(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 4 207 493 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
05.07.2023 Bulletin 2023/27

(21) Numéro de dépôt: **22214926.2**

(22) Date de dépôt: **20.12.2022**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H01Q 13/02 *(2006.01)* ***H01Q 21/00*** *(2006.01)*
H01Q 3/06 *(2006.01)* ***H01Q 3/08*** *(2006.01)*
H01P 1/18 *(2006.01)* ***H01P 3/12*** *(2006.01)*

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H01Q 3/06; H01P 1/182; H01P 3/12; H01Q 3/08; H01Q 13/0225; H01Q 21/0043; H01Q 21/005

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

(30) Priorité: **29.12.2021 FR 2114610**

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

(72) Inventeurs:
- **BOIN, Bertrand**
  92622 Gennevilliers Cedex (FR)
- **LESURE, Agnès**
  92622 Gennevilliers Cedex (FR)
- **PRIVAT, Eric**
  92622 Gennevilliers Cedex (FR)

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

(54) **ANTENNE RF DIRECTIVE PASSIVE À BALAYAGE EN UNE OU DEUX DIMENSIONS**

(57) L'invention concerne un réseau d'antennes directif, une antenne radiofréquence comprenant un ou plusieurs réseaux directifs, directive selon une ou deux dimensions, un procédé de pointage de l'antenne radiofréquence, et le produit programme d'ordinateur associé.

Le réseau d'antennes directif selon l'invention comprend :

- un guide d'ondes rectangulaire (101) s'étendant le long d'un axe longitudinal (Oy), et comprenant :
  ◦ une partie fixe avec deux faces latérales et une face supérieure, et
  ◦ une pièce de fond;

- une pluralité d'éléments rayonnants (102) disposés sur la partie fixe du guide d'ondes.

La pièce de fond du guide d'ondes rectangulaire est mobile en translation selon une direction de déplacement (Oz) parallèle aux faces latérales, la distance maximum entre la pièce de fond et la face supérieure étant inférieure à la distance entre les faces latérales.

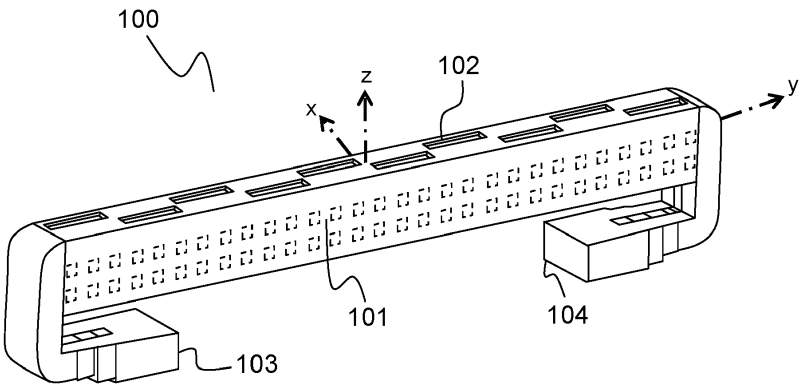

FIG.1A

EP 4 207 493 A1

Description

Domaine technique :

[0001] L'invention se situe dans le domaine des antennes, et plus particulièrement des antennes directives. Elle s'applique en particulier pour les antennes fonctionnant dans la bande de fréquences HF (Hyper Fréquences), s'étalant dans la bande 300 MHz à 300 GHz, mais peut s'appliquer à n'importe quelle bande de fréquence pour laquelle les ondes électromagnétiques peuvent être transmises par des guides d'ondes.

Technique antérieure :

[0002] Afin de maximiser le bilan de liaison des communications radiofréquence, ou pour rendre une liaison plus sélective dans l'espace, il est d'usage d'utiliser des antennes directives, qui permettent d'orienter précisément l'antenne ou son maximum de rayonnement dans la direction souhaitée, et ce bien souvent sans bouger l'antenne.

[0003] Pour cela, la solution la plus commune consiste à utiliser des antennes à balayage électronique passives (en anglais le terme de *Passive Electronic Scanner Array,* PESA) ou actives (en anglais *Active Electronic Scanner Array,* AESA), qui permettent de diriger le faisceau de rayonnement de l'antenne sans intervention mécanique. Ces solutions sont cependant complexes à implémenter, tant en hardware qu'en software. En effet, le principe est d'utiliser un élément déphaseur par antenne unitaire du réseau, d'où rapidement des milliers de déphaseurs à piloter simultanément. Ces antennes sont donc complexes à implémenter et couteuses.

[0004] Une autre famille d'antennes à balayage rassemble les dispositifs « quasi-optiques », basés sur de la transmission (lentille) ou de la réflexion (miroir), dont on fait varier la position de la source pour diriger le faisceau de l'antenne. Cependant, ces dispositifs sont le plus souvent encombrants (lentilles, miroirs ou assimilés) et peu efficaces.

[0005] D'autres types de dispositifs sont connus, comme par exemple le dispositif VICTS (en anglais *Variable Inclinaison Continuons Transverse Stub*) décrit dans le brevet US 9.413.073 B2. Il utilise la rotation de deux plateaux superposés jouant chacun le rôle de «prisme » déviant le faisceau en azimut et en élévation. Cependant, bien que l'épaisseur de lentille de ce dispositif soit réduite par rapport aux dispositifs quasi-optiques, il demeure encombrant. En outre, les dispositifs VICTS basés sur la rotation ne permettent d'adresser que des antennes circulaires.

[0006] De manière générale, les dispositifs basés sur la rotation n'adressent que des antennes circulaires, tandis que les dispositifs non basés sur la rotation demandent en général un déplacement important de la source radiofréquence (RF) vis-à-vis du système focalisant (miroir, lentille), d'où des problématiques de jonctions, pertes, etc.

[0007] Sont également connues de l'art antérieur les antennes de type guides à fente (en anglais *slot array*), comprenant un guide d'ondes sur lequel sont disposés une pluralité d'éléments rayonnants, généralement des fentes. L'onde se propageant dans le guide est émis par chacune des fentes, avec un déphasage qui est fonction de l'écartement entre les éléments rayonnants et de la longueur d'onde guidée. La direction du faisceau d'une telle antenne peut donc être dirigée en modifiant la longueur d'onde du signal se propageant dans le guide. Cependant, une telle modification implique généralement une modification de la fréquence, ce qui est généralement incompatible avec le reste de la chaîne radio dont la fréquence est dictée par d'autres impératifs.

[0008] Un objet de l'invention est donc de proposer un système antennaire peu complexe permettant de commander un réseau de N antennes phasées sans avoir recours à N déphaseurs « électroniques » (c'est-à-dire alimentés électriquement et pilotés indépendamment), et sans avoir recours à des systèmes optiques ou quasi-optiques.

Résumé de l'invention :

[0009] A cet effet, la présente invention décrit un réseau d'antennes directif comprenant :

- un guide d'ondes rectangulaire avec deux accès, le guide s'étendant le long d'un axe longitudinal Oy, ledit guide d'ondes rectangulaire comprenant :
  - ◦ une partie fixe avec deux faces latérales en regard l'une de l'autre et une face supérieure joignant de manière orthogonale les deux faces latérales, et
  - ◦ une pièce de fond disposée entre les deux faces latérales, la pièce de fond constituant la face inférieure du guide d'ondes ;
- une pluralité d'éléments rayonnants disposés régulièrement selon ledit axe longitudinal sur la partie fixe du guide d'ondes.

[0010] Dans le réseau d'antennes directif selon l'invention, la pièce de fond du guide d'ondes rectangulaire est mobile en translation selon une direction de déplacement Oz parallèle aux faces latérales, la distance maximum entre la pièce de fond et la face supérieure étant inférieure à la distance entre les faces latérales.

[0011] Dans un mode de réalisation de l'invention, la pièce de fond comprend une âme s'étendant selon l'axe longitudinal Oy. Elle comprend en outre au moins une première rangée de barres s'étendant respectivement depuis l'âme selon une direction Ox perpendiculaire à l'axe longitudinal Oy et à la direction de déplacement de la pièce de fond Oz.

[0012] L'invention porte également sur une antenne radiofréquence directive comprenant :

- N réseaux d'antennes directifs selon l'invention, avec N supérieur ou égal à 1,

- des moyens d'ajustement de la position de la pièce de fond des N réseaux d'antennes directifs, configurés pour ajuster la position de la pièce de fond des N guides d'ondes en fonction d'une direction de faisceau antennaire recherchée.

