



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
14.06.2017 Bulletin 2017/24

(51) Int Cl.:
H01Q 9/04 (2006.01) **H01Q 13/16** (2006.01)
H01Q 21/28 (2006.01) **H01Q 21/30** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16201682.8**

(22) Date de dépôt: **01.12.2016**

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

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

(72) Inventeur: **MAAS, Olivier**
91190 GIF SUR YVETTE (FR)

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

(30) Priorité: **09.12.2015 FR 1502559**

(54) **CELLULE RAYONNANTE ELEMENTAIRE MULTI-BANDE**

(57) Dispositif rayonnant dans deux bandes de fréquences distinctes, une bande de fréquences haute et au moins une sous-bande d'une bande de fréquences basse, ledit dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend :

- au moins un élément de type patch (101) adapté à la bande de fréquences haute et relié à un premier accès (109),
- au moins un élément de type fente repliée (601), adapté à la bande de fréquences basse et relié à un deuxième

accès (105) différent dudit premier accès,

- un filtre (110) positionné entre ledit élément de type patch et ledit premier accès, configuré pour filtrer la sous-bande de la bande de fréquences basse et être passant pour la bande de fréquences haute, et en ce que les éléments qui le constituent sont positionnés dans une surface inférieure ou égale à un carré de bord $\lambda/2$, où λ est la longueur d'onde correspondant à la fréquence maximale de la bande de fréquences haute.

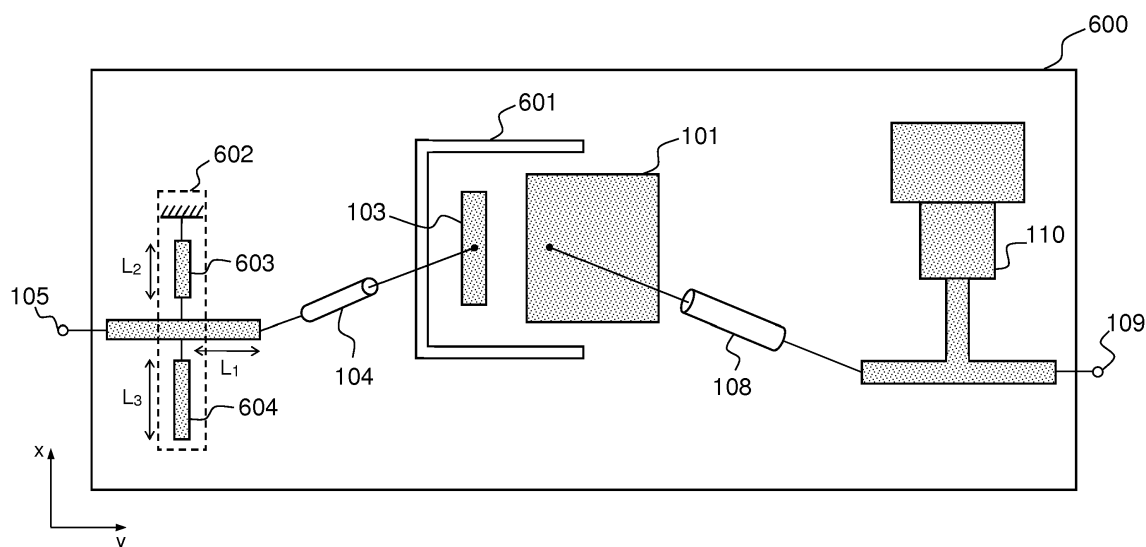


FIG.6

Description

[0001] La présente invention se situe dans le domaine des dispositifs rayonnants conçus pour opérer dans deux bandes de fréquences distinctes. Elle s'applique notamment aux cellules rayonnantes bi-bandes réalisées en technologie imprimée, et utilisées par des radars à balayages électroniques pour la surveillance de l'espace aérien. Ces radars opèrent en bande S, et dans la bande dédiée aux applications IFF (acronyme anglais pour « Identification, Friend or Foe », ou identification ami ou ennemi).

[0002] Les radars à balayage électronique de l'état de l'art sont constitués d'antennes directives réalisées à partir d'éléments rayonnants, ou cellules rayonnantes, assemblés au sein d'un réseau. La modification de l'amplitude et de la phase de chacun des éléments rayonnants du réseau permet d'orienter la direction du faisceau radar.

[0003] Les fréquences d'intérêt pour les applications de surveillance aérienne sont la bande S, utilisée pour le radar primaire, et en particulier la sous-bande 2.9GHz à 3.3GHz, ainsi que des bandes de fréquences de quelques MHz ou dizaines de MHz situées autour des fréquences 1.03GHz et 1.09GHz, et utilisées pour les applications IFF. Les équipements radars actuels, qu'il s'agisse de radars au sol ou de radars embarqués sur un porteur comme par exemple un véhicule, un navire ou un avion, comprennent généralement deux systèmes indépendants : une antenne directive rotative dédiée aux applications IFF et un réseau de cellules rayonnantes pour le radar Bande S. L'antenne rotative est positionnée au-dessus ou à côté de l'antenne radar bande S. Les deux volumes s'ajoutent donc, ce qui peut poser problème lors du transport ou de l'installation des antennes.

[0004] L'invention cherche à résoudre la problématique générale de la multiplication des systèmes en proposant une cellule rayonnante fonctionnant simultanément et sans interférences, dans deux bandes de fréquences distinctes, en particulier la Bande S et la bande de fréquences dédiée aux applications IFF. Une telle cellule permet de réaliser un réseau rayonnant bi-bande, réduisant ainsi l'encombrement du système radar dans son ensemble, ainsi que la complexité d'installation et les contraintes d'utilisation associées. L'invention propose une cellule rayonnante pour laquelle les accès aux différentes bandes de fréquences sont indépendants, ce qui permet d'intégrer l'invention dans les dispositifs radars existant de manière transparente.

[0005] L'utilisation d'éléments rayonnants bi-bande ou large bande à l'intérieur de réseaux rayonnants est un problème rencontré fréquemment.

[0006] Il est d'autant plus complexe que, lorsque des éléments rayonnants sont proches, de forts phénomènes de couplage apparaissent. Ces phénomènes de couplage sont d'autant plus marqués lorsque le rapport des fréquences entre la bande haute et la bande basse se rapproche d'un nombre entier impair. En effet, les éléments

rayonnants sont dimensionnés par rapport à la longueur d'onde à laquelle ils opèrent. Un élément dimensionné pour rayonner dans la bande de fréquence basse aura généralement une taille proche de $\lambda_B/2$, avec λ_B la longueur d'onde maximum de la bande de fréquence basse. De par le rapport des bandes de fréquences, sa taille sera également de $N \cdot \lambda_H/2$, avec N le rapport des bandes de fréquences et λ_H la longueur d'onde maximum de la bande de fréquence haute dans le diélectrique. De ce fait, lorsque N s'approche d'un nombre entier impair, le dispositif rayonne également pour la bande de fréquence haute, amplifiant ainsi les phénomènes de couplage.

[0007] L'utilisation, au sein d'une même cellule rayonnante d'éléments propres à chacune des bandes de fonctionnement, séparés d'un écart permettant de minimiser les problèmes de couplage entre éléments, n'est pas une solution au problème lorsque la cellule rayonnante est mise en oeuvre dans un réseau rayonnant. En effet, la taille de la cellule est contrainte par le pas de la maille du réseau, qui vaut généralement $\lambda/2$, avec λ la longueur d'onde dans l'air correspondant à la fréquence maximale. Ainsi, lorsque le rapport de fréquences entre la bande de fréquences haute et la bande de fréquences basse augmente, les éléments rayonnants requis par la bande de fréquences basse deviennent incompatibles de la taille de ce pas de mise en réseau. A titre d'exemple, le pas de mise en réseau d'une maille rayonnante en bande S à 3.3GHz est d'environ 5cm. Un patch adapté à la bande S, lorsqu'il est réalisé dans le cadre d'un substrat ayant une constante diélectrique relative valant 3.55, a des dimensions de l'ordre de 25mm x 25mm, compatible avec le pas de mise en réseau. Un patch pour les applications IFF, du fait du rapport 3 de fréquence entre les deux bandes, sera 3 fois plus grand (et de surface 9 fois supérieure). Il aura alors une taille de 75mm x 75mm. Un dispositif comprenant un patch bande S et un patch pour applications IFF ne sera donc pas compatible avec le pas de la maille rayonnante.

[0008] Ainsi, la demande de brevet US 2003/0164800 A1 présente un dispositif tri-bande fonctionnant dans les bandes AMPS (800-850 MHz), GPS (1.4 GHz) et PCS (1.85-1.99 GHz) à partir d'une antenne patch et de deux fentes. Le rapport des fréquences de fonctionnement n'étant pas des multiples impairs, le dispositif ne présente pas de moyens de suppressions des interférences liées au couplage entre les éléments rayonnants. De plus, l'utilisation d'une fente accordée à la bande de fréquence basse le rend incompatible de son intégration dans une maille rayonnante dimensionnée par rapport à la fréquence haute.

[0009] Le brevet Australien AU 2015101429 A4 présente un dispositif bi-bande fonctionnant dans les bandes Wifi à 2.4GHz et 5GHz. Cependant, dans ce dispositif, le rapport des fréquences n'est pas un multiple impair, il ne présente donc pas de problèmes particulier de couplage. Il ne présente pas non plus d'accès indépendant à chacune des bandes de fréquences : les éléments

rayonnants associés à chacune des bandes de fréquence ne peuvent alors pas être pilotées indépendamment.

