

⑤④ Antenne élémentaire de type micro-ruban et antenne réseau améliorées.

②② Date de dépôt : 16.12.21.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *THALES Société anonyme* — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 23.06.23 Bulletin 23/25.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 21.03.25 Bulletin 25/12.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : RENARD Christian, AYISSI MANGA
Aurélien, FOURMONT Jean-François et HERAULT
Joël.

⑦③ Titulaire(s) : *THALES Société anonyme*.

⑦④ Mandataire(s) : *ATOUT PI LAPLACE*.



Description

Titre de l'invention : Antenne élémentaire de type micro-ruban et antenne réseau améliorées

Domaine technique

- [0001] La présente invention se rapporte au domaine des antennes électromagnétiques de type réseau et notamment des antennes actives. Elle s'applique notamment aux radars, aux systèmes de guerre électronique (tels que les détecteurs de radar et les brouilleurs de radar) ainsi qu'aux systèmes de communication ou autres systèmes multifonctions.

Technique antérieure

- [0002] Une antenne dite réseau comprend une pluralité d'antennes élémentaires pouvant être préférentiellement du type microruban, aussi appelées antennes pavé ou antenne « patch » en terminologie anglo-saxonne. Ces antennes pavées comprennent un empilement de couches de substrats diélectriques pourvus de pistes métalliques, espacées le cas échéant par des matériaux ou des substrats non gravés.
- [0003] La technologie des antennes élémentaires microruban permet de réaliser des antennes très compactes, en particulier des antennes réseaux à balayage électronique compactes, et plus simples à réaliser et donc moins onéreuses que d'autres types d'antennes (guides d'onde, Vivaldi...).
- [0004] Une antenne élémentaire microruban comprend classiquement un élément rayonnant placé sur une couche de diélectrique disposé au-dessus d'un plan conducteur servant de masse de sorte à constituer un résonateur. L'antenne élémentaire comprend également un dispositif de répartition de puissance permettant d'exciter l'élément rayonnant à partir d'un signal d'entrée. Le dispositif rayonnant est couplé à son excitation par trou métallisé (appelé via) ou par une fente. Le couplage électromagnétique par fente permet de générer plus aisément une bande de fréquence large. Il permet également d'éviter tout via de liaison entre les éléments rayonnants et l'excitation ce qui simplifie la fabrication de l'antenne élémentaire.
- [0005] On prévoit classiquement des moyens d'excitation aptes à exciter simultanément le dispositif rayonnant selon deux polarisations linéaires orthogonales. Cela permet de choisir la polarisation la plus adaptée à un environnement donné (en combinant ces 2 polarisations avec une relation amplitude phase appropriée). Un exemple d'une telle antenne est donné dans le brevet FR1873475.
- [0006] Les antennes réseau forment un réseau d'antennes élémentaires dont le pas est de l'ordre de $\lambda_{F_{\max}}/2$, où $\lambda_{F_{\max}}$ est la plus petite longueur d'onde correspondant à la fréquence maximale $F_{\max}$ de la bande ce qui est une contrainte forte sur les dimensions des antennes élémentaires.

- [0007] Une telle antenne élémentaire présente un encombrement global de forme carré (ou rectangulaire) tout-à-fait adapté pour une antenne réseau à maillage carré (ou rectangulaire), pour une double polarisation linéaire h et v. La [Fig.1A] illustre une antenne réseau AR comprenant une pluralité d'antennes élémentaires AE agencées dans un maillage carré. L'obtention de polarisations $+45^\circ$ et -45° avec le même pas de maillage carré (donc pour la même capacité de pointage du faisceau) est impossible, du fait de l'encombrement du patch car cela nécessiterait un recouvrement des antennes élémentaires. La [Fig.1B] illustre le chevauchement qu'il existerait entre les antennes élémentaires AE d'une antenne réseau AR avec un maillage carré avec le même pas que celui de la [Fig.1A], pour deux polarisations $+45^\circ$ et -45° . De même, l'utilisation de cette antenne élémentaire dans un maillage triangulaire visant une capacité de pointage semblable suivant les deux axes principaux est impossible à cause du chevauchement qu'il existerait entre les antennes élémentaires AE (voir [Fig.1C]).
- [0008] En outre, une antenne élémentaire présente typiquement un encombrement d'une demi-longueur d'onde dans le milieu diélectrique équivalent considéré à la fréquence centrale d'utilisation. On parle alors de fonctionnement en mode fondamental TM₁₀ pour une polarisation linéaire donnée.
- [0009] Toutefois, si cette bande passante est réduite autour de la fréquence centrale d'utilisation, une antenne élémentaire va se retrouver naturellement résonante aux fréquences où son encombrement devient multiple d'une demi-longueur d'onde aux fréquences considérées. L'antenne élémentaire redevient adaptée en impédance et va pouvoir à nouveau rayonner. Ainsi, l'antenne va pouvoir rayonner à la fréquence double de la fréquence centrale d'utilisation, dite harmonique 2 (H2) ou fréquence octave, ou à la fréquence triple, dite harmonique 3 (H3). La répartition des courants et des champs à l'intérieur de l'antenne élémentaire est différente de celles du mode fondamental (mode TM₂₀ pour H2 par exemple), donnant un rayonnement différent (par exemple creux dans l'axe et rayonnement sur les côtés pour H2).
- [0010] Or ces harmoniques, particulièrement H2, sont générés par les circuits actifs non linéaires des modules des antennes réseaux actives à balayage électronique. Pour des raisons d'allocation de fréquences, ou des raisons de discrétion électromagnétique, ou pour éviter des phénomènes de brouillage, il faut bloquer la possibilité de rayonnement en dehors de la bande d'utilisation de l'antenne. Pour cela il est possible d'inclure du filtrage en sortie des modules actifs, mais cette solution présente les inconvénients de pertes ohmiques, d'implantation et d'encombrement.
- [0011] L'invention vise à pallier certains problèmes de l'art antérieur. A cet effet, un objet de l'invention est une antenne de type microruban versatile, pouvant être utilisés dans toute antenne réseau destinée à opérer dans une bande de fréquence donnée et dont la double polarisation linéaire est ajustable par orientation des antennes élémentaires (par

exemple Horizontale et Verticale, $+45^\circ$ et -45° , ou encore polarisation circulaire gauche et/ou droite). L'antenne élémentaire de l'invention est excitée par l'intermédiaire de fentes afin de les coupler à une ou plusieurs lignes conductrices, sans connexion physique. Avantageusement, l'antenne élémentaire intègre une fonction de filtrage fréquentiel destiné à éliminer des signaux parasites pouvant transiter à l'émission ou à la réception, sans altérer les performances en rayonnement. De plus, l'antenne élémentaire présente une géométrie compatible de toute mise en réseau, donc en particulier compatible d'un maillage rectangulaire ou d'un maillage triangulaire.

Résumé de l'invention

[0012] A cet effet, un objet de l'invention est Antenne élémentaire (1) de type micro-ruban comprenant un empilement de couches, empilées selon une direction z , ledit empilement comprenant :

- un premier élément rayonnant conducteur en forme de disque présentant un premier centre, un axe selon la direction z et passant par ledit premier centre étant appelé axe central ;
- un dispositif d'excitation couplé au premier élément rayonnant et adapté pour exciter le premier élément rayonnant selon deux polarisations linéaires orthogonales, ledit dispositif d'excitation comprenant :
 - un premier dispositif d'excitation élémentaire couplé au premier élément rayonnant et comprenant une première ligne conductrice et un premier dispositif de répartition de puissance adapté pour d'exciter le premier élément rayonnant à partir d'un premier signal d'entrée ;
 - un deuxième dispositif d'excitation élémentaire couplé au premier élément rayonnant et comprenant une deuxième ligne conductrice et un deuxième dispositif de répartition de puissance adapté pour d'exciter le premier élément rayonnant à partir d'un deuxième signal d'entrée ;
 - un ensemble de couplage adapté pour coupler le dispositif d'excitation et le premier élément rayonnant, ledit ensemble de couplage comprenant :
 - une première fente comprenant un centre dit centre de fente situé sur ledit axe central
 - une deuxième fente comprenant un centre confondu avec le centre de fente, et sensiblement perpendiculaire à la première fente, la première et la deuxième fentes comprenant chacune des extrémités en arc de cercle selon un même cercle centré sur ledit centre de fente
 - lesdites fentes et lesdites couches empilées étant adaptées pour qu'un encombrement transverse de ladite antenne élémentaire soit en forme de disque.