[0013] Dans un mode de réalisation, l'antenne radiofréquence directive selon l'invention comprend N réseaux d'antennes directifs identiques disposés selon des directions parallèles et alignés. L'ajustement de la position de la pièce de fond des guides d'ondes des N réseaux d'antennes permet d'orienter le faisceau de l'antenne dans un plan Oyz comprenant ledit axe longitudinal Oy et un axe Oz perpendiculaire à l'axe longitudinal et parallèle aux faces latérales du ou des guide d'ondes du réseau d'antennes directif.

[0014] Dans un autre mode de réalisation de l'antenne radiofréquence directive selon l'invention, où N est supérieur ou égal à trois, elle comprend N-1 réseaux d'antennes directifs identiques et disposés selon des directions parallèles et alignés, et un réseau d'antennes directif distinct configuré de sorte que ses éléments rayonnants rayonnent dans des accès desdits N-1 réseaux d'antennes directifs. Ce dernier réseau d'antenne est donc utilisé comme un diviseur à une entrée et N-1 sorties (réciproquement un combineur à une sortie et N-1 entrées) dont le déphasage est réglable.

[0015] Avantageusement :

- l'écart entre la face supérieure et la pièce de fond des guides d'ondes des N -1 réseaux d'antennes directifs est le même pour chacun de ces guides d'ondes, et l'ajustement de la position des pièces de fond des guides d'ondes des N -1 réseaux d'antennes directifs permet d'orienter le faisceau de l'antenne dans un plan Oyz comprenant un axe Oy parallèle à l'axe longitudinal des N-1 réseaux d'antennes directifs, et un axe Oz perpendiculaire à ces axes longitudinaux et parallèle aux faces latérales des guides d'ondes des N-1 réseaux d'antennes directifs ;

- la position de la pièce de fond du guide d'ondes du réseau d'antennes directif distinct permet d'orienter le faisceau de l'antenne dans un plan Oxz orthogonal à l'axe longitudinal Oy des N-1 réseaux d'antennes directifs.

[0016] L'invention porte également sur un procédé de configuration de la direction de pointage d'une antenne radiofréquence directive, ladite antenne radiofréquence comprenant :

- N réseaux d'antennes directifs selon l'invention, avec N supérieur ou égal à 1,

- des moyens d'ajustement de la position de la pièce de fond des N réseaux d'antennes directifs configurés pour ajuster la position de la pièce de fond des N guides d'ondes en fonction d'une direction de faisceau antennaire recherchée.

[0017] Le procédé comprend :

- une étape de calcul de la position des pièces de fond des guides d'ondes du ou des réseaux d'antennes directifs de l'antenne radiofréquence directive, et

- une étape de modification de la position des pièces de fond des guides d'ondes du ou des réseaux d'antennes directifs comme calculé lors de la première étape.

[0018] Enfin, l'invention porte sur un programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé selon l'invention lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.

Brève description des figures :

[0019] L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques, détails et avantages apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit, donnée à titre non limitatif, et grâce aux figures annexées, données à titre d'exemple.

[Fig. 1a] La figure 1a représente un premier mode de réalisation d'un réseau d'antennes directif passif selon l'invention ;

[Fig. 1b] La figure 1b est une représentation de l'intérieur du réseau d'antennes de la figure 1a ;

[Fig. 2a] La figure 2a illustre schématiquement le fonctionnement du réseau d'antennes, pour une longueur d'ondes donnée ;

[Fig. 2b] La figure 2b illustre schématiquement le fonctionnement du même réseau d'antennes qu'a la figure 2a, pour une autre longueur d'ondes ;

[Fig. 3a] La figure 3a représente le diagramme de rayonnement obtenu par un réseau d'antennes directif selon un mode de réalisation de l'invention, pour un déphasage donné ;

[Fig. 3b] La figure 3b représente le diagramme de rayonnement obtenu par le même réseau d'antennes directif qu'à la figure 3a, pour un autre déphasage ;

[Fig. 4] La figure 4 représente un guide d'ondes électromagnétique permettant de mettre en oeuvre l'invention ;

[Fig. 5a] La figure 5a représente un mode de réalisation d'une antenne RF directive 2D selon l'invention ;

[Fig. 5b] La figure 5b représente est une représentation de l'intérieur de l'antenne RF directive 2D de la figure 5a ;

[Fig. 6a] La figure 6a représente le diagramme de rayonnement obtenu par une antenne RF directive 2D selon un mode de réalisation de l'invention, pour un déphasage donné ;

[Fig. 6b] La figure 6b représente le diagramme de rayonnement obtenu par la même antenne RF directive 2D qu'à la figure 6a, pour un autre déphasage ;

[Fig. 7] La figure 7 décrit schématiquement les étapes d'un procédé de configuration de la direction de pointage d'une antenne radiofréquence directive mise en oeuvre à partir des réseaux d'antennes selon l'invention.

[0020] Des références identiques sont utilisées dans des figures différentes lorsqu'elles désignent des éléments identiques ou comparables.

Description détaillée :

[0021] Afin de répondre aux défauts de l'art antérieur, l'invention décrit une antenne de type guide à fente permettant de diriger la direction de pointage du faisceau par une action mécanique sur la position d'une paroi de fond du guide.

[0022] La figure 1a représente un premier mode de réalisation d'un réseau d'antennes directif passif 100 selon l'invention.

[0023] Il comprend un guide d'ondes rectangulaire 101, adapté à la propagation d'une onde électromagnétique ayant une fréquence maximum donnée. Par exemple, le guide d'ondes peut avoir une largeur de guide d'ondes dont l'ordre de grandeur est d'environ la moitié de la longueur d'onde guidée qu'il transporte. Le guide d'ondes 101 s'étend selon un axe longitudinal Oy (O étant le centre du guide d'ondes). Sur le guide d'ondes sont disposés une pluralité d'éléments rayonnants 102, de manière régulière le long de l'axe Oy. Le guide d'ondes comprend une entrée et une sortie, pouvant indifféremment être les accès 103 ou 104. Lorsque l'antenne est utilisée en émission, le signal à émettre est injecté sur un accès du guide, rayonné par les éléments rayonnants au fur et à mesure de sa propagation dans le guide d'ondes, et finit dans la sortie, qui est généralement reliée à un élément d'absorption du signal résiduel, comme une charge. Lorsque l'antenne est utilisée en réception, le signal radiofréquence ambiant est capté successivement par les éléments rayonnants, et se propage dans le guide d'onde jusqu'à la sortie du guide, reliée à des éléments permettant de le traiter (chaîne radiofréquence, convertisseur analogique/numérique, moyens de traitements numériques, ...).

[0024] Par la suite, le réseau d'antennes directif selon l'invention est décrit en lien avec une antenne d'émission, mais s'applique de manière identique indépendamment de ce que le réseau d'antennes soit utilisé en émission ou en réception.

[0025] La manière la plus simple de mettre en oeuvre les éléments rayonnants 102 du réseau d'antenne directif consiste à pratiquer des fentes dans le guide d'onde. Cependant, d'autres modes de réalisation sont possibles, par exemple en utilisant comme éléments rayonnants des antennes de type patch, un dipôle imprimé, une spirale imprimée, ou autres, alimentés par un moyen permettant de coupler l'énergie du guide vers l'élément rayonnant, comme par exemple un câble coaxial plongeant dans le guide d'onde. Par la suite, l'invention sera décrite en utilisant des fentes comme éléments rayonnants, mais peut être mise en oeuvre de différentes manières.

[0026] Une onde électromagnétique se propageant entre l'accès 103 et l'accès 104 du guide d'ondes excite successivement les différents éléments rayonnants 102. Chaque élément rayonnant capte une partie de l'énergie de l'onde proportionnelle à sa surface, et l'émet à l'extérieur du guide d'onde. Deux éléments rayonnants adjacents espacés d'une distance Δy émettent donc l'onde électromagnétique avec un déphasage $\Delta\varphi$, qui dépend de Δy et de la longueur d'onde λ de l'onde électromagnétique. Ce déphasage permet de dépointer le faisceau du réseau d'antennes selon l'axe Oy d'un angle α par rapport à la normale du réseau tel que

$$\Delta\varphi = 2\pi.\Delta y.\sin\left({}^{\alpha}/_{\lambda}\right).$$

[0027] Le déphasage entre deux éléments rayonnants du réseau d'antennes passif dépend donc de la longueur d'onde du signal transmis, de la forme des fentes et de leur écartement. La direction du faisceau de l'antenne dépend directement de ce déphasage.

[0028] Ce fonctionnement correspond à l'état de l'art des antennes de type guides à fentes.