[0010] Une première solution connue au problème de réalisation d'une cellule bi-bande de dimensions réduites consiste à utiliser un unique élément rayonnant large bande. Une fois mis en réseau, le résultat est alors un réseau unique large bande, couvrant l'ensemble des bandes d'intérêt. Cependant, la réalisation d'un tel élément rayonnant s'avère complexe lorsque l'écart de bande augmente, et ne répond pas au besoin d'un accès indépendant à chacune des bandes de fréquences.

[0011] Pour répondre à la problématique de la taille du réseau, une solution connue consiste à utiliser, pour la bande de fréquences basse, des éléments de type monopôles ou dipôles repliés, ou des fentes repliées de manière à pouvoir les loger dans une surface réduite. L'utilisation simultanée d'un patch pour la bande de fréquences haute, et d'une fente pour la bande de fréquences basse présente un intérêt pratique, car la fente peut être logée dans la métallisation du patch, ou dans celle de son plan de masse. Diverses solutions de ce type ont été explorées, mais elles se heurtent au fait que, dans ces conditions, les fentes rayonnantes présentent une bande passante très étroite, ce qui limite leur intérêt.

[0012] L'article « A Dual Band Quasi-Magneto-Electric Patch Antenna for X-band Phased Array », S.E Valavan, Proceedings of the 44th European Microwave Conference 2014, a passé outre cette limitation en utilisant les phénomènes de couplage entre les deux éléments. Il propose de perturber un patch rayonnant dans la bande de fréquences haute à l'aide d'une fente logée à l'intérieur de la surface rayonnante du patch. La réponse du dispositif, résultant du couplage entre les deux éléments, présente un fonctionnement dans deux bandes de fréquences distinctes dont les fréquences centrales sont éloignées d'un rapport 1.5, mais ayant des bandes passantes significatives (supérieures à 5%).

[0013] Cependant, un tel dispositif présente deux défauts majeurs :

- le rapport de bande vaut 1.5, ce qui ne permet pas de répondre aux applications radar Bande S et IFF, pour lesquels le rapport de bande de fréquences vaut 3,
- il ne répond pas au besoin d'avoir deux antennes séparées reliées chacune à un accès distinct, car il propose un système couplé ayant deux bandes de résonance. Les amplitudes et phases des éléments rayonnants associés à chaque bande de fréquence ne peuvent alors pas être pilotées indépendamment. De plus, l'intégration d'une telle cellule dans des équipements existant requiert la séparation entre ces deux bandes, pour piloter séparément le signal en bande de fréquences haute et basse. Cette séparation requiert la réalisation d'un équipement supplémentaire à l'interface entre le réseau rayonnant et les équipements radio. Elle peut s'avérer délicate,

la qualité des signaux résultants dépendant de la propreté du filtrage mis en oeuvre.

[0014] L'invention répond au problème posé en associant un élément rayonnant dans la bande de fréquences haute de type patch, avec au moins un élément rayonnant dans la bande de fréquence basse de type fente repliée. Cette approche permet de loger les deux éléments rayonnants dans une cellule de taille réduite, compatible d'un réseau d'éléments unitaires fonctionnant à la fréquence haute, c'est à dire inférieure à un carré de côté inférieur à $\lambda_H/2$.

[0015] Les éléments de la bande de fréquences haute (patch) et de la bande de fréquences basse (fente) sont chacun reliés à un accès distinct, ce qui permet de pouvoir les piloter indépendamment en amplitude et en phase. Des filtres adaptés à chacune des bandes de fréquences sont implémentés sur chacun des accès, de manière à supprimer les contributions indésirables liées au couplage résultant de la proximité entre les éléments rayonnants.

[0016] L'invention consiste donc en un dispositif rayonnant dans deux bandes de fréquences distinctes, une bande de fréquences haute et au moins une sous-bande d'une bande de fréquences basse. Il est caractérisé en ce qu'il comprend :

- au moins un élément de type patch adapté à la bande de fréquences haute et relié à un premier accès,
- au moins un élément de type fente repliée adapté à la bande de fréquences basse et relié à un deuxième accès différent du premier accès,
- un filtre positionné entre ledit élément de type patch et ledit premier accès, configuré pour filtrer la bande de fréquences basse et être passant pour la bande de fréquences haute,

et en ce que les éléments qui le constituent sont positionnés dans une surface inférieure ou égale à un carré de bord $\lambda/2$, où λ est la longueur d'onde correspondant à la fréquence maximale de la bande de fréquences haute.

[0017] Avantageusement, l'élément de type fente est logé dans un plan de masse du dispositif.

[0018] Avantageusement, le ou les dits éléments de type fente repliée sont repliés en forme de U et positionnées en périphérie du dispositif.

[0019] Selon un mode de réalisation du dispositif, le nombre d'éléments de type fente est égal au nombre de sous-bandes de la bande de fréquences basse, lesdits éléments de type fente étant alimentées par un même deuxième accès.

[0020] Selon un autre mode de réalisation du dispositif, le nombre d'éléments de type fente est égal au nombre de sous-bandes de la bande de fréquences basses, lesdits éléments de type fente étant alimentées par des accès différents.

[0021] Selon un autre mode de réalisation, le dispositif

comprend un unique élément de type fente alimenté par ledit deuxième accès auquel il est relié par un circuit résonateur, le couplage entre ladite fente et ledit circuit résonateur étant ajusté pour rayonner dans deux sous-bandes distinctes de la bande fréquences basse.

[0022] Avantageusement, dans ce mode de réalisation, le circuit résonateur est un circuit résonateur parallèle comprenant une inductance et un condensateur. Le résonateur est relié à l'élément de type fente par un guide d'onde de longueur $\lambda/4$, où λ est la longueur d'onde associée à la fréquence centrale de la bande de fréquences basse.

[0023] Avantageusement, dans l'ensemble des modes de réalisation, le filtre positionné entre l'élément de type patch et le premier accès comprend une pluralité de tronçons de ligne microruban de largeurs différentes.

[0024] Cette propriété lui permet de ne rayonner que pour l'une des bandes de fréquences lorsque celles-ci sont des multiples l'une de l'autre.

[0025] Avantageusement, le dispositif comprend en outre un filtre passe-bas positionné entre le ou les dits éléments de type fente et ledit deuxième accès, et configuré pour filtrer la bande de fréquences haute.

[0026] Avantageusement, le dispositif comprend en outre un deuxième élément de type patch adapté à la bande de fréquences haute, ledit deuxième élément de type patch étant disposé au-dessus dudit premier élément de type patch.

[0027] Le dispositif selon l'invention peut être mis en oeuvre dans un circuit imprimé multicouches pour lequel ledit élément de type patch, le ou les dits éléments de type fente, et ledit filtre positionné entre l'élément de type patch et le premier accès sont dans des couches différentes du circuit imprimé.

[0028] Cette répartition en couche permet de limiter au maximum la surface du circuit imprimé. Elle est possible car les éléments rayonnants ne viennent pas se masquer, le ou les éléments de type fente étant positionnés en périphérie du circuit imprimé, et donc de l'élément de type patch.

[0029] Grace à l'élément de filtrage de la bande de fréquence haute, le dispositif selon l'invention est adapté pour fonctionner lorsqu'au moins une fréquence de la bande de fréquences haute est un multiple entier impair d'une fréquence de la bande de fréquences basse.

[0030] Le dispositif selon l'invention est adapté pour fonctionner lorsque la bande de fréquences haute comprend la bande 2.9GHz - 3.3GHz.

[0031] Il est également adapté pour fonctionner lorsqu'au moins une sous-bande de la bande de fréquences basse est centrée autour d'une fréquence choisie parmi la fréquence 1030MHz et la fréquence 1090MHz.

[0032] Le dispositif selon l'invention peut aisément être réalisé en technologie imprimée.

[0033] Enfin, l'invention concerne un réseau rayonnant configurée pour rayonner dans deux bandes de fréquences distinctes, et caractérisée en ce qu'il comprend des cellules rayonnantes conformes au dispositif rayonnant

dans deux bandes de fréquences distinctes selon l'invention.

[0034] Elle adresse également un radar à balayage électronique configuré pour fonctionner simultanément dans deux bandes de fréquences différentes, et caractérisé en ce qu'il comprend un réseau rayonnant tel que décrit par l'invention.

[0035] L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques et avantages apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit, donnée à titre non limitatif, et grâce aux figures annexées parmi lesquelles :

- La figure 1 représente une cellule rayonnante selon un premier mode de réalisation de l'invention,
- La figure 2 représente la vue en éclaté d'une cellule rayonnante selon le premier mode de réalisation de l'invention,
- Les figures 3a et 3b représentent un exemple de coefficient de réflexion des entrées et de découplage, respectivement dans la bande de fréquences basse et dans la bande de fréquences haute, associés à chaque entrée d'une cellule rayonnante selon le premier mode de réalisation de l'invention,
- Les figures 4a et 4b représentent un exemple de diagrammes de rayonnements de l'entrée associée à la bande de fréquences basse d'une cellule rayonnante selon le premier mode de réalisation de l'invention,
- Les figures 5a et 5b représentent un exemple de diagrammes de rayonnements de l'entrée associée à la bande de fréquences haute d'une cellule rayonnante selon le premier mode de réalisation de l'invention,
- La figure 6 représente une cellule rayonnante selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,
- Les figures 7a et 7b représentent un exemple de coefficient de réflexion des entrées et de découplage, respectivement dans la bande de fréquences basse et dans la bande de fréquences haute, associés à chaque entrée d'une cellule rayonnante selon le deuxième mode de réalisation de l'invention,
- Les figures 8a et 8b représentent un exemple de diagrammes de rayonnements de l'entrée associée à la bande de fréquences haute d'une cellule rayonnante selon le deuxième mode de réalisation de l'invention,
- Les figures 9a et 9b représentent un exemple de diagrammes de rayonnements de l'entrée associée à la bande de fréquences haute d'une cellule rayonnante selon le deuxième mode de réalisation de l'in-

vention,

- La figure 10 représente une cellule rayonnante selon un troisième mode de réalisation.

