

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 144 427

21 N° d'enregistrement national : 22 14203

51 Int Cl⁸ : H 01 Q 1/36 (2023.01)

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 22.12.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 28.06.24 Bulletin 24/26.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : THALES Société anonyme — FR, UNIVERSITE
DE RENNES 1 Etablissement Public à caractère scientifique — FR,
NANTES UNIVERSITE Etablissement Public à caractère scientifique —
FR, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablis-
sement public national à caractère administratif — FR, INSA DE
RENNES Etablissement Public à caractère scientifique — FR et CEN-
TRALESUPELEC Etablissement Public à caractère scientifique — FR.

72 Inventeur(s) : GILLARD Raphael, GARCIA VIGUE-
RAS Maria, BERMUDEZ-MARTIN Diego et LEGAY
Hervé.

73 Titulaire(s) : THALES Société anonyme, CENTRE NATIONAL DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public national à
caractère administratif, UNIVERSITE DE RENNES 1 Etablissement
Public à caractère scientifique, NANTES UNIVERSITE Etablissement
Public à caractère scientifique, INSA DE RENNES Etablissement Public
à caractère scientifique, CENTRALESUPELEC Etablissement Public à
caractère scientifique.

74 Mandataire(s) : ATOUT PI LAPLACE.

54 Dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle pour antenne réseau à éléments rayonnants et procédé
de conception d'un tel dispositif.

57 Dispositif d'adaptation d'impédance (102) à grand
angle pour antenne réseau à éléments rayonnants,
comprenant :

un écran de transmission (103) ayant une première sur-
face destinée à être positionnée en vis-à-vis du réseau
d'éléments rayonnants parallèlement à l'ouverture rayon-
nante de l'antenne et étant configuré pour adapter l'impé-
dance de l'antenne pour un balayage dans le plan H, et un
ensemble de pointes métalliques (104) disposées orthogo-
nalement sur au moins une surface de l'écran de transmis-
sion (103), à l'intersection d'au moins une partie des plans
d'antisymétrie respectifs du champ électrique rayonné par
l'antenne pour un balayage dans le plan H, pour deux pola-
risations linéaires selon deux directions orthogonales, ledit
ensemble de pointes métalliques (104) étant configuré pour
adapter l'impédance de l'antenne pour un balayage dans le
plan E.

Figure 1

FR 3 144 427 - A1



Description

Titre de l'invention : Dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle pour antenne réseau à éléments rayonnants et procédé de conception d'un tel dispositif

- [0001] L'invention concerne le domaine des antennes actives comprenant un réseau d'éléments rayonnants et aptes à synthétiser un ou plusieurs faisceaux qui peuvent être pointés selon une direction balayant un large secteur angulaire.
- [0002] L'invention concerne en particulier le domaine spatial et les antennes actives utilisées sur des satellites en orbite basse (nommés satellites « LEO » pour « Low Earth Orbit » en anglais), appartenant à une constellation de satellites destinés à fournir des services de télécommunication sur toute la Terre. Ces constellations utilisent soit des bandes de fréquences en bande L ou S, soit des bandes de fréquence en bande Ku, Ka ou Q/V pour les systèmes de télécommunication à haut débit.
- [0003] L'invention porte plus précisément sur un dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle pour une telle antenne active ainsi qu'un procédé de conception d'un tel dispositif.
- [0004] Les antennes actives implantées sur des satellites LEO sont constituées d'un réseau d'éléments rayonnants, connectés à des amplificateurs et un dispositif de formation de faisceaux. Pour une antenne active fonctionnant à l'émission, le formateur de faisceau distribue aux différents éléments rayonnants un ou plusieurs signaux radiofréquence après application d'un contrôle de phase et d'amplitude spécifique permettant de synthétiser un faisceau dans une direction donnée, et d'orienter le rayonnement de ce ou ces signaux radiofréquence. Pour une antenne active fonctionnant en réception, le formateur de faisceau combine un ou plusieurs signaux radiofréquence reçus par les différents éléments rayonnants après application d'un contrôle de phase et d'amplitude spécifique pour optimiser la réception dans une direction donnée.
- [0005] Les éléments rayonnants doivent respecter les contraintes suivantes :
- être faciles à fabriquer, notamment pour minimiser le coût de fabrication ;
 - induire le moins de pertes radiofréquences possibles, en particulier pour avoir le moins de puissance à dissiper dans une petite surface ;
 - être le plus compact possible pour limiter leur masse ;
 - fonctionner sur une bande passante compatible du système de télécommunication.
- [0006] La maille du réseau d'éléments rayonnants est soumise à deux contraintes :
- elle doit être la plus grande possible pour minimiser le nombre d'éléments rayonnants ;

- elle doit être inférieure à une valeur $d_{\max}$ pour que l'effet de périodicité n'entraîne pas l'apparition de lobes de réseau. Cette valeur s'exprime en fonction de la longueur d'onde λ , et est reliée au secteur angulaire maximal $\pm \theta_{\max}$ sur lequel le faisceau doit être dépointé, et au secteur angulaire $\pm \theta_1$ qui doit être sans lobe de réseau :

$$d_{\max} < \frac{\lambda}{\sin(\theta_{\max}) + \sin(\theta_1)}$$

- [0007] Pour les antennes actives utilisées sur les satellites en orbite basse, ces secteurs angulaires sont typiquement compris entre $\pm 55^\circ$. La maille du réseau, et donc la taille maximale des éléments rayonnants doivent donc être inférieures à $0,6 \lambda$ dans ce cas.
- [0008] Ces éléments rayonnants de faibles dimensions sont caractérisés par un couplage mutuel important entre les éléments rayonnants d'un même réseau. Ce couplage mutuel entre éléments rayonnants, combiné à la loi d'alimentation en amplitude et en phase affectée aux différents éléments rayonnants pour synthétiser un faisceau dans une direction donnée, contribue à modifier l'impédance active des éléments rayonnants en fonction de l'angle de dépointage visé pour le faisceau. A chaque port d'entrée d'un élément rayonnant, le signal réfléchi résulte de la combinaison du signal réfléchi par l'élément rayonnant seul et de tous les signaux qui sont couplés par tous les éléments rayonnants adjacents, lorsque tous les éléments rayonnants sont alimentés avec la loi d'amplitude et de phase spécifiée.
- [0009] Pour certaines antennes, cette désadaptation peut même être totale dans certaines directions, et il n'est alors pas possible de pointer un faisceau selon des directions très dépointées. On parle alors de direction d'aveuglement ou "Scan Blindness" en anglais.
- [0010] La variation de l'impédance active des éléments rayonnants affecte également le fonctionnement des amplificateurs, et en particulier :
- La linéarité AM/AM (amplitude/amplitude), i.e. la variation du rapport de la puissance de sortie à la puissance d'entrée en fonction de la puissance d'entrée ;
 - La linéarité AM/PM (amplitude/phase), i.e la variation de la phase du signal de sortie en fonction de la puissance du signal d'entrée. Idéalement, cette phase est invariable;
 - Le rendement en puissance ajoutée, PAE, i.e. le rapport de la puissance radio-fréquence délivrée à la puissance absorbée totale ;
- [0011] La variation de ces paramètres résulte en une modification de la loi de phase et d'amplitude de l'antenne réseau, et conséquemment à une perturbation supplémentaire de la formation du faisceau.
- [0012] Un problème technique à résoudre dans ce contexte consiste ainsi à stabiliser l'impédance active des éléments rayonnants d'une antenne réseau quel que soit l'angle

de dépointage du faisceau.

- [0013] Les solutions connues permettant de compenser l'effet du couplage mutuel entre éléments rayonnants d'un réseau antennaire entrent dans la famille des dispositifs d'adaptation d'impédance à grand angle ou « Wide Angle Impedance Matching » WAIM en anglais.
- [0014] L'état de l'art des dispositifs WAIM peut être classifié en fonction de leur type, dans lequel on peut trouver des dispositifs entièrement diélectriques, des métasurfaces monocouches, des métasurfaces multicouches et finalement des dispositifs 3D.
- [0015] Dispositifs WAIM à base de couches diélectriques
- [0016] Le premier concept de dispositif WAIM a été proposé par les auteurs de [1]. Ils proposaient de corriger la dispersion de la susceptance de l'impédance d'entrée active, causée par le couplage mutuel entre les éléments du réseau, au moyen d'une couche diélectrique. Cette couche peut être considérée comme une susceptance pure qui compense la dispersion de celle des éléments du réseau lors du dépointage.
- [0017] En général, ces couches ont des performances limitées, et l'effet de la couche est principalement observé pour un balayage dans le plan H, améliorant l'angle de dépointage maximal de l'antenne de 27° . Cependant, de tels dispositifs ne sont pas capables d'agir avec le plan E de manière indépendante. Ils ne disposent en effet pas de suffisamment de degrés de liberté pour mener une optimisation conjointe efficace dans les deux plans. Par ailleurs, ces couches sont dimensionnées à une fréquence donnée et, bien qu'elles ne mettent pas en œuvre de mécanisme résonant, leurs performances en bande passante sont limitées. En outre, ces couches, étant constituées de matériaux diélectriques, elles sont limitées aux matériaux disponibles et présentent les inconvénients inhérents à ces matériaux, tels que les pertes intrinsèques, le dégazage dans l'espace, ou la grande sensibilité à la température.
- [0018] Dispositifs WAIM à base de métasurfaces monocouches et multicouches
- [0019] Un deuxième type de dispositif WAIM est constitué de métasurfaces monocouches. Ceux-ci utilisent comme base une couche diélectrique sur laquelle sont positionnés des motifs métalliques périodiques dont la taille n'excède pas quelques dixièmes de longueur d'onde. Cela leur confère des caractéristiques que l'on ne trouve pas dans les matériaux naturels, comme la permittivité ou la perméabilité négative. Surtout, la susceptance artificielle ainsi générée peut plus facilement être réglée pour répondre à des contraintes spécifiques en termes de comportement angulaire, de dispersion ou de propriétés d'isotropie. En pratique, les principaux travaux présentés font état d'amélioration dans le plan H avec une amélioration de l'adaptation de $\theta = 0^\circ$ à 55° dans [2], jusqu'à 80° dans [3] et dans l'intervalle $\theta = [75^\circ, 105^\circ]$ dans [4].
- [0020] Ces couches, grâce aux motifs imprimés implantés, ont plus de degrés de liberté, ce qui permet plus facilement d'optimiser leurs performances pour des objectifs variés, au

prix toutefois d'un processus de mise au point plus complexe. Par exemple, l'utilisation d'un motif présentant une invariance par rotation de 90° conduira à un comportement identique pour deux polarisations linéaires orthogonales.

[0021] Cependant, ces dispositifs étant basés sur l'utilisation d'un matériau diélectrique, ils héritent des inconvénients associés, tels que les pertes intrinsèques, le dégazage dans l'espace, ou la grande sensibilité à la température.