- [0013] Selon un mode de réalisation, le dispositif d'excitation comprend :
- un premier (S1) et un deuxième segments de ligne conductrice, coplanaires et reliés à la première ligne conductrice, et non perpendiculaire à la première ligne conductrice, un angle entre le premier segment et la première ligne conductrice étant opposé à un angle entre le deuxième segment et la première ligne conductrice.
 - un troisième et un quatrième segments de ligne conductrice, coplanaires et reliés à la deuxième ligne conductrice, et non perpendiculaire à la deuxième ligne conductrice, un angle entre le troisième segment et la deuxième ligne conductrice étant opposé à un angle entre le quatrième segment et la deuxième ligne conductrice.
- [0014] Préférentiellement, dans ce mode de réalisation, le premier et le deuxième segments sont parallèles à la première fente et dans laquelle le troisième et le quatrième segments sont parallèles à la deuxième fente. Préférentiellement, un ensemble formé par le premier, le deuxième segments et une portion de la première ligne conductrice reliant le premier segment au deuxième segment, forme la lettre Z, et dans laquelle un ensemble formé par le troisième, le quatrième segments et une portion de la deuxième ligne conductrice reliant le troisième segment au quatrième segment, forme la lettre Z. Préférentiellement, le premier segment est en regard d'un bord de la première fente et le troisième segment est en regard d'un bord de la deuxième fente. Préférentiellement,, les segments de ligne conductrice sont sensiblement de même longueur. Préférentiellement, la longueur des segments de ligne conductrice est environ égale à $\lambda_c / 4$ avec λ_c une longueur d'onde correspondant à une fréquence centrale d'une bande passante de ladite antenne élémentaire.
- [0015] Selon un mode de réalisation, un milieu de ladite première ligne est situé sur ledit axe central, dans laquelle un milieu de ladite deuxième ligne est situé sur ledit axe central, et dans laquelle la première et la deuxième lignes sont perpendiculaire entre elles. Préférentiellement, la première ligne et la deuxième ligne sont formées sur deux faces opposées d'un premier substrat diélectrique.
- [0016] Selon un mode de réalisation, ledit encombrement transverse est fixé à partir d'un diamètre dudit cercle.
- [0017] Selon un mode de réalisation, un angle entre la première fente et la première ligne conductrice et un angle entre la deuxième fente et la deuxième ligne conductrice est égal à environ 45° .
- [0018] Selon un mode de réalisation, les première et deuxième lignes conductrices sont interposées entre le premier élément rayonnant et la première et la deuxième fente, la première et la deuxième fente étant formées à partir d'un plan métallique, formant un plan de masse pour les première et deuxième lignes conductrices et pour le premier

élément rayonnant.

[0019] Selon un mode de réalisation, le dispositif comprend un deuxième élément rayonnant en forme de disque superposé au premier élément rayonnant, et présentant un deuxième centre situé sur ledit axe central.

[0020] Un autre objet de l'invention, est une antenne réseau comprenant une pluralité d'antennes élémentaires selon l'invention.

[0021] Selon un mode de réalisation, la pluralité d'antennes élémentaires est agencée avec un maillage carré ou rectangulaire.

[0022] Selon un mode de réalisation, la pluralité d'antennes élémentaires est agencée avec un maillage triangulaire.

Brève description des dessins

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

[0024] [Fig.1A], une illustration schématique d'une antenne réseau connue de l'art antérieur comprenant une pluralité d'antennes élémentaires agencées dans un maillage carré,

[0025] [Fig.1B], une illustration schématique d'une antenne réseau avec un maillage carré avec le même pas que celui de la [Fig.1A], pour deux polarisations $+45^\circ$ et -45°

[0026] [Fig.1C], une illustration schématique d'une antenne réseau avec un maillage triangulaire avec le même pas que celui de la [Fig.1A]

[0027] [Fig.2A], une vue schématique éclatée d'une antenne élémentaire selon l'invention,

[0028] [Fig.2B], une vue schématique en coupe de l'antenne élémentaire selon l'invention,

[0029] [Fig.2C], une vue schématique éclatée d'une antenne élémentaire selon un mode de réalisation de l'invention,

[0030] [Fig.3], une vue de dessus et en transparence d'un l'empilement formé par des éléments de l'antenne élémentaire de la [Fig.2C],

[0031] [Fig.4]], une vue de dessus et en transparence d'un l'empilement formé par des éléments d'un mode de réalisation avantageux de l'antenne élémentaire de l'invention,

[0032] [Fig.5], une représentation graphique du paramètre S11 de deux modes de réalisation de l'antenne élémentaire de l'invention comprenant des segments de lignes S1-S4 selon le mode de réalisation de la [Fig.4]

[0033] [Fig.6], une antenne réseau selon un mode de réalisation de l'invention dans laquelle les antennes élémentaires sont agencées dans un maillage carré,

[0034] [Fig.7], une antenne réseau selon un mode de réalisation de l'invention

[0035] [Fig.8], une antenne réseau selon un mode de réalisation de l'invention.

[0036] Dans les figures, sauf contre-indication, les éléments ne sont pas à l'échelle.

[0037] Par deux « éléments parallèles », dans la suite du texte, on entend qu'un angle entre

les éléments est compris entre 0° et 10° .

Description des modes de réalisation

- [0038] La [Fig.2A] représente schématiquement une vue éclatée d'une antenne élémentaire 1 selon l'invention, du type planaire -aussi appelée antenne microruban-.
- [0039] L'antenne élémentaire est apte à être dans une configuration plane dans laquelle l'empilement comprend un empilement de couches sensiblement planes et perpendiculaires à une direction d'empilement représentée par l'axe z. L'antenne élémentaire peut être flexible et être apte à présenter une configuration courbe dans laquelle les couches sont courbes. Dans la suite du texte, pour plus de simplicité, nous décrirons l'agencement de l'antenne dans sa configuration plane.
- [0040] L'empilement comprend des plans conducteurs parallèles, espacés selon l'axe z qui leur est orthogonal. La [Fig.2B] présente une vue en coupe de l'antenne élémentaire. Pour plus de lisibilité, seuls les plans conducteurs sont représentés dans les figures 2A et 2B, hormis ceux qui sont explicitement cités dans la description. Des intervalles sont ménagés entre les plans conducteurs successifs. Ces intervalles comprennent chacun au moins une couche d'un substrat diélectrique qui peut, par exemple, être une couche d'air ou de mousse.
- [0041] Selon un mode de réalisation, l'antenne élémentaire 1 comprend un premier élément rayonnant conducteur P1 en forme de disque présentant un premier centre C1. On définit un axe central AC passant par le premier centre C1 et selon la direction $\vec{z}$. Alternativement, selon un autre mode de réalisation et comme illustré en figures 2A et 2B, l'antenne 1 comprend un deuxième élément rayonnant P2, lui aussi en forme de disque, superposé au premier élément rayonnant et présentant un deuxième centre C2 situé sur l'axe central AC. La présence de deux éléments résonnants permet l'élargissement de la bande passante de l'antenne. Les éléments résonnants sont ajustés pour réaliser un double résonateur.
- [0042] L'antenne élémentaire 1 comprend un dispositif d'excitation DE couplé au premier élément rayonnant et adapté pour exciter le premier élément rayonnant selon deux polarisations linéaires orthogonales h, v. Le dispositif d'excitation DE surmonte un plan de masse inférieur PMI qui est le plan de masse global de l'antenne 1. Par plan de masse, on entend un plan conducteur faisant office de plan de masse.
- [0043] Le dispositif d'excitation DE comprend :
- un premier dispositif d'excitation élémentaire couplé au premier élément rayonnant et comprenant une première ligne conductrice L1 et un premier dispositif de répartition de puissance DR1 adapté pour d'exciter le premier élément rayonnant à partir d'un premier signal d'entrée, via un premier point d'accès PA1 de la première ligne (non visible en [Fig.2A] mais représenté en

[Fig.3]).

- un deuxième dispositif d'excitation élémentaire couplé au premier élément rayonnant et comprenant une deuxième ligne conductrice L2 et un deuxième dispositif de répartition de puissance DR2 adapté pour d'exciter premier élément rayonnant à partir d'un deuxième signal d'entrée, via un deuxième point d'accès PA2 de la deuxième ligne (non visible en [Fig.2A] mais représenté en [Fig.3]).

[0044] Les lignes sont des lignes imprimées en technique microstrip ou triplaque. Une double polarisation linéaire est obtenue de façon classique avec deux excitations croisées. De façon classique, une polarisation circulaire gauche ou droite est réalisée par excitation en quadrature de phase des points d'accès PA 1, PA2 des polarisations linéaires croisées, sans modification de l'encombrement global. De manière préférentielle, les lignes ne sont pas coplanaires pour éviter des interactions parasites entre elles. De manière préférentielle, comme illustré en [Fig.2B], pour plus de compacité, la première ligne et la deuxième ligne sont formées sur deux faces opposées d'un premier substrat diélectrique PI2.

