gradient de retard, à savoir un retard fonction de la position de l'onde selon l'axe Z. Comme pour le deuxième mode de réalisation, cette augmentation du nombre de degrés de libertés par rapport au premier mode de réalisation évite ainsi les aberrations liées aux ondes issues de sources fortement dépointées, sur un large secteur angulaire. Il est ainsi possible de doter le formateur de faisceaux d'une pluralité de points focaux. Par ailleurs, la répartition des lentilles 6 permet de réduire l'amplitude des retards à réaliser à chaque excroissance, et donc d'en limiter la dimension.

**[0036]** Le troisième mode a été décrit avec des lentilles à profil droit 6. Cela inclut ainsi les jonctions pillbox, qui sont un certain type de lentille à profil droit, comme cela a été décrit précédemment. Il peut également être envisagé de répartir des lentilles à profil curviligne 7 (voir figures 1C et 1D) dans le répartiteur selon le troisième mode de réalisation, en tenant compte toutefois de l'encombrement des lentilles à profil curviligne 7. Un tel agencement, réparti de façon progressive, de lentilles à profil curviligne 7 selon le troisième mode de réalisation, permet d'ajouter des degrés de liberté supplémentaires dans le cas où l'utilisation de lentilles à profil droit n'en aurait pas assez pour permettre de bonnes performances.

**[0037]** En sortie du répartiteur se trouvent une pluralité de cornets de rayonnement 5, chaque cornet de rayonnement 5 étant connecté à une branche (B1, B2) du dernier étage du répartiteur de puissance  $e_N$ . Chaque cornet de rayonnement 5 est configuré pour rayonner le même champ. En alternative, les cornets de rayonnement 5 peuvent avoir des niveaux de puissance différents, afin de réduire le niveau des lobes de réseaux. Les faisceaux ainsi générés sont affinés dans le plan E, et peuvent être circulaires, de façon à être particulièrement adaptés aux télécommunications spatiales. La conversion étant progressive, le retard à appliquer au dernier étage  $e_N$  dans ce mode de réalisation est inférieur à celui appliqué dans

les deux précédents modes. Ainsi, contrairement aux deux premiers modes de réalisation, la faible hauteur des lentilles 6 (selon l'axe y) au dernier étage  $e_N$  permet aux cornets de rayonnement 5 d'être suffisamment proches les uns les autres selon l'axe y, et de limiter ainsi les problèmes engendrés par les lobes de réseaux.

**[0038]** De façon préférentielle, les hauteurs de chacune des lentilles des branches B1, B2 d'un même étage sont identiques, de sorte que le retard soit uniformément et équitablement appliqué à chaque étage, et que les différents faisceaux transmis aux cornets soient bien en phase, améliorant ainsi la qualité des faisceaux sur un secteur angulaire donné.

**[0039]** D'autres modes de réalisation peuvent être envisagés, notamment en disposant, sur un étage, une ou plusieurs lentilles à profil curviligne 7 ainsi qu'une ou plusieurs lentilles à profil droit 6.

**[0040]** Une limitation des antennes réseaux d'ouvertures linéaires rayonnantes réside dans la polarisation de l'onde rayonnée. Celle-ci est linéaire, et orientée dans la direction orthogonale aux plaques parallèles. Or, de nombreuses applications, notamment dans les communications spatiales, requièrent le rayonnement en polarisation circulaire. Pour cela, l'antenne objet de l'invention comprend avantageusement un polariseur configuré pour polariser circulairement les ondes émises par l'antenne selon une polarisation linéaire. Un polariseur dit à septum peut être intégré dans l'antenne ; en alternative, un radome polarisant 18, représenté schématiquement à la figure 9, peut recouvrir l'antenne selon l'invention.