[0022] L'évolution naturelle des métasurfaces monocouches est celle des métasurfaces multicouches. Le principe est le même que pour une couche unique, mais les performances sont un peu plus élevées, grâce à l'ajout de nouveaux degrés de liberté. Des exemples de telles structures sont donnés dans [5]. Le fait d'avoir plus d'une couche donne surtout à la structure la capacité de fonctionner sur une gamme de fréquences plus large, car chaque couche est capable de fonctionner pour un groupe de fréquences spécifique. Ces solutions héritent des mêmes inconvénients que les métasurfaces monocouches et les couches diélectriques.

[0023] WAIM à base de structures 3D

[0024] Un dernier type de dispositif WAIM concerne l'utilisation de structures 3D tel que décrit par exemple dans [6] qui présente un dispositif qui combine deux structures imprimées orthogonales, elles-mêmes positionnées perpendiculairement au plan de l'ouverture rayonnante (supposé horizontal par convention). La particularité de cette solution est que les deux couches verticales orthogonales du dispositif permettent d'agir sur le balayage dans les plans H et E de manière relativement indépendante. Grâce à cela, le domaine angulaire du balayage dans le plan E est amélioré de 10° tandis que celui dans le plan H est amélioré de 39° . Ce travail montre l'intérêt de positionner des éléments métalliques perpendiculairement à la surface rayonnante (ici verticalement).

[0025] Toutefois, il ne réussit pas à exploiter complètement cet avantage, et ceci pour deux raisons principales. La première tient au fait que les deux parties du dispositif WAIM sont verticales, ce qui ne permet pas de dissocier parfaitement les deux plans de balayage. Cet effet de « couplage » est encore accentué ici par l'imbrication entre les deux motifs orthogonaux (le second s'emboitant dans le premier avec un recouvrement partiel entre les deux). La seconde raison, conséquence directe de la première, est que cette structure ne fonctionne que pour une seule polarisation linéaire et ne peut pas, de par sa nature, être étendue à la bipolarisation. En effet, il n'est pas possible en l'état d'appliquer une invariance par rotation de 90° dans le plan horizontal sans perdre la capacité, fût-elle imparfaite, de régler indépendamment l'adaptation dans les plans de balayage E et H. Finalement, la structure requiert un processus de fabrication complexe avec de multiples couches de substrats partiellement métallisées montées orthogonalement. De plus, utilisant des matériaux diélectriques, elle conserve les mêmes in-

convénients que les solutions évoquées précédemment.

[0026] On connaît également des dispositifs d'adaptation d'impédance tels que décrits dans les références [7] et [8].

[0027] Il est proposé un nouveau type de dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle basé sur un premier écran de transmission dimensionné pour adapter l'impédance active de l'antenne réseau dans le plan H pour une composante du champ électrique en polarisation linéaire et sur l'ajout de piliers métalliques verticaux permettant d'annuler la désadaptation dans le plan E sans effet sur le champ électrique dans le plan H.

[0028] L'invention a pour objet un dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle pour antenne réseau à éléments rayonnants, comprenant :

- un écran de transmission ayant une première surface destinée à être positionnée en vis-à-vis du réseau d'éléments rayonnants parallèlement à l'ouverture rayonnante de l'antenne et étant configuré pour adapter l'impédance de l'antenne pour un balayage dans le plan H,
- et un ensemble de pointes métalliques disposées orthogonalement sur au moins une surface de l'écran de transmission, à l'intersection d'au moins une partie des plans d'antisymétrie respectifs du champ électrique rayonné par l'antenne pour un balayage dans le plan H, pour deux polarisations linéaires selon deux directions orthogonales, ledit ensemble de pointes métalliques étant configuré pour adapter l'impédance de l'antenne pour un balayage dans le plan E.

[0029] Selon un aspect particulier de l'invention, l'écran de transmission est une structure composée d'une ou plusieurs couches diélectriques.

[0030] Selon un aspect particulier de l'invention, l'écran de transmission est une structure composée de méta-surfaces monocouches ou multicouches sur laquelle est disposée une grille périodique de motifs métalliques.

[0031] Selon un aspect particulier de l'invention, l'écran de transmission est une grille périodique de plusieurs cellules, chaque cellule comprenant un cadre de support et au moins une interconnexion interne audit cadre de support, ledit cadre de support étant inscrit dans un prisme, ayant un axe Z' donné, ledit prisme comprenant N faces reliées entre elles par N arêtes, orientées selon l'axe du prisme Z' , ledit cadre de support comprenant N éléments de coin, chaque élément de coin ayant un bord coïncidant avec une desdites arêtes du prisme, les éléments de coins étant agencés de sorte que le cadre de support présente, sur chaque face du prisme, une fente s'étendant selon l'axe du prisme Z' ; et en ce que chaque interconnexion interne comprend N tiges inductives comprenant chacune deux extrémités, les tiges inductives ayant chacune une première extrémité reliée à un desdits bords du cadre de support, les deuxièmes extrémités des tiges inductives étant reliées entre elles au niveau d'un point de connexion de tiges,

ledit point de connexion de tiges étant positionné sensiblement au centre dudit cadre de support dans un plan orthogonal à l'axe du prisme Z',

- [0032] Selon un aspect particulier de l'invention, les pointes métalliques sont positionnées dans le prolongement de chaque arête de chacune des cellules.
- [0033] Selon un aspect particulier de l'invention, une pointe métallique dudit ensemble est positionnée sur ledit point de connexion de tiges.
- [0034] Selon un aspect particulier de l'invention, les pointes métalliques sont disposées, au moins partiellement, sur la surface de l'écran de transmission opposée à la première surface.
- [0035] L'invention a pour objet un dispositif antenneaire comprenant une antenne réseau à éléments rayonnants aptes à rayonner un champ d'ondes transverses électromagnétiques et un dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle selon l'invention et positionné sur ledit réseau d'éléments rayonnants.
- [0036] Selon un aspect particulier de l'invention, le dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle est positionné à une distance non nulle du réseau d'éléments rayonnants.
- [0037] Selon un aspect particulier de l'invention, le dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle est positionné au contact du réseau d'éléments rayonnants.
- [0038] L'invention a aussi pour objet un procédé de conception d'un dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle selon l'invention comprenant :
 - Une première étape de dimensionnement de l'écran de transmission de manière à optimiser l'adaptation d'impédance pour le balayage de l'antenne réseau dans le plan H,
 - Une seconde étape de dimensionnement de l'ensemble de pointes métalliques de manière à optimiser l'adaptation d'impédance pour le balayage de l'antenne réseau dans le plan E sans modifier l'adaptation préalablement réalisée dans le plan H
- [0039] Selon un aspect particulier de l'invention, la seconde étape de dimensionnement de l'ensemble de pointes métalliques consiste au moins à dimensionner la longueur des pointes.
- [0040] Selon un aspect particulier de l'invention, la première étape de dimensionnement de l'écran de transmission (103) consiste au moins à dimensionner au moins un paramètre parmi : la dimension des tiges inductives, la dimension des fentes, la position des tiges inductives selon l'axe du prisme Z', le nombre d'interconnexions internes.
- [0041] Selon un aspect particulier de l'invention, la première étape de dimensionnement comprend en outre le dimensionnement de la distance entre le réseau d'éléments rayonnants et le dispositif d'adaptation d'impédance.
- [0042] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit en relation aux dessins annexés suivants.

- [0043] [Fig.1] représente un schéma de principe général d'une antenne active comprenant un réseau d'éléments rayonnants et un dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle selon un mode de réalisation de l'invention,
- [0044] [Fig.2] représente un schéma d'une cellule TEM,
- [0045] [Fig.3] représente un schéma d'une cellule TEM chargée réactivement par une interconnexion en croix,
- [0046] [Fig.4] représente la cellule TEM de la [Fig.3] sur laquelle sont disposées des pointes métalliques selon un premier mode de réalisation de l'invention,
- [0047] [Fig.5] représente la cellule TEM de la [Fig.3] sur laquelle sont disposées des pointes métalliques selon un second mode de réalisation de l'invention,
- [0048] [Fig.6] montre le schéma électrique équivalent d'une cellule TEM,
- [0049] [Fig.7] montre des plans d'antisymétrie du dispositif d'adaptation pour le balayage dans le plan H et pour une polarisation linéaire verticale,
- [0050] [Fig.8] montre des plans d'antisymétrie du dispositif d'adaptation pour le balayage dans le plan H et pour une polarisation linéaire horizontale,
- [0051] [Fig.9] illustre la définition d'un plan d'antisymétrie pour un champ d'ondes électromagnétiques se propageant dans un guide de section rectangulaire,
- [0052] [Fig.10] illustre la définition de plans d'antisymétrie pour un réseau de cellules TEM selon l'invention pour une polarisation linéaire selon une direction donnée et pour un balayage dans le plan H,
- [0053] [Fig.11] illustre la définition de plans de symétrie pour un réseau de cellules TEM selon l'invention pour une polarisation linéaire selon une direction donnée et pour un balayage dans le plan E,
- [0054] [Fig.12] illustre la définition de plans d'antisymétrie pour une structure imprimée à base de patchs constituant un dispositif d'adaptation d'impédance,
- [0055] [Fig.13] montre un dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,
- [0056] [Fig.14] montre un dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,
- [0057] La [Fig.1] montre un schéma d'un dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0058] Sur la [Fig.1] on a représenté une antenne active 101 comprenant un réseau d'éléments rayonnants disposés dans un plan P parallèle au plan (O x y) du repère. Sur le réseau, un dispositif d'adaptation d'impédance 102 est disposé à une distance d_{WAIM} qui peut être non nulle ou égale à 0.
- [0059] Dans le cas où la distance est nulle, le dispositif d'adaptation d'impédance 102 est fixé au contact du réseau d'éléments rayonnants dans le plan P. Dans un tel cas, l'ensemble formé de l'antenne active 101 et du dispositif d'adaptation d'impédance

102 peut être fabriqué en une seule pièce.