[0045] De plus, l'antenne élémentaire de l'invention comprend un ensemble de couplage adapté pour coupler le dispositif d'excitation et le premier élément rayonnant.

L'ensemble de couplage comprend :

- une première fente F1 comprenant un centre dit centre de fente CF situé sur l'axe central AC
- une deuxième fente F2 sensiblement perpendiculaire à la première fente et comprenant un centre confondu avec le centre de fente. Par « sensiblement perpendiculaire », on entend qu'un angle entre la première et la deuxième fente est égal 90° à $\pm 10^\circ$. La symétrie des fentes assure pour chaque polarisation linéaire l'absence de génération de polarisation croisée pénalisante. L'utilisation de fente perpendiculaire permet de découpler les deux polarisations linéaires.

[0046] De manière préférentielle, comme illustré en figures 2A et 2B, les fentes F1, F2 sont coplanaires et réalisés dans un même plan PI1 afin de limiter le nombre de couches imprimées dans l'antenne élémentaire.

[0047] Afin d'élargir la bande passante de l'antenne élémentaire, les fentes F1, F2 comprennent chacune des extrémités E1, E1', E2, E2' en arc de cercle selon un même cercle CL centré sur le centre de fente.

[0048] Dans l'antenne élémentaire de l'invention, les fentes et les couches empilées sont adaptées pour qu'un encombrement transverse de l'antenne élémentaire soit en forme de disque. Ceci est permis, entre autre, par le choix judicieux de la géométrie des extrémités des fentes. Par « encombrement transverse », on entend ici l'empreinte au sol,

selon un plan perpendiculaire à la direction $\vec{z}$, formée par la couche présentant la plus grande dimension transverse. Ainsi, l'antenne élémentaire avec un encombrement transverse de type disque peut être utilisé dans une antenne réseau avec un maillage carré, rectangulaire ou triangulaire sans modification de la géométrie de l'antenne élémentaire et sans modification du pas du maillage du réseau (voir figures 6, 7). Cela implique que, via une simple rotation des antennes élémentaires, un utilisateur ajuste la polarisation linéaire du rayonnement, sans modifier une capacité de pointage du faisceau de l'antenne réseau. En outre, un encombrement transverse total de l'antenne réseau n'est pas modifié par la rotation des antennes élémentaires.

- [0049] De manière préférentielle, l'encombrement transverse est fixé à partir d'un diamètre du cercle. C'est-à-dire que, dans ce mode de réalisation, les fentes sont les éléments de la couche de l'empilement présentant la plus grande dimension transverse.
- [0050] Une fente F2 et ses extrémités ont une longueur de l'ordre d'une longueur d'onde dans le milieu diélectrique considéré.
- [0051] L'antenne élémentaire comprend un plan de masse des éléments rayonnants P1, P2. De manière préférentielle, les première et deuxième lignes conductrices sont interposées entre le premier élément rayonnant P1 et la première et la deuxième fente et la première et la deuxième fente sont formées à partir d'un plan métallique PI1, formant le plan de masse pour les lignes conductrices L1, L2 et pour les éléments rayonnants P1, P2. Par « à partir », on entend que les fentes sont par exemple gravées ou découpées sur le plan métallique. Ce mode de réalisation permet une plus grande compacité de l'antenne et un bon couplage électromagnétique entre lignes conductrices L1, L2 et les éléments rayonnants P1, P2.
- [0052] De manière préférentielle, selon un mode de réalisation, un milieu de la première ligne et un milieu de la deuxième ligne sont situés sur l'axe central, et la première et la deuxième lignes sont perpendiculaires entre elles pour être correctement découplées. Préférentiellement, un angle entre la première fente et la première ligne conductrice et un angle entre la deuxième fente et la deuxième ligne conductrice est égal à environ 45° . Par « environ 45° », on entend 45° à plus ou moins 10° . Ces caractéristiques permettent d'exciter, via les fentes F1, F2, le premier élément rayonnant au centre du premier élément rayonnant P1 afin d'assurer une bonne symétrie d'excitation sur toute la bande de fréquence de l'antenne élémentaire.
- [0053] De manière préférentielle, comme illustré en [Fig.2C], l'antenne élémentaire comprend un circuit imprimé triplaque multicouche CIP d'excitation des lignes qui est commun à une pluralité d'éléments de l'antenne élémentaire. Dans ce mode de réalisation, de manière préférentielle, l'encombrement transverse de l'antenne élémentaire est défini par le blindage réalisé dans le circuit imprimé triplaque d'alimentation, réalisé typiquement par une succession de trous métallisés (ou vias) TM court-

circuitant le plan métallique PI1 comportant les fentes en croix et le plan de masse inférieur PMI. C'est-à-dire que dans ce mode de réalisation, la dimension transverse est égale de la dimension du cercle CL formé les vias métallisés entourant les bords arrondis des fentes et blindant l'antenne élémentaire vis à vis des autres antennes élémentaires adjacentes lorsque l'antenne élémentaire est agencée dans un réseau.

[0054] La [Fig.3] illustre schématiquement une vue de dessus et en transparence d'un l'empilement formé par des éléments de l'antenne élémentaire de la [Fig.2C], une couche comprenant les fentes F1, F2, la ligne conductrice L1, et la ligne L2. Les vias métallisés TM définissant le cercle CL et donc l'encombrement transverse sont aussi représentés dans la [Fig.3].

[0055] Selon un mode de réalisation, différent de celui illustré dans la [Fig.2A], chaque fente est excitée en deux points d'excitation de part et d'autre du centre de fente CF par deux lignes imprimées respectives que l'on réunit sur une autre couche imprimée par un coupleur large bande équilibré. Dans ce mode de réalisation, l'antenne élémentaire 1 comprend donc quatre lignes imprimées. Ces caractéristiques permettent un fonctionnement très large bande avec une symétrie d'excitation élevée sur toute la bande de fréquence.

[0056] De manière préférentielle, le premier élément rayonnant comprend une mire optique placée en son premier centre C1 pour faciliter le centrage des différents éléments et des différents plans de l'empilement les uns avec les autres.

[0057] La [Fig.4] illustre schématiquement une vue de dessus et en transparence d'un l'empilement formé par des éléments d'un mode de réalisation avantageux de l'antenne élémentaire de l'invention, une couche comprenant les fentes F1, F2, la ligne conductrices L1, et la ligne L2. Dans ce mode de réalisation, l'antenne 1 permet de filtrer le rayonnement de l'antenne élémentaire en dehors de sa bande passante et permet éliminer des signaux parasites pouvant transiter à l'émission ou à la réception, sans altérer les performances en rayonnement. Pour cela, le dispositif d'excitation DE de l'antenne élémentaire 1 comprend :

- un premier S1 et un deuxième S2 segments de ligne conductrice, coplanaires et reliés à la première ligne conductrice L1 et non perpendiculaire à la première ligne conductrice L1. Un angle α_{11} entre le premier segment de ligne conductrice S1 et la première ligne conductrice est opposé à un angle α_{22} entre le deuxième segment de ligne conductrice S2 et la première ligne conductrice. Cela implique que les segments S1 et S2 sont parallèles entre eux.
- un troisième S3 et un quatrième S4 segments de ligne conductrice, coplanaires et reliés à la deuxième ligne conductrice et non perpendiculaire à la deuxième ligne conductrice L2. Un angle α_{21} entre le troisième segment S3 et la

deuxième ligne conductrice est opposé à un angle α_{22} entre le quatrième segment S4 et la deuxième ligne conductrice. Cela implique que les segments S1 et S2 sont parallèles entre eux.

[0058] Selon un mode de réalisation, les segments sont des segments de droite. Alternativement, selon un autre mode de réalisation, les segments sont des segments de courbes. Dans ce mode de réalisation, par « angle entre un segment et une ligne conductrice », on entend un angle entre une direction principale d'élongation du segment et la ligne conductrice.