## Revendications

1. Formateur de faisceaux quasi-optique comprenant un répartiteur de puissance (1) composé d'une succession de diviseurs à plaques parallèles (3) selon une structure en arborescence à étages s'étendant selon un plan YZ d'un premier étage ( $e_1$ ) à un dernier étage ( $e_N$ ), les plaques parallèles desdits diviseurs ayant chacune une dimension principale selon un axe X orthogonal au plan YZ, chaque diviseur à plaques parallèles (3) comprenant, sur chacun des étages de la structure en arborescence situé sous un étage supérieur, une première (B1) et une seconde branche (B2) de guide d'ondes à plaques parallèles menant à des diviseurs à plaques parallèles (3) respectifs de l'étage suivant de la structure en arborescence,   
**caractérisé en ce qu'il** comporte en outre une pluralité de lentilles (6, 7) s'étendant longitudinalement selon l'axe X sur au moins un étage du répartiteur de puissance (1), de façon à appliquer un retard variable continu selon l'axe X, et disposées dans chacune des branches (B1, B2) des diviseurs (3) d'au moins un étage du répartiteur de puissance (1).
2. Formateur de faisceaux quasi-optique selon la re-

vention 1, les lentilles (6, 7) étant disposées sur une pluralité d'étages ( $e_1, \dots, e_N$ ) du répartiteur de puissance (1) et ayant des hauteurs respectives telles que le retard variable continu est appliqué progressivement aux étages du répartiteur de puissance (1). 5

3. Formateur de faisceaux quasi-optique selon l'une des revendications précédentes, les lentilles (6, 7) étant disposées à chaque étage ( $e_1, \dots, e_N$ ) du répartiteur de puissance (1). 10
4. Formateur de faisceaux quasi-optique selon la revendication 1, les lentilles (6, 7) étant uniquement disposées au dernier étage ( $e_N$ ) du répartiteur de puissance (1). 15
5. Formateur de faisceaux quasi-optique selon l'une des revendications précédentes, chacune des lentilles (6, 7) d'un même étage étant une lentille à profil droit (6). 20
6. Formateur de faisceaux quasi-optique selon l'une des revendications 1 à 5, chacune des lentilles (6, 7) d'un même étage étant une lentille à profil curviligne (7). 25
7. Formateur de faisceaux quasi-optique selon la revendication 5, le répartiteur de puissance (1) ne comprenant que des lentilles à profil droit (6), disposées à chaque étage ( $e_1, \dots, e_N$ ) du répartiteur de puissance (1). 30
8. Formateur de faisceaux quasi-optique selon l'une des revendications précédentes, ledit formateur étant connecté à une pluralité de sources (10) orientées selon des directions différentes selon le plan XY, chacune des sources (10) étant apte à injecter une onde dans le répartiteur (1), les ondes se propageant respectivement selon lesdites différentes directions selon le plan XY, les lentilles (6, 7) étant adaptées pour collimater ces ondes. 35  
40
9. Antenne multifaisceaux comprenant au moins un formateur de faisceaux quasi-optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, et comprenant en outre une pluralité de cornets de rayonnement (5), chaque cornet de rayonnement (5) étant connecté à une branche (B1, B2) du dernier étage du répartiteur de puissance ( $e_N$ ). 45  
50
10. Antenne multifaisceaux selon la revendication précédente, comprenant un polariseur (18) configuré pour polariser circulairement les ondes émises par l'antenne selon une polarisation linéaire. 55