- [0060] Dans le cas où la distance d_{WAIM} est non nulle, un espaceur, par exemple une structure en nid d'abeille, est utilisée pour fixer le dispositif d'adaptation d'impédance 102 sur l'antenne active 101. L'espaceur est conçu de sorte à correspondre à une couche équivalente à de l'air du point de vue de la propagation des ondes électromagnétiques.
- [0061] Le dispositif d'adaptation est conçu pour permettre le dépointage du faisceau de l'antenne sur un large secteur angulaire (au moins jusqu'à 50°) en maintenant le coefficient de réflexion actif des éléments rayonnants inférieur à -10 dB.
- [0062] Le dispositif 102 selon l'invention est conçu pour fonctionner dans une configuration à bipolarisation linéaire (H et V) et pour un dépointage dans n'importe quel plan azimutal ϕ .
- [0063] Avantagusement, le dispositif 102 est entièrement métallique, ce qui permet de maintenir les pertes d'insertion à un niveau faible et d'éviter le recours à des matériaux diélectriques potentiellement lourds et coûteux, qui présentent en outre les autres inconvénients associés discutés ci-dessus (comme le dégazage dans le vide).
- [0064] La structure proposée est tridimensionnelle, ce qui offre de nombreux degrés de liberté pour son optimisation.
- [0065] Sa réalisation est compatible avec les techniques de fabrication additive de type métallique (SLM par exemple) ou, éventuellement, celles utilisant des matériaux diélectriques (SLA par exemple) qu'il convient dans ce cas de métalliser *a posteriori*. Au regard des capacités actuelles de ces techniques et de leur rapide évolution, une fabrication monolithique, rapide et à faible coût, est donc possible avec des performances démontrées jusqu'en bande Ka.
- [0066] Sur la [Fig.1], on a représenté schématiquement les plans E et H notés P_E et P_H utilisés par convention.
- [0067] Le dispositif 102 est constitué de deux éléments en cascade : une grille périodique de cellules TEM 103 positionnée parallèlement à l'ouverture rayonnante de l'antenne active à une distance d_{WAIM} de celle-ci et un réseau de pointes métalliques 104 orthogonales à la grille (c'est-à-dire orientées selon la direction z) et hérissées sur la face opposée à l'ouverture rayonnante.
- [0068] Selon une variante de réalisation, les pointes métalliques 104 sont placées face à l'antenne ou réparties sur les deux faces opposées de la grille de cellules TEM.
- [0069] Un exemple de cellule TEM est représenté aux figures 2 et 3. La cellule TEM est aussi décrite dans la demande de brevet français FR3095303.
- [0070] La [Fig.2] montre un exemple de cellule 200 à section carrée constituée de quatre murs métalliques d'épaisseur t et de largeur p. Chaque mur présente une fente en longueur ayant une largeur w_x ou w_y selon le côté de la cellule.
- [0071] Dans une variante de réalisation, la cellule 200 peut présenter une section de forme

différente, par exemple hexagonale.

[0072] En outre la cellule 200 comporte une interconnexion interne 300 en forme de croix permettant de réaliser un chargement réactif, tel qu'illustré à la [Fig.3].

L'interconnexion interne 300 présente une symétrie de révolution. Elle est électriquement conductrice pour former une discontinuité électrique dans la cellule 200. La croix 300 est formée de deux tiges électriquement conductrices qui forment une charge inductive.

[0073] Autrement dit chaque cellule 200 comprend un cadre de support et une (ou plusieurs) interconnexion 300 interne au cadre de support. Le cadre de support est inscrit dans un prisme, ayant un axe Z' donné. Dans l'exemple de la figure 2 et de la figure 3, le prisme a une section carrée. Le prisme comprend N faces reliées entre elles par N arêtes, orientées selon l'axe du prisme Z' , le cadre de support comprend N éléments de coin, chaque élément de coin a un bord coïncidant avec une des arêtes du prisme, les éléments de coins étant agencés de sorte que le cadre de support présente, sur chaque face du prisme, une fente s'étendant selon l'axe du prisme Z' . Dans cet exemple, $N = 4$.

[0074] Chaque interconnexion interne comprend N tiges inductives comprenant chacune deux extrémités, les tiges inductives ayant chacune une première extrémité reliée à l'un desdits bords du cadre de support, les deuxièmes extrémités des tiges inductives sont reliées entre elles au niveau d'un point de connexion de tiges, le point de connexion de tiges est positionné sensiblement au centre du cadre de support dans un plan orthogonal à l'axe du prisme Z' . Dans l'exemple l'interconnexion interne comprend quatre tiges et est en forme de croix.

[0075] Plus de détails sur la conception d'une cellule TEM selon la [Fig.3] sont données dans la demande FR3095303.

[0076] La [Fig.4] montre la structure de base du dispositif d'adaptation d'impédance de la [Fig.1]. Cette structure est composée d'une cellule TEM 200 sur laquelle sont disposées des pointes métalliques 400 aux quatre coins de la cellule. Les pointes métalliques sont disposées orthogonalement au plan xOy qui est parallèle au plan transversal de la cellule et à l'ouverture rayonnante de l'antenne. Avantageusement les pointes métalliques sont des tiges de section constante circulaire ou carrée ayant des dimensions prédéterminées.

[0077] La [Fig.5] montre une variante de réalisation de la structure de la [Fig.4] pour laquelle une pointe métallique supplémentaire 500 est disposée au centre de la cellule en fixation avec l'interconnexion interne 300. Dans ce cas, la structure d'interconnexion interne 300 présente une forme pyramidale, c'est-à-dire que les tiges d'interconnexion qui forment les bras de la croix présentent un angle non nul par rapport au plan transversal xOy de la cellule. Cette forme est notamment choisie

lorsque le dispositif est fabriqué par une technique de fabrication additive.

[0078] Les degrés de liberté utilisés pour optimiser le fonctionnement de la structure sont notamment :

- Son positionnement par rapport à l'ouverture rayonnante (distance d_{WAIM})
- Les paramètres géométriques de la grille (longueur, espacement des plans conducteurs et, dans une moindre mesure, leur épaisseur)
- La géométrie du motif réactif lui-même et sa position au sein de la cellule, c'est-à-dire la géométrie de l'interconnexion 300 ainsi que sa position,
- La longueur des pointes métalliques et, dans une moindre mesure, leur diamètre.

[0079] Les contraintes à respecter lors de la mise au point de la structure sont :

- L'invariance par rotation de 90° de la géométrie, pour garantir un fonctionnement identique sur les deux polarisations linéaires horizontale H et verticale V,
- L'utilisation d'un motif réactif (structure d'interconnexion 300) dont la structure assure la cohésion mécanique de la grille en même temps qu'elle permet l'adaptation.

[0080] Selon une variante de réalisation de l'invention, il n'est pas indispensable que la périodicité de la grille des cellules TEM coïncide avec celle du réseau d'éléments rayonnants. Par exemple, une période de grille de cellules TEM correspondant à un sous-multiple de la période du réseau antennaire (c.à.d telle qu'une période du réseau coïncide avec un nombre entier de périodes de la grille) présente l'avantage de prévenir toute difficulté supplémentaire quant à l'évitement des lobes de réseau. Les capacités de la cellule TEM en termes de miniaturisation (dues à l'absence de fréquence de coupure pour les modes propagés au travers de la cellule) facilitent une telle option.

[0081] De façon générale, et comme illustré à la [Fig.1], les pointes métalliques sont disposées sur la grille de cellules TEM de sorte à être à l'intersection des plans d'antisymétrie respectifs du champ électrique rayonné par l'antenne pour un balayage dans le plan H, pour deux polarisations linéaires différentes horizontale et verticale. Ce point sera explicité plus en détail par la suite.

[0082] Le dispositif selon l'invention est dimensionné de sorte à dissocier l'adaptation d'impédance pour un balayage de l'antenne dans le plan H de celle pour un balayage de l'antenne dans le plan E et ce pour deux polarisations orthogonales linéaires.

[0083] Ainsi, le dispositif selon l'invention peut être conçu selon un procédé de conception en deux phases.

[0084] La première phase de conception consiste à dimensionner la grille de cellules TEM de sorte à optimiser l'adaptation d'impédance pour le balayage dans le plan H.

L'optimisation consiste à ajuster au moins un paramètre parmi la position d_{WAIM} de la grille par rapport à l'ouverture rayonnante, ses dimensions ainsi que le motif géométrique et les dimensions de la structure d'interconnexion qui réalise le chargement réactif de la cellule. L'optimisation est réalisée de façon à ce que la cellule TEM présente l'impédance d'entrée appropriée pour minimiser le coefficient de réflexion actif sur les ports de l'antenne, quel que soit l'angle de dépointage dans ce plan. La multiplicité des degrés de liberté disponibles offre de nombreuses possibilités pour réaliser cette adaptation.

- [0085] Par exemple, cette première phase d'optimisation est réalisée au moyen d'un circuit électrique équivalent. Le dispositif d'adaptation d'impédance est modélisé comme une charge à une distance d_{WAIM} de l'antenne. Un objectif de l'optimisation est de déterminer la charge pour laquelle le coefficient de réflexion actif de l'antenne est minimal pour l'intervalle d'angles de dépointage considéré et éventuellement pour une plage fréquentielle donnée. Une fois le chargement souhaité déterminé, il est synthétisé en un véritable composant.
- [0086] La [Fig.6] montre un exemple de schéma électrique équivalent d'une cellule TEM du type décrit à la [Fig.3].
- [0087] La structure d'interconnexion 300 qui réalise le chargement réactif de la cellule est modélisée par une impédance $Z_x(\theta)$, où θ est l'angle de dépointage. De chaque côté de cette structure, deux sections de la cellule TEM de longueurs respectives l_1 et l_2 sont modélisées par des lignes de transmission de paramètres $Z_1(\theta), \beta_1(\theta), Z_2(\theta), \beta_2(\theta)$.
- [0088] Les impédances $Z_{\text{cap}}(\theta)$ modélisent l'effet des discontinuités entre les extrémités de la cellule et l'air. Les impédances $Z_0(\theta)$ correspondent à la propagation des ondes dans le vide.
- [0089] Les paramètres de dimensionnement de la cellule sont, notamment, les tailles des tiges inductives de la structure d'interconnexion, leur diamètre, la largeur des fentes sur les parois de la cellule, les longueurs l_1 et l_2 .
- [0090] Dans une variante de réalisation, plusieurs structures d'interconnexion peuvent être disposées en cascade pour réaliser plusieurs chargements réactifs et augmenter le nombre de paramètres d'optimisation.
- [0091] Dans la deuxième phase de conception, l'ajout de pointes métalliques orthogonales sur la grille optimisée ne modifie pas l'adaptation déjà réalisée pour le plan H, dès lors que les pointes sont placées dans les plans d'antisymétrie de la structure associés à ce balayage plan H. En effet, le fait que la composante tangentielle du champ électrique soit nécessairement nulle dans de tels plans garantie que l'introduction d'un conducteur parfait à cet endroit ne modifiera pas la distribution du champ observée pour la grille seule. Au contraire, un tel conducteur aura un effet non négligeable sur la distribution du champ pour un balayage dans le plan E, puisque les plans

d'antisymétrie ne sont plus les mêmes pour ce balayage. Par conséquent, le conducteur introduit peut être utilisé pour optimiser l'adaptation dans le plan E, sans modifier l'adaptation réalisée préalablement dans le plan H grâce à la seule grille de cellules.

[0092] On en conclut que l'optimisation de la grille de cellules TEM et de son chargement permet d'adapter le balayage dans le plan H. C'est la première phase de la méthode de conception. L'optimisation ultérieure des pointes métalliques permet ensuite d'adapter l'impédance dans le plan E, sans dégrader l'adaptation préalablement réalisée pour le plan H. C'est la seconde phase de la méthode de conception.

[0093] La [Fig.7] montre plusieurs plans d'antisymétrie P_{V-ant1} , P_{V-ant2} , P_{V-ant3} , de la grille de cellules TEM pour le balayage dans le plan H et pour une polarisation linéaire verticale V (selon l'axe y). Il s'agit de plans perpendiculaires au champ électrique E et donc parallèles au plan xOz passant par les coins des cellules ou par leurs centres. En théorie, un conducteur parfait destiné à réaliser l'adaptation d'impédance pour un balayage dans le plan E peut être placé n'importe où dans ces plans sans modifier l'optimisation faite pour le plan H.