[0059] Ces segments de lignes conductrices S1-S4 (ou « stubs » en anglais) sont des segments de ligne de propagation connectés à la ligne de propagation L1 ou L2, et destinés à ramener une certaine susceptance pure au niveau du point de jonction avec la ligne de propagation principale L1 ou L2. Un couple de deux segments en cascade permet un filtrage d'ordre 2, améliorant la bande du filtre formé par les segments et le niveau de réjection. La forme, le positionnement et la longueur de ces segments de lignes ont été optimisés par les inventeurs afin de se conformer à la contrainte d'implantation dans l'antenne élémentaire qui présente un encombrement transverse en forme de disque. Après de nombreux calculs, les inventeurs sont parvenus à un agencement astucieux qui permet de limiter l'impact des segments de lignes sur le fonctionnement de l'antenne élémentaire 1 dans sa bande passante, tout en optimisant le filtrage de l'harmonique 2 (H2) de la fréquence centrale de la bande passante de l'antenne élémentaire. L'optimisation des segments (forme, longueur) a été effectuée « manuellement » plutôt qu'automatiquement du fait des temps de simulation prohibitifs lorsqu'on travaille à la fois en bande de fréquence utile et en bande H2 sur le logiciel de simulation, et de la difficulté à converger. L'impact des segments de lignes a été observé sur les niveaux de TOS (Taux d'ondes stationnaires) dans la bande passante et le filtrage de H2 a été observé par le niveau de réjection et bande de fréquence. On note que l'utilisation de segments de ligne inclinés par rapport à la ligne sur laquelle ils sont reliés est différente de la géométrie habituellement utilisée pour le filtrage fréquentiel par stubs.

[0060] Dans le cas d'une ligne imprimé seule (ie : sans fentes F1, F2), la géométrie optimale pour un filtrage fréquentiel correspondrait à des segments de droites perpendiculaires à la ligne. Cependant, les inventeurs ont noté que dans l'antenne élémentaire de l'invention, cette géométrie conduit à un recouvrement spatial entre une des fentes et un segment dégradant fortement le fonctionnement de la fente. De même, un repliement important (c'est-à-dire un angle faible) des segments par rapport à la ligne conductrice à laquelle ils sont reliés, crée un important couplage parasite entre la ligne et les segments. C'est pourquoi, pour un fonctionnement optimal, il est préférable que le premier et le deuxième segments soient parallèles à la première fente et que le

troisième et le quatrième segments soient parallèles à la deuxième fente.

- [0061] La géométrie optimale correspond donc à celle illustrée dans en [Fig.4]. Dans ce mode de réalisation, un ensemble formé par le premier segment S1, le deuxième segment S2 et une portion de la première ligne conductrice reliant le premier segment au deuxième segment, forme la lettre Z. De même, un ensemble formé par le troisième segment S3, le quatrième segment S4 et une portion de la deuxième ligne conductrice reliant le troisième segment au quatrième segment, forme la lettre Z. De manière préférentielle, dans le mode de réalisation de la [Fig.4], afin d'optimiser le filtrage fréquentiel sans dégrader trop fortement le niveau de TOS de l'antenne élémentaire, le premier segment est en regard d'un bord de la première fente et le troisième segment est en regard d'un bord de la deuxième fente. Selon un autre mode de réalisation, la position des segments S1-S4 est différente de celle illustrée dans la [Fig.4] mais les segments S1 et S2 sont agencés de manière à être symétriques aux segments S3 et S4 respectivement, par une rotation d'axe central AC.
- [0062] Pour optimiser le filtrage fréquentiel, de manière préférentielle, les segments de ligne conductrice sont sensiblement de même longueur. Par sensiblement de même longueur, on entend que leur longueur est égale à $\pm 10\%$, préférentiellement 5% . De préférence, afin d'optimiser le filtrage de l'harmonique 2, la longueur des segments de ligne conductrice est sensiblement égale à $\lambda_c/4$, avec λ_c la longueur d'onde dans le milieu imprimé diélectrique considéré correspondant à la fréquence centrale de la bande de fréquence à filtrer (ici par exemple la bande autour de la fréquence harmonique H2). Cette longueur a été optimisée pour limiter les interactions parasites segments/fente, et segments/lignes imprimées triplaque, les interactions parasites entre les segments S1-S4 et lignes L1, L2 étant les plus critiques en terme de dégradation du TOS car elle entraîne un effet capacitif ayant tendance à modifier la longueur électrique des lignes.
- [0063] Grâce aux segments S1-S4, les niveaux de TOS sont maîtrisés dans la bande passante de l'antenne, pour toute la gamme angulaire de pointage électronique du faisceau. La fonction filtrage permet une réjection de l'ordre de -20 dB sur la bande harmonique H2 par rapport à l'antenne élémentaire sans les segments S1-S4.
- [0064] Un autre objet de l'invention est une antenne réseau 2 comprenant une pluralité d'antennes élémentaires 1 selon l'invention. Comme évoqué précédemment, le réseau 2 formé de l'antenne élémentaire de l'invention permet un contrôle facile de la polarisation du rayonnement émis par chaque antenne élémentaire du réseau via le contrôle de leur orientation, sans modification du maillage du réseau et sans modification de l'encombrement total du réseau.
- [0065] La [Fig.5] est une représentation graphique du paramètre S11 de deux modes de réalisation de l'antenne élémentaire de l'invention comprenant des segments de lignes S1-S4 selon le mode de réalisation de la [Fig.4]. L'abscisse est en GHz, F cor-

respondant à la fréquence minimale de la bande de fréquence utile de l'antenne réseau, et l'ordonnée est en dB. Pour rappel, le paramètre S_{11} d'une antenne est le coefficient de réflexion en entrée de l'antenne élémentaire (rapport entre l'onde réfléchie et l'onde incidente en entrée).

- [0066] Les courbes C1 et C2 sont le paramètre S_{11} d'un premier mode de réalisation M1 dans lequel l'empilement de l'antenne élémentaire comprend une couche supérieure en diélectrique de protection mécanique de l'antenne, pour une excitation selon la ligne L1 et L2 respectivement. Cette couche supérieure en diélectrique est une couche de mousse Rohacell de 6mm d'épaisseur, recouverte d'un film diélectrique PTFE chargé céramique d'épaisseur 500 μ m.
- [0067] Les courbes C1' et C2' sont le paramètre S_{11} d'un deuxième mode de réalisation M2 sans couche supérieure de protection, pour une excitation selon la ligne L1 et L2 respectivement. Dans le mode M2, la valeur du coefficient de réflexion reste inférieure à -16dB dans toute la bande passante pour une excitation via la ligne L2 et supérieure à -19dB via la ligne L1. La présence de la couche supérieure de protection dans le mode M1 dégrade sensiblement le fonctionnement large bande de l'antenne élémentaire. Cependant, la valeur du coefficient de réflexion reste acceptable sur toute la bande passante (supérieure à -27dB).
- [0068] La [Fig.5] démontre que l'antenne élémentaire de l'invention possède un fonctionnement large bande dans les deux modes M1 et M2, bien que le mode M2 présente un comportement plus stable sur toute la bande passante de l'antenne pour les deux excitations selon L1 et L2 et que la présence des segments S1-S4 ne dégrade pas le fonctionnement de l'antenne de manière importante.
- [0069] La figure 6 illustre schématiquement une antenne réseau 2 selon un mode de réalisation de l'invention dans laquelle les antennes élémentaires 1 sont agencées dans un maillage carré de manière à pouvoir exciter une polarisation horizontale et une polarisation verticale. Par maillage carré, on entend qu'une distance entre le centre de deux antennes élémentaires adjacentes (pas du maillage P_m) est identique pour toutes les antennes 1 du réseau 2. Le réseau de la [Fig.6] permet d'obtenir une antenne réseau 2 avec une directivité fixée par le pas du réseau.
- [0070] Alternativement, selon un autre mode de réalisation, les antennes élémentaires 1 du réseau 2 sont agencées dans une maille rectangulaire. C'est-à-dire que l'antenne réseau 2 présente un pas de maille différent selon la direction horizontale et la direction verticale. Ceci est utile quand le faisceau rayonné par l'antenne réseau est amenée à être pointée par balayage électronique dans une fenêtre angulaire Azimut-Elévation rectangulaire. C'est le cas par exemple d'un Radar SAR ou d'un Radar de surveillance aéroporté. Dans ce cas la maille du réseau peut être relâchée suivant l'axe correspondant à l'exploration angulaire moindre.

- [0071] La figure 7 illustre schématiquement une antenne réseau 2 selon un mode de réalisation de l'invention, dans laquelle l'orientation des antennes élémentaires 1 est modifiée par rapport au réseau de la figure 6. Dans le mode de réalisation de la figure 7, les antennes élémentaires sont orientées de manière à pouvoir exciter des polarisations à $+45^\circ$ et -45° par rapport à celles excitées dans le réseau de la figure 6. Comme dans le réseau de la figure 6, le maillage du réseau de la figure 7 est carré et de pas P_m identique à celui du réseau de la [Fig.6]. En outre, l'encombrement total du réseau 2 de la [Fig.7] est identique à celui du réseau de la [Fig.6].
- [0072] La figure 8 illustre schématiquement une antenne réseau 2 selon un mode de réalisation de l'invention, dans laquelle les antennes élémentaires 1 du réseau 2 sont agencées dans une maille triangulaire. Dans le mode de réalisation, à titre d'exemple non limitatif, la maille est en triangle équilatéral, aussi appelé maillage hexagonal et l'orientation des polarisations est quelconque. Par maillage hexagonal, on entend que le centre d'une antenne forme un triangle équilatéral de pas de maillage P_m avec le centre de deux antennes adjacentes. Ceci est utile pour une antenne réseau dont le faisceau pointe par balayage électronique à l'intérieur d'un cône angulaire centré sur la normale au plan du réseau. C'est le cas par exemple d'un Radar aéroporté en pointe avant d'avion (Radar météo aéroporté, ou Radar de combat aéroporté). L'intérêt par rapport à un maillage carré est que, à surface d'antenne réseau donnée, on a besoin d'environ 15% d'éléments unitaires en moins pour « paver » la surface rayonnante, donc 15% de circuits actifs (modules) en moins, donc 15% de réduction de coût, au prix cependant d'une conception mécanique moins aisée.