[0036] Les descriptions des modes de réalisation exposés ci-dessous sont dédiées à un mode de fonctionnement particulier de l'invention. Ce mode de fonctionnement répond aux besoins des applications radars pour la surveillance de l'espace aérien. La cellule rayonnante présentée ci-après cherche à fonctionner de manière dissociée dans la bande 2.9GHz - 3.3GHz (sous-bande de la bande S dédiée aux applications radars), ainsi que dans deux sous-bandes de quelques MHz dans la bande de fréquences dédiée aux applications IFF, une première centrée autour de la fréquence 1030MHz et une deuxième centrée autour de la fréquence 1090MHz. Ces deux sous-bandes correspondent aux voies aller et retour des applications IFF.

[0037] Cependant, l'invention ne se limite pas à ce fonctionnement ni à ce type d'applications, et peut être étendue *mutatis mutandis* à d'autres bandes de fréquences, où à d'autres modes de réalisation dans lesquels le nombre de sous-bandes choisies à l'intérieur de la bande de fréquences basse varie.

[0038] Dans les exemples présentés, le rapport des bandes de fréquences, c'est-à-dire le rapport entre les fréquences de la bande de fréquence haute et les fréquences de la bande de fréquences basse, vaut environ trois. De ce fait, les phénomènes de couplage entre les divers éléments rayonnants, introduits par leur proximité physique, se trouvent renforcés. Ceci est lié à ce que, lorsque le rapport de fréquence entre les bandes est un nombre entier impair, toutes les structures résonantes à base de lignes fonctionnent naturellement de manière identique à la fréquence f_0 et à tous ses multiples impairs. De ce fait, les éléments rayonnants dimensionnés pour les applications IFF rayonnent également pour la bande S.

[0039] La figure 1 représente une cellule rayonnante selon un premier mode de réalisation de l'invention. Cette cellule rayonnante 100, ou antenne à éléments rayonnants imprimés, est un circuit imprimé comprenant de multiples couches séparées par un substrat diélectrique, utilisant des éléments distribués, c'est-à-dire des lignes microrubans (désignées aussi par le terme anglais « microstrip »). Cette technologie est très répandue en hyperfréquences car, pour les fréquences élevées, la manipulation des ondes à partir de guides d'ondes est plus simple que la manipulation des courants et tensions. L'une des couches du circuit imprimé forme un plan de masse.

[0040] La cellule rayonnante comprend un élément rayonnant 101 de type patch. En éléments distribués, un patch est une couche métallisée de forme carrée ou rectangulaire alimentée. Les dimensions du patch sont choisies afin qu'il rayonne dans la bande de fréquences haute (bande S). Il est positionné dans l'une des couches du

circuit.

[0041] La cellule rayonnante comprend également deux fentes rayonnantes 102 repliées. Ces fentes ont le comportement de dipôles, tout en étant moins sensibles aux phénomènes de couplage. Elles sont accordées pour fonctionner aux alentours des sous-bandes d'intérêt de la bande de fréquences basse (dans l'exemple, 1030MHz et 1090MHz). Cet accord se fait en les dimensionnant chacune par rapport à une longueur d'onde proche de la longueur d'onde recherchée, la fente ayant alors une longueur de $\lambda/2$. De manière à diminuer légèrement la taille des fentes, l'accord peut être réalisé en les dimensionnant par rapport à une longueur d'onde légèrement supérieure à la longueur d'onde recherchée, puis en ajustant leurs positions relatives, la position de leur excitateur, et leur position par rapport au patch, pour que les phénomènes de couplage repoussent leur fréquence de fonctionnement sur la fréquence recherchée. Dans le cadre d'une application IFF/Bande S, il est ainsi possible d'utiliser des fentes dont la longueur est adaptée à une fréquence de fonctionnement légèrement supérieure à 1100 MHz, ce qui les rend compatible, une fois repliées en trois en forme de U, d'une maille dimensionnée par rapport à la fréquence de 3.3 GHz, puis de repousser par couplage leur fréquence de fonctionnement sur les fréquences d'intérêt 1030 MHz et 1090 MHz en ajustant leurs positions. Le nombre de fentes est adapté au nombre de bandes de fréquences basses souhaitées. L'utilisation de deux fentes repliées en trois en forme de U et d'une antenne patch permet de loger les trois éléments rayonnants dans un environnement très réduit. Il est également possible de plier les fentes en plus de trois pour les faire rentrer dans la cellule rayonnante selon l'invention.

[0042] Les fentes sont réalisées par dé-métallisation partielle du plan de masse de la cellule. L'excitation des fentes est réalisée par un ruban rayonnant 103 positionné entre les deux fentes dans l'un des plans du circuit imprimé, de préférence le plan adjacent au plan de masse, et relié à l'alimentation des fentes. Le positionnement relatif des deux fentes 102 et de l'excitateur 103 crée des phénomènes de couplages, à la fois entre les éléments de la bande de fréquences basse, mais aussi avec le patch 101. Leur positionnement doit donc être ajusté afin de repousser les artefacts générés par ce couplage en dehors des bandes utiles. L'ajustement de l'écart entre les fentes permet d'ajuster la fréquence de résonance de chaque fente et de repousser leur fonctionnement sur la fréquence triple en dehors de la bande de fréquence haute.

[0043] L'excitateur 103 est alimenté par l'accès bande de fréquences basse 105, auquel il est relié par une ligne coaxiale 104 et un filtre passe bas 106.

[0044] Ce filtre passe bas comprend, par exemple, deux condensateurs 107, qui en technologie imprimée prennent la forme de tronçons de ligne ouverts. Le filtre a pour rôle le filtrage des composantes de la bande de fréquences haute dues au fort couplage entre les fentes

et le patch.

[0045] L'élément rayonnant de type patch 101 est alimenté par l'accès bande de fréquences haute 109 auquel il est relié par une ligne coaxiale 108 et un filtre 110.

[0046] Le filtre 110 a pour rôle le filtrage des composantes de la bande de fréquences basse dues au fort couplage entre les fentes et le patch.

[0047] La réalisation d'un filtre passe haut ou passe bande nécessite un enchaînement de capacités séries et d'inductances parallèles difficile à réaliser en technologie distribuée, et dont la taille des composants, liés à la bande de fréquence basse, présente le problème de l'encombrement. Une manière alternative de réaliser un filtre passe bande consiste alors à insérer un ou plusieurs guides d'onde parallèles court-circuités, plus connus sous le nom anglais de stub.

[0048] Un guide d'onde parallèle joue le rôle de circuit résonateur série, et présente un encombrement très réduit. Sa longueur est proportionnelle à la longueur d'onde dans le diélectrique de la fréquence qu'il vient court-circuiter. Ainsi, un stub réalisé à partir d'un tronçon de ligne microruban de longueur $\lambda_B/4$, avec λ_B la longueur d'onde de la bande de fréquences basse, jouera le rôle de court-circuit dans sa bande de résonance. Dans l'exemple, il s'agit de la bande de fréquences basse. Cependant, les structures résonnantes à base de lignes fonctionnent naturellement de la même manière à la fréquence f_0 et pour tous les multiples impairs de cette fréquence. C'est le cas dans l'exemple, où le rapport des bandes de fréquences est de 3. Ainsi, un tel stub jouera également le rôle de court-circuit pour la bande de fréquences haute.

[0049] Ce problème est résolu en implémentant un stub dont la longueur totale est fractionnée en plusieurs tronçons d'impédances différentes (connu en anglais sous le terme de « stepped impedance ») variable. Un tel stub est dispersif. Il est dimensionné de manière à présenter un court-circuit sur sa fréquence fondamentale, et un circuit ouvert sur sa fréquence triple. Le filtre 110 de la figure 1 présente un tel stub, constitué de plusieurs tronçons de ligne microruban de largeurs différentes, et présentant donc plusieurs impédances distinctes. Dans l'exemple, il présente trois impédances différentes, mais le nombre de tronçons est un paramètre propre à chaque implémentation. Du fait des impédances variables, le système n'est pas homogène, sa longueur électrique ne dépend plus linéairement de la fréquence. Sa taille étant de $\lambda_B/4$, il est accordé pour bloquer les composantes dans la bande de fréquences basse, mais n'est plus adapté à la longueur électrique $3\lambda_H/4$. Il réalise alors bien les fonctions recherchées de filtrage des composantes de la bande de fréquences basse tout en laissant passer les composantes de la bande de fréquences haute.

[0050] Les différents éléments constituant la cellule rayonnante selon l'invention sont disposés dans différentes couches du circuit imprimé. La figure 2 représente la vue en éclaté d'une cellule rayonnante selon le premier mode de réalisation de l'invention, dans lequel la dispo-

sition des éléments a pour but de limiter la taille de la cellule rayonnante.

[0051] Dans cet exemple non limitatif, le circuit imprimé comporte quatre couches. Chacune des couches comprend un substrat diélectrique sur lequel est déposée une couche métallique gravée. La couche supérieure 201 comprend l'élément de type patch 101 accordé pour fonctionner dans la bande de fréquences haute.

[0052] La couche immédiatement inférieure 202 comprend le plan de masse de la cellule rayonnante, dans lequel deux éléments de type fente 102, accordés pour les bandes de fréquences basses, sont réalisés par dé-métallisation du plan de masse. Les fentes sont disposées de manière à ne pas être obstruées par le patch 101. Un positionnement avantageux consiste alors à les placer en périphérie de la cellule rayonnante, à l'opposé du patch.