[0094] La [Fig.8] montre plusieurs plans d'antisymétrie P_{H-ant1} , P_{H-ant2} , P_{H-ant3} , P_{H-ant4} cette fois pour une polarisation linéaire horizontale H (selon l'axe x). Ces plans sont cette fois parallèles au plan yOz passant par les coins des cellules ou leurs centres.

[0095] Ainsi, pour rester compatible des deux polarisations linéaires verticale et horizontale, les pointes métalliques doivent être disposées à l'intersection des plans d'antisymétrie relatifs à la polarisation verticale (représentés à la [Fig.7]) et des plans d'antisymétrie relatifs à la polarisation horizontale (représentés à la [Fig.8]). C'est pour cette raison que des lames métalliques s'étendant sur tout un côté d'une cellule dans un plan d'antisymétrie pour l'une des deux polarisations ne vérifient pas cette condition et ne permettent pas d'assurer un fonctionnement en bipolarisation.

[0096] De même, pour assurer un fonctionnement en bipolarisation, il est aussi nécessaire que la structure d'interconnexion qui réalise le chargement réactif de la cellule ait une symétrie de révolution. Une structure en forme de croix telle que présentée aux figures 4 et 5 respecte cette propriété.

[0097] Le dispositif d'adaptation d'impédance décrit ci-dessus peut être fabriqué entièrement en métal, par exemple via un procédé de fabrication additive tout métal ou à partir de matériaux diélectriques métallisés après coup. Cela présente l'avantage d'une réduction des coûts de fabrication, d'une réduction des pertes et d'une élimination des inconvénients associés à l'utilisation d'un matériau diélectrique dans le cas où le dispositif est fabriqué directement en métal.

[0098] Le dimensionnement du dispositif est réalisé en deux étapes, comme introduit ci-dessus :

- Une première étape de dimensionnement de la grille de cellules TEM de

- manière à réaliser une adaptation d'impédance pour un balayage dans le plan H,
- Une seconde étape de dimensionnement des pointes métalliques, essentiellement leurs longueurs et leurs diamètres, de manière à réaliser une adaptation d'impédance pour un balayage dans le plan E tout en restant transparent pour le plan H
- [0099] Une contrainte importante à respecter pour assurer l'indépendance des optimisations respectives pour le plan H et le plan E est que les pointes métalliques doivent être disposées dans des plans d'antisymétrie pour les deux polarisations linéaires horizontale et verticale.
- [0100] La [Fig.9] illustre sur un exemple simple d'un champ électromagnétique E propagé dans un guide d'ondes G de section carrée ou rectangulaire, la définition d'un plan de symétrie P_{sym} et d'un plan d'antisymétrie P_{ant} . Le champ électrique est représenté schématiquement par des flèches de longueur proportionnelle à son amplitude.
- [0101] Le plan de symétrie P_{sym} est un plan pour lequel deux conditions sont vérifiées simultanément :
- La section du guide d'onde est symétrique par rapport au plan P_{sym} ,
 - Le champ électrique est symétrique par rapport au plan P_{sym} , c'est à dire que le vecteur du champ électrique E présente une symétrie miroir par rapport à ce plan.
- [0102] Le plan d'antisymétrie P_{ant} est un plan pour lequel deux conditions sont vérifiées simultanément :
- La section du guide d'onde est symétrique par rapport au plan P_{ant} ,
 - Le champ électrique est antisymétrique par rapport au plan P_{ant} , c'est à dire que le vecteur du champ électrique E présente une symétrie miroir complétée par un retournement par rapport à ce plan.
- [0103] Le plan d'antisymétrie P_{ant} correspond à un conducteur électrique parfait, c'est à dire qu'on peut y placer un conducteur sans changer la configuration du champ électrique.
- [0104] Les figures 10 et 11 illustrent la définition des plans d'antisymétrie pour les grilles de cellules TEM selon l'invention.
- [0105] La [Fig.10] montre un exemple, en vue de dessus, d'une grille de quatre cellules TEM C_1, C_2, C_3, C_4 pour un balayage selon le plan H (xOz) et pour une polarisation de l'onde selon l'axe Oy.
- [0106] Cette structure comporte cinq plans d'antisymétrie $P_{\text{ant}1}, P_{\text{ant}2}, P_{\text{ant}3}, P_{\text{ant}4}, P_{\text{ant}5}$ qui passent par les côtés et les centres des cellules et sont parallèles à l'axe Ox.
- [0107] En effet, le champ électrique E varie en phase selon l'axe Ox. Il est identique sur les deux moitiés (gauche et droite) d'une même cellule et sur deux cellules consécutives d'une même ligne. Autrement dit, la distribution du champ électrique est identique

entre les cellules C_1 et C_2 d'une part et entre les cellules C_3 et C_4 d'autre part. Les plans d'antisymétrie sont donc des plans selon l'axe Ox .

- [0108] La [Fig.11] montre, sur le même exemple de grille de quatre cellules TEM, la répartition du champ électrique pour un balayage dans le plan E (xOy) toujours pour une polarisation de l'onde selon l'axe Oy .
- [0109] Dans ce cas, le champ électrique varie en phase selon l'axe Oy . Il est le même sur les deux moitiés (haute et basse) d'une même cellule et sur deux cellules consécutives d'une même colonne. Autrement dit, le champ électrique est identique entre les cellules C_1 et C_3 d'une part et entre les cellules C_2 et C_4 d'autre part. Les plans P_{sym1} , P_{sym2} , P_{sym3} , P_{sym4} , P_{sym5} sont des plans de symétrie. Il n'y a aucun plan d'antisymétrie dans cette configuration.
- [0110] Dans le cas où l'onde est polarisée selon l'axe Ox , les plans de symétrie décrits à la [Fig.11] deviennent des plans d'antisymétrie.
- [0111] Sans sortir du cadre de l'invention, le réseau de cellules TEM peut être remplacé par un dispositif d'adaptation d'impédance de l'art antérieur basé par exemple sur des métasurfaces monocouches ou multicouches.
- [0112] Quel que soit le dispositif de base choisi pour adapter l'impédance pour le balayage dans le plan H, les pointes métalliques permettant l'adaptation d'impédance pour le balayage dans le plan E doivent être placées à l'intersection des plans d'antisymétrie pour les deux polarisations.
- [0113] De tels plans d'antisymétrie sont définis en fonction de la structure choisie.
- [0114] La [Fig.12] montre les cinq plans d'antisymétrie $P'ant1$, $P'ant2$, $P'ant3$, $P'ant4$, $P'ant5$ pour une structure imprimée à base de patches $P1, P2, P3, P4$, toujours pour une polarisation selon l'axe Oy . La variation du champ électrique est également représentée sous forme de flèches.
- [0115] Les plans d'antisymétrie pour une polarisation selon l'axe Ox sont obtenus par rotation de 90° appliquée aux plans d'antisymétrie de la [Fig.13].
- [0116] Le dispositif d'adaptation d'impédance pour le balayage dans le plan H peut aussi être une structure composée d'une ou plusieurs couches diélectriques.
- [0117] La [Fig.13] montre un deuxième mode de réalisation de l'invention dans lequel les cellules TEM sont remplacées par des structures à base de métasurfaces comprenant au moins une couche diélectrique sur laquelle sont positionnés des motifs métalliques périodiques M_1, M_2, M_3 . L'ensemble des motifs forme une grille dont les dimensions et paramètres sont choisis de manière à adapter l'impédance de l'antenne pour un balayage dans le plan H.
- [0118] Un réseau de pointes métalliques RPM est ensuite disposé orthogonalement à la grille de motifs. Les pointes métalliques sont disposées à l'intersection des plans d'antisymétrie du champ électrique, pour le balayage dans le plan H et pour les deux

polarisations linéaires selon les axes x et y .

- [0119] Le réseau de pointes métalliques RPM, en particulier la longueur des pointes, est optimisé pour adapter l'impédance de l'antenne pour le balayage dans le plan E .
- [0120] La [Fig.14] montre une variante du mode de réalisation de l'invention décrit à la [Fig.13]. Dans cette variante, des pointes métalliques supplémentaires PM sont positionnées aux centres de chaque motif qui appartiennent également aux plans d'antisymétrie du champ électrique pour les deux polarisations linéaires selon les axes x et y .

Références

- [0121] [1] E. Magill and H. Wheeler, "Wide-angle impedance matching of a planar array antenna by a dielectric sheet," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 14, no. 1, pp. 49-53, January 1966
- [0122] [2] S. Sajuyigbe, M. Ross, P. Geren, S. Cummer, M. Tanielian, and D. Smith, "Wide angle impedance matching metamaterials for waveguide-fed phased-array antennas", *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 4, 8, p. 1063, 2010
- [0123] [3] G. Oliveri, M. Salucci, N. Anselmi, and A. Massa, "Multiscale system-by-design synthesis of printed WAIMs for waveguide array enhancement", *IEEE Journal on Multiscale and Multiphysics Computational Techniques*, vol. 2, pp. 84–96, 2017
- [0124] [4] G. Oliveri et al., « Wide-Angle Impedance Matching Layer-Enhanced Dual-Polarization sub-6 GHz Wide-Scan Array for Next-Generation Base Stations », *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 70, no 7, p. 5506 5520, juill. 2022
- [0125] [5] W. H. Syed, D. Cavallo, H. Thippur Shivamurthy, and A. Neto, "Wideband, widescan planar array of connected slots loaded with artificial dielectric superstrates", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 64, 2, pp. 543–553, Feb. 2016
- [0126] [6] B. Sun, R. Loison, R. Gillard, E. Estebe, and C. Renard, "3d wide-angle impedance matching for x-band phased array", in *2021 15th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Dusseldorf, Germany: IEEE, Mar. 22, 2021
- [0127] [7] Enhancement of impedance matching using longitudinal blades and pins: Y. Zhang, A. R. Vilenskiy and M. V. Ivashina, "Mutual Coupling Analysis of Open-Ended Ridge and Ridge Gap Waveguide Radiating Elements in an Infinite Array Environment," *2022 52nd European Microwave Conference (EuMC)*, 2022, pp. 696-699, doi: 10.23919/EuMC54642.2022.9924388.
- [0128] [8]- Enhancement of impedance matching using longitudinal slits: X. Liang, Z. Zhang, J. Zeng, F. Guan, X. Liu and J. Zi, "Scan Blindness Free Design of Wideband Wide-Scanning Open-Ended Waveguide Phased Array," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 68127-68138, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3074867.