Revendications

[Revendication 1]

Antenne élémentaire (1) de type micro-ruban comprenant un empilement de couches, empilées selon une direction $\vec{z}$, ledit empilement comprenant :

- un premier élément rayonnant conducteur (P1) en forme de disque présentant un premier centre (C1), un axe selon la direction $\vec{z}$ et passant par ledit premier centre étant appelé axe central (AC) ;
- un dispositif d'excitation (DE) couplé au premier élément rayonnant et adapté pour exciter le premier élément rayonnant selon deux polarisations linéaires orthogonales (h, v), ledit dispositif d'excitation comprenant :
 - un premier dispositif d'excitation élémentaire couplé au premier élément rayonnant et comprenant une première ligne conductrice (L1) et un premier dispositif de répartition de puissance (DR1) adapté pour d'exciter le premier élément rayonnant à partir d'un premier signal d'entrée ;
 - un deuxième dispositif d'excitation élémentaire couplé au premier élément rayonnant et comprenant une deuxième ligne conductrice (L2) et un deuxième dispositif de répartition de puissance (DR2) adapté pour d'exciter le premier élément rayonnant à partir d'un deuxième signal d'entrée ;
- un ensemble de couplage adapté pour coupler le dispositif d'excitation et le premier élément rayonnant, ledit ensemble de couplage comprenant :
 - une première fente (F1) comprenant un centre dit centre de fente (CF) situé sur ledit axe central
 - une deuxième fente (F2) comprenant un centre confondu avec le centre de fente, et sensiblement perpendiculaire à la première fente, la première et la deuxième fentes comprenant chacune des extrémités (E1, E1', E2, E2') en arc de cercle selon un même cercle (CL) centré sur ledit centre de fente

lesdites fentes et lesdites couches empilées étant adaptées pour qu'un encombrement transverse de ladite antenne élémentaire soit en forme de disque.

[Revendication 2] Antenne élémentaire selon la revendication précédente, dans laquelle le dispositif d'excitation comprend :

- un premier (S1) et un deuxième (S2) segments de ligne conductrice, coplanaires et reliés à la première ligne conductrice, et non perpendiculaire à la première ligne conductrice (L1), un angle entre le premier segment (S1) et la première ligne conductrice étant opposé à un angle entre le deuxième segment (S2) et la première ligne conductrice.
- un troisième (S3) et un quatrième (S4) segments de ligne conductrice, coplanaires et reliés à la deuxième ligne conductrice, et non perpendiculaire à la deuxième ligne conductrice (L2), un angle entre le troisième segment (S3) et la deuxième ligne conductrice étant opposé à un angle entre le quatrième segment (S4) et la deuxième ligne conductrice..

[Revendication 3] Antenne élémentaire selon la revendication précédente, dans laquelle le premier et le deuxième segments sont parallèles à la première fente et dans laquelle le troisième et le quatrième segments sont parallèles à la deuxième fente.

[Revendication 4] Antenne élémentaire selon la revendication précédente, dans laquelle un ensemble formé par le premier, le deuxième segments et une portion de la première ligne conductrice reliant le premier segment au deuxième segment, forme la lettre Z, et dans laquelle un ensemble formé par le troisième, le quatrième segments et une portion de la deuxième ligne conductrice reliant le troisième segment au quatrième segment, forme la lettre Z.

[Revendication 5] Antenne élémentaire selon la revendication 3 ou 4, dans laquelle le premier segment est en regard d'un bord de la première fente et le troisième segment est en regard d'un bord de la deuxième fente.

[Revendication 6] Antenne élémentaire selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, dans laquelle lesdits segments de ligne conductrice sont sensiblement de même longueur.

[Revendication 7] Antenne élémentaire selon la revendication précédente, dans lequel la longueur des segments de ligne conductrice est environ égale à $\lambda_c/4$

avec λ_c une longueur d'onde correspondant à une fréquence centrale d'une bande passante de ladite antenne élémentaire.

- [Revendication 8] Antenne élémentaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle un milieu de ladite première ligne est situé sur ledit axe central, dans laquelle un milieu de ladite deuxième ligne est situé sur ledit axe central, et dans laquelle la première et la deuxième lignes sont perpendiculaire entre elles.
- [Revendication 9] Antenne élémentaire selon la revendication précédente, dans laquelle la première ligne et la deuxième ligne sont formées sur deux faces opposées d'un premier substrat diélectrique (PI2).
- [Revendication 10] Antenne élémentaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle ledit encombrement transverse est fixé à partir d'un diamètre dudit cercle.
- [Revendication 11] Antenne élémentaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un angle entre la première fente et la première ligne conductrice et un angle entre la deuxième fente et la deuxième ligne conductrice est égal à environ 45° .
- [Revendication 12] Antenne élémentaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle les première et deuxième lignes conductrices sont interposées entre le premier élément rayonnant (P1) et la première et la deuxième fente, la première et la deuxième fente étant formées à partir d'un plan métallique, formant un plan de masse pour les première et deuxième lignes conductrices et pour le premier élément rayonnant.
- [Revendication 13] Antenne élémentaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant un deuxième élément rayonnant (P2) en forme de disque superposé au premier élément rayonnant, et présentant un deuxième centre (C2) situé sur ledit axe central.
- [Revendication 14] Antenne réseau comprenant une pluralité d'antennes élémentaires selon l'une quelconques des revendications précédentes.
- [Revendication 15] Antenne réseau selon la revendication précédente, dans laquelle la pluralité d'antennes élémentaires est agencée avec un maillage carré ou rectangulaire.
- [Revendication 16] Antenne réseau selon la revendication 14, dans laquelle la pluralité d'antennes élémentaires est agencée avec un maillage triangulaire.

[Fig. 1A]

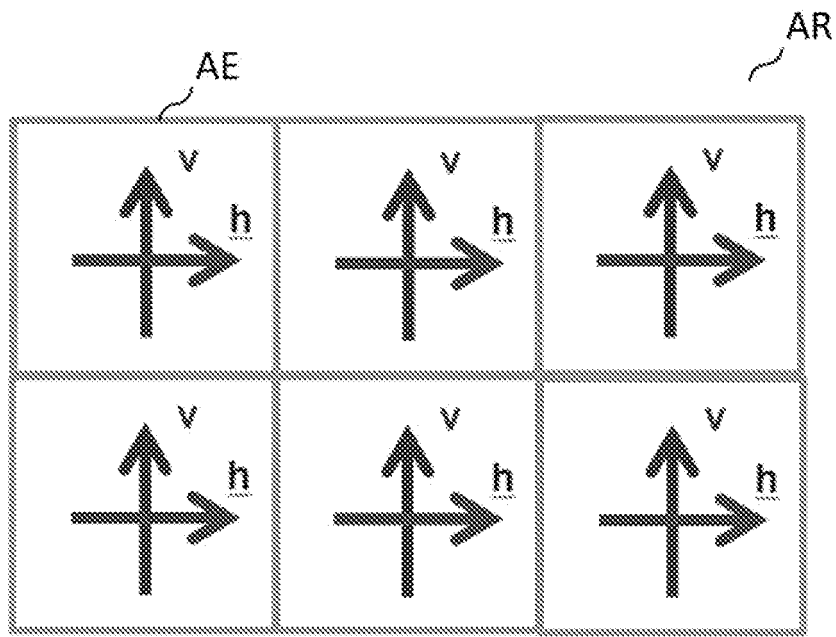


Fig.1A

[Fig. 1B]