[0029] L'invention se démarque de l'état de l'art en ce que le guide d'ondes comprend une partie fixe, comprenant la face supérieure et les deux côtés du guide d'ondes (les côtés correspondant aux plus petites longueurs de la tranche du guide d'ondes rectangulaire) et une pièce de fond mobile en translation entre les deux côtés, de sorte que la hauteur de la cavité située à l'intérieur du guide d'ondes peut être ajustée sans modifier la largeur

du guide, et donc sans modifier sa fréquence de coupure. La pièce de fond mobile constitue la face inférieure, ou paroi de fond, du guide d'ondes.

[0030] Dans la représentation des figures, les éléments rayonnants sont positionnés sur la face supérieure du guide d'onde. De manière alternative, ils peuvent être positionnés sur un des côtés du guide d'onde, ou sur les deux côtés.

[0031] La figure 1b est une représentation de l'intérieur du réseau d'antennes de la figure 1a. On y voit la pièce de fond 110 du guide d'onde, mobile en translation selon l'axe Oz. La variation de la hauteur du guide d'ondes, obtenue en modifiant la position de la pièce de fond mobile, modifie la longueur de l'onde électromagnétique transitant dans le guide d'ondes, et donc la direction de rayonnement du faisceau émis par le réseau d'antennes.

[0032] Les figures 2a et 2b illustrent schématiquement le fonctionnement du réseau d'antennes selon l'invention.

[0033] Sur la figure 2a figurent la face supérieure 201 et la pièce de fond mobile 202 du guide d'ondes, qui constitue sa face inférieure. Sur la face supérieure sont pratiquées des fentes 203, qui ont la fonction d'éléments rayonnants pour une onde électromagnétique 204 transmise dans le guide d'onde. La face supérieure et la pièce de fond sont écartées d'une distance h_1. L'onde électromagnétique se propage dans le guide d'ondes avec une longueur d'onde λ_1.

[0034] La figure 2b reprend les mêmes éléments, mais avec une distance h_2 supérieure à h_1 entre la face supérieure et la pièce de fond. De ce fait, l'onde électromagnétique se propage avec une longueur d'onde λ_2 inférieure à λ_1. Dans l'exemple des figures 2a et 2b, on a $\lambda_1 = 2.\lambda_2$, pour un même écart Δy entre les éléments rayonnants. La modification de la position de la pièce de fond 202 entraine un changement de la longueur d'onde du signal guidé, ce qui modifie le déphasage des signaux rayonnés par les éléments rayonnants 203, et donc la direction de pointage de l'antenne.

[0035] Les figures 3a et 3b représentent le diagramme de rayonnement obtenu par un réseau d'antennes directif selon un mode de réalisation de l'invention. En modifiant la position de la pièce de fond du guide d'ondes, la longueur d'onde guidée dans le guide d'ondes de la figure 3a est différente de celle de la figure 3b, ce qui a pour conséquence que le lobe du diagramme de rayonnement dans le plan Oyz, plan comprenant l'axe longitudinal Oy dans lequel s'étend le réseau d'antennes et l'axe Oz perpendiculaire à cet axe longitudinal et parallèle aux faces latérales du guide d'ondes, n'a pas la même inclinaison dans les deux figures.

[0036] La mise en oeuvre de l'invention nécessite la réalisation d'un guide d'ondes ayant une paroi de fond mobile en translation. Un tel guide d'ondes (non représenté) peut être réalisé en désolidarisant la paroi de fond d'un guide d'onde, et en l'asservissant en translation par un élément mécanique quelconque. Cette solution présente cependant l'inconvénient de devoir être usinée très finement puisque que le déplacement de la paroi de fond peut être sujette à des frottements venant déformer le guide d'ondes et donc déformer les ondes électromagnétiques guidées, et puisque que les liaisons entre la paroi de fond et les côtés doivent être hermétiques électriquement, là encore pour ne pas déformer et atténuer l'onde électromagnétique qui se propage dans le guide.

[0037] Les inventeurs ont déposé la demande de brevet FR 2109055, dans laquelle ils décrivent un guide d'ondes ayant une pièce de fond mobile non pleine, présentant des motifs périodiques permettant de clore le guide d'ondes de manière hermétique électriquement sans que les bords ne se touchent.

[0038] La figure 4 représente un guide d'ondes électromagnétique tel que décrit dans la demande de brevet FR 2109055, particulièrement adapté pour la mise en oeuvre de l'invention.

[0039] Ce guide d'ondes à section rectangulaire comprend une partie fixe avec deux faces latérales 402 et 403 en regard l'une de l'autre sur les petits côtés du rectangle, et une face supérieure 401 joignant de manière orthogonale les deux faces latérales. Le guide d'ondes comprend également une pièce de fond 404 mobile en translation entre les deux faces latérales selon la direction de déplacement D, parallèle aux faces latérales, et qui constitue la face inférieure du guide. La face supérieure, les deux faces latérales et la pièce de fond forment alors un conduit 410 de hauteur H et de largeur L, configuré pour guider la propagation d'une onde électromagnétique dans le guide d'ondes. De manière à ne pas affecter la fréquence de coupure du guide d'ondes, l'ensemble est défini de sorte que la hauteur H est toujours inférieure à la largeur L.

[0040] Dans un mode de réalisation, la pièce de fond comprend :

- une âme 405 s'étendant selon une direction parallèle à l'axe longitudinal du guide d'ondes, située à mi-distance des faces latérales 402 et 403, avec un bord supérieur en regard de la face supérieure du guide d'ondes ;
- une première rangée de barres 406 et 407 disposées régulièrement et s'étendant depuis le bord supérieur de l'âme 405 vers les faces latérales du guide d'ondes dans une direction parallèle à la face supérieure 401. Ces barres délimitent, avec le bord supérieur de l'âme 405, la pièce de fond 404 ;
- une deuxième rangée de barres 408 et 409 disposées régulièrement et s'étendant depuis l'âme 405 vers les faces latérales du guide d'ondes dans une direction parallèle à la face supérieure 401, positionnées sous la première rangée de barres.

[0041] Selon d'autres modes de réalisation, la pièce de fond peut ne comprendre qu'une seule rangée de barres, ou plus de deux rangées de barres. Les barres de

rangées successives peuvent être de géométries identiques et/ou alignées.

[0042] Selon un mode de réalisation, la pièce de fond 404 ou la face supérieure 401 du guide d'ondes peuvent comprendre une nervure s'étendant à l'intérieur de la cavité 410 sur toute la longueur du guide d'ondes selon une direction parallèle à son axe longitudinal. Une telle nervure permet de réduire la dimension du guide d'ondes par rapport à la longueur d'onde guidée.

[0043] Un jeu est de préférence formé entre les barres et les faces latérales, qui permet le déplacement de la pièce de fond 404 sans friction avec les faces latérales 402 et 403.

[0044] Les barres 406 à 408 sont dimensionnées comme expliqué dans l'article de Berenguer, Antonio & Fusco, V.F. & Baquero, M. & Boria, Vicente : « A frequency-dependent équivalence between groove gap waveguide and rectangular waveguide », 2016 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting.

[0045] De par ses propriétés géométriques, la pièce de fond forme une paroi hermétique électriquement pour les ondes électromagnétiques transmises dans le guide d'onde. N'étant pas nécessairement jointe aux parois latérales, elle peut être facilement déplacée en translation entre ces deux parois.

[0046] L'ensemble formé par la partie fixe et la partie mobile est réalisé en matériau conducteur, tel que le cuivre, le laiton, l'argent ou le titane, ou un matériau plastique recouvert d'une fine couche métallique.

[0047] Un moyen d'ajustement de la position de la pièce de fond, comme un moteur, par exemple un moteur pas-à-pas, un moteur piézoélectrique ou un moteur à bobine (en anglais *coil motor*) commandé par un dispositif de régulation, peut être configuré pour ajuster la position de la pièce de fond, et donc la hauteur H du conduit 410 du guide d'ondes.

[0048] Le guide d'ondes représenté à la figure 4 est donc particulièrement adapté pour la mise en oeuvre d'une antenne réseau selon l'invention puisqu'il permet de faire varier le volume de la cavité interne du guide d'onde tout en étant électriquement hermétique et sans frottement avec les faces latérales.

[0049] Le réseau d'antennes représenté à la figure 1a peut être utilisé en tant qu'antenne radiofréquence directive pour laquelle le diagramme de rayonnement peut être piloté dans un plan, soit une antenne RF 1D.