Revendications

- [Revendication 1] Dispositif d'adaptation d'impédance (102) à grand angle pour antenne réseau à éléments rayonnants, comprenant :
- un écran de transmission (103) ayant une première surface destinée à être positionnée en vis-à-vis du réseau d'éléments rayonnants parallèlement à l'ouverture rayonnante de l'antenne et étant configuré pour adapter l'impédance de l'antenne pour un balayage dans le plan H,
 - et un ensemble de pointes métalliques (104) disposées orthogonalement sur au moins une surface de l'écran de transmission (103), à l'intersection d'au moins une partie des plans d'antisymétrie respectifs du champ électrique rayonné par l'antenne pour un balayage dans le plan H, pour deux polarisations linéaires selon deux directions orthogonales ($P_{_V-ant1}$, $P_{_V-ant2}$, $P_{_V-ant3}$, $P_{_H-ant1}$, $P_{_H-ant2}$, $P_{_H-ant3}$), ledit ensemble de pointes métalliques (104) étant configuré pour adapter l'impédance de l'antenne pour un balayage dans le plan E.
- [Revendication 2] Dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle selon la revendication 1 dans lequel l'écran de transmission est une structure composée d'une ou plusieurs couches diélectriques.
- [Revendication 3] Dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle selon la revendication 1 dans lequel l'écran de transmission est une structure composée de méta-surfaces (P_1, P_2, P_3, P_4) monocouches ou multicouches sur laquelle est disposée une grille périodique de motifs métalliques.
- [Revendication 4] Dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle selon la revendication 1 dans lequel l'écran de transmission (103) est une grille périodique de plusieurs cellules, chaque cellule (200) comprenant un cadre de support et au moins une interconnexion (300) interne audit cadre de support, ledit cadre de support étant inscrit dans un prisme, ayant un axe Z' donné, ledit prisme comprenant N faces reliées entre elles par N arêtes, orientées selon l'axe du prisme Z' , ledit cadre de support comprenant N éléments de coin, chaque élément de coin ayant un bord coïncidant avec une desdites arêtes du prisme, les éléments de coins étant agencés de sorte que le cadre de support présente, sur chaque face du prisme, une fente s'étendant selon l'axe du prisme Z' ; et en ce que

chaque interconnexion interne (300) comprend N tiges inductives comprenant chacune deux extrémités, les tiges inductives ayant chacune une première extrémité reliée à un desdits bords du cadre de support, les deuxièmes extrémités des tiges inductives étant reliées entre elles au niveau d'un point de connexion de tiges, ledit point de connexion de tiges étant positionné sensiblement au centre dudit cadre de support dans un plan orthogonal à l'axe du prisme Z' ,

- [Revendication 5] Dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle selon la revendication 4 dans lequel les pointes métalliques (104,400) sont positionnées dans le prolongement de chaque arête de chacune des cellules.
- [Revendication 6] Dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle selon l'une quelconque des revendications 4 ou 5 dans lequel une pointe métallique (500) dudit ensemble est positionnée sur ledit point de connexion de tiges.
- [Revendication 7] Dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel les pointes métalliques (104,400) sont disposées, au moins partiellement, sur la surface de l'écran de transmission opposée à la première surface.
- [Revendication 8] Dispositif antenne comprenant une antenne réseau à éléments rayonnants (101) aptes à rayonner un champ d'ondes transverses électromagnétiques et un dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle (102) selon l'une quelconque des revendications précédentes et positionné sur ledit réseau d'éléments rayonnants .
- [Revendication 9] Dispositif antenne selon la revendication 8 dans lequel le dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle (102) est positionné à une distance non nulle du réseau d'éléments rayonnants.
- [Revendication 10] Dispositif antenne selon la revendication 8 dans lequel le dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle (102) est positionné au contact du réseau d'éléments rayonnants.
- [Revendication 11] Procédé de conception d'un dispositif d'adaptation d'impédance à grand angle selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 comprenant :
 - Une première étape de dimensionnement de l'écran de transmission (103) de manière à optimiser l'adaptation d'impédance pour le balayage de l'antenne réseau dans le plan H ,
 - Une seconde étape de dimensionnement de l'ensemble de pointes métalliques (104) de manière à optimiser l'adaptation

d'impédance pour le balayage de l'antenne réseau dans le plan E sans modifier l'adaptation préalablement réalisée dans le plan H

- [Revendication 12] Procédé de conception d'un dispositif d'adaptation d'impédance selon la revendication 11 dans lequel la seconde étape de dimensionnement de l'ensemble de pointes métalliques (104) consiste au moins à dimensionner la longueur des pointes.
- [Revendication 13] Procédé de conception d'un dispositif d'adaptation d'impédance selon l'une quelconque des revendications 11 ou 12 en combinaison avec la revendication 4 dans lequel la première étape de dimensionnement de l'écran de transmission (103) consiste au moins à dimensionner au moins un paramètre parmi : la dimension des tiges inductives, la dimension des fentes, la position des tiges inductives selon l'axe du prisme Z', le nombre d'interconnexions internes.
- [Revendication 14] Procédé de conception d'un dispositif antennaire selon la revendication 8 comprenant l'exécution du procédé de conception d'un dispositif d'adaptation d'impédance selon l'une quelconque des revendications 11 à 13 dans lequel la première étape de dimensionnement comprend en outre le dimensionnement de la distance entre le réseau d'éléments rayonnants et le dispositif d'adaptation d'impédance.

[Fig. 1]

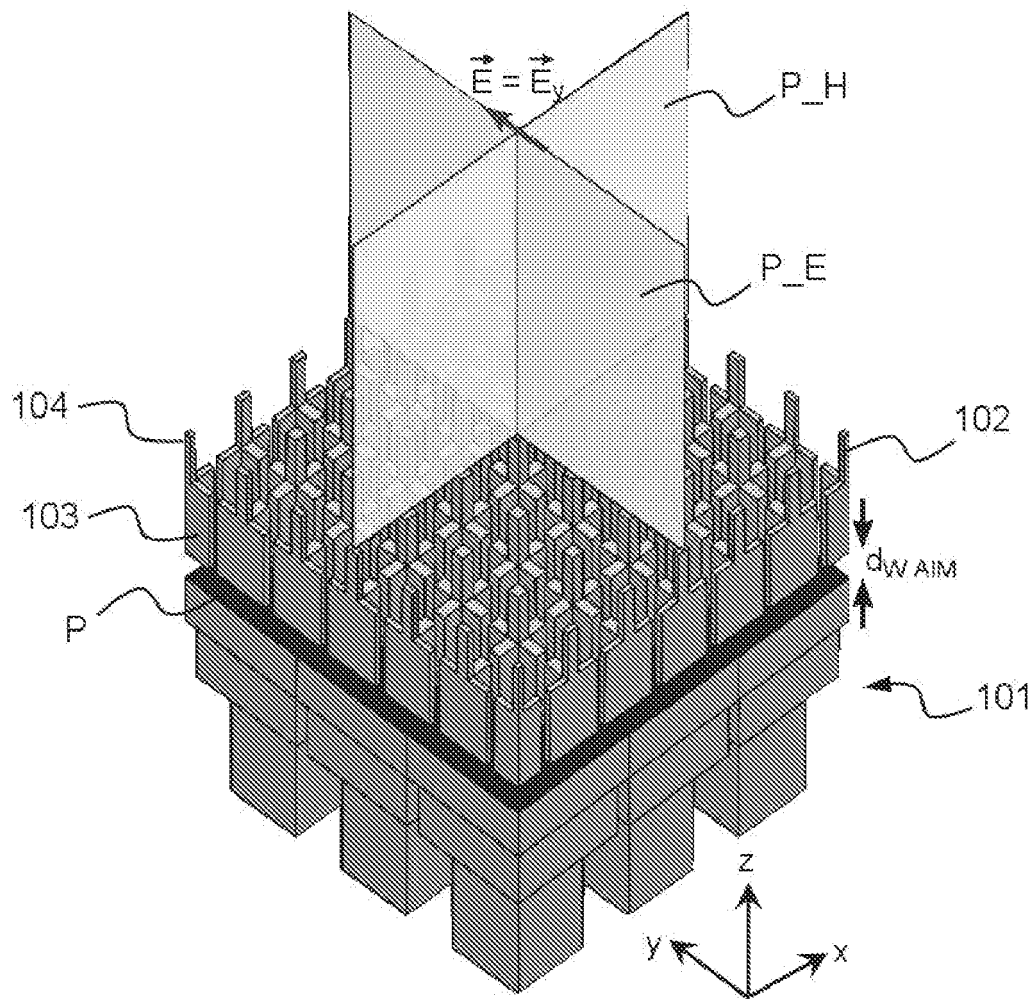


FIG.1

[Fig. 2]

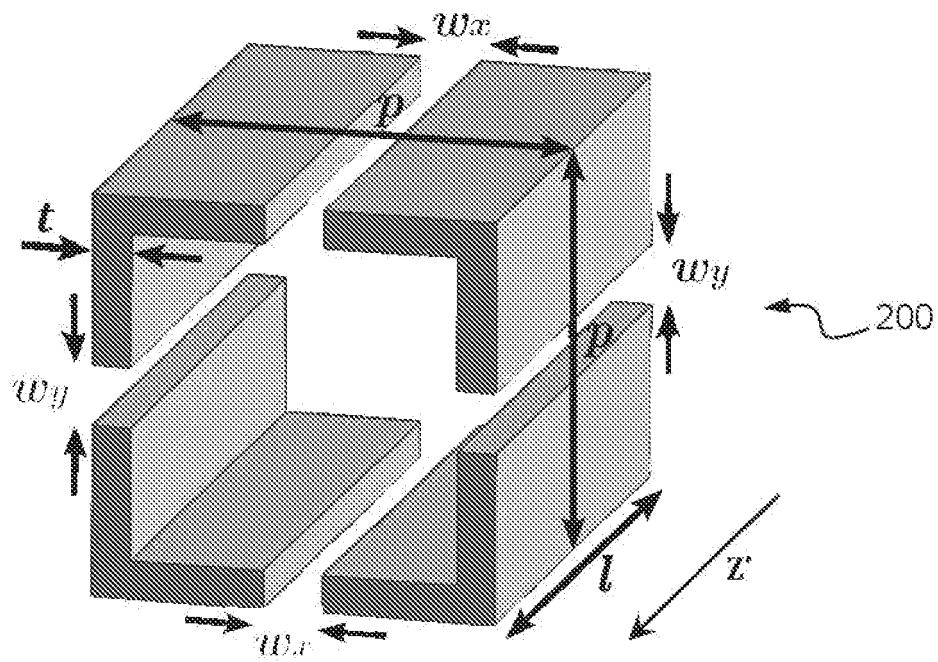


FIG.2

[Fig. 3]