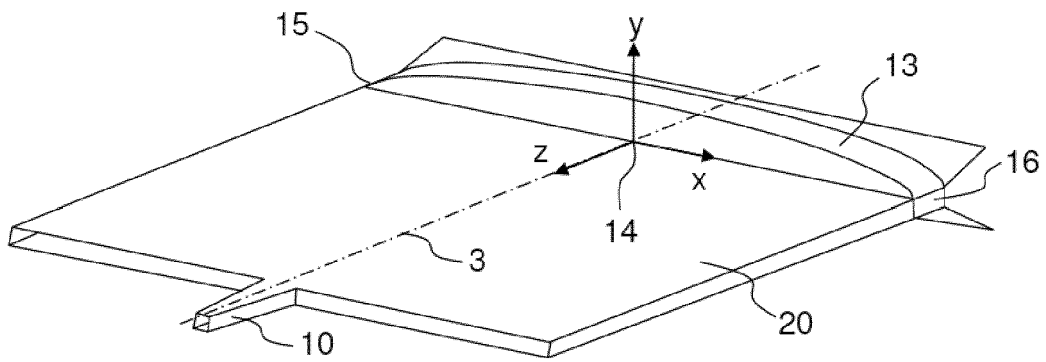


FIG. 1A

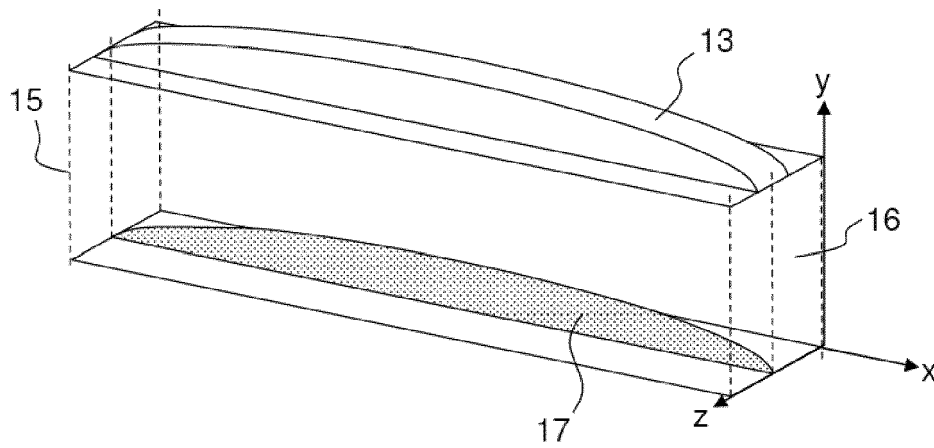


FIG. 1B

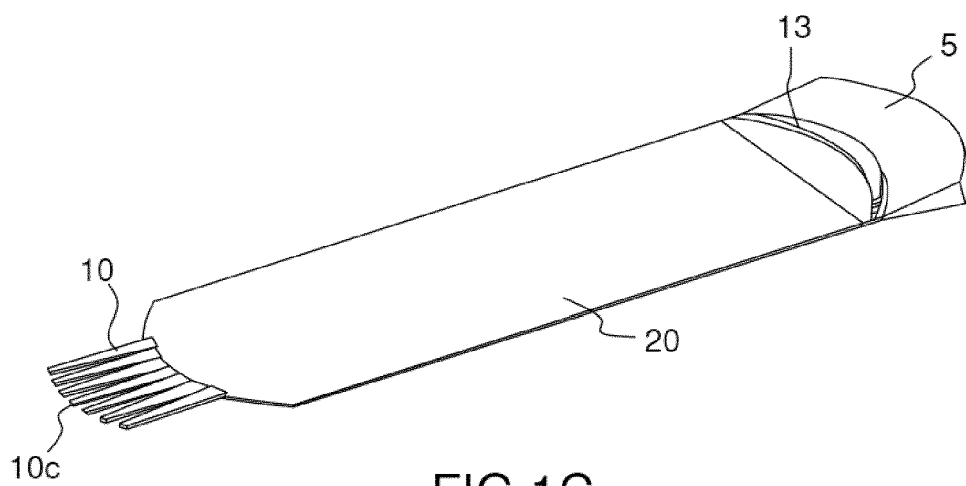