[0050] Cependant, plusieurs réseaux d'antennes selon l'invention peuvent être mis en oeuvre conjointement de manière à former une antenne RF directive dont le diagramme de rayonnement peut être piloté dans deux directions, soit une antenne RF 2D.

[0051] Les figures 5a et 5b représentent un mode de réalisation d'une antenne RF directive 2D selon l'invention.

[0052] Elle comprend la mise en oeuvre de N réseaux d'antennes, avec N supérieur ou égal à trois :

- un premier réseau d'antennes 501, et
- N-1 réseaux d'antennes 502, 503, ..., 50N.

[0053] Les N-1 réseaux d'antennes directifs 502 à 50N sont identiques et disposés de manière à former des lignes parallèles alignées. On entend par identiques que la dimension du guide d'onde de ces réseaux d'antennes soient égales, et qu'ils comprennent tous le même nombre d'éléments rayonnants espacés de manière identique.

[0054] Les guides d'ondes qui forment les N-1 réseaux d'antennes directifs sont agencés chacun selon un axe longitudinal parallèle à l'axe Oy représenté sur la figure, avec O le centre du réseau formé par les N-1 réseaux d'antennes directifs 502 à 50N.

[0055] L'ensemble est configuré de sorte que les éléments rayonnants du réseau d'antennes directif rayonnent dans un des accès des N-1 autres réseaux d'antennes directifs. Cela peut se faire, par exemple, en disposant le réseau d'antennes 501 dans une direction perpendiculaire à la direction des N-1 réseaux d'antennes 502 à 50N, et en reliant les fentes du réseau 501 avec les accès des réseaux 502 à 50N, comme sur la figure 5a. Dans un autre mode de réalisation, le guide d'ondes 501 peut avoir une orientation quelconque, les éléments rayonnants du guide d'ondes 501 étant reliés aux accès des réseaux 502 à 50N par des liaisons coaxiales de mêmes longueurs. D'autres modes de réalisation sont possibles.

[0056] Le nombre d'éléments rayonnants du réseau d'antennes 501 est égal à N-1. La longueur du guide d'ondes du réseau d'antennes 501 et l'espacement $\Delta y'$ entre ses éléments rayonnants du réseau 501 ne sont pas nécessairement égaux à ceux des guides d'onde des réseaux 502 à 50N.

[0057] La figure 5b représente les pièces de fond mobiles des réseaux d'accès de la figure 5a. Les pièces de fond 512 à 51N des réseaux d'accès 502 à 50N sont configurées de sorte que l'écart entre la face supérieure du guide d'ondes et la pièce de fond soit le même pour chacun de ces guides d'ondes. Un mode de réalisation possible consiste à synchroniser les moyens d'ajustement assurant la translation de ces pièces de fond. Un autre mode de réalisation consiste à rendre ces pièces de fond solidaires, les pièces de fond étant déplacées en translation par un même dispositif d'ajustement.

[0058] La pièce de fond 511 du réseau d'antennes isolé 501 est déplacée en translation par un moyen d'ajustement indépendant de celui des autres réseaux d'antennes.

[0059] Ainsi, une onde électromagnétique injectée dans un accès du guide d'ondes du réseau 501 se propage à travers le guide d'onde, et rayonne dans les différents accès des guides d'ondes des réseaux d'antennes 502 à 50N avec un déphasage $\Delta\varphi'$. Elle se propage alors dans chacun des guides d'ondes des réseaux d'antennes 502 à 50N en excitant successivement les élé-

ments rayonnants avec un déphasage $\Delta\varphi$, identique pour tous les guides d'ondes 502 à 50N.

[0060] L'ajustement de la hauteur de la pièce de fond des guides d'ondes 502 à 50N permet donc de faire varier la longueur d'onde de l'onde guidée à l'intérieur de ces guides d'ondes, et donc d'orienter le faisceau de l'antenne RF dans un plan Oyz comprenant l'axe Oy passant par le centre du réseau formé par les réseaux 502 à 50N et parallèle à l'axe dans lequel s'étendent chacun des réseaux 502 à 50N, et l'axe Oz perpendiculaire à Oy et parallèle aux faces latérales des guides d'ondes des réseaux 502 à 50N.

[0061] L'ajustement de la hauteur de la pièce de fond du guide d'ondes 501 permet de faire varier la longueur d'onde de l'onde guidée à l'intérieur de ce guide d'ondes, et donc d'orienter le faisceau de l'antenne RF dans un plan Oxz orthogonal à l'axe Oy.

[0062] Les figures 6a et 6b représentent le diagramme de rayonnement obtenu par un réseau d'antennes directif 2D selon un mode de réalisation de l'invention. Dans ces figures données à titre d'exemple, le réseau d'antennes représenté ressemble à celui des figures 3a et 3b, cependant les simulations permettant de générer le diagramme de rayonnement ont été réalisées à partir d'un réseau d'antennes 2D à N = 9 réseaux d'antennes agencées comme sur les figures 5a et 5b.

[0063] La longueur d'onde guidée du réseau d'antennes 501 de la figure 6a est différente de celles de la figure 6b, par translation de la pièce de fond mobile du guide d'ondes 501. On observe que l'insertion de plusieurs guides d'ondes 503 à 50N en parallèle et du réseau 501 a modifié le faisceau de l'antenne, de sorte que le diagramme de rayonnement de l'antenne 1D présentant un large lobe principal (d'environ 180°) dans le plan Oxz est devenu très directionnel, et a donc un gain plus important. On observe également, par différence entre les figures 6a et 6b, que le faisceau peut être dirigé dans le plan Oxz, par ajustement de la hauteur de la paroi de fond du réseau d'antennes 501. En outre, la direction de pointage peut également être modifiée dans le plan Oyz par translation de la pièce de fond des guides d'ondes 502 à 50N.

[0064] Dans un autre mode de réalisation, non représenté, l'antenne radiofréquence directive comprend N réseaux d'antennes directifs selon l'invention, avec N supérieur ou égal à 2, disposés selon des directions parallèles et alignés, comme les guides 502 à 50N de la figure 5a. Les pièces de fond de ces guides sont ajustées de manière similaire, de sorte qu'à chaque instant, la longueur d'onde guidée soit la même dans tous les guides d'ondes. Les guides sont alimentés par un même signal en phase. Un tel dispositif constitue une antenne RF directive dont il est possible d'orienter le faisceau dans le plan Oyz, comme le pour le réseau de la figure 1a, mais s'en différencie en ce que le lobe principal du diagramme de rayonnement de cette antenne est réduit (et possède donc plus de gain) dans le plan Oxz.

[0065] Les réseaux d'antennes selon l'invention, réalisés à partir de guides d'ondes ayant une pièce de fond mobile en translation permettant de modifier la hauteur de la cavité du guide d'ondes dans laquelle sont transportées les ondes électromagnétiques, permettent donc de mettre en oeuvre des antennes RF directives et orientables selon une ou deux dimensions, sans action mécanique autre que la présence d'un moteur permettant de modifier la paroi de fond, et sans éléments actifs (déphaseurs). Ils répondent donc au problème technique posé.

[0066] L'invention porte sur un réseau d'antennes comprenant un guide d'ondes avec une pièce de fond mobile et des éléments rayonnants et une antenne radiofréquence directive implémentant un ou plusieurs des réseaux d'antennes selon l'invention. Elle porte également sur un procédé de configuration de la direction de pointage d'une antenne radiofréquence directive mise en oeuvre à partir des réseaux d'antennes selon l'invention.

[0067] Le procédé est décrit de manière schématique à la figure 7. Il est mis en oeuvre sur une antenne radiofréquence directive comprenant un ou plusieurs réseaux d'antennes selon l'invention, et comprend :

- une première étape 701 de calcul de la position des pièces de fond des guides d'ondes du ou des réseaux d'antennes de l'antenne radiofréquence directive. Cette étape consiste à calculer une position de pièce de fond dans le cas d'une antenne 1D, et deux positions (une position pour les guides alignés 502 à 50N et une position pour le guide isolé 501) dans le cas d'une antenne 2D. Les positions sont obtenues en considérant la direction de pointage recherchée, et le nombre, la position et l'espacement des éléments rayonnants sur les guides d'ondes ;
- une deuxième étape 702 de modification de la position des pièces de fond des guides d'ondes du ou des réseaux d'antennes directif. Cette étape se fait en actionnant les moyens d'ajustement (moteurs) reliés aux pièces de fond des guides d'ondes du ou des réseaux d'antennes, de manière à ce qu'ils soient positionnés comme calculé lors de la première étape.

[0068] Enfin, l'invention porte également sur un programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé décrit précédemment lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur, ou sur tout autre moyen de calculs tel qu'un microprocesseur, un DSP (sigle anglais pour *Digital Signal Processor,* ou processeur de signal numérique), un FPGA (sigle anglais pour *Field Programmable Gate Array,* ou réseau de portes programmable), un ASIC (acronyme anglais pour *Application-Specific Integrated Circuit,* ou circuit intégré propre à une application), n'importe quelle association de ces moyens, ou n'importe quel composant matériel permettant d'exécuter les étapes du procédé de configuration de la direction

de pointage d'une antenne radiofréquence directive mise en oeuvre à partir des réseaux d'antennes selon l'invention, et d'adresser aux moyens d'ajustement des consignes relatives à l'ajustement de la position des pièces de fond des guides d'ondes.

Revendications

1. Réseau d'antennes directif comprenant :

- un guide d'ondes rectangulaire (101) avec deux accès (103, 104), le guide s'étendant le long d'un axe longitudinal (Oy), ledit guide d'ondes rectangulaire comprenant :

  • une partie fixe avec deux faces latérales (402, 403) en regard l'une de l'autre et une face supérieure (401) joignant de manière orthogonale les deux faces latérales, et
  • une pièce de fond (404) disposée entre les deux faces latérales et constituant la face inférieure du guide d'ondes ;

- une pluralité d'éléments rayonnants (102) disposés régulièrement selon ledit axe longitudinal sur la partie fixe du guide d'ondes,

le réseau d'antennes directif étant **caractérisé en ce que** la pièce de fond du guide d'ondes rectangulaire est mobile en translation selon une direction de déplacement (Oz) parallèle aux faces latérales, la distance maximum (H) entre la pièce de fond et la face supérieure étant inférieure à la distance (L) entre les faces latérales.

2. Réseau d'antennes directif selon la revendication 1, dans lequel la pièce de fond comprend une âme (405) s'étendant selon l'axe longitudinal (Oy), la pièce de fond comprenant en outre au moins une première rangée de barres (406, 407) s'étendant respectivement depuis l'âme selon une direction (Ox) perpendiculaire à l'axe longitudinal (Oy) et à la direction de déplacement de la pièce de fond (Oz).

3. Antenne radiofréquence directive comprenant :

- N réseaux d'antennes directifs selon l'une des revendications 1 et 2, avec N supérieur ou égal à 1,
- des moyens d'ajustement de la position de la pièce de fond des N réseaux d'antennes directifs, configurés pour ajuster la position de la pièce de fond des N guides d'ondes en fonction d'une direction de faisceau antennaire recherchée.

4. Antenne radiofréquence directive selon la revendication précédente, comprenant N réseaux d'antennes directifs identiques disposés selon des directions parallèles et alignés, où l'ajustement de la position de la pièce de fond (404) des guides d'ondes des N réseaux d'antennes permet d'orienter le faisceau de l'antenne dans un plan (Oyz) comprenant ledit axe longitudinal (Oy) et un axe (Oz) perpendiculaire à l'axe longitudinal et parallèle aux faces latérales (402, 403) du ou des guide d'ondes du réseau d'antennes directif.

5. Antenne radiofréquence directive selon la revendication 3, avec N supérieur ou égal à trois, comprenant N-1 réseaux d'antennes directifs identiques et disposés selon des directions parallèles et alignés, et un réseau d'antennes directif distinct configuré de sorte que ses éléments rayonnants rayonnent dans des accès desdits N-1 réseaux d'antennes directifs.

6. Antenne radiofréquence directive selon la revendication précédente, où :

- l'écart (H) entre la face supérieure (401) et la pièce de fond (404) des guides d'ondes des N -1 réseaux d'antennes directifs (502 à 50N) est le même pour chacun de ces guides d'ondes, et où l'ajustement de la position des pièces de fond des guides d'ondes des N -1 réseaux d'antennes directifs permet d'orienter le faisceau de l'antenne dans un plan (Oyz) comprenant un axe (Oy) parallèle à l'axe longitudinal des N-1 réseaux d'antennes directifs, et un axe (Oz) perpendiculaire à ces axes longitudinaux et parallèle aux faces latérales (402, 403) des guides d'ondes des N-1 réseaux d'antennes directifs ;
- la position de la pièce de fond du guide d'ondes du réseau d'antennes directif distinct (501) permet d'orienter le faisceau de l'antenne dans un plan (Oxz) orthogonal à l'axe longitudinal (Oy) des N-1 réseaux d'antennes directifs.

7. Procédé de configuration de la direction de pointage d'une antenne radiofréquence directive, ladite antenne radiofréquence comprenant :

- N réseaux d'antennes directifs (100, 502 à 50N) selon l'une des revendications 1 et 2, avec N supérieur ou égal à 1,
- des moyens d'ajustement de la position de la pièce de fond des N réseaux d'antennes directifs configurés pour ajuster la position de la pièce de fond des N guides d'ondes en fonction d'une direction de faisceau antennaire recherchée,

le procédé étant **caractérisé en ce qu'**il comprend :

- une étape (701) de calcul de la position des pièces de fond (404) des guides d'ondes du ou

des réseaux d'antennes directifs de l'antenne radiofréquence directive, et
- une étape (702) de modification de la position des pièces de fond des guides d'ondes du ou des réseaux d'antennes directifs comme calculé lors de la première étape (701).

8. Programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé selon la revendication précédente lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.

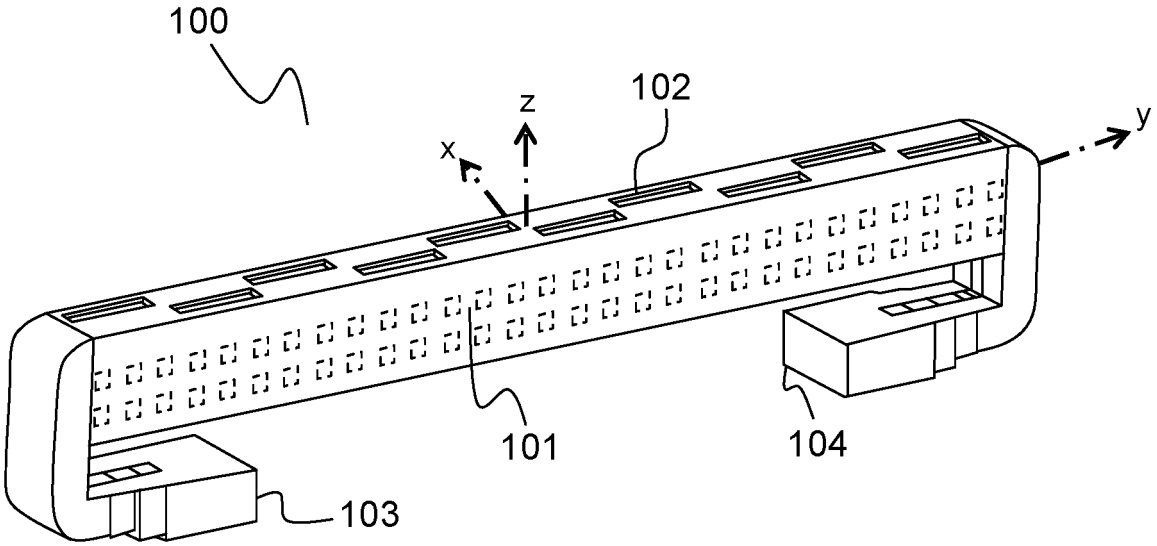

FIG.1A

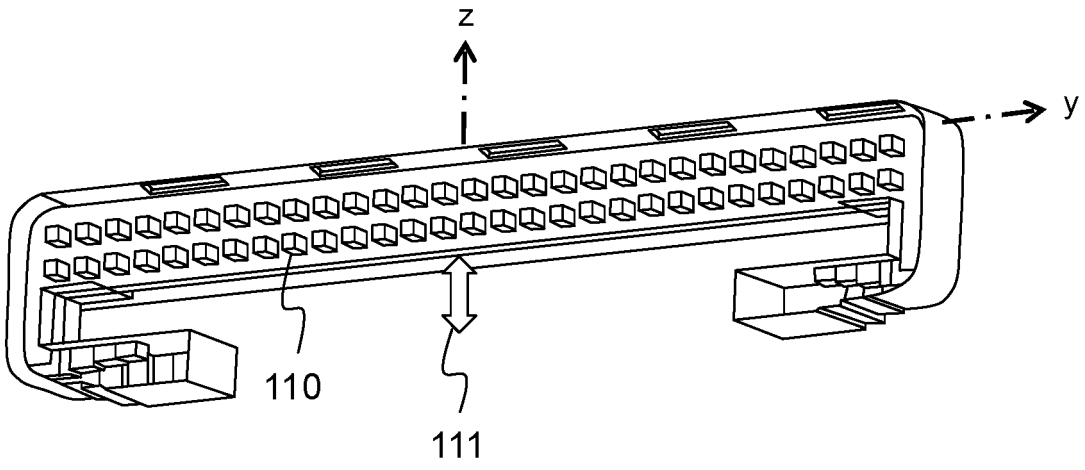

FIG.1B

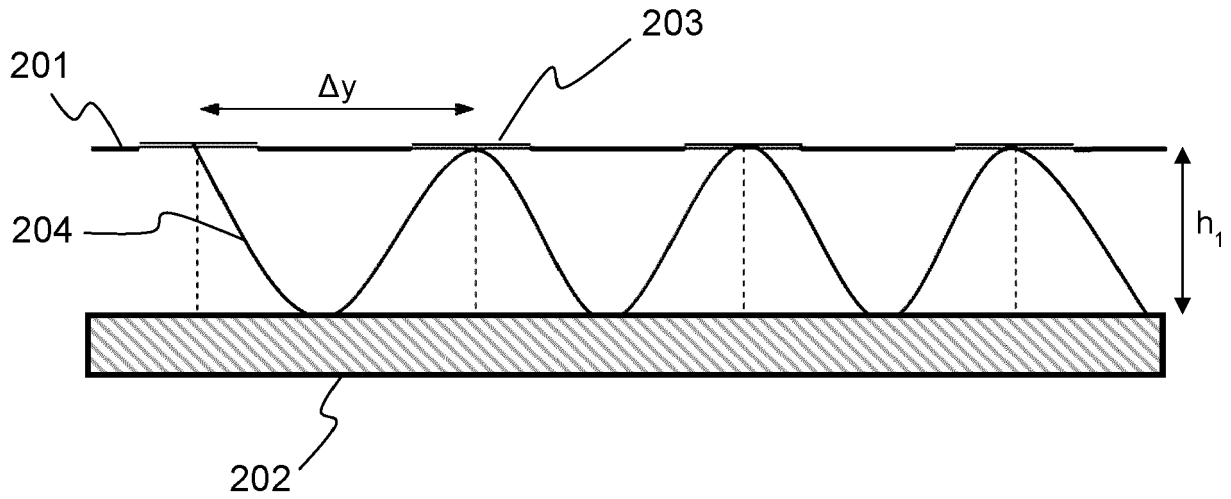

FIG.2A

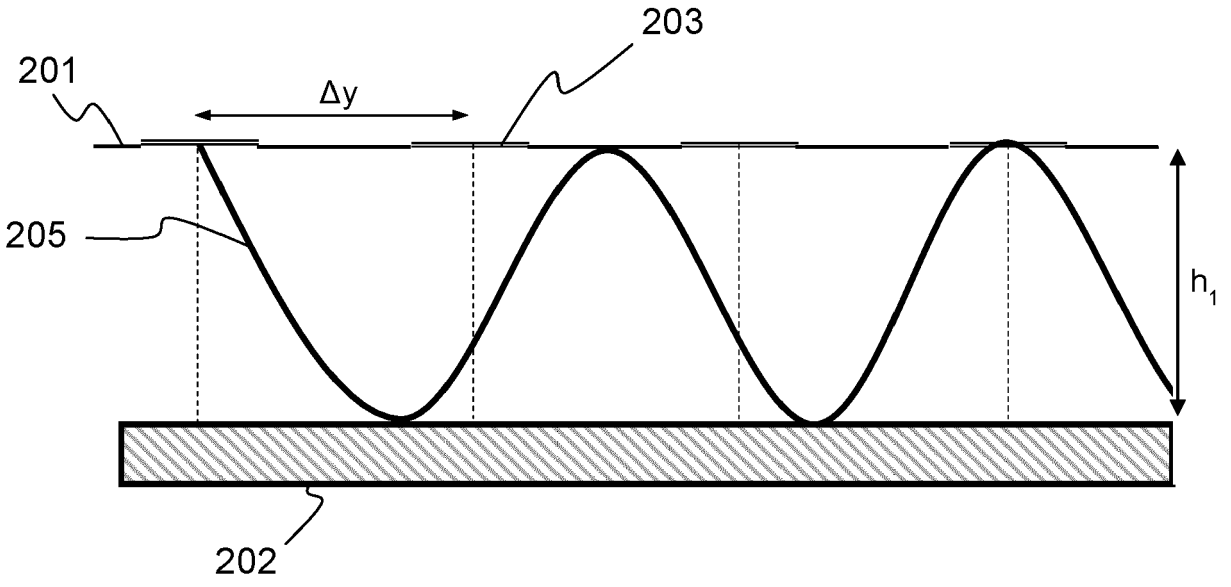

FIG.2B

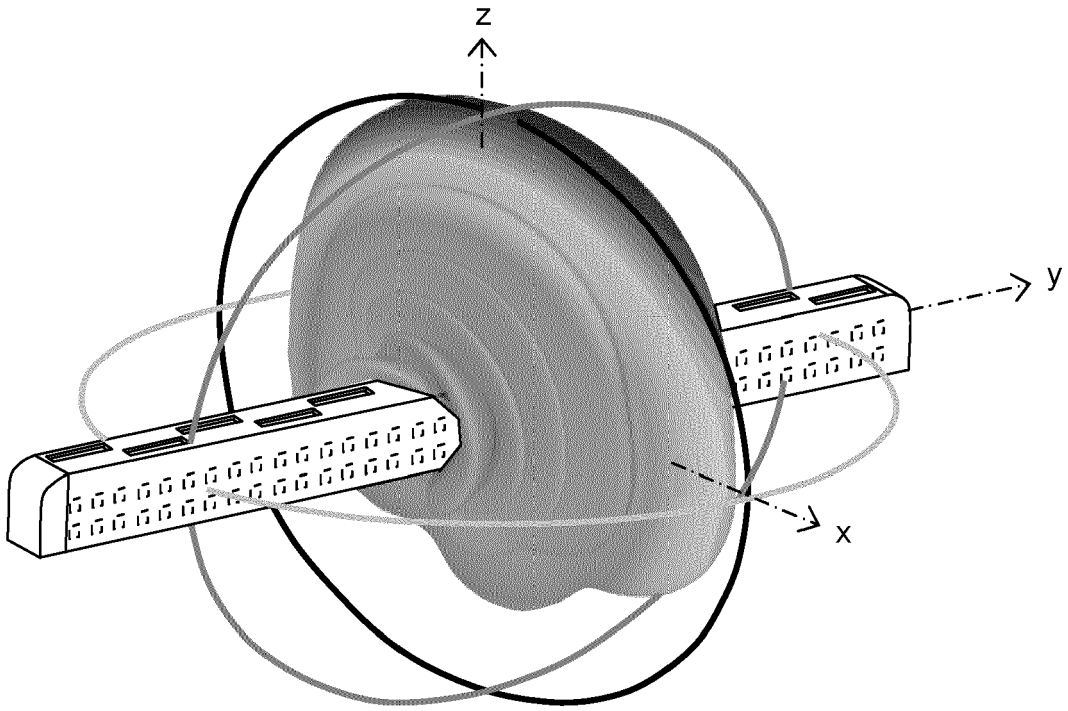

FIG.3a

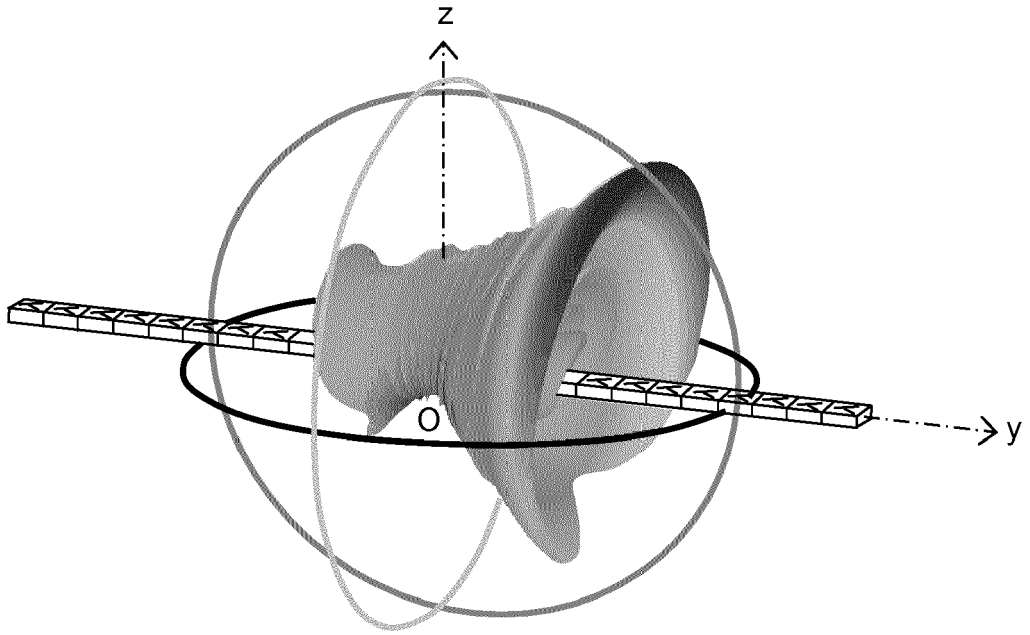

FIG.3b

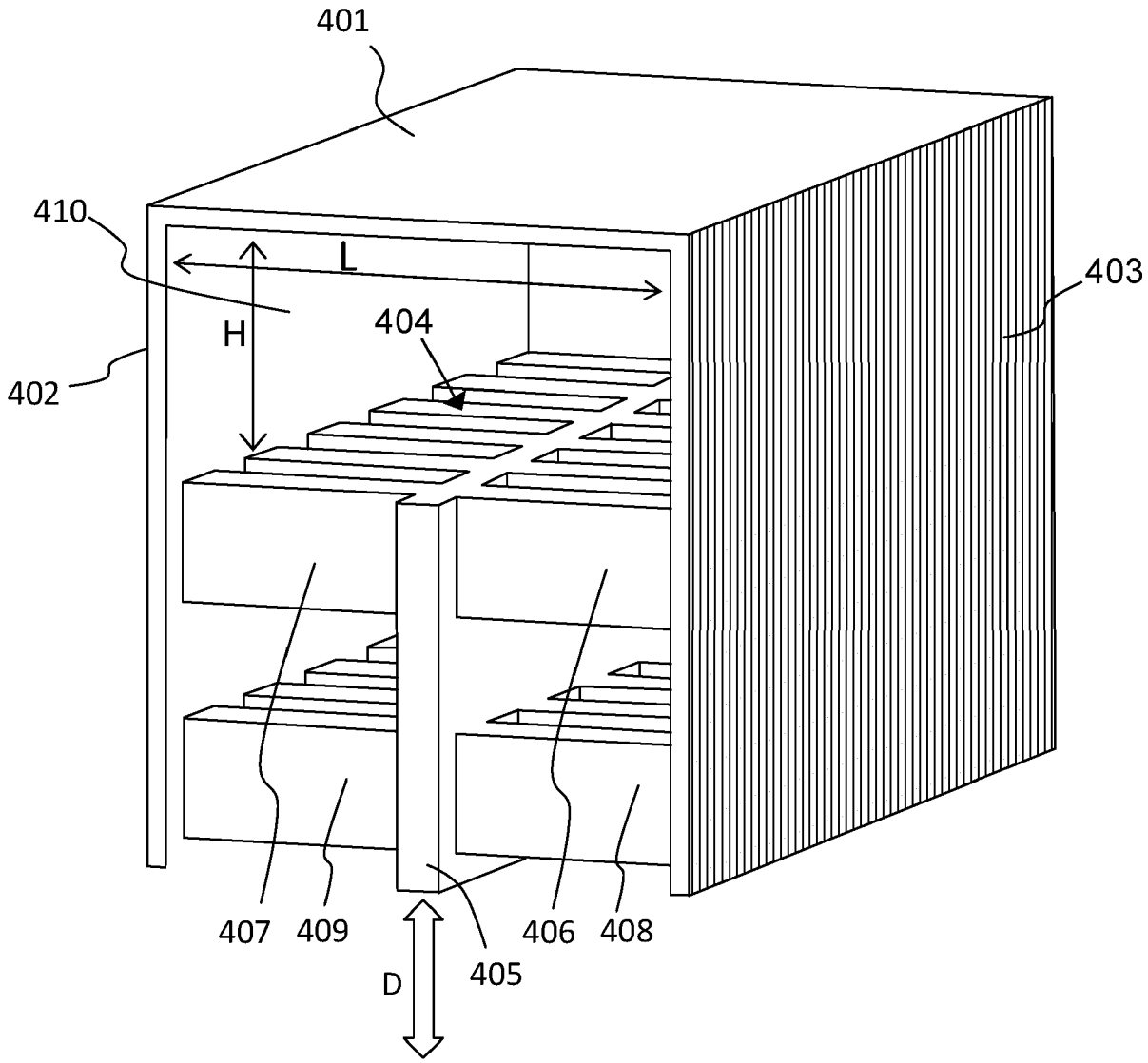

FIG.4

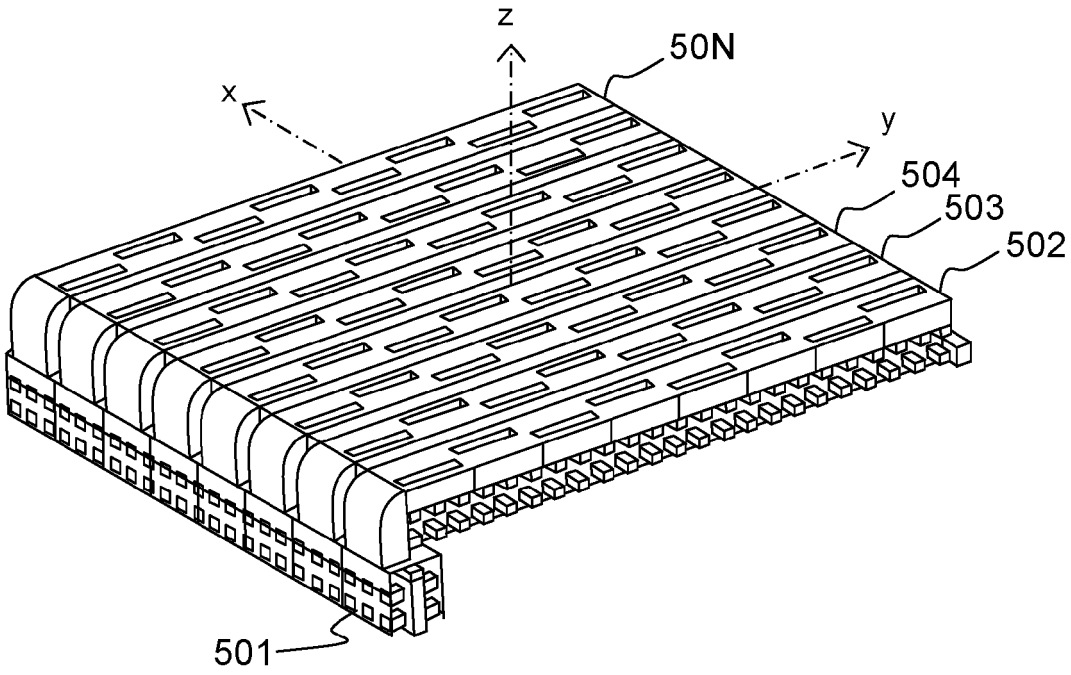

FIG.5a

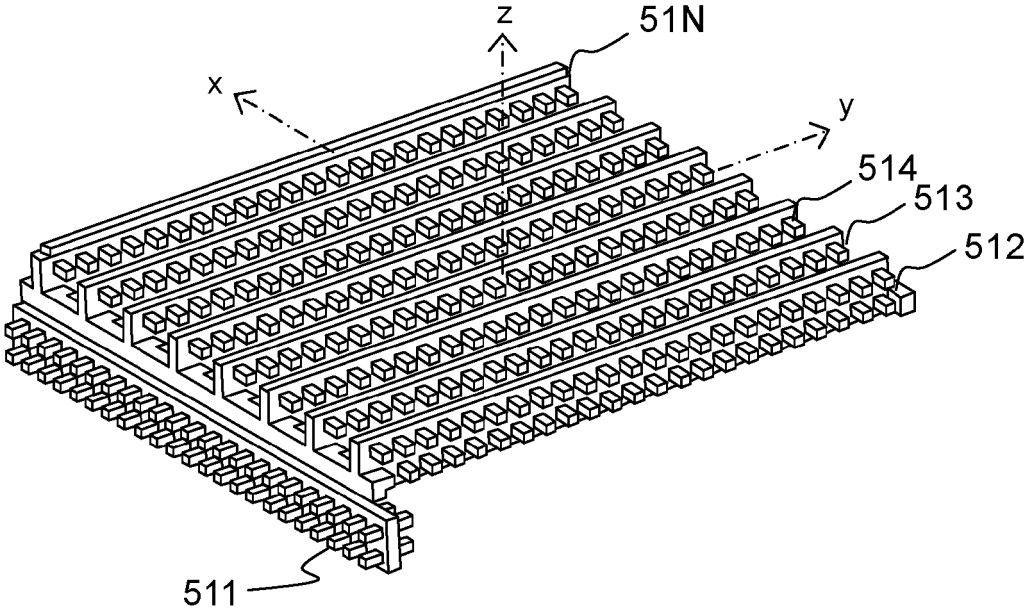

FIG.5b

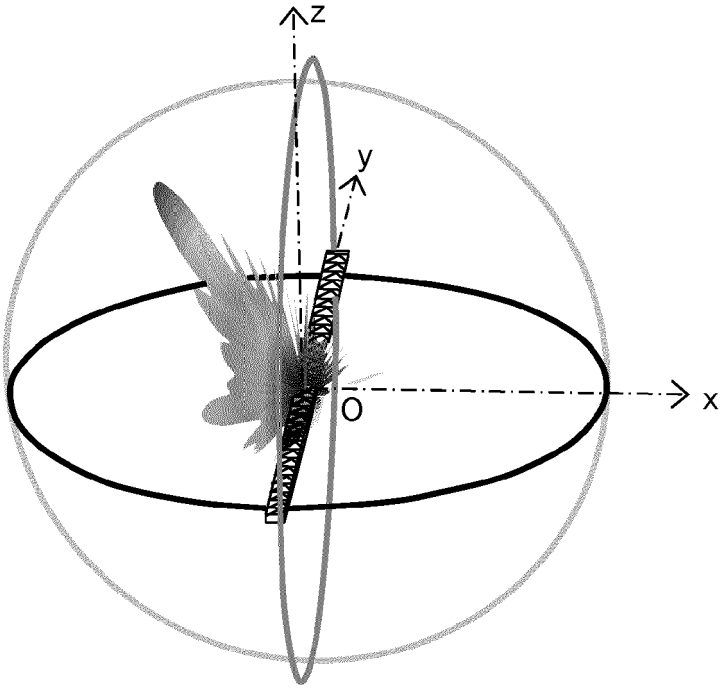

FIG.6a

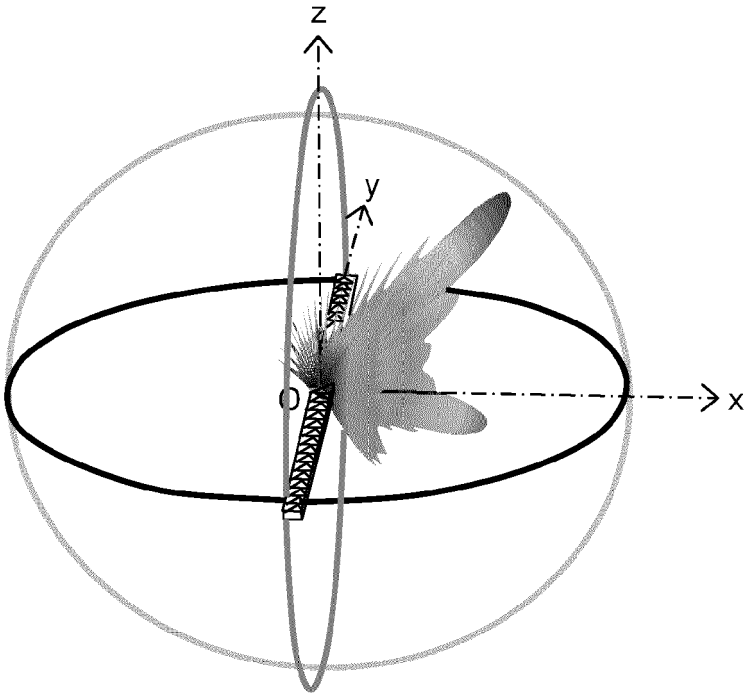

FIG.6b

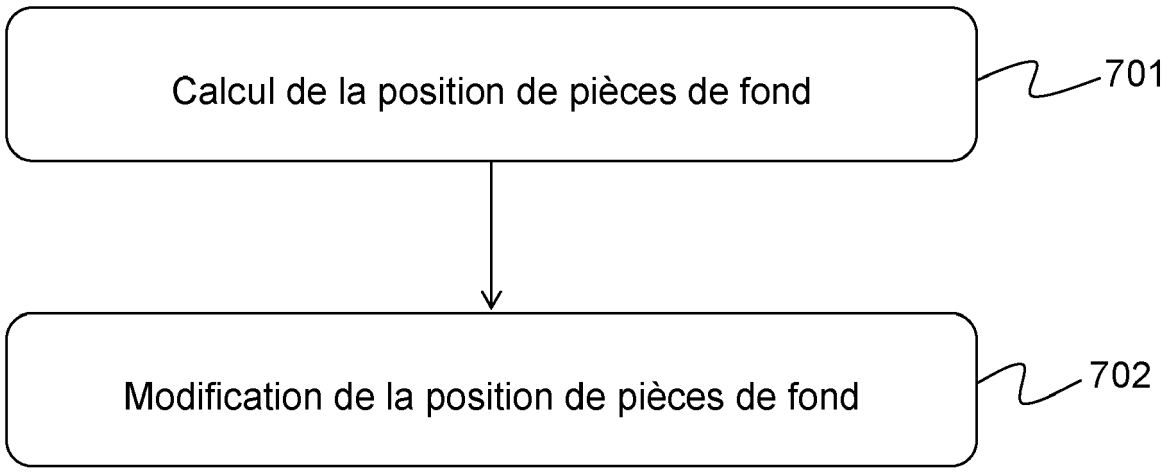
Calcul de la position de pièces de fond
701
Modification de la position de pièces de fond
702

FIG.7

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 22 21 4926

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	JP H06 82969 B2 (YOKOWO SEISAKUSHO KK) 19 octobre 1994 (1994-10-19) * the whole automatically translated description.; figures 1-5 *	1-8	INV. H01Q13/02 H01Q21/00 H01Q3/06 H01Q3/08 H01P1/18 H01P3/12
A	US 2 602 893 A (RATLIFF JR WILLIAM HARDY) 8 juillet 1952 (1952-07-08) * colonne 1, ligne 22 - colonne 4, ligne 22; figures 1,6 *	1-8	
A	EP 3 487 003 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 22 mai 2019 (2019-05-22) * alinéa [0001] - alinéa [0060]; figures 1-10 *	1-8	
A	US 2021/075118 A1 (GOUSSETIS GEORGE [GB] ET AL) 11 mars 2021 (2021-03-11) * figures 1a,1b,13,14a,14b,15,16 * * alinéas [0001], [0002], [0004], [0007], [0012] * * alinéa [0019] - alinéa [0034] * * alinéa [0103] - alinéa [0106] * * alinéa [0142] - alinéa [0155] * * alinéa [0174] - alinéa [0184]; figures 25,26 *	1-8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H01P H01Q

Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications

Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
La Haye	19 mai 2023	Wattiaux, Véronique

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons
.....
& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO. EP 22 21 4926

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 members 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.

19-05-2023

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP H0682969 B2	19-10-1994	JP H0385906 A	11-04-1991
		JP H0682969 B2	19-10-1994
US 2602893 A	08-07-1952	AUCUN	
EP 3487003 A1	22-05-2019	EP 3487003 A1	22-05-2019
		JP 6444571 B2	26-12-2018
		JP WO2018042508 A1	20-12-2018
		US 2019229418 A1	25-07-2019
		WO 2018042508 A1	08-03-2018
US 2021075118 A1	11-03-2021	EP 3776718 A1	17-02-2021
		GB 2572763 A	16-10-2019
		US 2021075118 A1	11-03-2021
		WO 2019197810 A1	17-10-2019

EPO FORM P0460

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- US 9413073 B2 **[0005]**
- FR 2109055 **[0037] [0038]**

Littérature non-brevet citée dans la description

- **BERENGUER, ANTONIO ; FUSCO, V.F. ; BAQUERO, M. ; BORIA, VICENTE.** A frequency-dependent équivalence between groove gap waveguide and rectangular waveguide. *2016 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting* **[0044]**