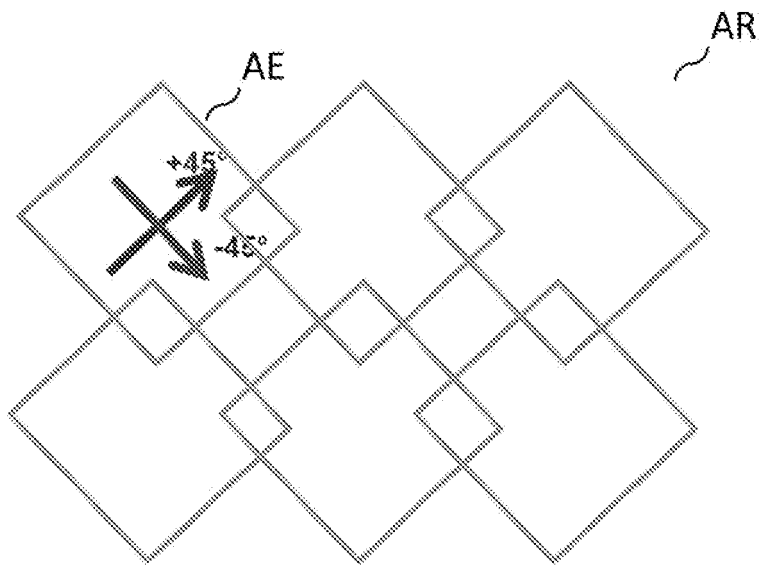


Fig.1B

[Fig. 1C]

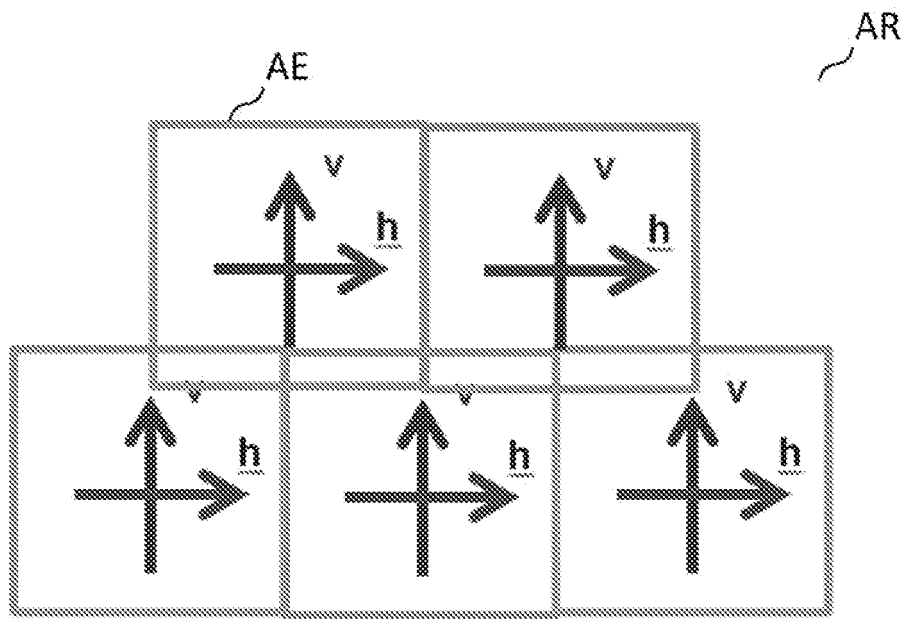


Fig.1C

[Fig. 2A]

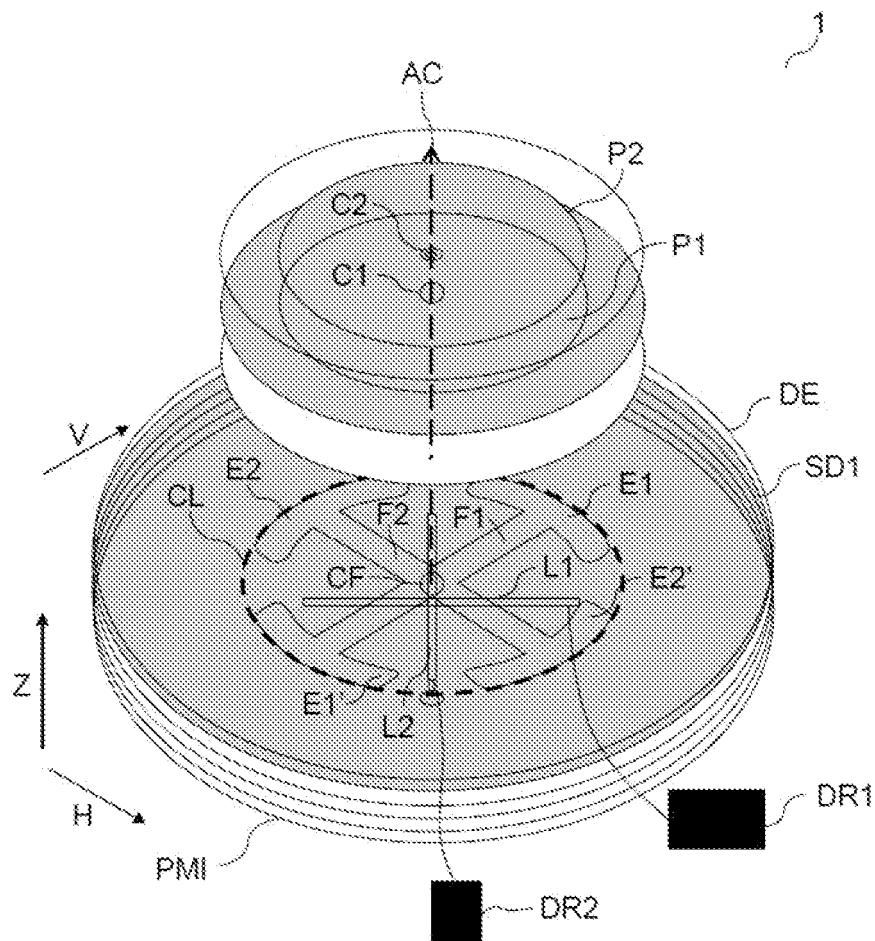


FIG.2A

[Fig. 2B]

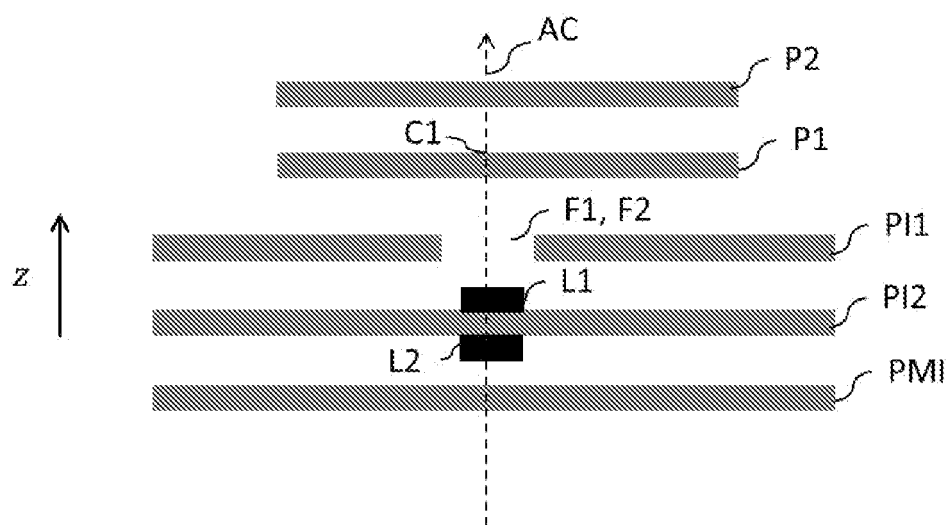


Fig.2B

[Fig. 2C]