FIG. 1C

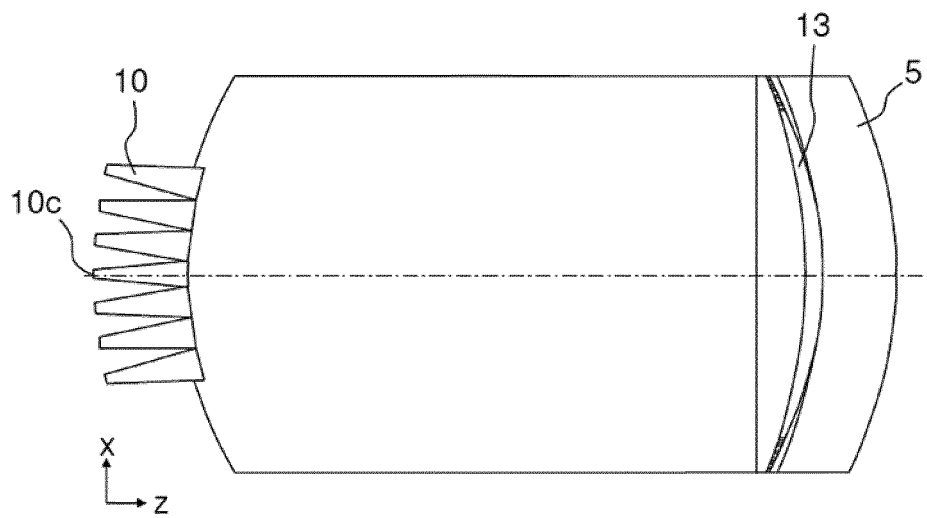


FIG. 1D

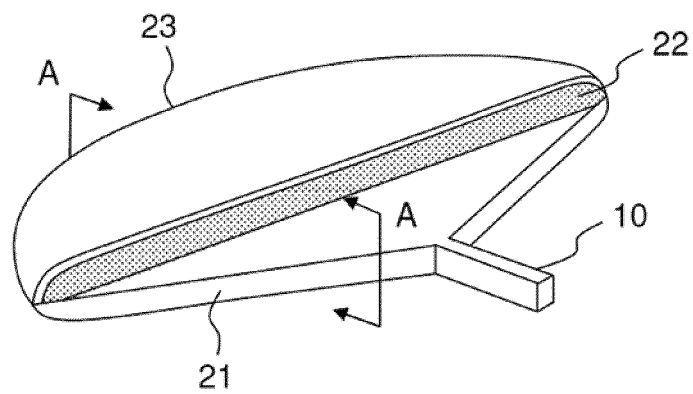


FIG. 2A

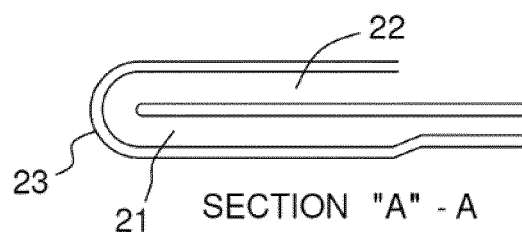
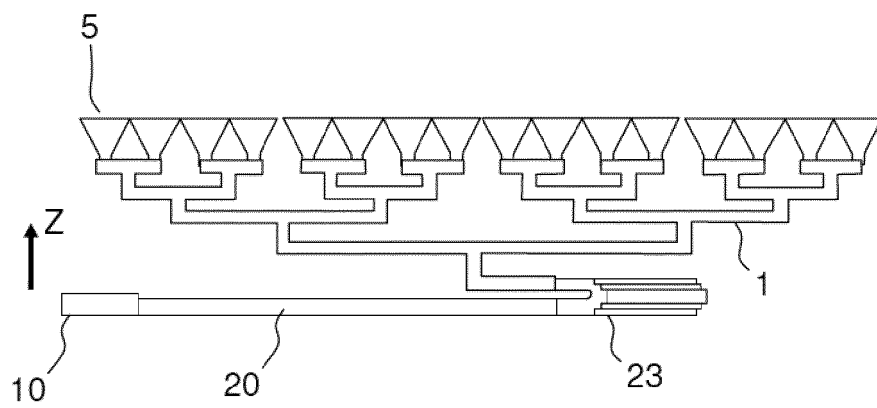
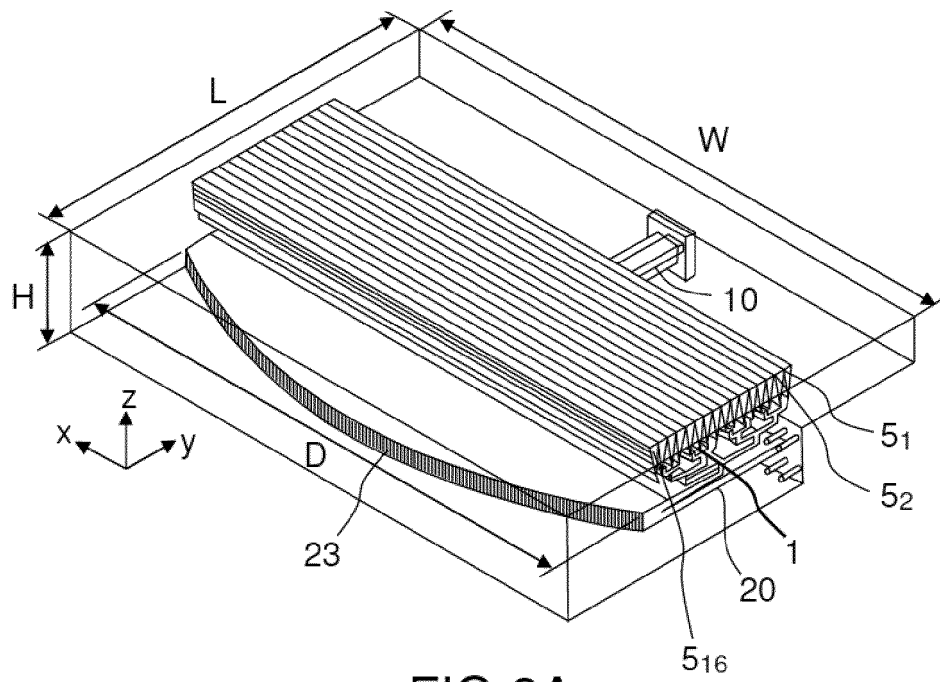