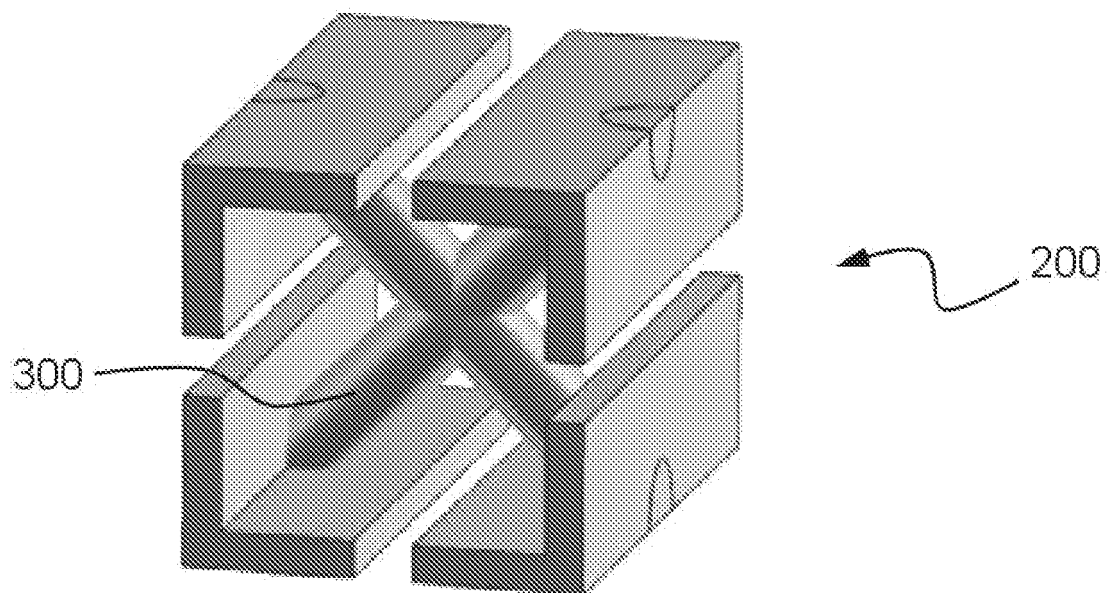


FIG.3

[Fig. 4]

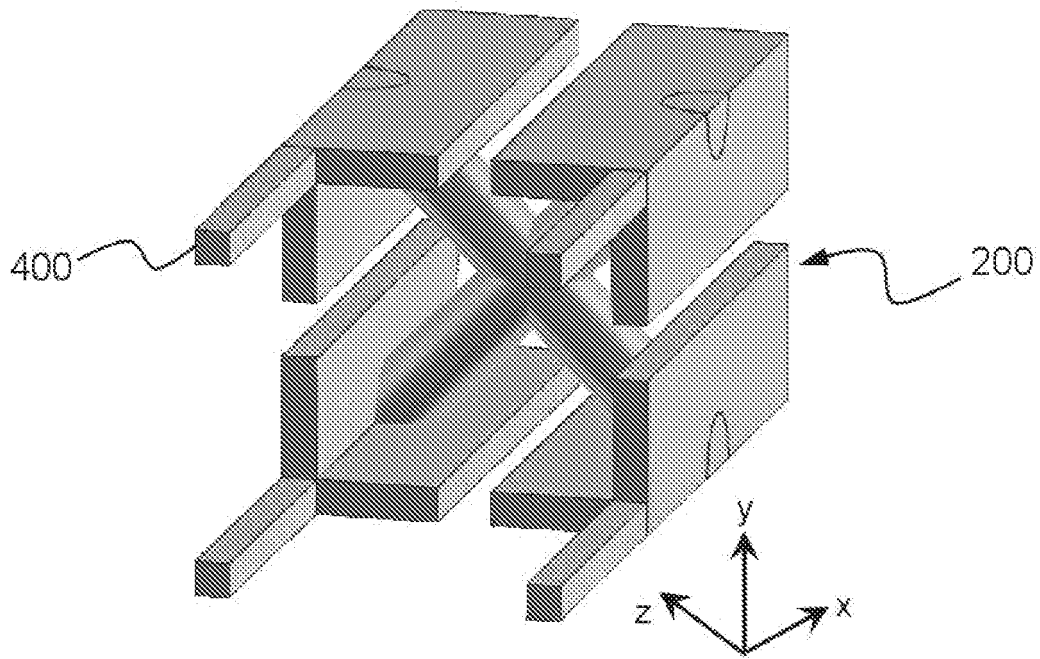


FIG.4

[Fig. 5]

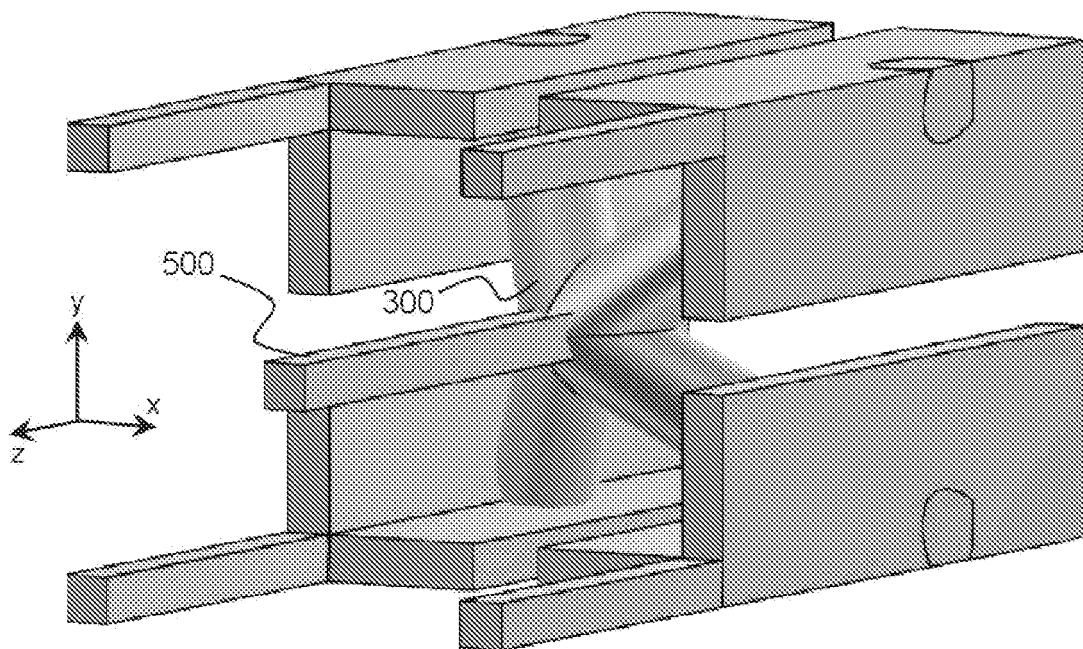


FIG.5

[Fig. 6]

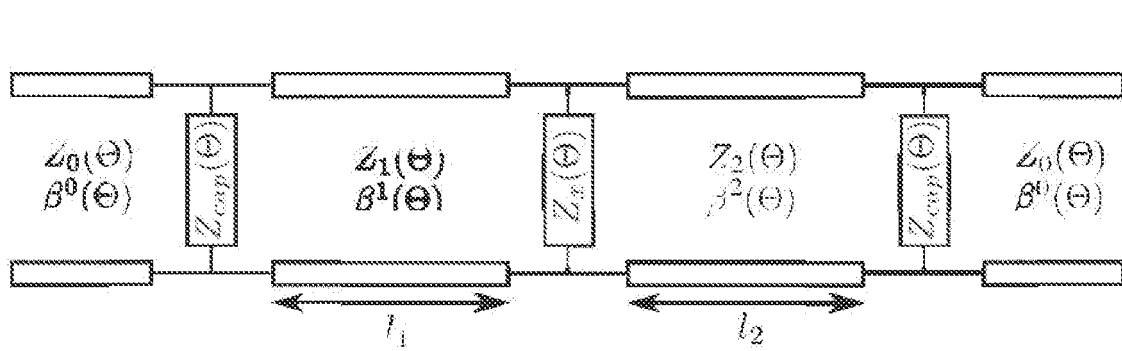


FIG.6

[Fig. 7]

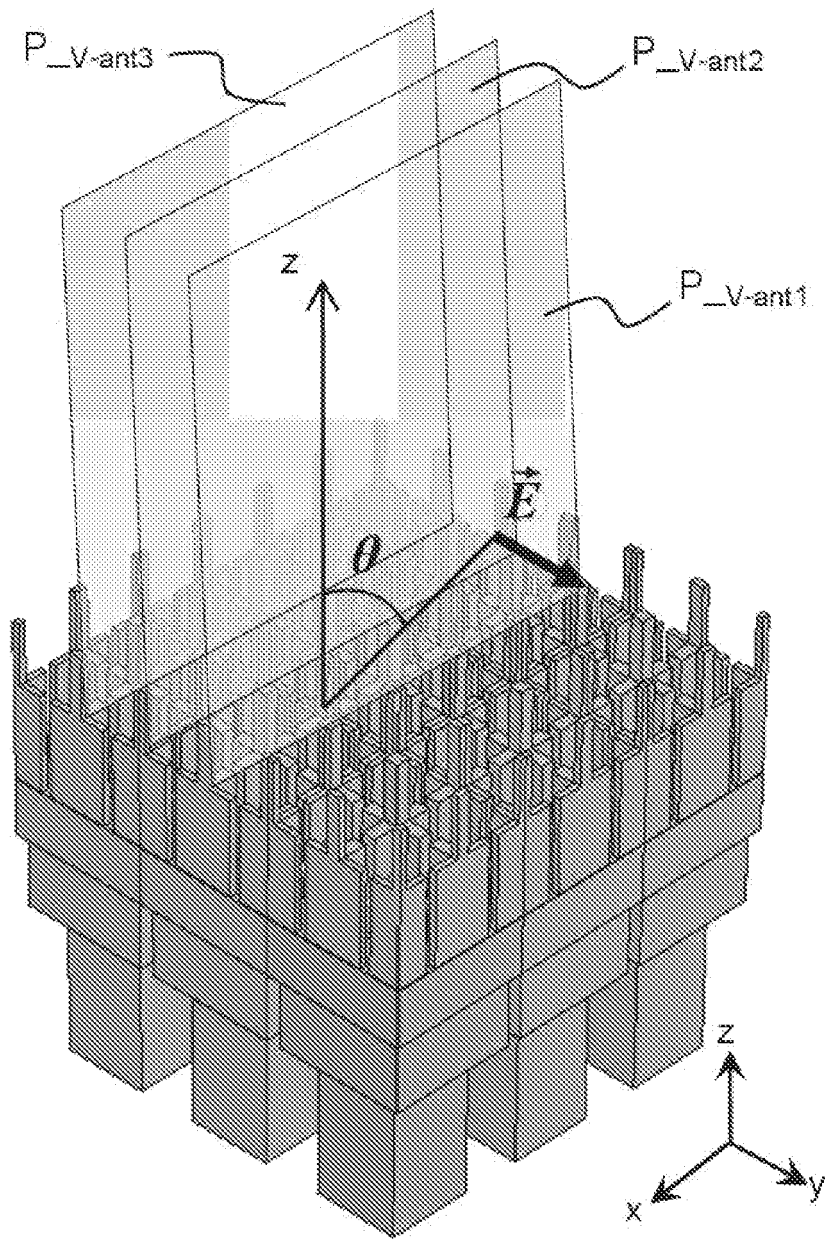


FIG.7

[Fig. 8]

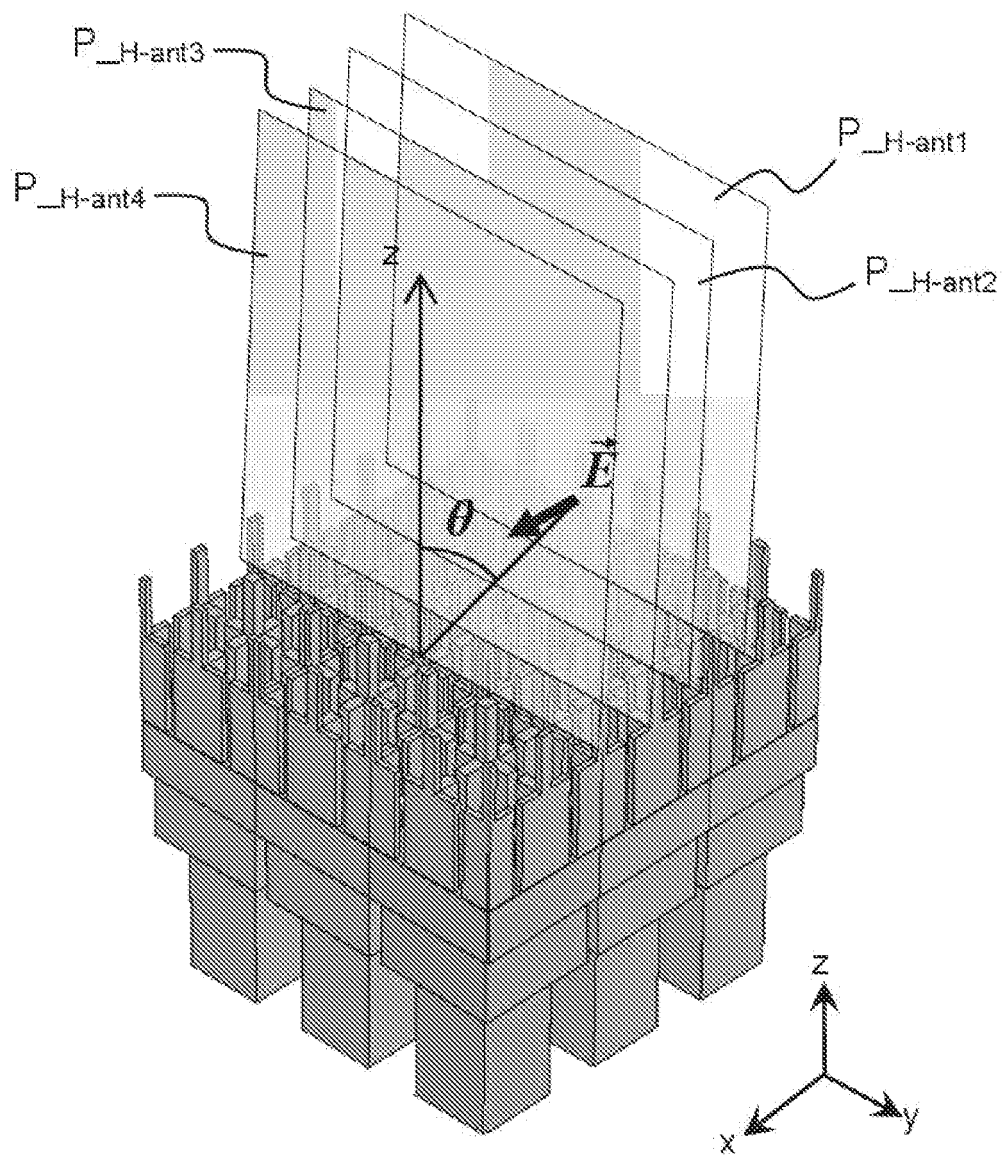


FIG.8

[Fig. 9]

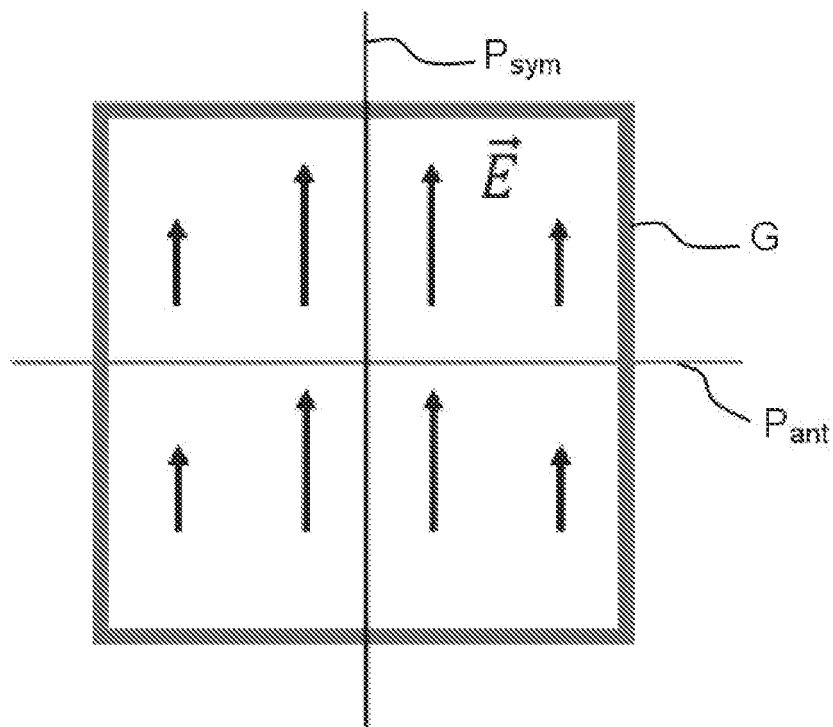


FIG.9

[Fig. 10]

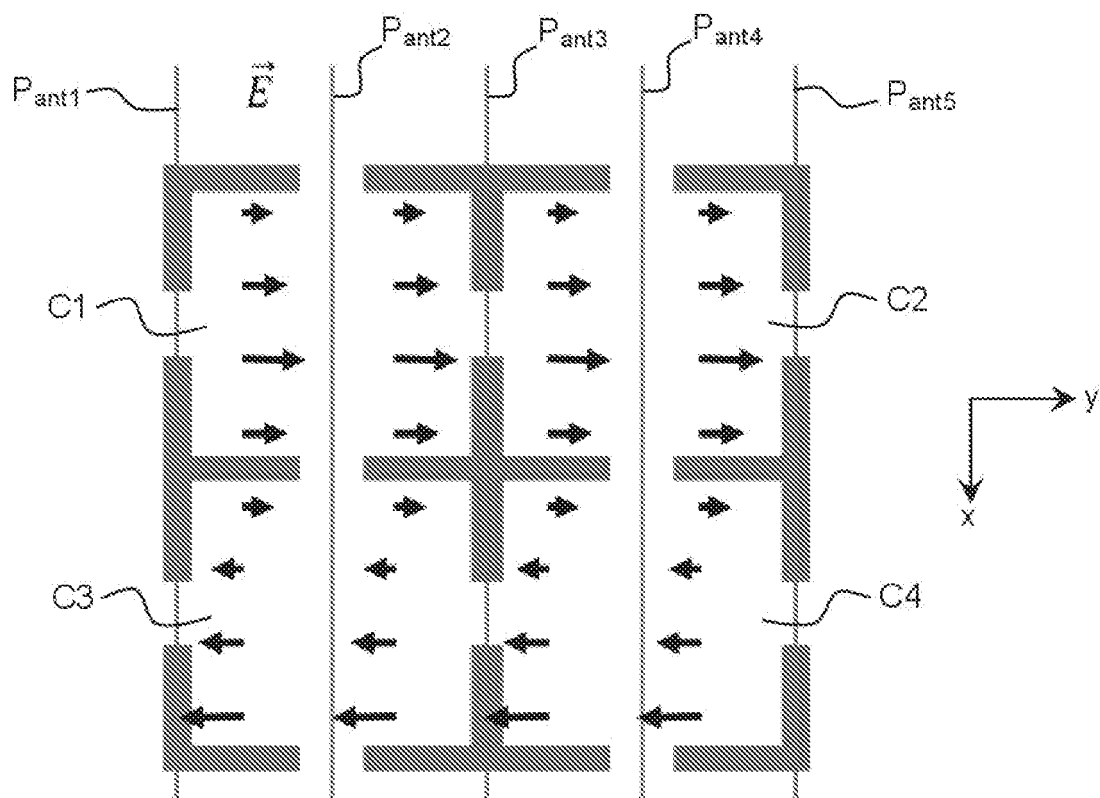


FIG.10

[Fig. 11]

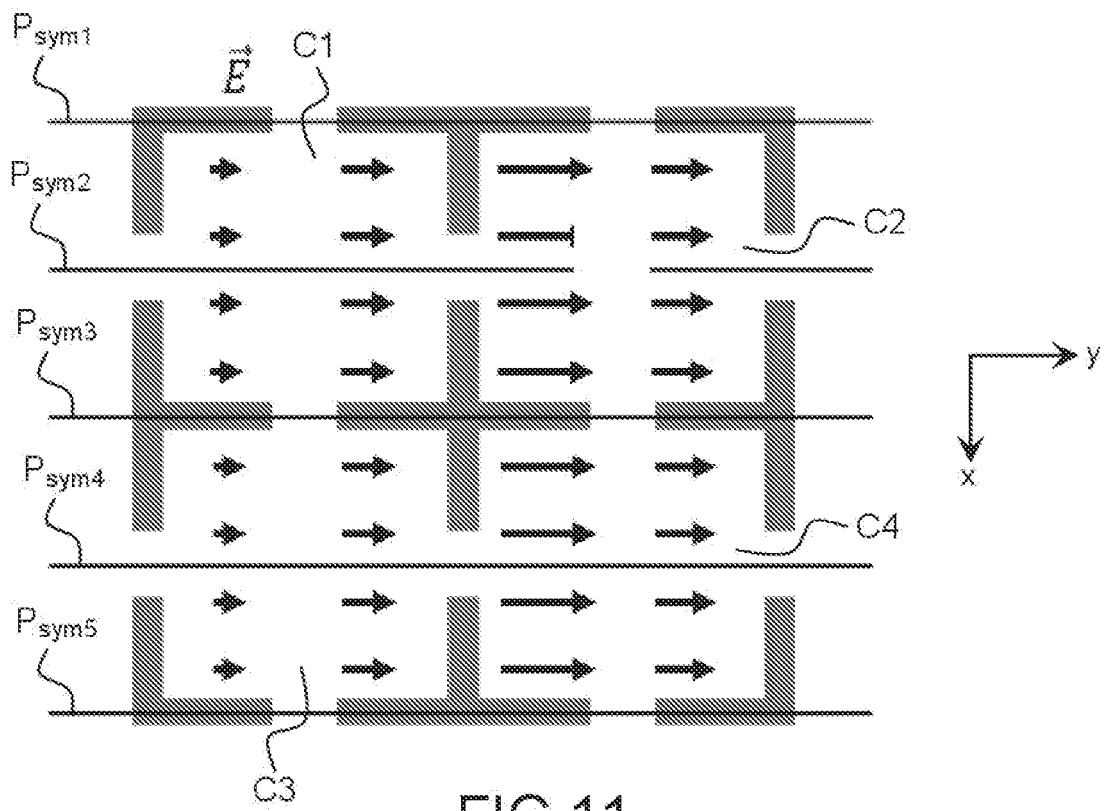


FIG.11

[Fig. 12]