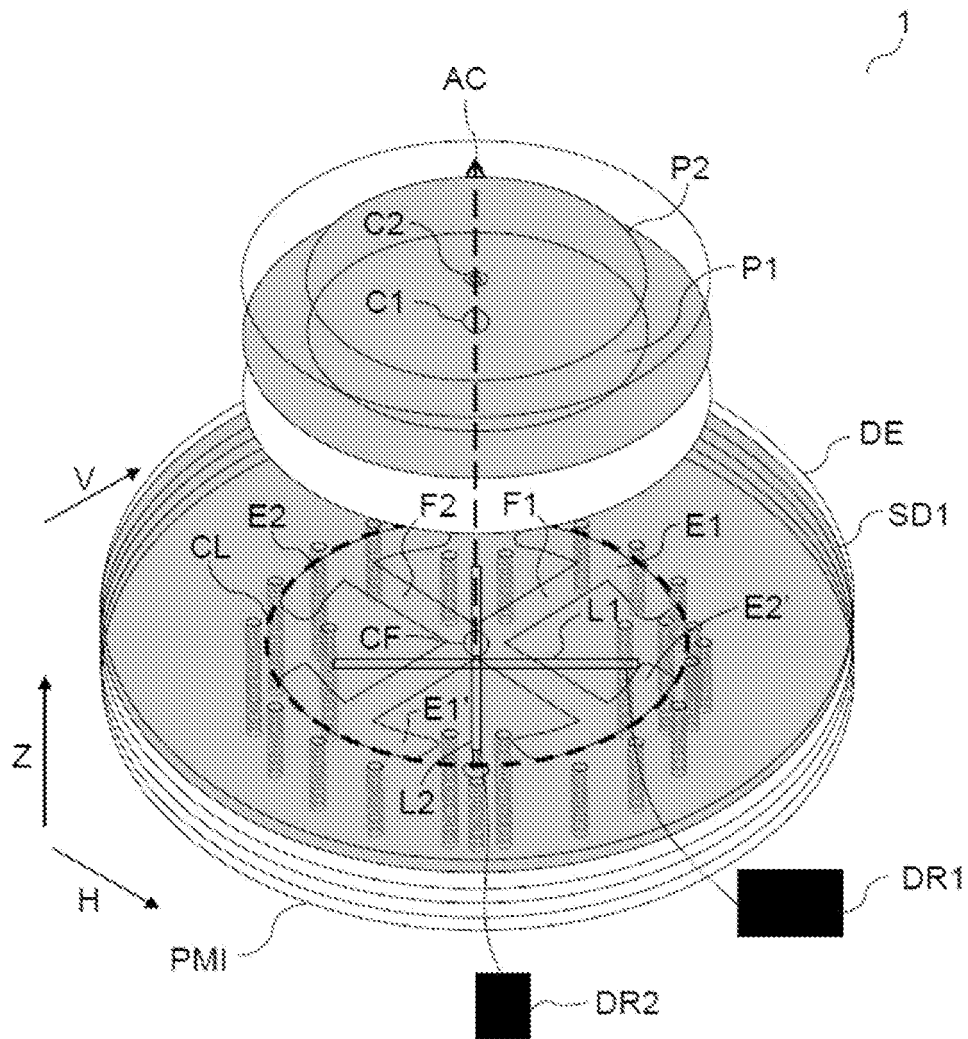


Fig.2C

[Fig. 3]

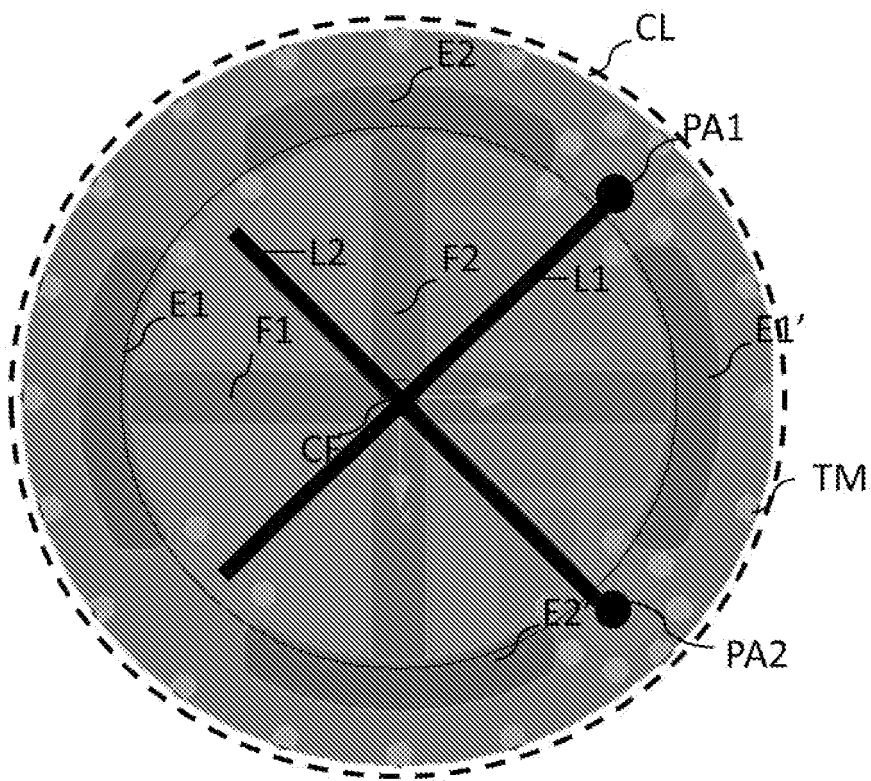


Fig.3

[Fig. 4]

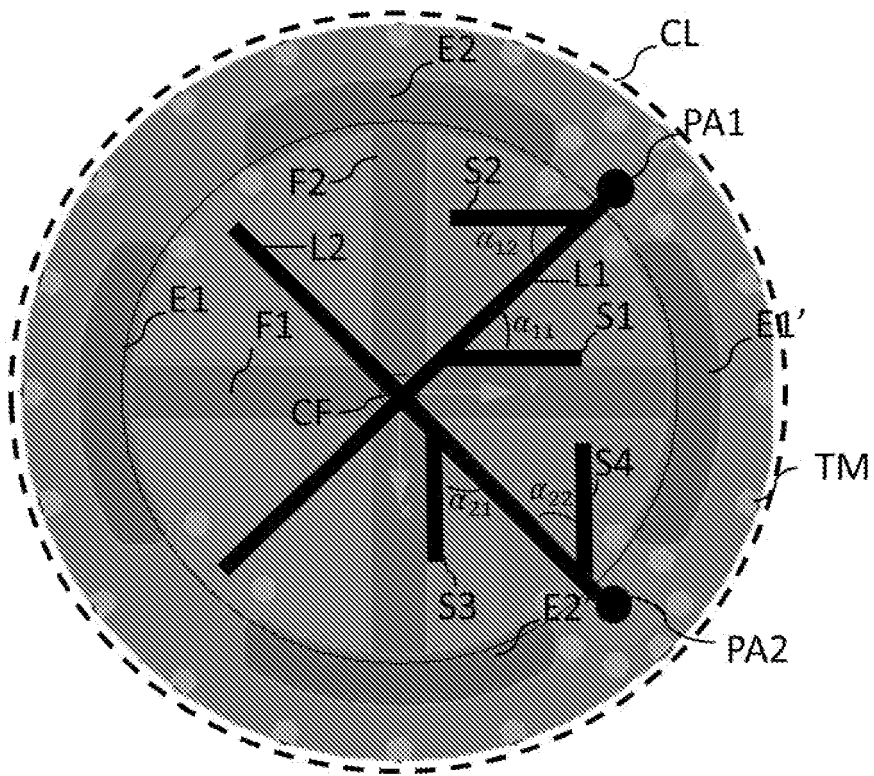


Fig.4

[Fig. 5]

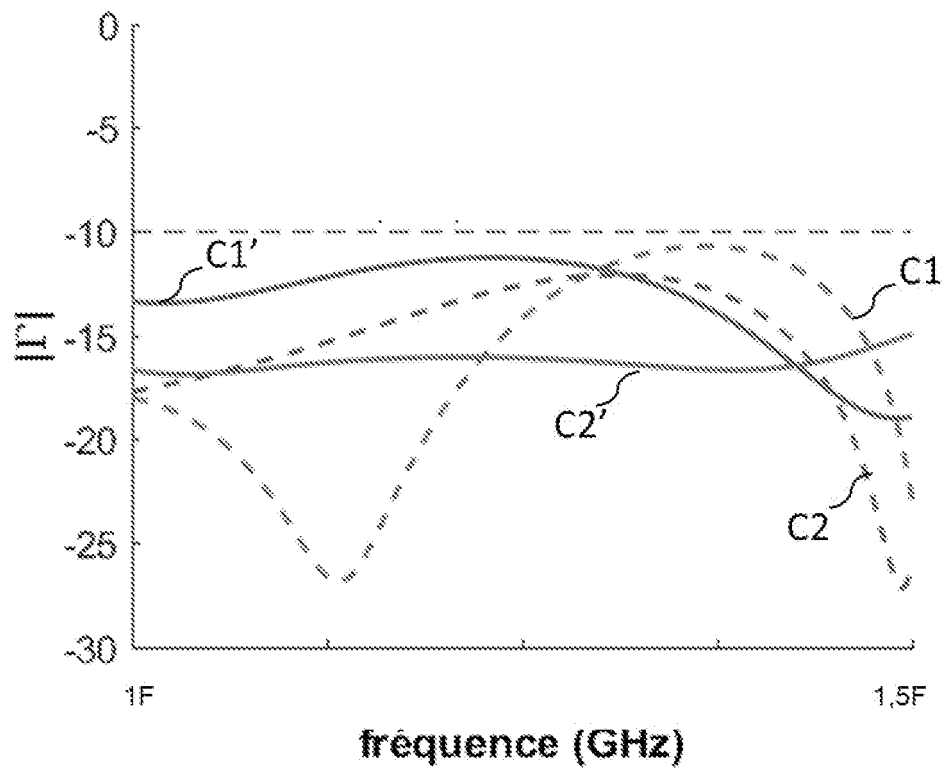


Fig.5

[Fig. 6]