[0053] La couche inférieure 203 comprend l'excitateur des fentes 103. Enfin la couche 204 la plus basse comprend l'élément de filtrage passe bas 106 relié d'une part à l'accès 105 et d'autre part à l'excitateur 103 par le biais d'une ligne coaxiale, décrite sous la référence 104 dans la figure 1, lui permettant de traverser les différentes couches du circuit imprimé, et les éléments de filtrage passe bande 110 relié d'une part à l'accès 109 et d'autre part au patch 101 par le biais d'une ligne coaxiale 108.

[0054] La cellule rayonnante résultante a un format légèrement supérieur au format du patch bande S. A titre d'exemple, dans le cas précis d'un fonctionnement pour la bande S et les applications IFF, la taille du patch bande S est de 25mm x 25mm. En utilisant des fentes dimensionnées pour fonctionner à 1150 MHz, puis en ajustant la position des différents éléments du dispositif de manière à les faire rayonner dans les bandes de fréquences recherchées, ou en utilisant des fentes ajustées aux bandes de fréquences IFF et pliées en plus de trois parties, la cellule rayonnante résultante du premier mode de réalisation tient dans un encombrement de 45mm x 45mm, soit $\lambda_H/2 \times \lambda_H/2$.

[0055] Cette cellule rayonne simultanément dans la bande de fréquences supérieure et dans la bande de fréquences inférieure, mais présente un accès séparé à chacune de ces bandes. Les différents éléments de filtrage permettent d'assurer un fort découplage entre les deux accès.

[0056] Avantageusement, il est possible de compléter la cellule rayonnante par une couche supplémentaire 205, comprenant une deuxième antenne patch 206 adaptée à la bande de fréquences hautes. Cette couche supplémentaire est positionnée sur la couche 201 la plus haute, le deuxième patch étant superposé au premier patch 101. Cet ajout permet d'augmenter la bande passante dans la bande de fréquences haute, en jouant sur les effets de couplage entre les deux patches, sans modifier la taille de la cellule.

[0057] Les figures 3a et 3b représentent un exemple de coefficient de réflexion des entrées et de découplage, respectivement dans la bande de fréquences basse et

dans la bande de fréquences haute, associés à chaque entrée d'une cellule rayonnante selon le premier mode de réalisation de l'invention.

[0058] Les résultats sont obtenus par simulations au moyen d'un logiciel de simulation électromagnétique par la méthode des éléments finis.

[0059] Le coefficient de réflexion des entrées est représentatif de la puissance du signal réfléchi en fonction de la fréquence. Lorsque ce coefficient tend vers 1 (soit 0dB), alors l'ensemble de la puissance du signal à la fréquence concernée est rejeté. Plus ce coefficient est faible, plus l'antenne est bonne.

[0060] Le découplage mesure la puissance de fuite dans la première antenne lorsque la deuxième antenne fonctionne et réciproquement. Il est donc représentatif de la performance de cohabitation des deux types d'éléments rayonnants au sein de la même cellule.

[0061] Dans la figure 3a, la courbe 301 représente le coefficient de réflexion de l'accès dédié à la bande de fréquences basse, pour la bande de fréquences basse (les sous-bandes de fréquences envisagées dans ce mode de réalisation sont des bandes de quelques MHz ou dizaines de MHz autour des fréquences 1.03GHz et 1.09GHz). Ce coefficient est inférieur à -10dB autour des fréquences 1.03GHz et 1.09GHz. L'accès dédié à la bande de fréquences basse est donc adapté aux applications IFF.

[0062] La courbe 302 représente le coefficient de réflexion de l'accès dédié à la bande de fréquences haute, pour la bande de fréquences basse. Dans la bande 1.02GHz - 1.12GHz, ce coefficient est constant, et vaut 1 (soit 0dB). L'accès dédié à la bande de fréquences haute rejette donc l'ensemble des composantes de la bande de fréquences basse. Il n'est pas affecté par le couplage avec les éléments rayonnants dans la bande de fréquences basse. Cette analyse est confirmée par la mesure du découplage 303 entre les deux entrées, qui est supérieur à 24 dB dans toute la bande.

[0063] Dans la figure 3b, la courbe 311 représente le coefficient de réflexion de l'accès dédié à la bande de fréquences basse, pour la bande de fréquences haute (la bande de fréquences envisagée dans ce mode de réalisation est la bande 2.9GHz - 3.3GHz). Ce coefficient est constant, et vaut 1 (c'est-à-dire 0dB). L'accès dédié à la bande de fréquences basse rejette donc l'ensemble des composantes de la bande de fréquences haute. Il n'est alors pas affecté par le couplage avec les éléments rayonnants dans la bande de fréquences haute.

[0064] La courbe 312 représente le coefficient de réflexion de l'accès dédié à la bande de fréquences haute, pour la bande de fréquence haute. Dans la bande 2.9GHz - 3.3GHz, ce coefficient est inférieur à -12.5dB. L'accès dédié à la bande de fréquences haute est donc adapté à cette bande de fréquences. Le découplage 313 entre les deux antennes est supérieur à 25 dB dans la bande.

[0065] Les figures 4a et 4b représentent un exemple de diagrammes de rayonnements de l'entrée associée à la bande de fréquences basse d'une cellule rayonnante

selon le premier mode de réalisation de l'invention.

[0066] La figure 4a représente le diagramme de rayonnement dans le plan horizontal de l'accès à la bande de fréquences basse, pour une fréquence de 1.03GHz en polarisation principale (401) et croisée (403), ainsi que pour une fréquence de 1.09GHz en polarisation principale (402) et croisée (404). La réponse selon la polarisation croisée dans ce plan est presque nulle (-30dB).

[0067] La polarisation principale d'un élément rayonnant est l'axe sur lequel le champ électrique rayonné est maximal. La polarisation croisée est l'axe perpendiculaire à l'axe de la polarisation principale. Ces deux axes se situent dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation.

[0068] Dans le cas du dispositif selon l'invention, la polarisation principale se situe dans le plan vertical (représenté par l'axe y sur les figures), tandis que la polarisation croisée se situe dans le plan horizontal (représenté par l'axe x sur les figures).

[0069] La figure 4b représente le diagramme de rayonnement dans le plan vertical de l'accès à la bande de fréquences basse, pour une fréquence de 1.03GHz (411) et de 1.09GHz (412). Dans ce plan, le niveau de polarisation croisée est quasiment nul.

[0070] Les diagrammes de rayonnement observés sur l'accès à la bande de fréquences basse dans le plan horizontal et vertical varient en cosinus θ pour la polarisation principale, θ étant la direction d'observation. Cette caractéristique est nécessaire pour la réalisation d'une antenne à balayage électronique.

[0071] Les figures 5a et 5b représentent un exemple de diagrammes de rayonnements de l'entrée associée à la bande de fréquences haute d'une cellule rayonnante selon le premier mode de réalisation de l'invention.

[0072] La figure 5a représente le diagramme de rayonnement dans le plan horizontal de l'accès à la bande de fréquences haute, pour une fréquence de 2.9GHz en polarisation principale (501) et croisée (502). La réponse selon la polarisation croisée est faible par rapport à la réponse selon la polarisation principale (typiquement 15dB à 30dB de différence).

[0073] La figure 5b représente le diagramme de rayonnement dans le plan vertical de l'accès à la bande de fréquences haute, pour une fréquence de 2.9GHz en polarisation principale (511). La réponse en polarisation croisée dans ce plan est négligeable.

[0074] Les diagrammes de rayonnement observés en bande de fréquences haute sont caractéristiques du diagramme de rayonnement d'un patch. En effet, ce diagramme possède une variation proche d'une fonction cosinus θ , nécessaire à la réalisation d'une antenne à balayage électronique.

[0075] La figure 6 représente une cellule rayonnante selon un deuxième mode de réalisation de l'invention. Ce mode de fonctionnement limite le nombre de sous-bandes dans la bande de fréquences basse à deux.

[0076] De manière identique au premier mode de réalisation, la cellule rayonnante 600 conçue selon le

deuxième mode de réalisation de l'invention comprend un élément rayonnant 101 de type patch accordé à la bande de fréquences supérieure. Cet élément rayonnant est alimenté par la sortie bande haute 109 à laquelle il est relié par le biais d'une ligne coaxiale 108 lui permettant de traverser les différentes couches du circuit imprimé, et d'un filtre 110 réalisé sous la forme d'un stub présentant plusieurs tronçons d'impédance variable, permettant de filtrer la bande de fréquences basse tout en étant passant pour la bande de fréquences haute. Avant-
5 tageusement, un second élément de type patch, identique au premier, peut être superposé au premier élément de type patch 101, pour élargir la bande passante dans la bande de fréquences haute.

[0077] La principale différence entre ce mode de réalisation et le premier consiste en ce qu'il ne contient qu'un élément unique de type fente 601, replié en U, et positionné pour se trouver dégagé par rapport au masquage que représentent le ou les patches 101. La bande de fonctionnement de cet élément est alors élargie à l'ensemble de la bande de fréquences basse, afin de comprendre les deux sous-bandes requises par les applications IFF, par l'association d'un résonateur 602. La fente rayonnante, qui forme un résonateur parallèle, peut être complétée par un résonateur série placé dans le plan de sortie, ou par un résonateur parallèle placé un quart d'onde plus loin. Le résonateur 602 est alors placé à une distance L_1 du connecteur 104 le reliant à l'excitateur 103 de la fente, L_1 valant $\lambda/4$, où λ est la longueur d'onde centrale de la bande de fréquences basse.