FIG. 2B



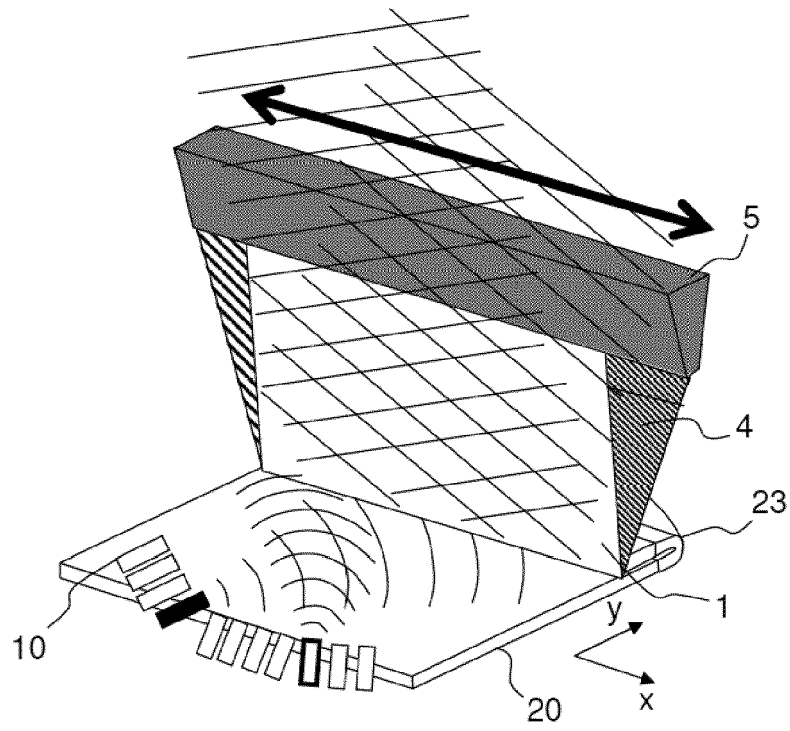


FIG.4

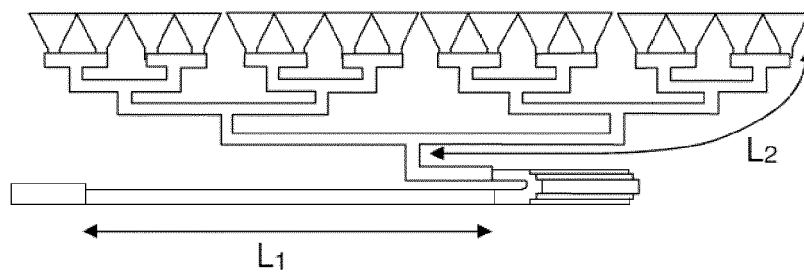


FIG.5

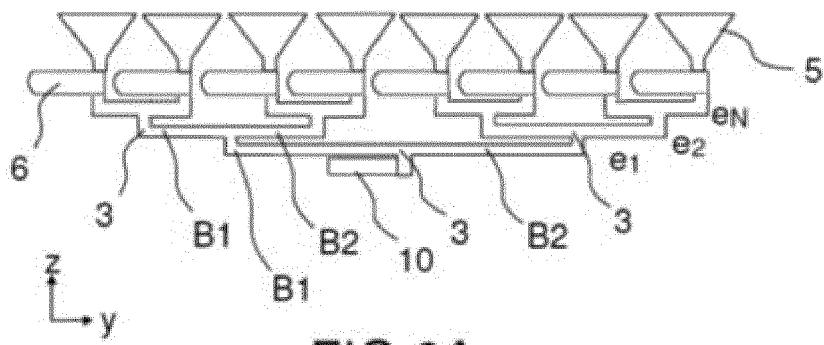


FIG. 6A

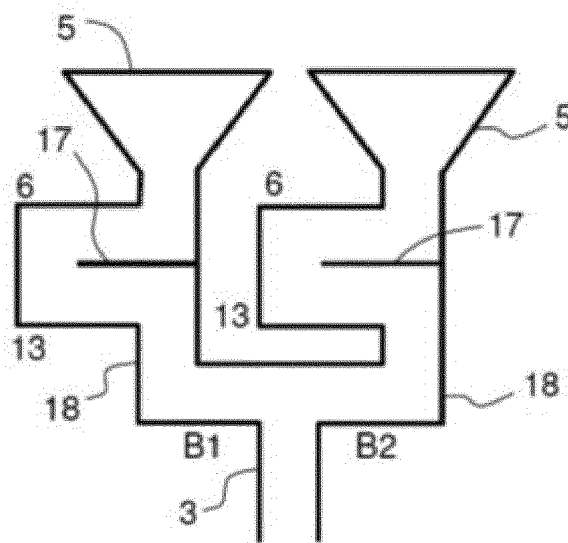


FIG. 6B

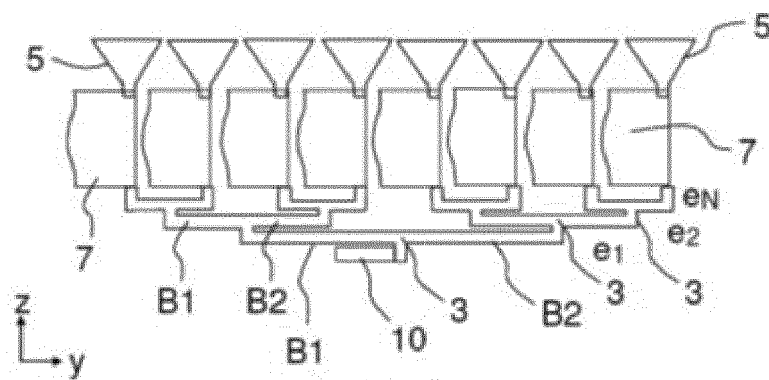


FIG. 7A

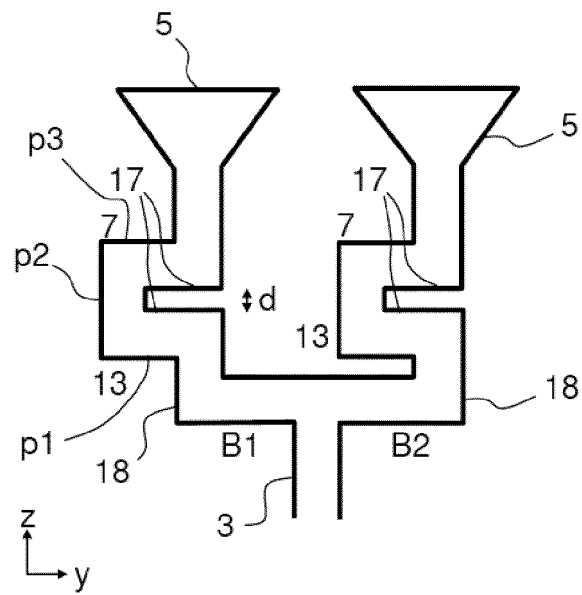


FIG. 7B

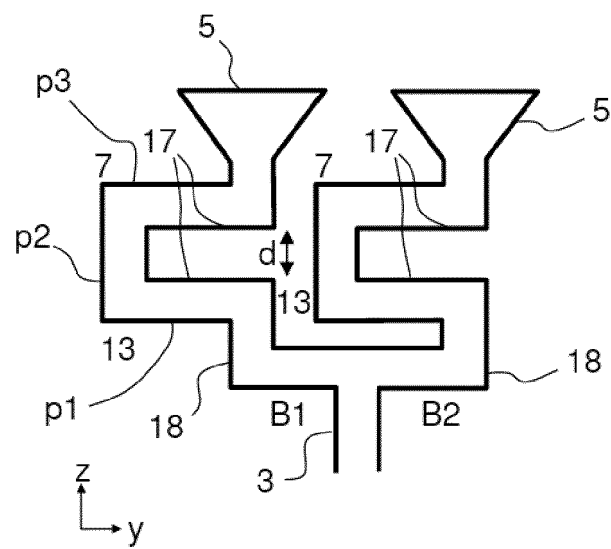


FIG. 7C

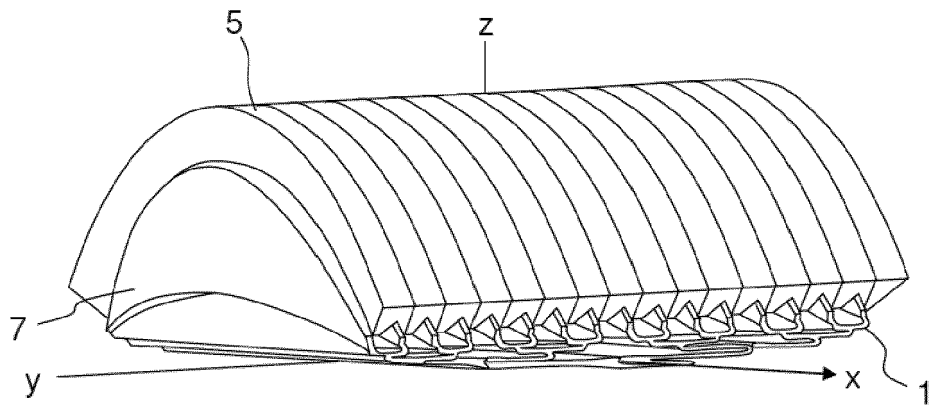


FIG. 8

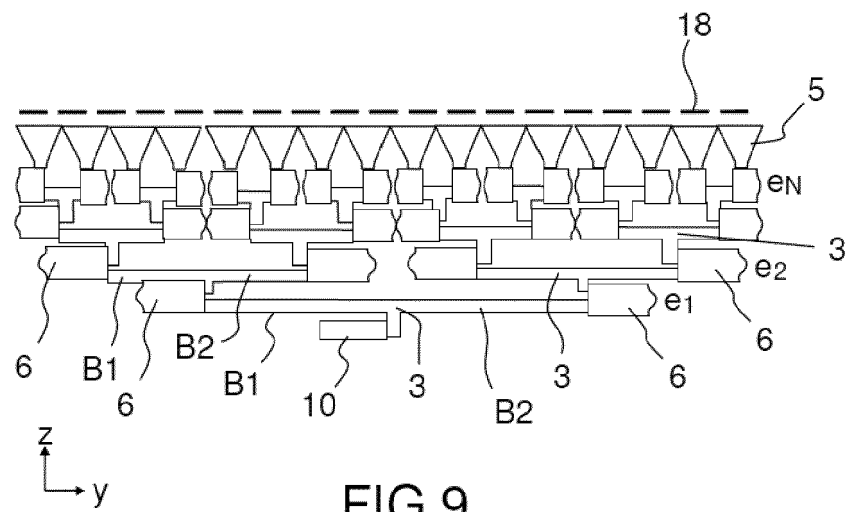


FIG. 9



## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 18 18 5469

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                   |                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Catégorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Revendication concernée           | CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)                                                                 |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>ETTORRE MAURO ET AL: "A compact and high-gain Ka-band multibeam continuous transverse stub antenna", 2015 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANTENNAS AND PROPAGATION &amp; USNC/URSI NATIONAL RADIO SCIENCE MEETING, IEEE, 19 juillet 2015 (2015-07-19), pages 671-672, XP032796430, DOI: 10.1109/APS.2015.7304722</p> <p>* figure 1a *</p> <p>* figure 1b *</p> <p>* Section II *</p> <p>* Section III *</p> <p>-----</p> | 1-10                              | <p>INV.</p> <p>H01Q1/28</p> <p>H01Q13/28</p> <p>H01Q15/06</p> <p>H01Q21/00</p> <p>H01P5/19</p> |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>LU XIANLONG ET AL: "Beam-Scanning Continuous Transverse Stub Antenna Fed by a Ridged Waveguide Slot Array", IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, vol. 16, 6 février 2017 (2017-02-06), pages 1675-1678, XP011653102, ISSN: 1536-1225, DOI: 10.1109/LAWP.2017.2664880 [extrait le 2017-06-19]</p> <p>* figure 2 *</p> <p>* figure 1 *</p> <p>* Section II *</p> <p>-----</p>                                   | 1-10                              | <p>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)</p> <p>H01Q</p> <p>H01P</p>                            |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>US 2006/202899 A1 (MILROY WILLIAM W [US] ET AL) 14 septembre 2006 (2006-09-14)</p> <p>* figure 2 *</p> <p>* alinéa [0018] - alinéa [0019] *</p> <p>-----</p>                                                                                                                                                                                                                                                             | 1-10                              |                                                                                                |
| 2 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                   |                                                                                                |
| Lieu de la recherche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Date d'achèvement de la recherche | Examineur                                                                                      |
| La Haye                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 17 septembre 2018                 | Kalialakis, Christos                                                                           |
| <p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul</p> <p>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie</p> <p>A : arrière-plan technologique</p> <p>O : divulgation non-écrite</p> <p>P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention</p> <p>E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date</p> <p>D : cité dans la demande</p> <p>L : cité pour d'autres raisons</p> <p>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                   |                                                                                                |

EPO FORM 1503 03.02 (P04C02)

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

EP 18 18 5469

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.

17-09-2018

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication |
|-------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| US 2006202899 A1                                | 14-09-2006             | AT 418166 T                             | 15-01-2009             |
|                                                 |                        | CA 2600627 A1                           | 14-09-2006             |
|                                                 |                        | DK 1856769 T3                           | 14-04-2009             |
|                                                 |                        | EP 1856769 A1                           | 21-11-2007             |
|                                                 |                        | JP 4856164 B2                           | 18-01-2012             |
|                                                 |                        | JP 2008533813 A                         | 21-08-2008             |
|                                                 |                        | KR 20070103770 A                        | 24-10-2007             |
|                                                 |                        | TW 1330426 B                            | 11-09-2010             |
|                                                 |                        | US 2006202899 A1                        | 14-09-2006             |
|                                                 |                        | WO 2006096290 A1                        | 14-09-2006             |
| -----                                           |                        |                                         |                        |

EPO FORM P0460

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

## RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

### Documents brevets cités dans la description

- EP 3113286 A1 [0006]

### Littérature non-brevet citée dans la description

- **ETTORE et al.** Continuous Transverse Stub Array for Ka-Band Applications. *IEEE Transactions on antennas and propagation*, 11 Novembre 2015, vol. 63 [0008] [0009]