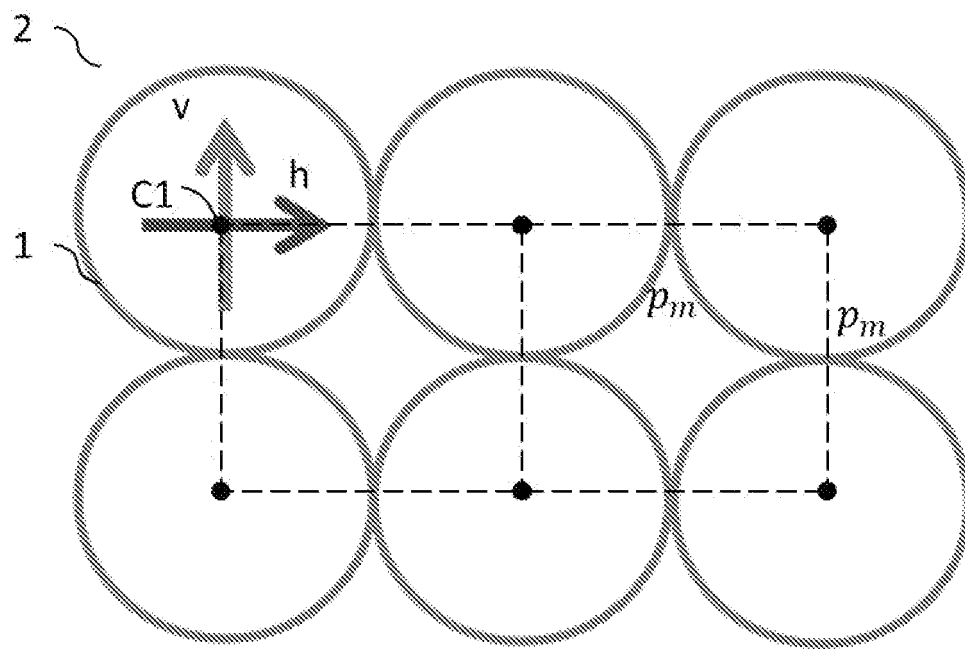


Fig.6

[Fig. 7]

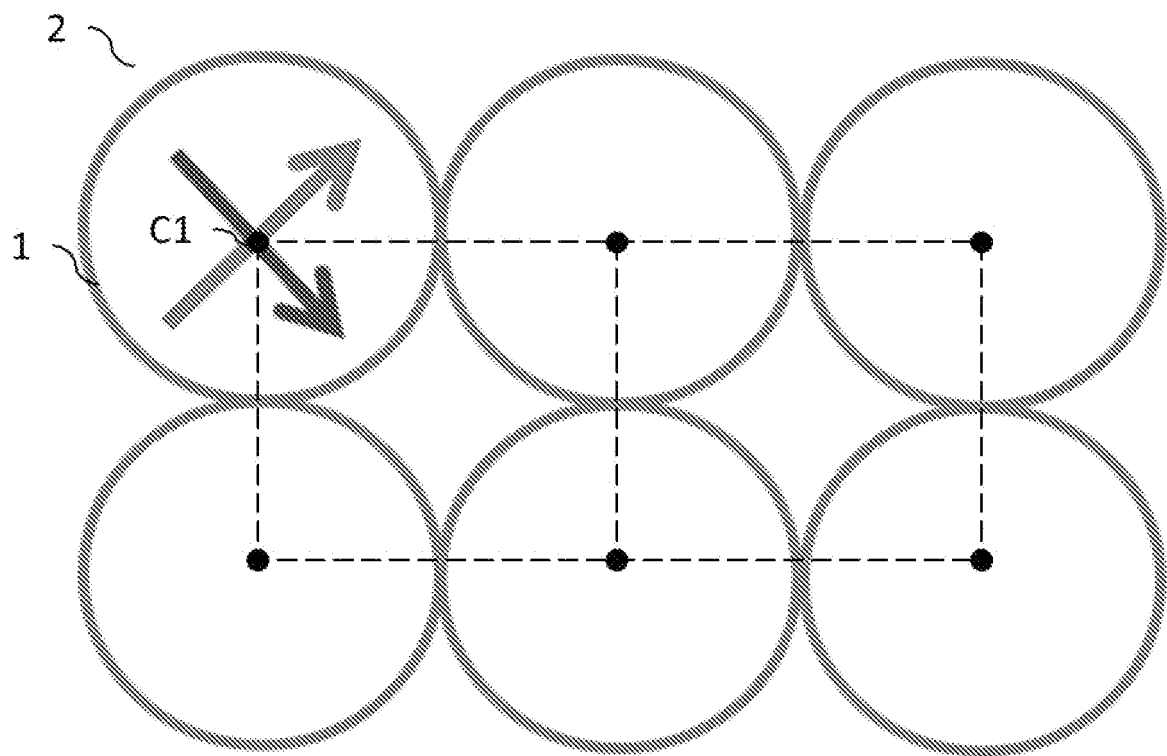


Fig.7

[Fig. 8]

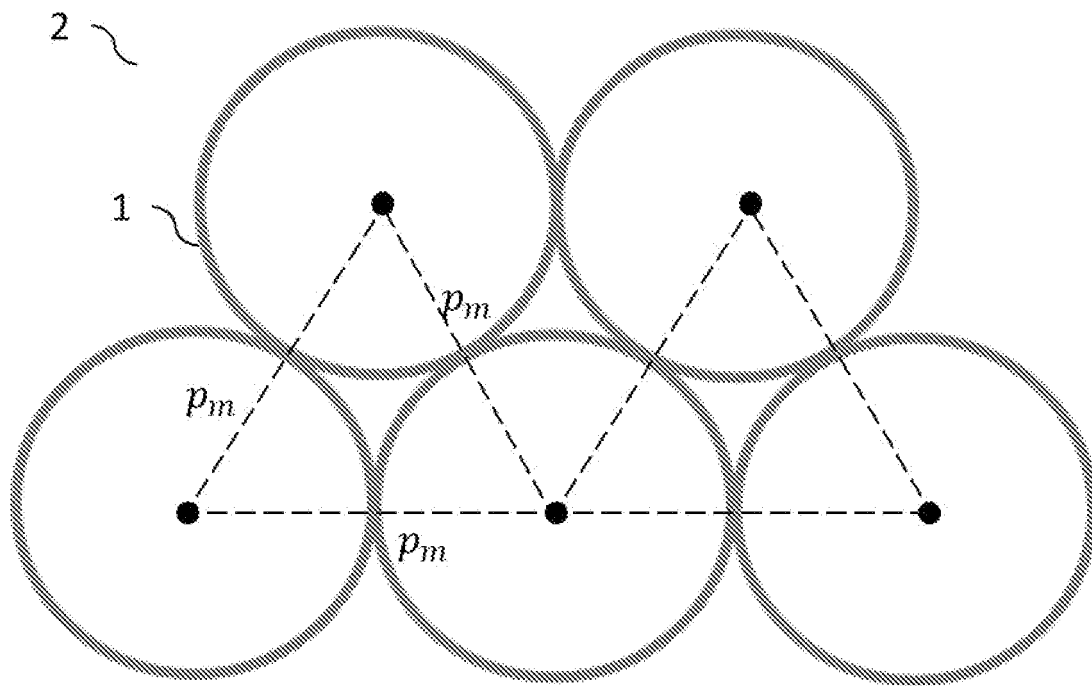


Fig.8

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

US 2011/025574 A1 (TIEZZI FERDINANDO [CH]
ET AL) 3 février 2011 (2011-02-03)

US 6 995 712 B2 (BOYANOV VIKTOR [BG])
7 février 2006 (2006-02-07)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

US 10 840 599 B2 (FOO SENGLEE [CA]; HUAWEI
TECH CO LTD [CN])
17 novembre 2020 (2020-11-17)

CHIOU T-W ET AL: "A COMPACT DUAL-BAND
DUAL-POLARIZED PATCH ANTENNA FOR
900/1800-MHZ CELLULAR SYSTEMS",
IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND
PROPAGATION, IEEE, USA,
vol. 51, no. 8, 1 août 2003 (2003-08-01),
pages 1936-1940, XP001169686,
ISSN: 0018-926X, DOI:
10.1109/TAP.2003.814728

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT