



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
27.06.2018 Bulletin 2018/26

(51) Int Cl.:
H01Q 19/17 (2006.01) **H01Q 1/28** (2006.01)
H01Q 21/00 (2006.01) **H01Q 25/00** (2006.01)
H01P 5/12 (2006.01) **H01P 5/19** (2006.01)
H01Q 3/40 (2006.01) **H01Q 21/06** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **17207575.6**

(22) Date de dépôt: **15.12.2017**

(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:
MA MD TN

(72) Inventeurs:
• **BOSSHARD, Pierre**
31037 Toulouse Cedex 1 (FR)
• **LEBRUN, Florent**
31037 Toulouse Cedex 1 (FR)
• **JOCHER, Hélène**
31037 Toulouse Cedex1 (FR)

(30) Priorité: **22.12.2016 FR 1601834**

(74) Mandataire: **Priori, Enrico**
Marks & Clerk France
Conseils en Propriété Industrielle
Immeuble «Visium»
22, avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

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

(54) **ARCHITECTURE MÉCANIQUE D'UN FORMATEUR DE FAISCEAUX POUR ANTENNE MFPB MONO-RÉFLECTEUR À PARTAGE DE SOURCES SELON DEUX DIMENSIONS DE L'ESPACE ET PROCÉDÉ DE RÉALISATION DU FORMATEUR DE FAISCEAUX**

(57) L'architecture mécanique du formateur de faisceaux comporte une pluralité de circuits de combinaison élémentaires (11) et une structure de support (10), les circuits de combinaison élémentaires (11) étant indépendants les uns des autres, chaque circuit de combinaison élémentaire étant destiné à la formation d'un faisceau, la structure de support (10) comportant deux plaques métalliques d'interface (13, 14), respectivement supé-

rieure et inférieure, les deux plaques d'interface étant aménagées parallèlement entre elles et espacées l'une de l'autre, selon une direction de hauteur Z orthogonale aux deux plaques d'interface, les circuits de combinaison élémentaires (11) étant montés dans l'espace entre les deux plaques d'interface (13, 14) et fixés perpendiculairement aux deux plaques d'interface.

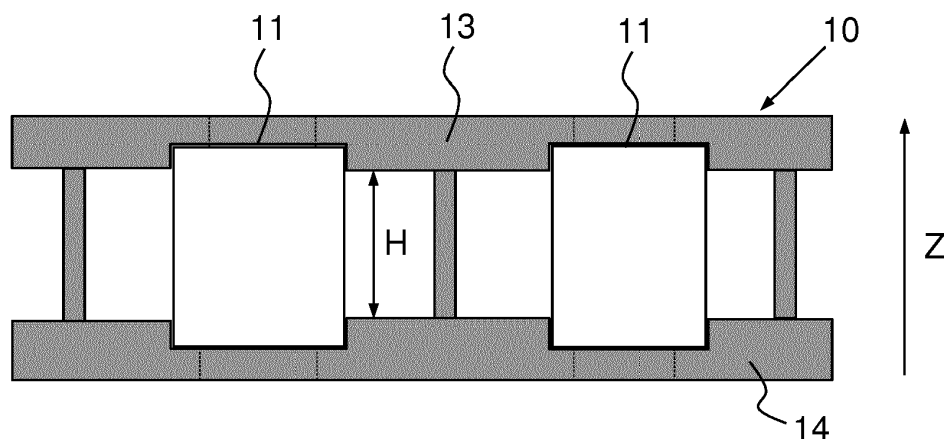


FIG.1

Description

[0001] La présente invention concerne une architecture mécanique d'un formateur de faisceaux pour antenne MFPB mono-rélecteur à partage de sources selon deux dimensions de l'espace et un procédé de réalisation du formateur de faisceaux. Elle s'applique aux antennes multifaisceaux à partage de sources dans laquelle chaque faisceau est formé par quatre sources.

[0002] Dans une antenne MFPB (en anglais : Multiple Feeds Per Beam) à plusieurs sources radiofréquences RF par faisceau, chaque faisceau est formé en combinant les ports de plusieurs sources radiofréquences d'un réseau focal, chaque source radiofréquence étant constituée d'un élément rayonnant connecté à une chaîne radiofréquence d'émission et de réception généralement à deux ports. Pour cela, les sources RF du réseau focal sont groupées en une pluralité de cellules élémentaires comportant le même nombre de sources RF et formant un maillage. Selon l'implantation des sources radiofréquences dans le réseau focal et le nombre de sources radiofréquences dans chaque maille, la maille peut avoir différentes formes géométriques, par exemple carrée ou hexagonale. Les ports des sources radiofréquences de chaque maille peuvent alors être combinés entre eux pour former des faisceaux. Pour obtenir un bon recouvrement entre les faisceaux, il est connu de réutiliser une ou plusieurs sources radiofréquences pour former des faisceaux adjacents. Lorsque la réutilisation des sources radiofréquences est réalisée selon deux dimensions de l'espace, cela nécessite classiquement, l'utilisation d'un réseau de formation de faisceaux BFN (en anglais : Beam Forming Network) complexe, qui comporte des circuits de combinaison de puissance disposés axialement, qui s'entrecroisent les uns avec les autres, et il est alors impossible de séparer physiquement les circuits de combinaison dédiés à la formation de faisceaux différents. Cette difficulté est accrue par l'usage de coupleurs communs à plusieurs sources radiofréquences, qui permettent la réutilisation des sources radiofréquences et l'indépendance des faisceaux entre eux. La fabrication et l'assemblage de ces antennes est très complexe et le nombre de faisceaux qui peuvent être formés est limité lorsque les éléments fonctionnels, tel que le BFN, ne peuvent pas être découpés en sous-ensembles dans une approche modulaire.

[0003] Le document FR 2 993 716 décrit une architecture d'antenne MFPB d'émission et de réception comportant un réseau focal équipé de sources radiofréquences compactes à quatre ports, dans laquelle chaque faisceau est élaboré en combinant par quatre, les ports de même polarisation et de même fréquence d'un groupe de quatre sources radiofréquences du réseau. Cette antenne fonctionne à l'émission et à la réception, et deux faisceaux adjacents fonctionnant dans des polarisations orthogonales sont élaborés par deux groupes de sources RF différents, constitués chacun de quatre sources radiofréquences pouvant partager une ou deux sources

radiofréquences, selon l'arrangement des quatre sources RF dans la maille. Un exemple d'aménagement modulaire des sources RF et des BFN dans le réseau focal est décrit dans le document FR 3035548. Dans cet aménagement, les circuits de combinaison dédiés à chaque ligne de quatre sources RF sont regroupés dans un BFN partiel linéaire, les BFN partiels étant fabriqués en demi-coquilles dans lesquelles sont usinés les guides d'onde formant les circuits de combinaison, puis les demi-coquilles sont assemblées entre elles et empilées pour former une structure multicouches. Cet aménagement est très compact, cependant cet aménagement ne permet de réutiliser les sources radiofréquences que dans une seule dimension de l'espace, ce qui nécessite l'utilisation d'une deuxième antenne identique pour obtenir un bon recouvrement des faisceaux dans les deux dimensions de l'espace.

[0004] Les auteurs Qinghua et al (Lai Qinghua et al., « A prototype of feed subsystem for a multiple-beam array-fed reflector antenna », IEEE International symposium on antennas and propagation, 2015) présentent un système d'alimentation pour une antenne réflective à faisceaux multiples et à réseau d'alimentation, comprenant plusieurs antennes cornets polarisées circulairement, une matrice de switchs RF, un tableau de contrôle digital et un tableau de convertisseur de tension. Les alimentations des antennes sont divisées en quatre groupes, tout comme la matrice de switchs RF. Chaque branche de la matrice prend le contrôle des antennes cornet appartenant à un même groupe d'alimentation et à chaque instant, chaque branche de la matrice sélectionne une antenne cornet pour délivrer des signaux aux circuits RF de traitement du signal.

[0005] Le document WO 2007/130316 divulgue un système de formation de faisceaux comprenant un ensemble de coupleurs d'entrée et de sortie. Un adaptateur est placé entre les coupleurs d'entrée et les coupleurs de sortie.

[0006] Le document EP 2930790 présente un réseau d'antennes comprenant un seul réseau d'alimentation des éléments rayonnants.

[0007] Les auteurs Zhang Bing et al (Zhang Bing et al., « Metallic 3-D printed rectangular waveguides for millimeter-wave applications », IEEE Transactions on components, packaging and manufacturing technology, 6 : 796-804, 2016) montrent la faisabilité de fabriquer par impression 3D des guides d'ondes rectangulaires, utilisés pour des applications en ondes millimétriques.

[0008] Le but de l'invention est de remédier aux problèmes des antennes MFPB connues et de réaliser une nouvelle architecture mécanique d'un formateur de faisceaux pour une antenne à partage de sources et un nouveau procédé de réalisation d'un formateur de faisceaux, le formateur de faisceaux ayant une dimension pouvant être ajustée selon les besoins, sans limitation, et permettant d'élaborer des faisceaux selon deux dimensions de l'espace avec un bon recouvrement entre deux faisceaux adjacents en utilisant une seule antenne MFPB mono-

réflecteur.

[0009] Pour cela, l'invention concerne une architecture mécanique d'un formateur de faisceaux pour antenne MFPB mono-réflecteur à partage de sources selon deux dimensions de l'espace, dans laquelle le formateur de faisceaux comporte une pluralité de circuits de combinaison élémentaires et une structure de support, les circuits de combinaison élémentaires étant indépendants les uns des autres, chaque circuit de combinaison élémentaire étant destiné à la formation d'un faisceau. La structure de support comporte deux plaques métalliques d'interface, respectivement supérieure et inférieure, les deux plaques d'interface étant aménagées parallèlement entre elles et espacées l'une de l'autre, selon une direction Z orthogonale aux deux plaques d'interface, les circuits de combinaison élémentaires étant montés dans l'espace entre les deux plaques d'interface et fixés perpendiculairement aux deux plaques d'interface.

[0010] Avantageusement, chaque circuit de combinaison élémentaire peut avoir une structure de chandelier monobloc, chaque chandelier étant constitué d'un guide d'ondes d'accès inférieur, d'au moins quatre guides d'ondes d'accès supérieurs, et de guides d'ondes de liaison intermédiaires reliant les guides d'ondes d'accès supérieurs au guide d'ondes d'accès inférieur.

[0011] Avantageusement, les deux plaques d'interface, respectivement supérieure et inférieure, comportent une pluralité d'orifices traversants, le guide d'ondes d'accès inférieur de chaque circuit de combinaison élémentaire est relié à un orifice traversant correspondant de la plaque d'interface inférieure et les au moins quatre guides d'ondes d'accès supérieurs de chaque circuit de combinaison élémentaire sont respectivement reliés à des orifices traversants correspondants de la plaque d'interface supérieure.

[0012] Avantageusement, la liaison entre le guide d'ondes d'accès inférieur de chaque circuit de combinaison élémentaire et un orifice traversant correspondant de la plaque d'interface inférieure est une jonction sans contact.

[0013] Avantageusement, la jonction sans contact peut être constituée d'une bride de connexion comportant une partie mâle solidaire du guide d'ondes d'accès inférieur et une partie femelle constituée d'une bague, la bague étant montée, en laissant subsister un jeu, autour de la partie mâle de la bride de connexion, la surface interne de la bague, et/ou la surface externe de la partie mâle de la bride de connexion, étant munie de plots métalliques régulièrement répartis.

[0014] Avantageusement, la bague peut être fixée à l'intérieur de l'orifice traversant de la plaque d'interface inférieure.

[0015] Avantageusement, la bague peut être fixée à la partie mâle de la bride de connexion par un dispositif à clip.

[0016] Avantageusement, tous les circuits de combinaison élémentaires peuvent être aménagés parallèlement les uns aux autres entre les deux plaques d'inter-

face, respectivement supérieure et inférieure.

[0017] L'invention concerne aussi une antenne MFPB mono-réflecteur à partage de sources selon deux dimensions de l'espace comportant une telle architecture mécanique.

[0018] L'invention concerne également un procédé de réalisation d'un formateur de faisceaux pour antenne à partage de sources selon deux dimensions de l'espace, consistant :

- à fabriquer une pluralité de circuits de combinaison élémentaires, chaque circuit de combinaison élémentaire ayant une forme de chandelier constitué d'un guide d'onde d'accès inférieur et d'au moins quatre guides d'ondes d'accès supérieurs reliés au guide d'ondes d'accès inférieur,
- puis à fabriquer une structure de support comportant deux plaques métalliques d'interface, la fabrication comportant des étapes consistant à usiner des orifices traversants respectifs dans les deux plaques métalliques d'interface et à monter les deux plaques métalliques d'interface parallèlement entre elles en laissant subsister un espace selon une direction Z orthogonale aux deux plaques d'interface,
- puis à monter et fixer tous les circuits de combinaison élémentaires parallèlement les uns aux autres dans l'espace entre les deux plaques d'interface, les guides d'ondes d'accès supérieurs et inférieur de chaque circuit de combinaison élémentaire étant respectivement reliés aux orifices traversants correspondants aménagés dans les deux plaques d'interfaces.

[0019] Avantageusement, chaque circuit de combinaison élémentaire peut être réalisé individuellement par un procédé de fabrication additive consistant à ajouter des couches de matière successives, empilées les unes au-dessus des autres.

[0020] Avantageusement, le procédé de fabrication additive peut être choisi parmi les procédés par stéréolithographie laser ou les procédés d'impression à trois dimensions.

[0021] Avantageusement, le procédé peut comporter en outre une étape d'encapsulation individuelle de chaque circuit de combinaison élémentaire dans un capot métallique.

[0022] D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement dans la suite de la description donnée à titre d'exemple purement illustratif et non limitatif, en référence aux dessins schématiques annexés qui représentent :

- figure 1 : un schéma synoptique, en coupe, d'un exemple d'architecture mécanique d'un formateur de faisceaux, selon l'invention ;
- figure 2 : un schéma, illustrant un exemple de circuit de combinaison reliant quatre ports de quatre sources RF, selon l'invention ;

- figure 3a : un schéma partiel illustrant un exemple de configuration d'un réseau de sources RF d'une antenne MFPB à maille hexagonale et de ses groupements en quadri-sources, selon l'invention;
- figure 3b : un schéma illustrant un exemple de connexions entre les ports des sources RF de différents groupements en quadri-sources, permettant de former une couverture à maille rectangulaire, selon l'invention;
- figures 4a et 4b : deux schémas illustrant respectivement un premier exemple de circuit de combinaison élémentaire dédié à la réception et un deuxième exemple de circuit de combinaison élémentaire dédié à l'émission, selon l'invention;
- figure 5 : un schéma illustrant un ensemble de plusieurs circuits de combinaison élémentaires aménagés les uns à

[0023] côtés des autres selon deux dimensions de l'espace et montés parallèlement entre eux, selon l'invention ;

- figure 6 : un schéma de montage illustrant une ligne de plusieurs circuits de combinaison élémentaires aménagés les uns à côtés des autres, selon l'invention ;
- figure 7 : un schéma illustrant, en vue de dessus, un ensemble de plusieurs circuits de combinaison élémentaires aménagés les uns à côtés des autres et fixés sur une plaque d'interface inférieure, la plaque d'interface supérieure étant omise, selon l'invention ;
- figure 8 : un schéma illustrant, en vue de dessus, un ensemble de plusieurs circuits de combinaison élémentaires aménagés les uns à côtés des autres entre deux plaques d'interface, selon l'invention ;
- figure 9a : un schéma partiel en coupe transversale illustrant un circuit de combinaison élémentaire aménagé entre deux plaques d'interfaces et muni d'un premier exemple de jonction sans contact comportant une bride de connexion à symétrie de révolution, selon l'invention ;
- figures 9b et 9c: des vues de détail en coupe transversale, illustrant deux exemples de fixation d'une jonction sans contact à symétrie de révolution, selon l'invention ;
- figure 10 : un schéma synoptique d'un exemple de procédé de fabrication d'un formateur de faisceaux, selon l'invention.

[0024] A titre d'exemple non limitatif, la suite de la description est basée sur des exemples de circuits de combinaison reliant des ports de quatre sources RF, mais l'invention s'applique également à des circuits de combinaison reliant des ports d'un nombre de sources RF supérieur à quatre.

[0025] L'architecture mécanique du formateur de faisceaux représentée sur la figure 1 comporte une pluralité

de circuits de combinaison élémentaires 11 et une structure mécanique de support 10, les circuits de combinaison élémentaires 11 étant indépendants les uns des autres. Dans cet exemple non limitatif, chaque circuit de combinaison 11 élémentaire est dédié à la combinaison des ports de quatre sources RF 12 pour la formation d'un faisceau, comme représenté par exemple sur le schéma de la figure 2, qui illustre un circuit de combinaison relié à un groupe de quatre sources RF, chaque source RF étant constituée de plusieurs chaînes radiofréquences réalisant des fonctions d'émission et de réception dans deux polarisations orthogonales et d'un élément rayonnant, par exemple de type cornet, relié aux chaînes RF. En utilisant des sources RF à quatre ports, un seul port d'émission et un seul port de réception de chaque source RF d'un groupe de quatre sources RF sont utilisés pour la formation d'un faisceau d'émission et respectivement d'un faisceau de réception. Les deux autres ports de chaque source RF sont alors disponibles et chaque source RF peut être réutilisée deux fois pour former deux faisceaux additionnels. La structure de support 10 comporte deux plaques d'interface 13, 14, métalliques, respectivement supérieure et inférieure, les deux plaques d'interface étant aménagées parallèlement entre elles et espacées l'une de l'autre d'une distance H selon une direction Z orthogonale au plan des plaques d'interface. Les circuits de combinaison élémentaires 11 sont montés les uns à côtés des autres, perpendiculairement aux plaques d'interface, dans l'espace entre les deux plaques d'interface 13, 14 et sont fixés aux deux plaques d'interface. Cette architecture mécanique décrite explicitement pour la réalisation d'un formateur de faisceau peut également être utilisée pour la réalisation des chaînes RF des différentes sources RF de l'antenne. Il suffit alors de remplacer les circuits de combinaison par les chaînes RF qui sont alors disposées entre deux plaques d'interface métalliques d'une structure de support correspondante. De même, cette architecture mécanique décrite explicitement pour des circuits de combinaison reliant les ports de quatre sources RF peut également être utilisée pour des circuits de combinaison reliant les ports d'un nombre de sources RF supérieur à quatre.

[0026] La figure 3a illustre un exemple de configuration d'un réseau de sources RF dont les éléments rayonnants sont répartis selon une maille hexagonale. Les faisceaux sont formés par plusieurs groupements de quatre sources RF dont les ports de même fréquence et de même polarisation sont interconnectés entre eux. Sur cette figure 3a, N groupes G1, G2, G3, ..., GN sont représentés, mais pour alléger la figure 3a, les sources RF 12 sont uniquement représentées dans le groupe G1. Les différents groupements de quatre sources sont décalés les uns par rapport aux autres selon les directions X et Y du plan du réseau de sources RF.

[0027] La figure 3b illustre un exemple d'interconnexions entre les ports fonctionnant à une même première fréquence F1, pour différents groupements de quatre sources RF, permettant d'obtenir une couverture mul-

tispots à maille rectangulaire. Dans cette configuration, le système antenne d'émission et de réception multifaisceaux comporte une unique antenne mono-rélecteur à plusieurs sources par faisceau MFPB (en anglais : Multiple Feeds Per Beam), l'antenne fonctionnant à la fois à l'émission et à la réception. L'antenne comporte un seul réflecteur et un réseau de plusieurs sources RF illuminant le réflecteur, les sources RF étant réparties suivant une maille de réseau hexagonale ou carrée et associées en plusieurs groupes décalés les uns par rapport aux autres selon des directions X et Y d'un plan. Chaque source RF comporte deux ports d'émission et deux ports de réception. Les deux ports d'émission fonctionnent à une même fréquence d'émission F1 et dans des polarisations différentes respectives P1, P2 orthogonales entre elles, et les deux ports de réception fonctionnent à une même fréquence de réception F2 et dans des polarisations respectives P1, P2 orthogonales entre elles. Les sources RF sont associées par groupes de quatre sources RF adjacentes selon des directions X et Y du réseau de sources RF. Pour chaque groupe de quatre sources RF adjacentes, les premiers ports d'émission correspondant à un même couple de valeur de fréquence et de polarisation, par exemple le couple de valeur (F1, P1), ou le couple de valeur (F1, P2), sont reliés entre eux, les quatre ports d'émission reliés entre eux formant un faisceau d'émission. De même, quatre ports de réception de chacune des quatre sources RF 12 dudit groupe de quatre sources RF 12 adjacentes, correspondant à un même couple de valeur de fréquence et de polarisation, par exemple le couple de valeur (F2, P1), ou le couple de valeur (F2, P2), sont reliés entre eux, les quatre ports de réception reliés entre eux formant un faisceau de réception. Chaque source RF dudit groupe comporte donc en outre un port d'émission et un port de réception disponible pour la formation d'un deuxième faisceau d'émission et respectivement d'un deuxième faisceau de réception en liaison avec deux autres groupes de quatre sources RF adjacents selon la direction X et respectivement selon la direction Y.

[0028] Pour la formation de chaque faisceau, les liaisons entre les ports d'émission, ou de réception, d'un groupe de quatre sources RF 12 sont réalisés par des circuits de combinaison 11a, 11b, les circuits de combinaison 11a, 11b dédiés à la formation de faisceaux différents étant indépendants entre eux. Le réseau de sources RF, le réflecteur et les circuits de combinaison sont configurés en termes de géométrie et de connectivité, de sorte à former une couverture totale de la zone de service par des spots 41 répartis selon une maille de couverture rectangulaire. Sur la figure 3b, les circuits de combinaison 11a représentés en traits pleins correspondent à la fréquence F1 et une première polarisation P1, les circuits de combinaison 11b représentés en traits pointillés correspondent à la fréquence F1 et une deuxième polarisation P2. Les gros points noirs correspondent aux deux ports des sources RF 12 fonctionnant respectivement dans les polarisations P1 et P2, les petits points

noirs correspondent à un port des sources RF 12 fonctionnant dans la polarisation P1 ou dans la polarisation P2. Les petits cercles représentés en traits pleins ou en traits pointillés sont des ports de sortie des faisceaux de polarisation respective P1 ou P2. Bien entendu, des interconnexions similaires sont également à réaliser pour les ports des sources RF 12 fonctionnant à la fréquence F2.

[0029] La maille du réseau de sources RF est une maille hexagonale et l'ouverture rayonnante de l'élément rayonnant de chaque source RF a une forme circulaire. Deux groupes consécutifs adjacents G1, G2 selon la direction X sont espacés d'un premier pas L1 correspondant à une source RF selon la direction X et partagent une source RF en commun; deux groupes consécutifs adjacents G1, G3 selon la direction Y sont espacés d'un deuxième pas L2 correspondant à une source RF selon la direction Y et partagent une source RF en commun. Chaque groupe de quatre sources RF forme un faisceau d'émission et un faisceau de réception dont les empreintes au sol, appelées spots, sont de formes sensiblement rectangulaires.

[0030] Cette configuration est particulièrement compacte car l'architecture d'antenne ne comporte qu'un seul réflecteur pour réaliser l'intégralité de la couverture multifaisceaux à la fois en émission et en réception. Le formateur de faisceaux est constitué de l'ensemble des circuits de combinaison respectivement dédiés à la formation de chaque faisceau d'émission et de réception par combinaison des sources RF par groupes de quatre et selon les deux dimensions X et Y du réseau de sources RF. Chaque spot rectangulaire illuminant la zone de couverture résulte de la combinaison de quatre ports d'un groupe de quatre sources RF adjacentes.

[0031] Comme illustré sur le schéma de la figure 4a qui représente un exemple de circuit de combinaison élémentaire dédié à la réception, et sur le schéma de la figure 4b qui représente un exemple de circuit de combinaison élémentaire dédié à l'émission, chaque circuit de combinaison élémentaire 11 a une structure de chandelier monobloc. Chaque chandelier est constitué, dans le sens de la hauteur, selon la direction Z, d'une jambe inférieure 21 formée par un guide d'onde inférieur 21 muni d'un orifice d'accès inférieur 22 et d'au moins quatre bras supérieurs respectivement formés par des guides d'ondes supérieurs 23 munis d'orifices d'accès supérieurs respectifs 24, visibles sur la figure 6, les au moins quatre guides d'onde supérieurs étant reliés au guide d'ondes inférieur par des guides d'onde de liaison intermédiaires 25. Les circuits de combinaison élémentaires dédiés à l'émission et les circuits de combinaison élémentaires dédiés à la réception sont de formes similaires mais ont des dimensions de guides d'ondes différentes pour les adapter aux bandes de fréquences de fonctionnement respectives. Lorsque la bande de fréquence est plus basse à l'émission qu'à la réception, les guides d'ondes des circuits de combinaison dédiés à l'émission sont de dimensions plus grandes qu'à la réception. Les chan-

deliers étant montés dans le sens de la hauteur, entre les deux plaques d'interface 13, 14, les guides d'ondes ayant les dimensions les plus grandes peuvent être courbés de façon que la hauteur de tous les chandeliers soit identique à l'émission et à la réception. Pour les circuits de combinaison élémentaires dédiés à l'émission, l'orifice d'accès inférieur est un port d'entrée RF et les orifices d'accès supérieurs sont des ports de sortie RF destinés à être respectivement reliés à des sources RF respectives. Pour les circuits de combinaison dédiés à la réception, les ports d'entrée et de sortie sont inversés, les orifices d'accès supérieurs étant des ports d'entrée RF destinés à être reliés à des sources RF respectives et l'orifice d'accès inférieur étant un port de sortie RF.

[0032] Comme représenté sur l'exemple d'aménagement de la figure 5 dans lequel les deux plaques d'interface ont été retirées, entre les deux plaques d'interface, les circuits de combinaison élémentaires 11 dédiés à l'émission et à la réception sont montés les uns à côté des autres, dans l'espace entre les deux plaques d'interface, et sont régulièrement répartis dans un plan parallèle au plan des plaques d'interface. Les circuits de combinaison élémentaires 11 s'étendent en hauteur selon une direction Z orthogonale aux plaques d'interface, et sont tous orientés parallèlement entre eux entre les deux plaques d'interface, respectivement inférieure et supérieure. Les circuits de combinaison élémentaires dédiés à l'émission sont intercalés entre des circuits de combinaison élémentaires dédiés à la réception comme le montrent les ensembles représentés sur les figures 6 et 7 dans lesquelles la plaque supérieure a été retirée.

[0033] Les deux plaques d'interface 13, 14, respectivement supérieure et inférieure, comportent une pluralité d'orifices traversants 30, 31 comme le montre la plaque d'interface supérieure 13 de l'ensemble illustré sur la figure 8 et la vue en coupe de la figure 9a. Le guide d'ondes inférieur 21 de chaque circuit de combinaison élémentaire 11 est relié à un orifice traversant 31 de la plaque d'interface inférieure 14 et les quatre guides d'ondes supérieurs 23 de chaque circuit de combinaison élémentaire 11 sont respectivement reliés à quatre orifices traversants 30 correspondants de la plaque d'interface supérieure 13. Le guide d'onde inférieur 21 est destiné à être raccordé à un harnais électrique. Les guides d'onde supérieurs 23 sont destinés à être raccordés aux chaînes RF des différentes sources RF du réseau de sources RF.

[0034] Comme illustré sur la figure 9a, les liaisons entre le guide d'onde inférieur 21 de chaque circuit de combinaison élémentaire 11 et l'orifice traversant 31 respectif peuvent être constituées de jonctions sans contact 32. Une jonction sans contact permet en particulier, de gérer les longueurs différentielles qui peuvent exister entre les différents circuits de combinaison élémentaires 11 et permet en outre, dans le cas où l'assemblage des circuits de combinaison élémentaires est réalisé sur un panneau structurant de l'antenne, de découpler complètement les circuits de combinaison élémentaires 11 de la plaque d'interface inférieure 14. Cependant, il n'est pas possible

d'utiliser une jonction sans contact plane classique car l'encombrement disponible pour aménager la jonction sans contact est contraint par les dimensions de l'entraxe entre les guides d'ondes inférieurs de deux circuits de combinaison élémentaires consécutifs, ledit entraxe étant imposé par les dimensions de la maille du réseau de sources RF. Par conséquent, pour assurer les liaisons entre le guide d'ondes d'accès inférieur 21 de chaque circuit de combinaison élémentaire 11 et l'orifice traversant 31 respectif, selon l'invention, comme représenté sur la vue en coupe transversale de la figure 9a et sur les exemples de réalisation illustrés sur les vues de détail des figures 9b et 9c, chaque jonction sans contact 32 entre un guide d'ondes d'accès inférieur 21 de chaque circuit de combinaison élémentaire 11 et un orifice traversant 31 respectif est constituée d'une bride de connexion comportant deux parties de connexion 37, 38, respectivement mâle et femelle, à symétrie de révolution, coopérant entre elles sans contact. La partie mâle 37 est solidaire du guide d'ondes 21 d'accès inférieur, la partie femelle est constituée d'une bague 38 fixée à l'intérieur de l'orifice traversant 31 de la plaque d'interface inférieure 14. La bague 38 est montée, en laissant subsister un jeu 39, autour de la partie mâle 37 de la bride de connexion. La surface interne de la bague 38, et/ou la surface externe de la partie mâle 37 de la bride de connexion, est munie de plots métalliques 40 régulièrement répartis. La bague 38 peut être fixée à la partie mâle de la bride de connexion par tout moyen de fixation connu et notamment par un dispositif à clip 50 comme représenté sur l'exemple de réalisation de la figure 9c.

[0035] Le formateur de faisceaux peut être fabriqué par tout procédé classique tel que par exemple, par usinage et assemblage d'un ensemble de plusieurs circuits de combinaison sous une forme de demi-coquilles métalliques empilées les unes au-dessus des autres. Cependant, pour limiter le temps et le coût de fabrication, le formateur de faisceaux peut de préférence être fabriqué conformément au nouveau procédé décrit ci-après et illustré sur la figure 10. Ce nouveau procédé consiste dans une première étape 81 à fabriquer individuellement chaque circuit de combinaison élémentaire 11 en utilisant un procédé de fabrication additif consistant pour chaque circuit de combinaison élémentaire 11, à ajouter des couches de matière successives, empilées les unes au-dessus des autres. Par exemple, le procédé de fabrication additive peut être choisi parmi les procédés par stéréolithographie laser ou les procédés d'impression à trois dimensions.

[0036] Puis dans une deuxième étape 82, le procédé consiste à fabriquer une structure de support et d'interface comportant deux plaques métalliques d'interface 13, 14, la structure de support et d'interface étant apte à maintenir et à solidariser tous les circuits de combinaison élémentaires 11 pour obtenir un réseau de formation de faisceaux. La structure d'interface doit également être apte à interfacier chaque circuit de combinaison élémentaire 11 avec les ports d'un groupe de quatre sources

RF. Pour cela, le procédé selon l'invention consiste à usiner des orifices traversants 30, 31 respectifs dans les deux plaques métalliques d'interface 13, 14 puis à monter les deux plaques métalliques d'interface parallèlement entre elles en laissant subsister un espace de hauteur H, les deux plaques d'interface pouvant être maintenues dans un châssis métallique fabriqué par usinage.

[0037] Enfin, dans une troisième étape 83, le procédé consiste à monter et fixer tous les circuits de combinaison élémentaires parallèlement les uns aux autres dans l'espace entre les deux plaques d'interface, par tout moyen de fixation connu, par exemple par des vis 41 (visibles sur la figure 9a), les guides d'ondes d'accès inférieur et supérieurs de chaque circuit de combinaison élémentaire étant respectivement reliés aux orifices traversants correspondants aménagés dans les deux plaques d'interfaces.

[0038] Avant fixation, pour renforcer la solidité mécanique de chaque circuit de combinaison élémentaire, le procédé peut comporter une étape supplémentaire 84 d'encapsulation individuelle de chaque circuit de combinaison élémentaire dans un capot métallique individuel.

[0039] Bien que l'invention ait été décrite en liaison avec des modes de réalisation particuliers, il est bien évident qu'elle n'y est nullement limitée. En particulier, le nombre des ports des sources RF reliés par les circuits de combinaison n'est pas limité à quatre, mais l'invention s'applique également à des circuits de combinaison reliant des ports d'un nombre de sources RF supérieur à quatre. Dans ce cas, le nombre des guides d'ondes d'accès supérieurs de chaque circuit de combinaison est supérieur à quatre.

Revendications

1. Architecture mécanique d'un formateur de faisceaux pour antenne MFPB mono-rélecteur à partage de sources selon deux dimensions de l'espace, **caractérisée en ce que** le formateur de faisceaux comporte une pluralité de circuits de combinaison élémentaires (11) et une structure de support (10), les circuits de combinaison élémentaires (11) étant indépendants les uns des autres, chaque circuit de combinaison élémentaire étant destiné à la formation d'un faisceau, la structure de support (10) comportant deux plaques métalliques d'interface (13, 14), respectivement supérieure et inférieure, les deux plaques d'interface étant aménagées parallèlement entre elles et espacées l'une de l'autre, selon une direction Z orthogonale aux deux plaques d'interface, les circuits de combinaison élémentaires (11) étant montés dans l'espace entre les deux plaques d'interface (13, 14) et fixés perpendiculairement aux deux plaques d'interface, et **caractérisée en ce que** chaque circuit de combinaison élémentaire (11) a une structure de chandelier monobloc, chaque chandelier étant constitué d'un guide d'on-

des d'accès inférieur (21), d'au moins quatre guides d'ondes d'accès supérieurs (23), et de guides d'ondes de liaison intermédiaires (25) reliant les guides d'ondes d'accès supérieurs au guide d'ondes d'accès inférieur.

2. Architecture mécanique d'un formateur de faisceaux selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** les deux plaques d'interface (13, 14), respectivement supérieure et inférieure, comportent une pluralité d'orifices traversants (30, 31), et **en ce que** le guide d'ondes d'accès inférieur (21) de chaque circuit de combinaison élémentaire (11) est relié à un orifice traversant (31) correspondant de la plaque d'interface inférieure (14) et les au moins quatre guides d'ondes d'accès supérieurs (23) de chaque circuit de combinaison élémentaire (11) sont respectivement reliés à des orifices traversants (30) correspondants de la plaque d'interface supérieure (13).

3. Architecture mécanique d'un formateur de faisceaux selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** la liaison entre le guide d'ondes d'accès inférieur (21) de chaque circuit de combinaison élémentaire (11) et un orifice traversant correspondant de la plaque d'interface inférieure (14) est une jonction sans contact (32).

4. Architecture mécanique d'un formateur de faisceaux selon la revendication 3, **caractérisée en ce que** la jonction sans contact (32) est constituée d'une bride de connexion comportant une partie mâle (37) solidaire du guide d'ondes d'accès inférieur (21) et une partie femelle constituée d'une bague (38), la bague (38) étant montée, en laissant subsister un jeu (39), autour de la partie mâle (37) de la bride de connexion, la surface interne de la bague (38), et/ou la surface externe de la partie mâle (37) de la bride de connexion, étant munie de plots métalliques (40) régulièrement répartis.

5. Architecture mécanique d'un formateur de faisceaux selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** la bague (38) est fixée à l'intérieur de l'orifice traversant (31) de la plaque d'interface inférieure (14).

6. Architecture mécanique d'un formateur de faisceaux selon la revendication 5, **caractérisée en ce que** la bague (38) est fixée à la partie mâle (37) de la bride de connexion par un dispositif à clip (50).

7. Architecture mécanique d'un formateur de faisceaux selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce que** tous les circuits de combinaison élémentaires (11) sont aménagés parallèlement les uns aux autres entre les deux plaques d'interface (13, 14), respectivement supérieure et inférieure.

8. Antenne MFPB mono-rélecteur à partage de sources selon deux dimensions de l'espace **caractérisée en ce qu'elle** comporte une architecture mécanique selon l'une des revendications précédentes. 5
9. Procédé de réalisation d'un formateur de faisceaux pour antenne à partage de sources selon deux dimensions de l'espace, **caractérisé en ce qu'il** consiste : 10
- à fabriquer (81) une pluralité de circuits de combinaison élémentaires, chaque circuit de combinaison élémentaire (11) ayant une forme de chandelier monobloc, chaque chandelier étant constitué d'un guide d'ondes d'accès inférieur (21), d'au moins quatre guides d'ondes d'accès supérieurs (23), et de guides d'ondes de liaison intermédiaires (25) reliant les guides d'ondes d'accès supérieur au guide d'ondes d'accès inférieur (21), 15 20
 - puis à fabriquer une structure de support comportant deux plaques métalliques d'interface, la fabrication comportant des étapes consistant à usiner (82) des orifices traversants respectifs (30, 31) dans les deux plaques métalliques d'interface (13, 14) et à monter les deux plaques métalliques d'interface parallèlement entre elles en laissant subsister un espace selon une direction Z orthogonale aux deux plaques d'interface, 25
 - puis à monter et fixer (83) tous les circuits de combinaison élémentaires (11) parallèlement les uns aux autres dans l'espace entre les deux plaques d'interface (13, 14), les guides d'onde d'accès supérieurs (23) et inférieur (21) de chaque circuit de combinaison élémentaire (11) étant respectivement reliés aux orifices traversants (30, 31) correspondants aménagés dans les deux plaques d'interfaces. 30 35
10. Procédé de réalisation d'un formateur de faisceaux selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** chaque circuit de combinaison élémentaire (11) est réalisé individuellement par un procédé de fabrication additive consistant à ajouter des couches de matière successives, empilées les unes au-dessus des autres. 40 45
11. Procédé de réalisation d'un formateur de faisceaux selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** le procédé de fabrication additive est choisi parmi les procédés par stéréolithographie laser ou les procédés d'impression à trois dimensions. 50
12. Procédé de réalisation d'un formateur de faisceaux selon l'une des revendications 9 à 11, **caractérisé en ce qu'il** comporte en outre une étape d'encapsulation (84) individuelle de chaque circuit de combinaison élémentaire (11) dans un capot métallique. 55

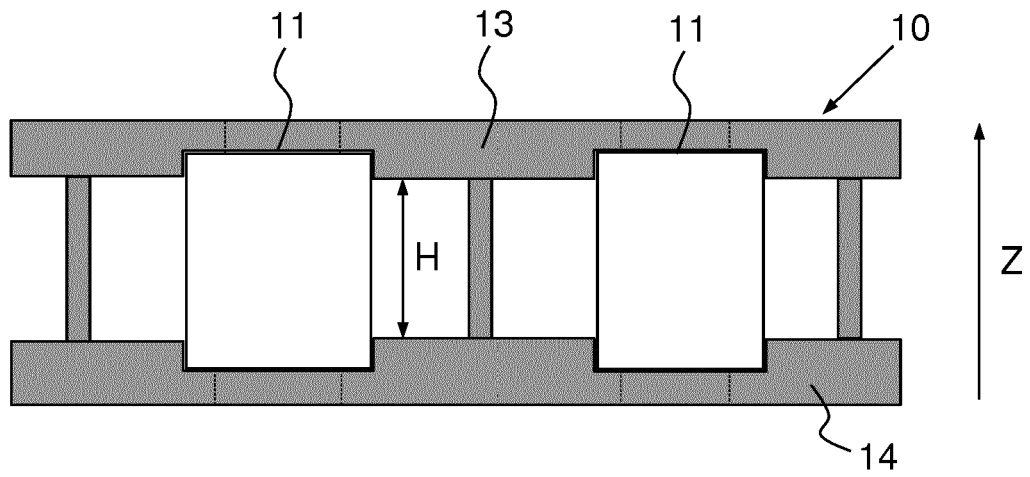


FIG.1

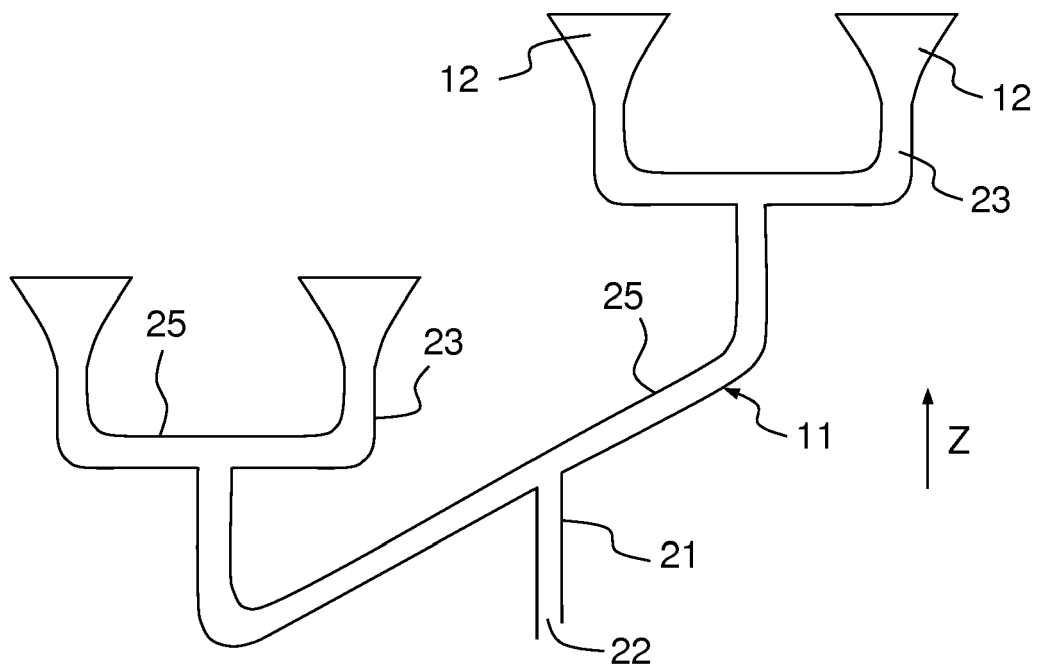


FIG.2

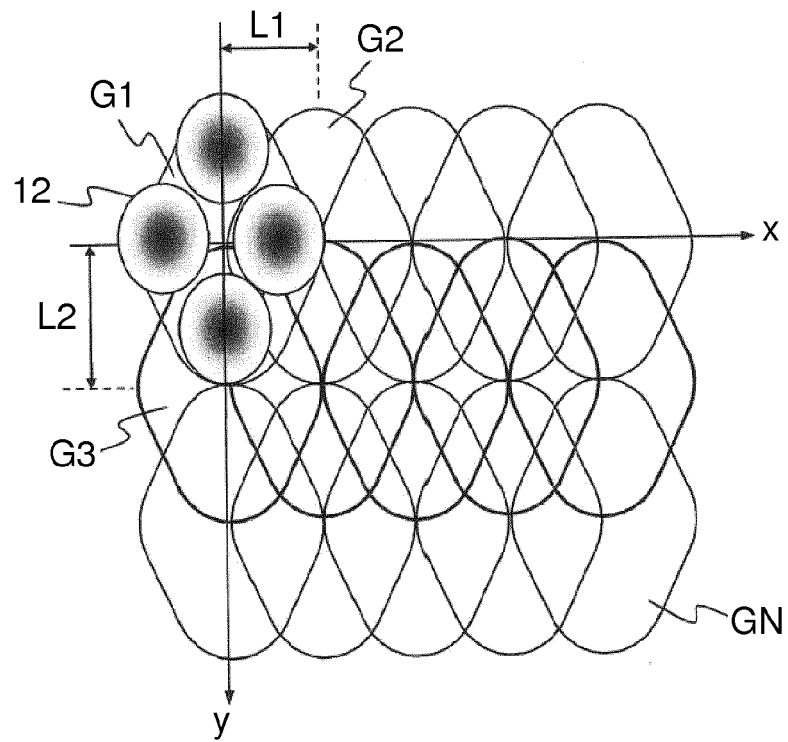


FIG. 3a

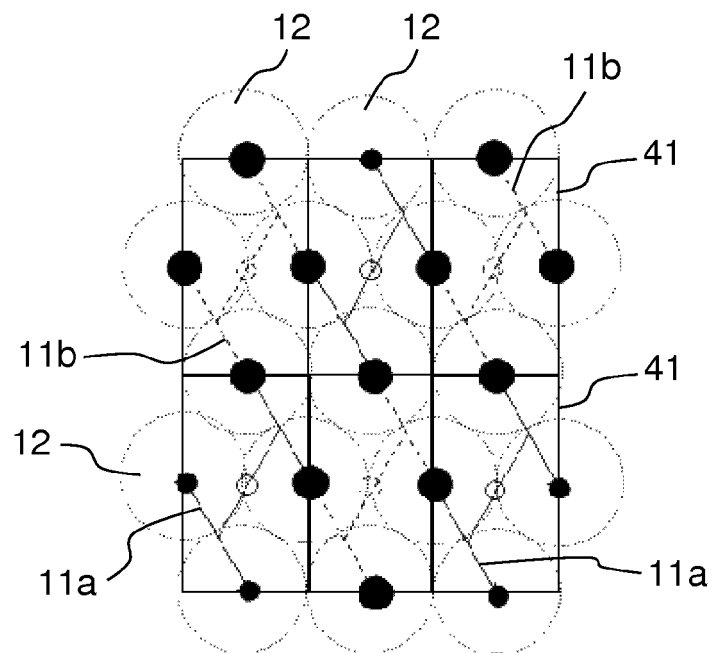
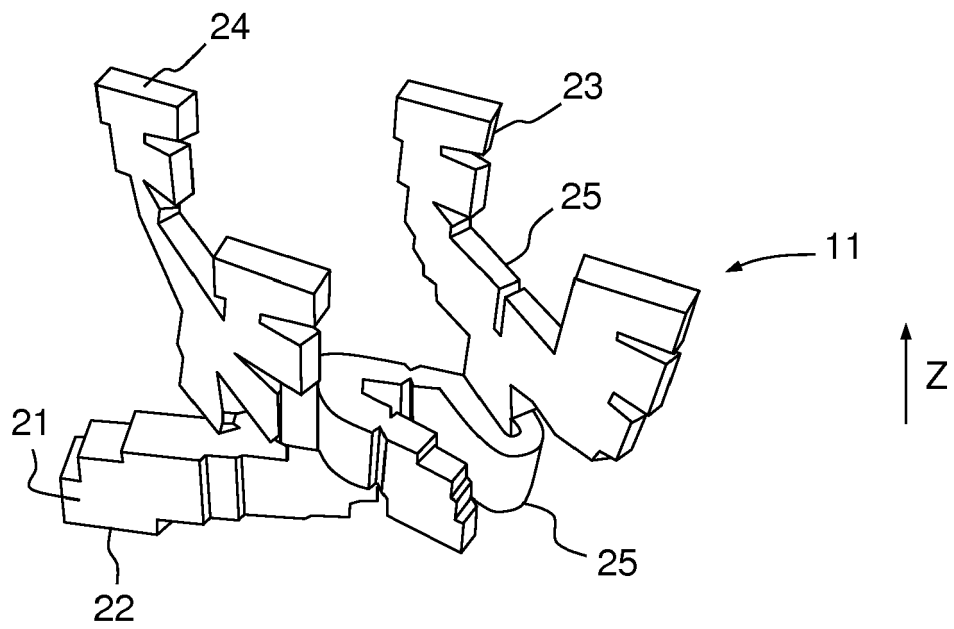
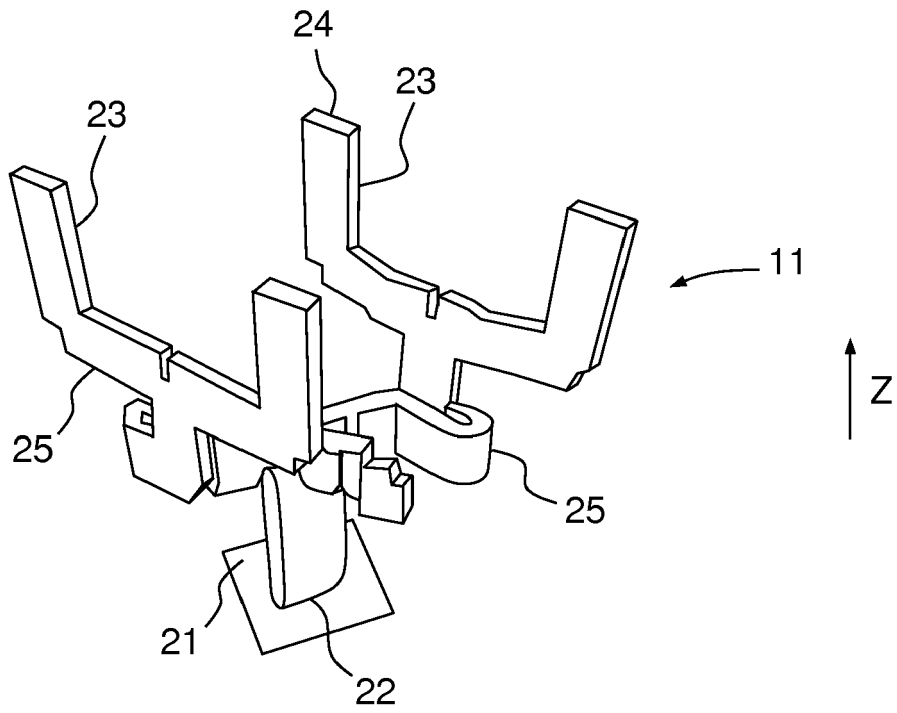


FIG. 3b



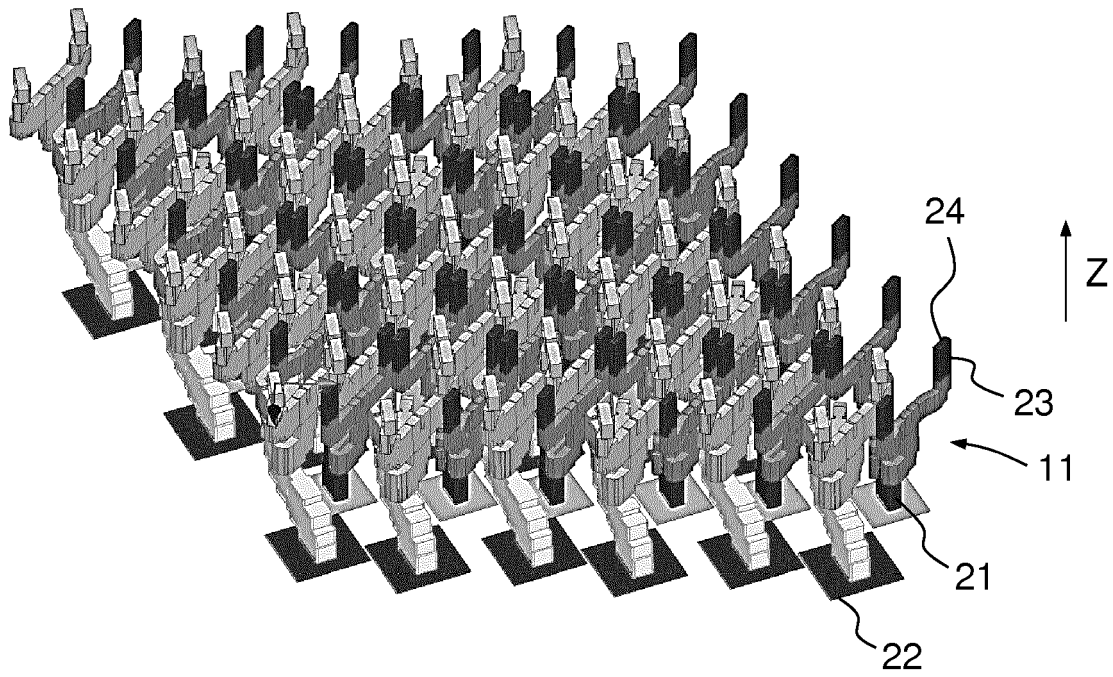


FIG.5

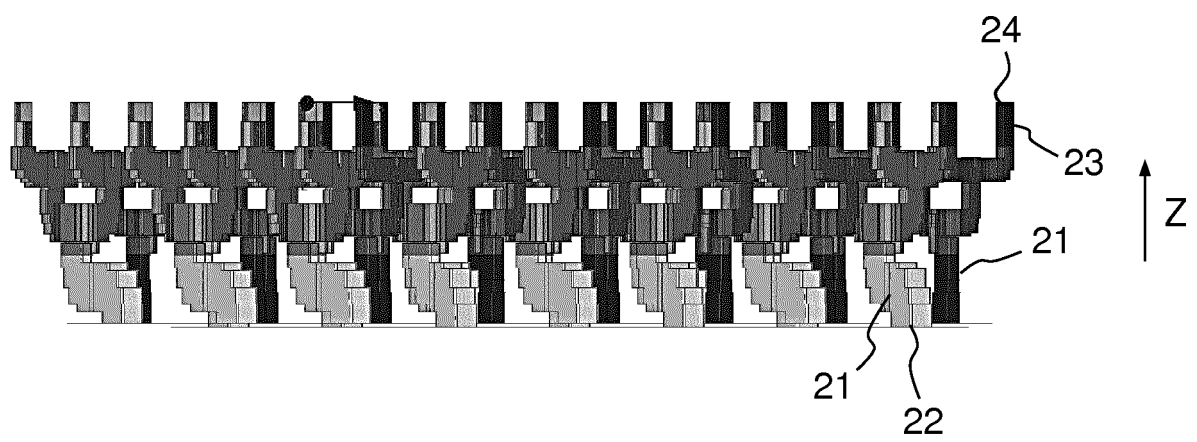


FIG.6

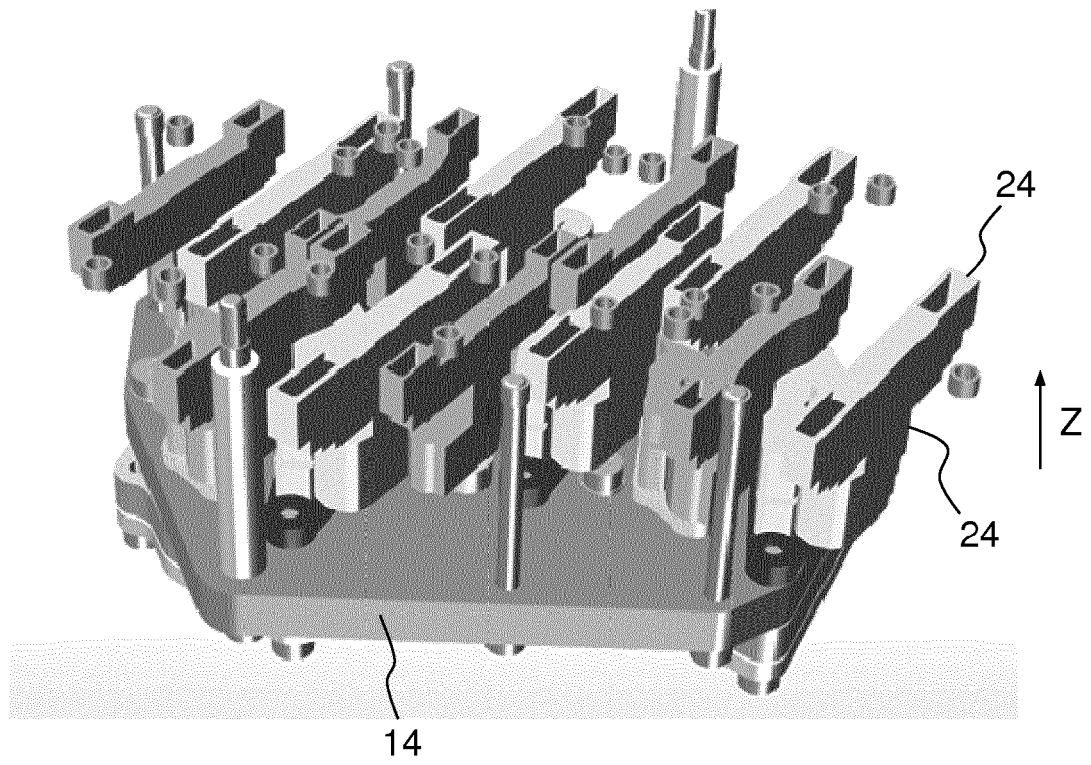


FIG. 7

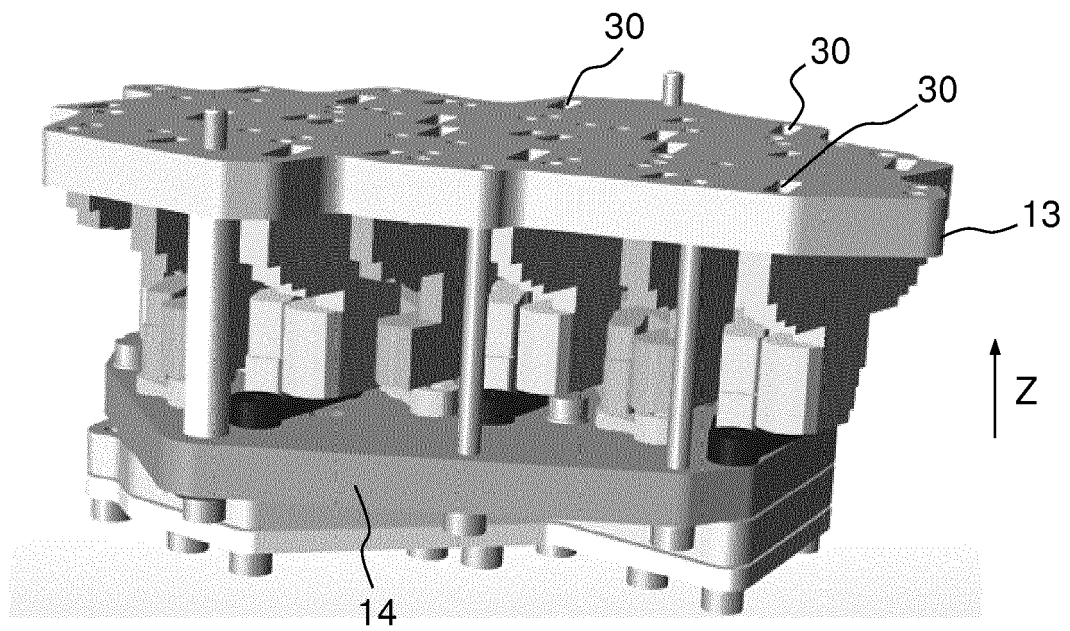


FIG. 8

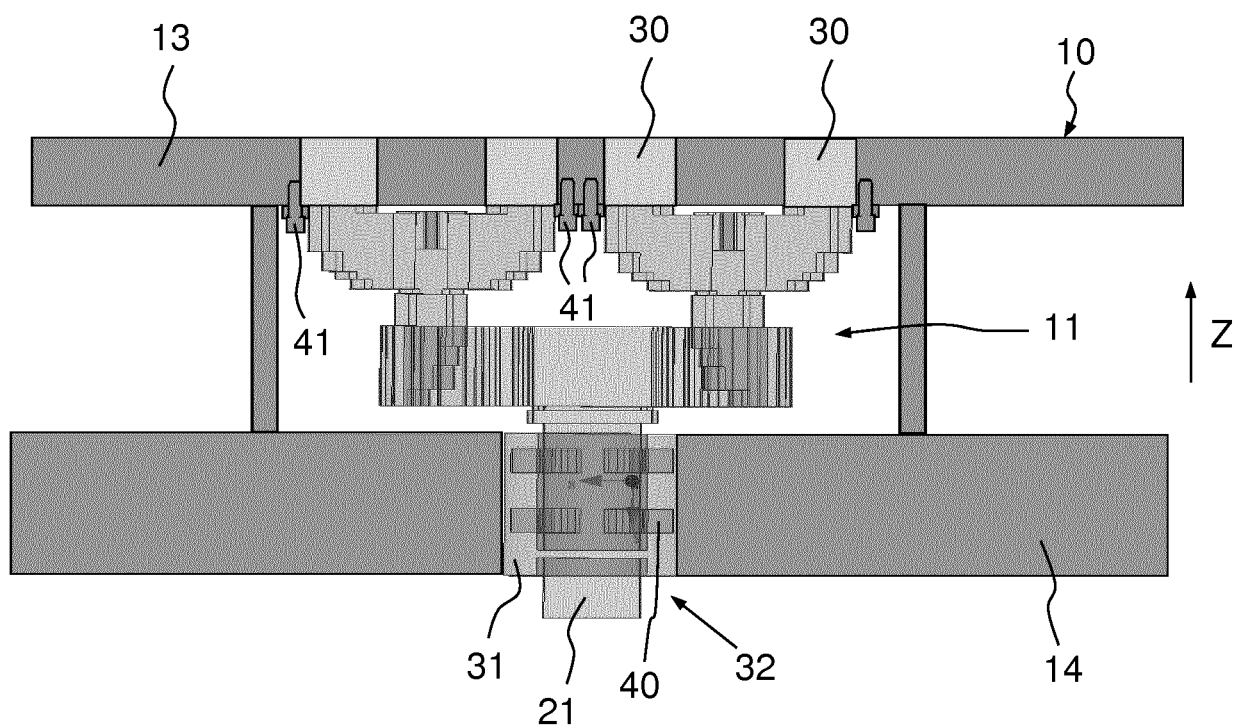


FIG. 9a

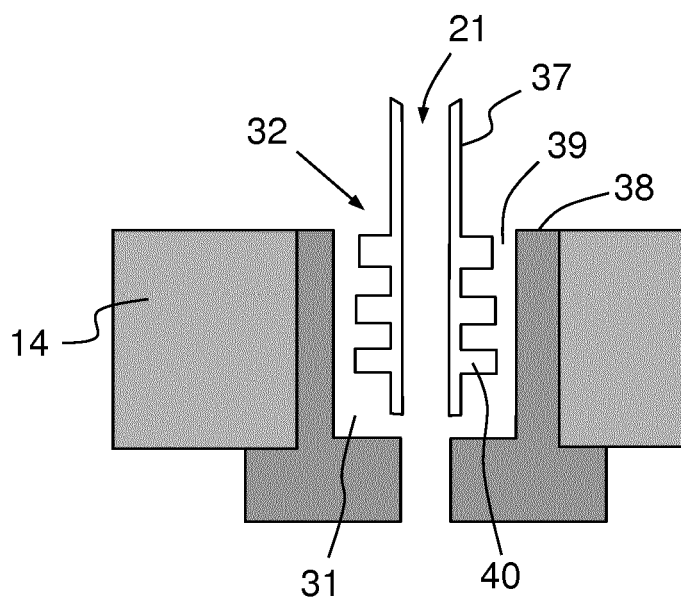


FIG. 9b

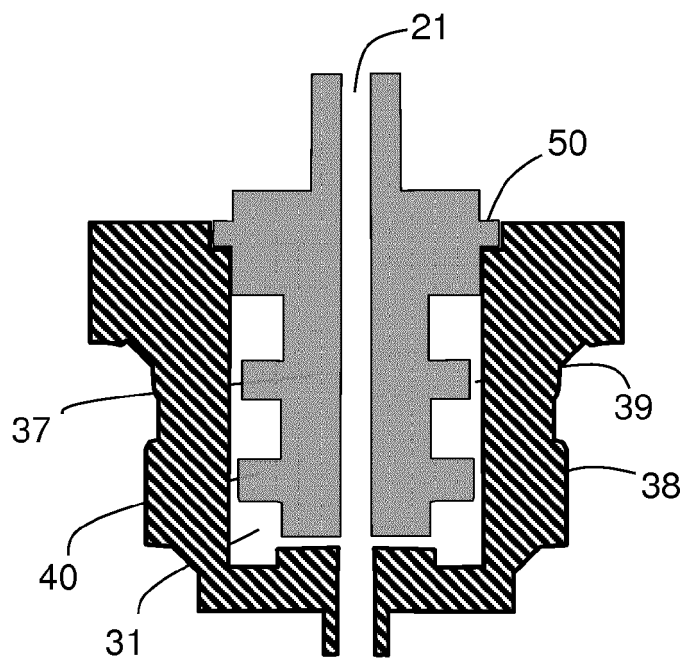


FIG.9c

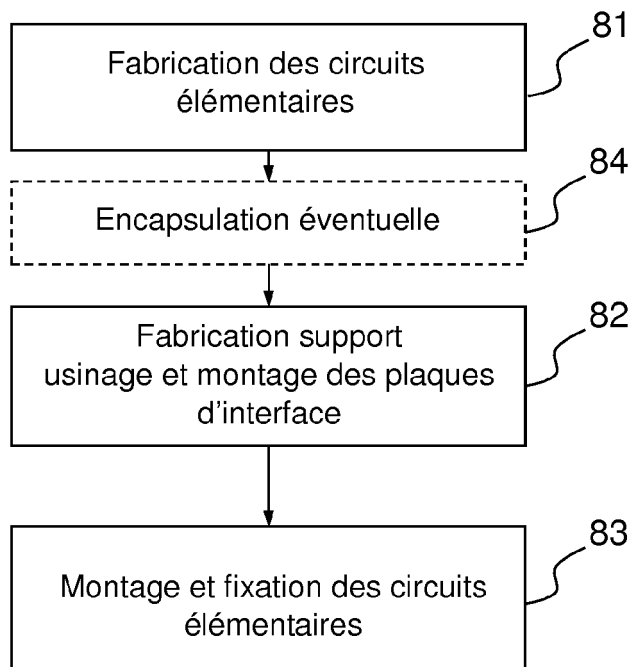


FIG.10



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 17 20 7575

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	LAI QINGHUA ET AL: "A prototype of feed subsystem for a multiple-beam array-fed reflector antenna", 2015 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANTENNAS AND PROPAGATION & USNC/URSI NATIONAL RADIO SCIENCE MEETING, IEEE, 19 juillet 2015 (2015-07-19), pages 238-239, XP032796220, DOI: 10.1109/APS.2015.7304505 * Introduction;Section II; Section III; figures 1,2 *	1,8-11	INV. H01Q19/17 H01Q1/28 H01Q21/00 H01Q25/00 H01P5/12 H01P5/19 H01Q3/40 ADD. H01Q21/06
A	WO 2007/130316 A2 (EMS TECHNOLOGIES INC [US]; BRUNASSO THERESA [US]; VOSS JOHN DANIEL [US] 15 novembre 2007 (2007-11-15) * figures 3,4,5A *	1,7,8, 10-12	
A	EP 2 930 790 A1 (THINKOM SOLUTIONS INC [US]) 14 octobre 2015 (2015-10-14) * figure 2A *	1-6	
A	ZHANG BING ET AL: "Metallic 3-D Printed Rectangular Waveguides for Millimeter-Wave Applications", IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, PACKAGING AND MANUFACTURING TECHNOLOGY, IEEE, USA, vol. 6, no. 5, 1 mai 2016 (2016-05-01), pages 796-804, XP011610475, ISSN: 2156-3950, DOI: 10.1109/TCPMT.2016.2550483 [extrait le 2016-05-17] * Introduction, 1st paragraph *	10,11	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H01Q H01P
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 9 mai 2018	Examineur Kalialakis, Christos
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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 17 20 7575

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.

09-05-2018

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2007130316 A2	15-11-2007	US 2007252759 A1	01-11-2007
		WO 2007130316 A2	15-11-2007
EP 2930790 A1	14-10-2015	CA 2887073 A1	07-10-2015
		EP 2930790 A1	14-10-2015
		ES 2623767 T3	12-07-2017
		US 2015288075 A1	08-10-2015

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

- FR 2993716 [0003]
- FR 3035548 [0003]
- WO 2007130316 A [0005]
- EP 2930790 A [0006]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **LAI QINGHUA et al.** A prototype of feed subsystem for a multiple-beam array-fed reflector antenna. *IEEE International symposium on antennas and propagation*, 2015 [0004]
- **ZHANG BING et al.** Metallic 3-D printed rectangular waveguides for millimeter-wave applications. *IEEE Transactions on components, packaging and manufacturing technology*, 2016, vol. 6, 796-804 [0007]