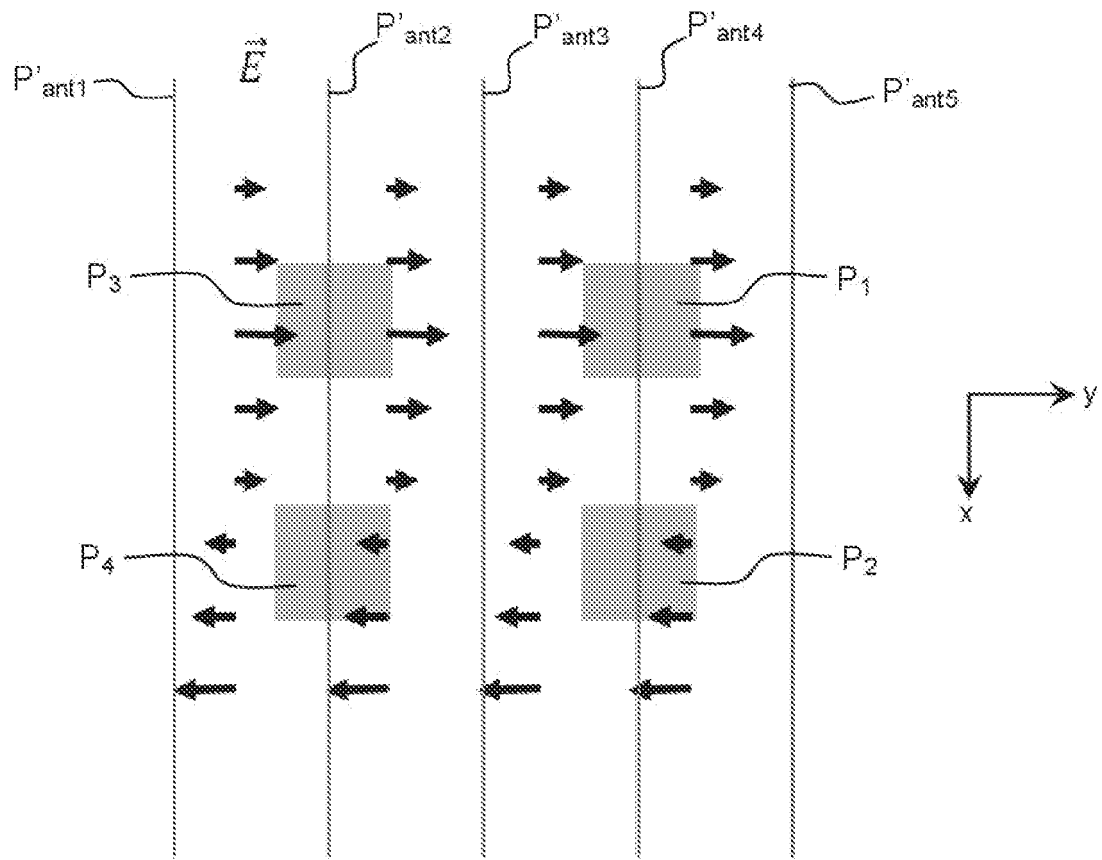


FIG.12

[Fig. 13]

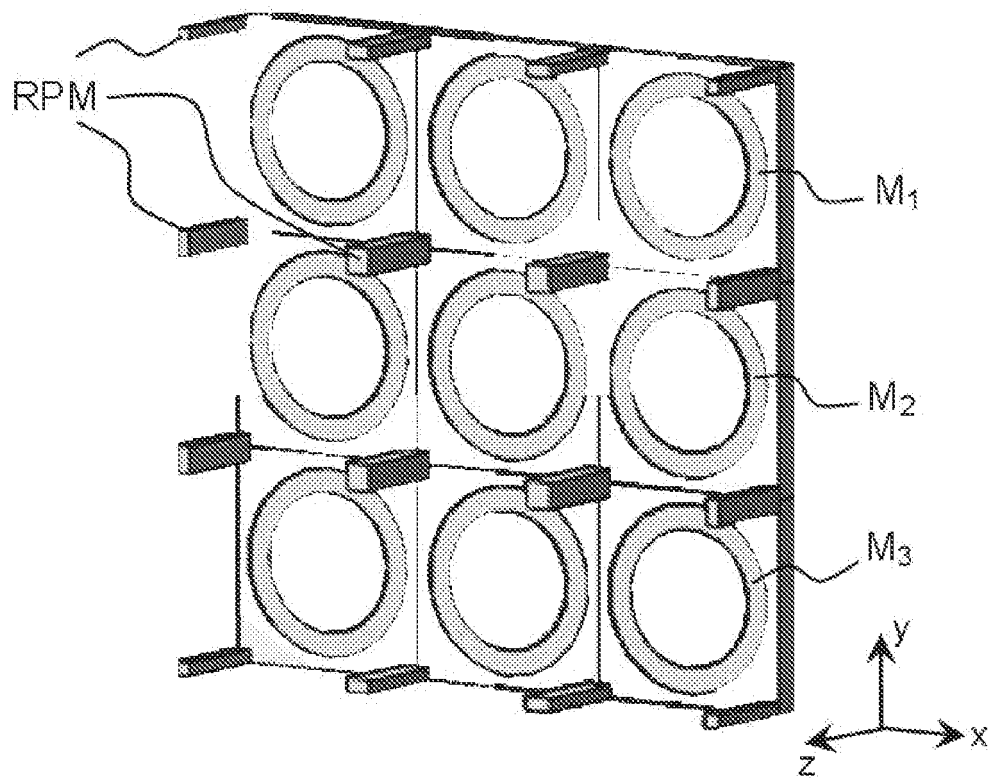


FIG. 13

[Fig. 14]

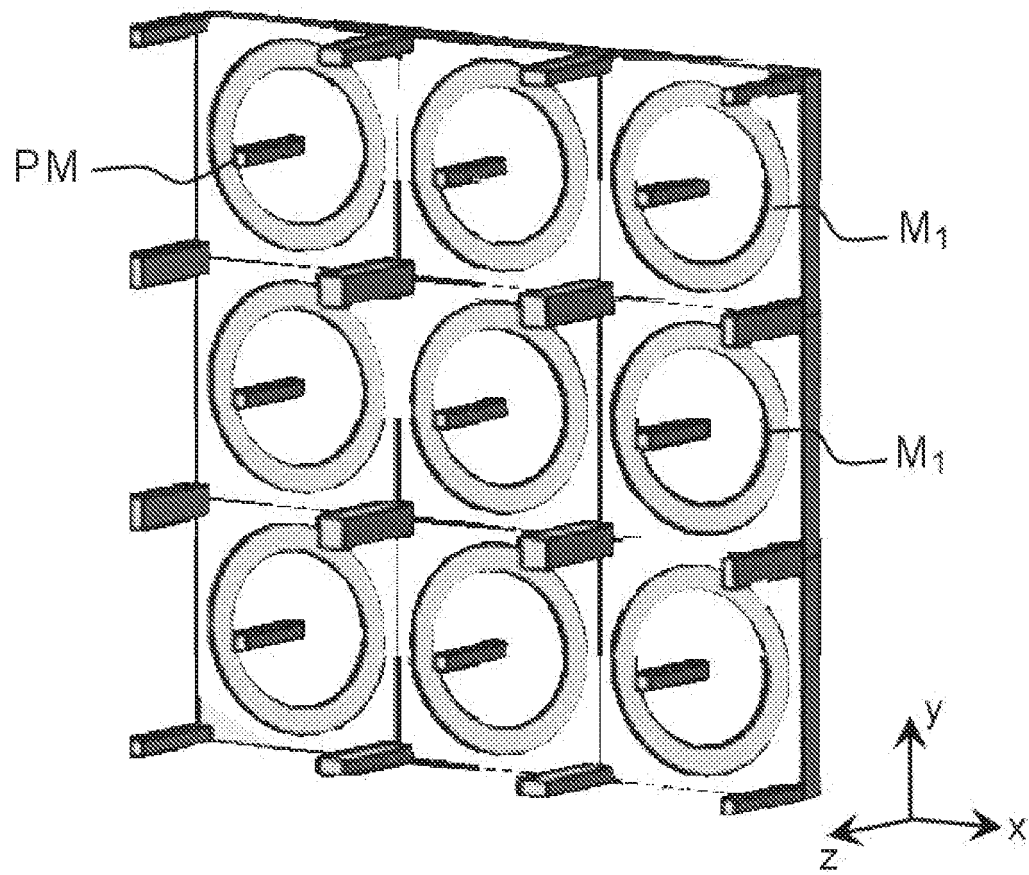


FIG.14

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 917596
FR 2214203

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	LIANG XIUYE ET AL: "Scan Blindness Free Design of Wideband Wide-Scanning Open-Ended Waveguide Phased Array", IEEE ACCESS, IEEE, USA, vol. 9, 22 avril 2021 (2021-04-22), pages 68127-68138, XP011854184, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3074867 [extrait le 2021-05-10]	1, 2, 7, 8, 10-12, 14	H01Q 1/36
A	* le document en entier *	3-6, 9, 13	
X	QI ZHANG ET AL: "Metamaterial-based linear phased array antenna with improved wide-angle scanning bandwidth by parasitic metal strips", IET MICROWAVES, ANTENNAS & PROPAGATION, THE INSTITUTION OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, UNITED KINGDOM, vol. 15, no. 13, 10 septembre 2021 (2021-09-10), pages 1699-1709, XP006112776, ISSN: 1751-8725, DOI: 10.1049/MIA2.12187	1-3, 7-9, 11, 14	
A	* le document en entier *	4-6, 10, 12, 13	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H01Q
X	CN 104 934 700 A (724TH RES INST CN SHIPBUILDING) 23 septembre 2015 (2015-09-23)	1-3, 8, 9, 11, 14	
A	* alinéa [0008] - alinéa [0014]; figures 1, 2 *	4-7, 10, 12, 13	
	----- -/--		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
27 octobre 2023		Keyrouz, Shady	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
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			

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 917596
FR 2214203

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	BERMÚDEZ-MARTÍN DIEGO ET AL: "Methodology for Improving Scanning Performance Loading an Array Element with a 3D All-Metal WAIM", ELECTRONICS, vol. 11, no. 18, 9 septembre 2022 (2022-09-09), pages 2-11, XP093023510, Basel, Switzerland ISSN: 2079-9292, DOI: 10.3390/electronics11182848 * le document en entier * -----	1-14	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
27 octobre 2023		Keyrouz, Shady	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS 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 bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2214203 FA 917596

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **27-10-2023**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

CN 104934700 A 23-09-2015 AUCUN