[0078] La fente 601 n'est pas accordée à l'une des sous-bandes de la bande de fréquences basse, mais à la fréquence centrale, soit dans le cas de l'exemple choisi, la fréquence 1.06GHz. Elle peut également être accordée à une fréquence légèrement plus haute, de manière à être compatible, une fois repliée en trois parties, d'une maille à la fréquence haute. Le résonateur 602 est conçu pour résonner à la même fréquence. L'action sur le couplage entre ces deux éléments, c'est à dire la désadaptation créée entre ces deux éléments, va les faire résonner autour des fréquences recherchées. Le couplage entre les deux éléments est ajusté en faisant varier la position de l'excitateur 103 de la fente. La fente 601, le circuit résonateur 602 et l'excitateur 103 sont donc dimensionnés et positionnés afin que l'ensemble résonne autour des fréquences 1030MHz et 1090MHz, tout en autorisant une forte désadaptation dans la zone de fréquence intermédiaire. L'élément rayonnant ainsi obtenu est bi-fréquence. Cette approche offre l'avantage de n'introduire qu'une seule fente rayonnante dans la cellule, et de réduire les interférences entre la fente et le patch, et donc les phénomènes de couplage entre la bande de fréquences basse et la bande de fréquences haute. Le positionnement de la fente 601 et de l'excitateur 103 est donc simplifié par rapport au premier mode de réalisation.

[0079] Dans la figure 6, le circuit résonateur 602 est de type capacité et inductance parallèles. L'inductance

603 est de faible valeur. Elle est réalisée sous la forme d'une ligne microruban de longueur L_2 connectée à la masse. Le condensateur 604 est réalisé sous la forme d'une ligne microruban court-circuitée de longueur L_3 , L_3 étant très supérieure à L_2 .

[0080] Avantageusement, un filtre passe bas semblable au filtre 106 du premier mode de réalisation de l'invention peut être ajouté pour filtrer les composantes des bandes hautes liées au couplage entre la fente et le patch. Un tel filtre n'est cependant pas indispensable dans le deuxième mode de réalisation, le circuit résonateur réalisant naturellement le rôle de filtre passe bas.

[0081] Dans le deuxième mode de réalisation, la diminution du nombre d'éléments rayonnants (fentes) est compensée par un effort supplémentaire sur le circuit hyperfréquence d'adaptation de la fente.

[0082] Les figures 7a et 7b représentent un exemple de coefficient de réflexion et de découplage associés à chaque entrée d'une cellule rayonnante selon le deuxième mode de réalisation de l'invention. Les résultats sont obtenus par simulations au moyen d'un logiciel de simulation électromagnétique par la méthode des éléments finis.

[0083] Dans la figure 7a, la courbe 701 représente le coefficient de réflexion de l'accès dédié à la bande de fréquences basse pour la bande de fréquences basse (les bandes de fréquences envisagées dans ce mode de réalisation sont des bandes de quelques MHz ou dizaines de MHz autour des fréquences 1.03GHz et 1.09GHz). Ce coefficient est proche ou inférieur à -10dB autour des fréquences 1.03GHz et 1.09GHz. L'accès dédié à la bande de fréquences basse est donc adapté aux applications IFF.

[0084] La courbe 702 représente le coefficient de réflexion de l'accès dédié à la bande de fréquences haute, pour la bande de fréquence basse. Dans la bande 1 GHz - 1.15GHz, ce coefficient est constant, et vaut 1 (soit 0dB). L'accès dédié à la bande de fréquences haute rejette donc l'ensemble des composantes de la bande de fréquences basse. Il n'est pas affecté par le couplage avec les éléments rayonnants dans la bande de fréquences basse. Le découplage 703 entre les accès de la fente et du patch est de l'ordre de 30 dB.

[0085] Dans la figure 7b, la courbe 711 représente le coefficient de réflexion de l'accès dédié à la bande de fréquences basse, pour la bande de fréquences haute (la bande de fréquences envisagée dans ce mode de réalisation est la bande 2.9GHz - 3.3GHz). Ce coefficient est presque constant, et vaut 1 (soit 0dB) sur la quasi-totalité de la bande. L'accès dédié à la bande de fréquences basse rejette donc l'ensemble des composantes de la bande de fréquences haute, il n'est pas affecté par le couplage avec les éléments rayonnants dans la bande de fréquences haute.

[0086] La courbe 712 représente le coefficient de réflexion de l'accès dédié à la bande de fréquences haute. Dans la bande 2.9GHz - 3.3GHz, ce coefficient est bien inférieur à -12.5dB. L'accès dédié à la bande de fréquences

ces haute est donc adapté à cette bande de fréquences.

[0087] Le découplage 713 entre les 2 antennes est supérieur à 12.5 dB dans la bande.

[0088] Les figures 8a et 8b représentent un exemple de diagrammes de rayonnements de l'entrée associée à la bande de fréquences basse d'une cellule rayonnante selon le deuxième mode de réalisation de l'invention.

[0089] La figure 8a représente le diagramme de rayonnement dans le plan horizontal de l'accès à la bande de fréquences basse, pour une fréquence de 1.03GHz en polarisation principale (801) et croisée (803), ainsi que pour une fréquence de 1.09GHz en polarisation principale (802) et croisée (804). La réponse selon la polarisation principale dans ce plan est presque nulle (-30dB).

[0090] La figure 8b représente le diagramme de rayonnement dans le plan vertical de l'accès à la bande de fréquences basse, pour une fréquence de 1.03GHz en polarisation principale (811), ainsi que pour une fréquence de 1.09GHz en polarisation principale (812). Dans ce plan, la polarisation croisée est négligeable.

[0091] Les diagrammes de rayonnement observés sur l'accès à la bande de fréquences basse dans le premier et deuxième plan varient en cosinus θ pour la polarisation principale, θ étant la direction d'observation. Cette caractéristique est nécessaire pour la réalisation d'une antenne à balayage électronique.

[0092] Les figures 9a et 9b représentent un exemple de diagrammes de rayonnements de l'entrée associée à la bande de fréquences haute d'une cellule rayonnante selon le premier mode de réalisation de l'invention,

[0093] La figure 9a représente le diagramme de rayonnement dans le plan horizontal de l'accès à la bande de fréquences haute, pour une fréquence de 2.9GHz en polarisation principale (901) et croisée (902). La réponse selon la polarisation croisée est faible par rapport à la réponse selon la polarisation principale (typiquement 30dB de différence).

[0094] La figure 9b représente le diagramme de rayonnement dans un plan vertical de l'accès à la bande de fréquences haute, pour une fréquence de 2.9GHz en polarisation principale (911). Il n'y a pas de réponse en polarisation croisée dans ce plan de la cellule.

[0095] Les diagrammes de rayonnement observés en bande de fréquences haute sont caractéristiques du diagramme de rayonnement d'un patch. En effet, ce diagramme de rayonnement dans le premier plan possède une variation en cosinus θ caractéristique d'une antenne patch, et nécessaire à la réalisation d'une antenne à balayage électronique.

[0096] La figure 10 représente une cellule rayonnante selon un troisième mode de réalisation de l'invention. C'est une variante du premier mode de réalisation, qui comprend un élément rayonnant de type fente pour chacune des sous-bandes envisagées dans la bande de fréquences basse.

[0097] Ce mode de réalisation se différencie du premier en ce que les deux éléments de type fente 1001 et 1011 sont dissociées et placées de chaque côté de l'élément

de type patch, toujours en périphérie de la cellule rayonnante de manière à ne pas être masquées par le patch. Cet éloignement entre les deux fentes permet de réduire les phénomènes de couplage entre elles. Chacune des fentes est accordée par rapport à la fréquence centrale de l'une des sous-bandes de la bande de fréquences basse, ou ramenée à cette fréquence par couplage. Enfin, chacune des fentes est reliée à un accès distinct. La cellule rayonnante dispose alors de trois accès : un premier accès vers la bande de fréquences haute, et un accès pour chacune des sous-bandes de la bande de fréquences basse.

[0098] Dans ce mode de réalisation, la première fente 1001 est alimentée par l'accès 1003 auquel elle est reliée par le biais d'un excitateur 1002, d'une ligne coaxiale 1004, et d'un filtre passe bas 1005.

[0099] De manière totalement identique, la deuxième fente 1011 est alimentée par l'accès 1013 auquel elle est reliée par le biais d'un excitateur 1012, d'une ligne coaxiale 1014, et d'un filtre passe bas 1015.

[0100] L'invention comprend également un réseau rayonnant réalisé à partir de cellules rayonnantes bi-bandes telles que définies précédemment. Chacune des cellules peut alors être pilotée en amplitude et/ou en phase dans chacune des bandes d'intérêt, soit dans l'exemple précis, dans la bande S (et plus particulièrement la sous-bande 2.9GHz-3.3GHz) et dans la bande dédiée aux applications IFF (1.03GHz et 1.09GHz).

[0101] Elle consiste enfin en un radar bi-bande comprenant une unique antenne à balayage électronique, l'antenne étant réalisée à partir du réseau rayonnant décrit ci-avant, et fonctionnant indépendamment dans les deux bandes de fréquences.

Revendications

1. Dispositif rayonnant dans deux bandes de fréquences distinctes, une bande de fréquences haute et au moins une sous-bande d'une bande de fréquences basse, ledit dispositif étant **caractérisé en ce qu'il** comprend :

- au moins un élément de type patch (101) adapté à la bande de fréquences haute et relié à un premier accès (109),
- au moins un élément de type fente repliée (102), adapté à la bande de fréquences basse et relié à un deuxième accès (105) différent dudit premier accès,
- un filtre (110) positionné entre ledit élément de type patch et ledit premier accès, configuré pour filtrer la bande de fréquences basse et être passant pour la bande de fréquences haute,

et **en ce que** les éléments qui le constituent sont positionnés dans une surface inférieure ou égale à un carré de bord $\lambda/2$, où λ est la longueur d'onde

correspondant à la fréquence maximale de la bande de fréquences haute..

2. Dispositif rayonnant selon la revendication précédente, dans lequel ledit élément de type fente (102) est logé dans un plan de masse du dispositif. 5
3. Dispositif rayonnant selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le ou les dits éléments de type fente repliée (102) sont repliés en forme de U et positionnées en périphérie du dispositif. 10
4. Dispositif rayonnant selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le nombre d'éléments de type fente est égal au nombre de sous-bandes de la bande de fréquences basse, lesdits éléments de type fente étant alimentées par un même deuxième accès. 15
5. Dispositif rayonnant selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le nombre d'éléments de type fente est égal au nombre de sous-bandes de la bande de fréquences basses, lesdits éléments de type fente étant alimentées par des accès différents. 20
6. Dispositif rayonnant selon l'une des revendications 1 à 3, comprenant un unique élément de type fente (601) alimenté par ledit deuxième accès (109) auquel il est relié par un circuit résonateur (602), le couplage entre ladite fente et ledit circuit résonateur étant ajusté pour rayonner dans deux sous-bandes distinctes de la bande fréquences basse. 25
7. Dispositif rayonnant selon la revendication 6, dans lequel ledit circuit résonateur (602) est un circuit résonateur parallèle comprenant une inductance (603) et un condensateur (604), ledit résonateur étant relié à l'élément de type fente (601) par un guide d'onde de longueur $\lambda/4$, où λ est la longueur d'onde associée à la fréquence centrale de la bande de fréquences basse. 30
8. Dispositif rayonnant selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ledit filtre (110) positionné entre l'élément de type patch (101) et le premier accès (109) comprend une pluralité de tronçons de ligne microruban de largeurs différentes. 35
9. Dispositif rayonnant selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre un filtre passe-bas (106) positionné entre le ou les dits éléments de type fente (102) et ledit deuxième accès (105), et configuré pour filtrer la bande de fréquences haute. 40
10. Dispositif rayonnant selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre un deuxième élément (206) de type patch adapté à la bande de fréquences haute, ledit deuxième élément de type 45

patch étant disposé au-dessus dudit premier élément de type patch.

11. Dispositif rayonnant selon l'une des revendications précédentes, mis en oeuvre dans un circuit imprimé multicouches pour lequel ledit élément de type patch (101), le ou les dits éléments de type fente (102), et ledit filtre (110) positionné entre l'élément de type patch et le premier accès sont dans des couches différentes (201, 202, 203, 204) du circuit imprimé. 50
12. Dispositif rayonnant selon la revendication précédente, dans lequel au moins une fréquence de la bande de fréquences haute est un multiple entier impair d'une fréquence de la bande de fréquences basse.
13. Dispositif rayonnant selon la revendication précédente, dans lequel la bande de fréquences haute comprend la bande 2.9GHz - 3.3GHz.
14. Dispositif rayonnant selon l'une des revendications précédentes, dans lequel une sous-bande de la bande de fréquences basse est centrée autour d'une fréquence choisie parmi la fréquence 1030MHz et la fréquence 1090MHz.
15. Dispositif rayonnant selon l'une des revendications précédentes, réalisé en technologie imprimée.
16. Réseau rayonnant configurée pour rayonner dans deux bandes de fréquences distinctes, **caractérisée en ce qu'il** comprend des dispositifs rayonnants selon l'une des revendications précédentes.
17. Radar à balayage électronique configuré pour fonctionner simultanément dans deux bandes de fréquences différentes, et **caractérisé en ce qu'il** comprend un réseau rayonnant selon la revendication 16. 55

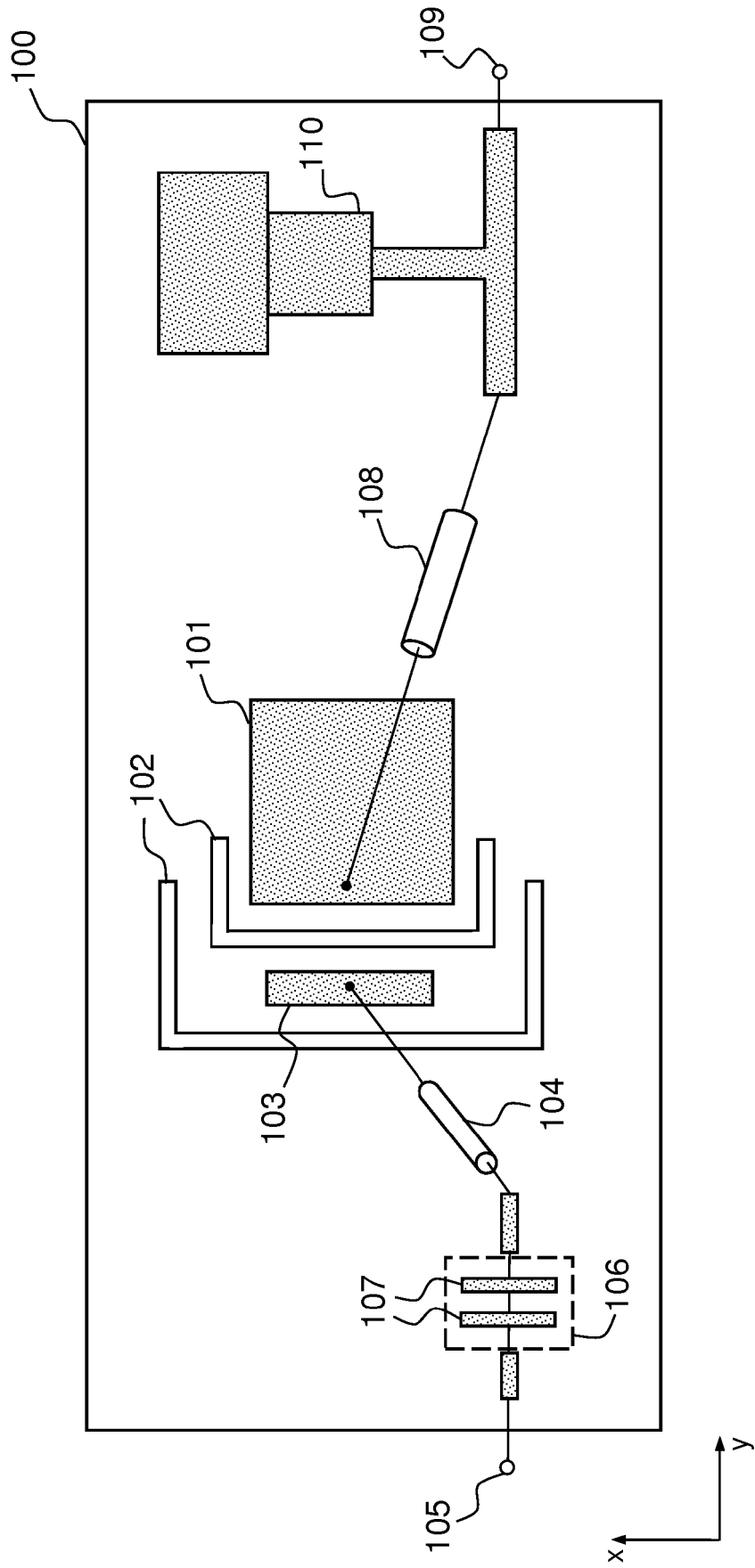


FIG.1

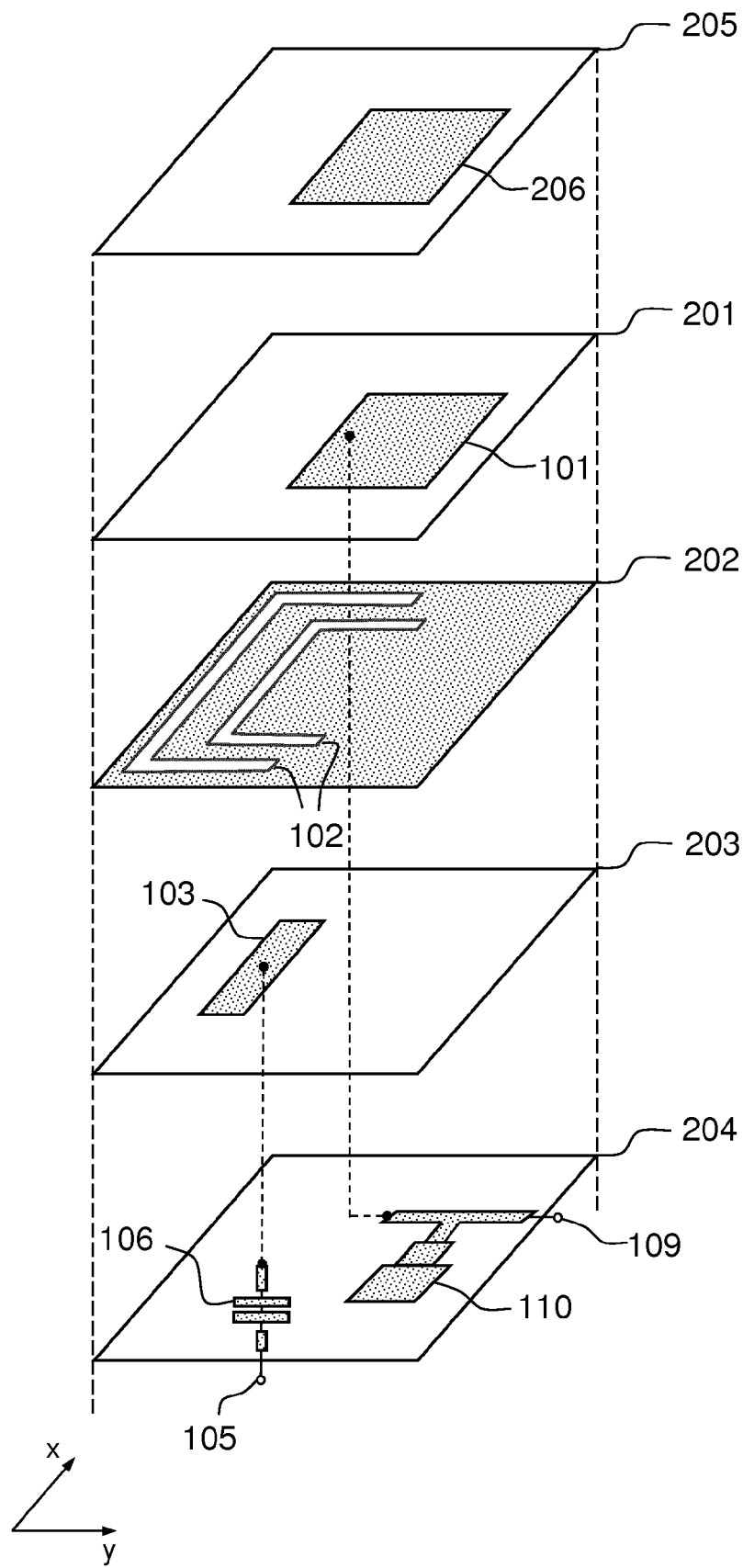


FIG.2

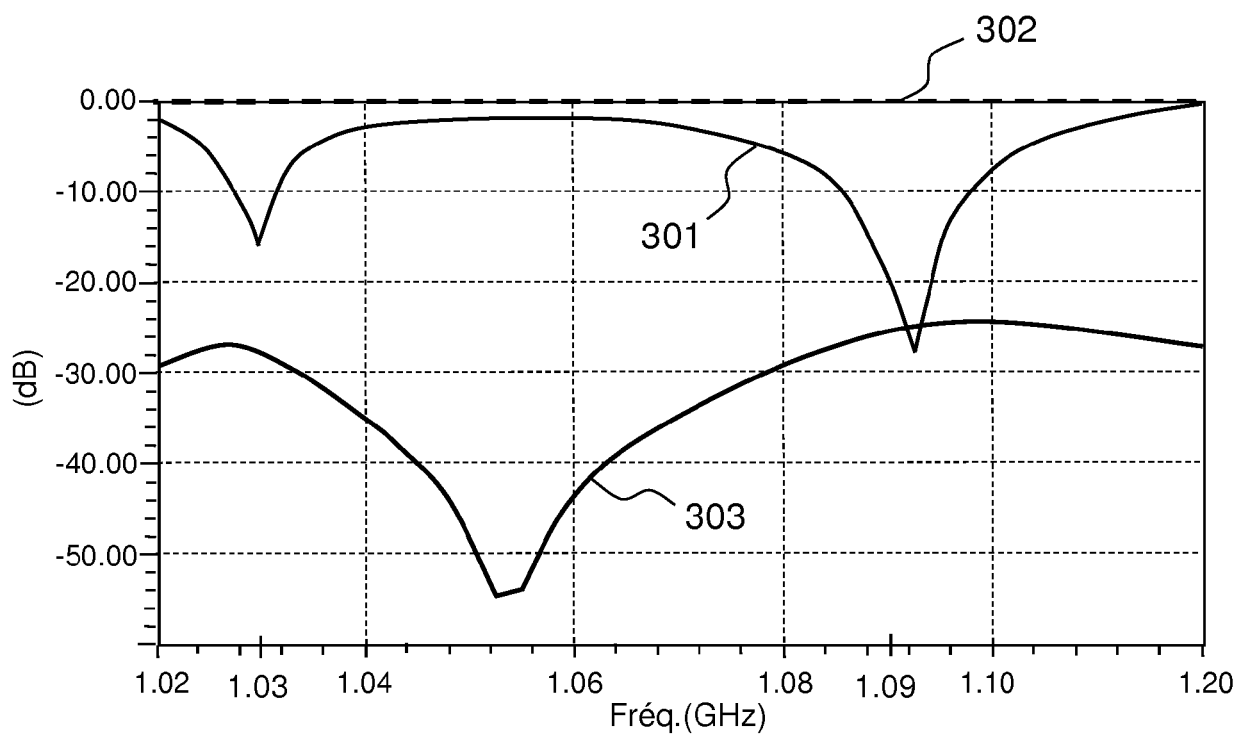


FIG.3a

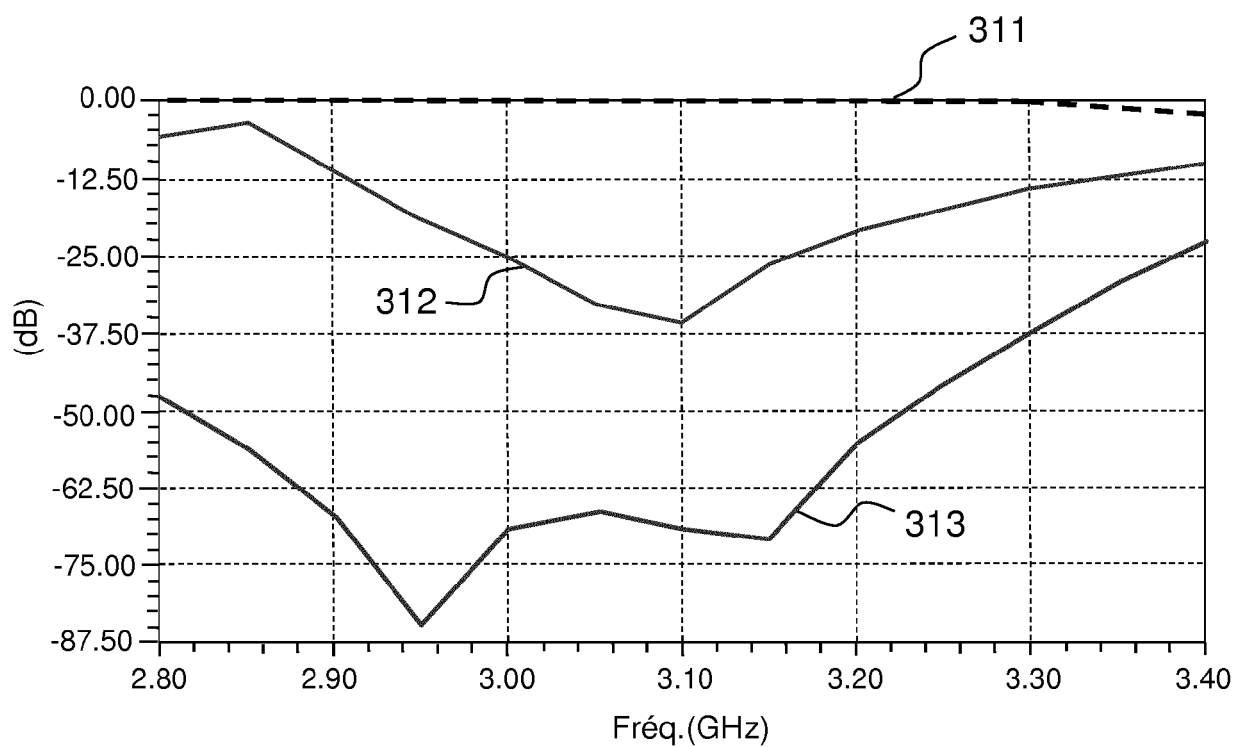


FIG.3b

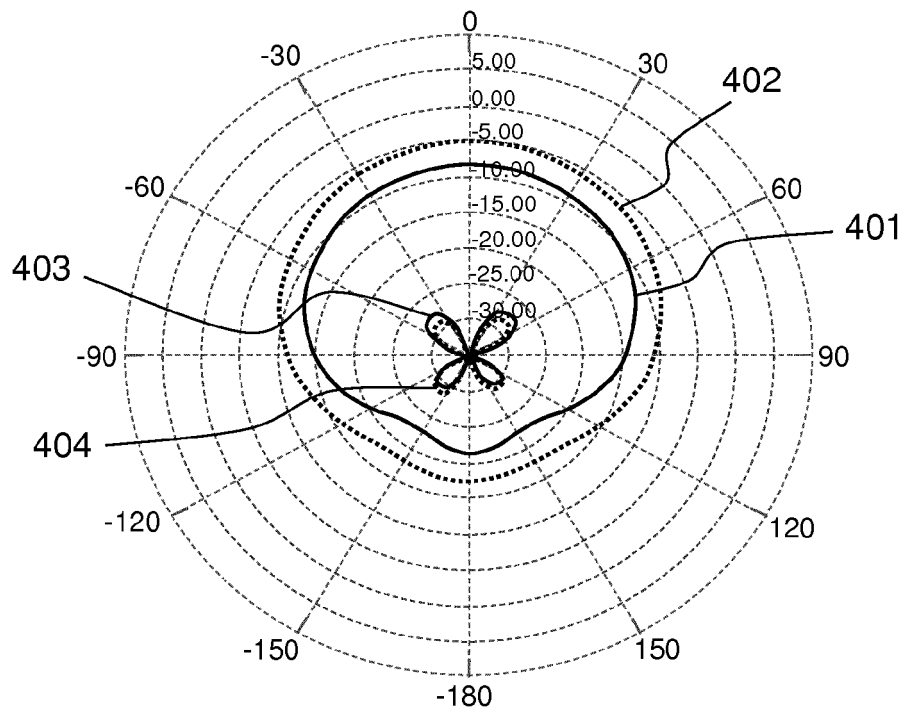


FIG.4a

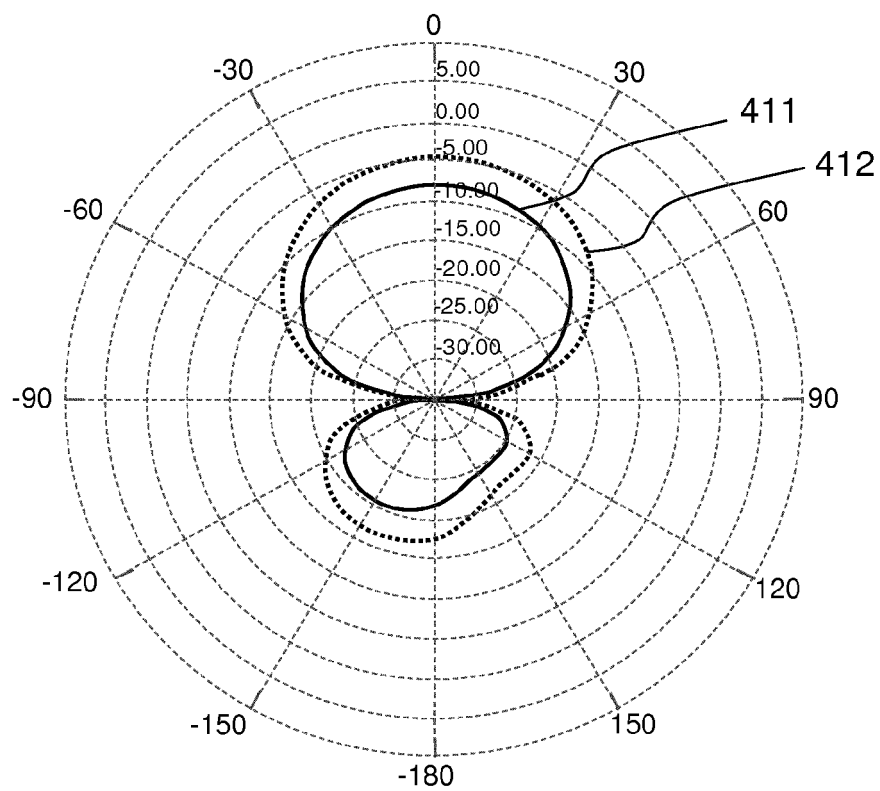


FIG.4b

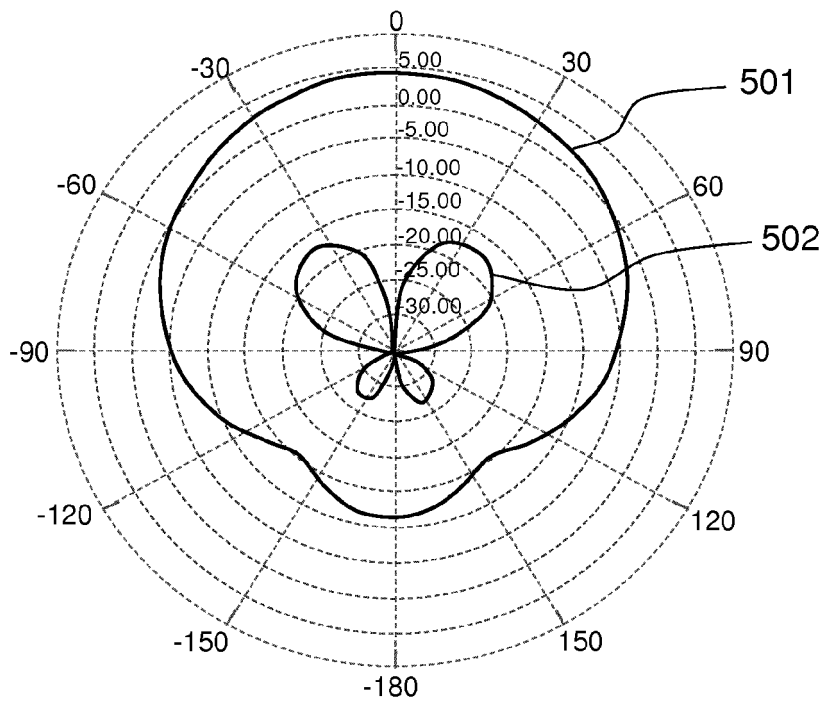


FIG.5a

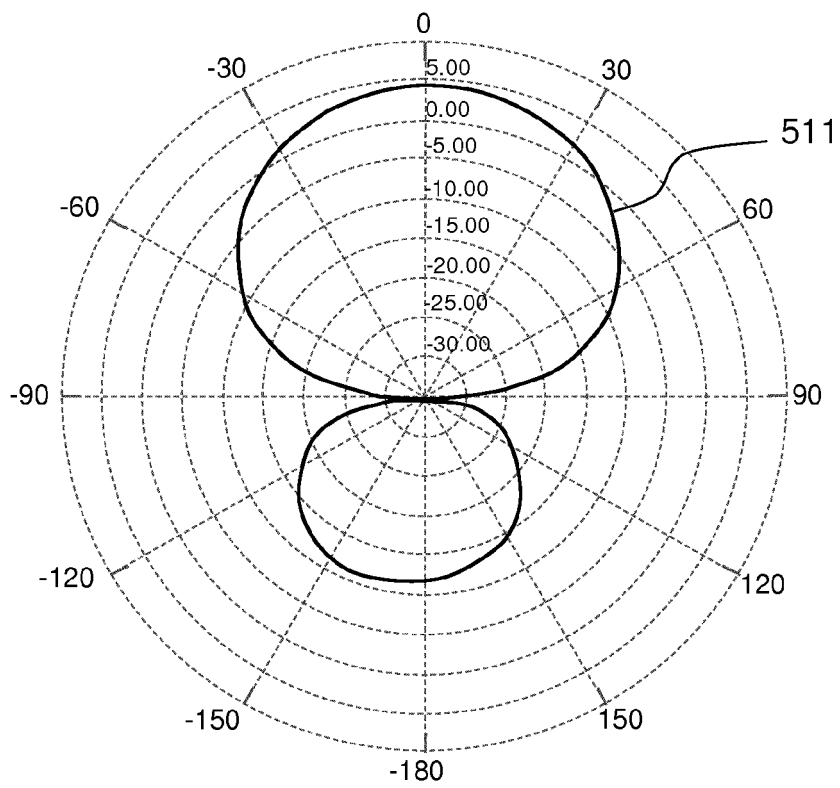


FIG.5b

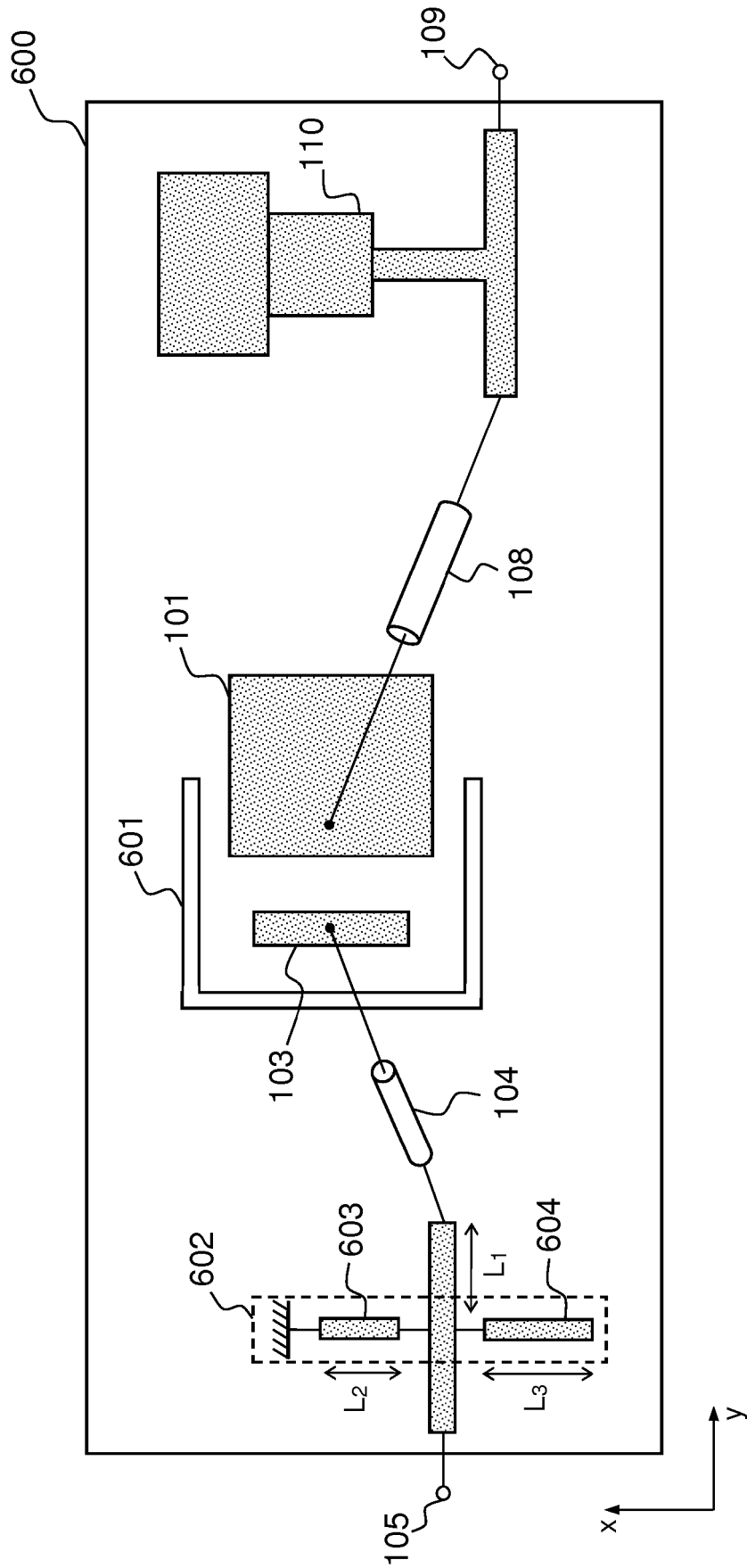


FIG.6

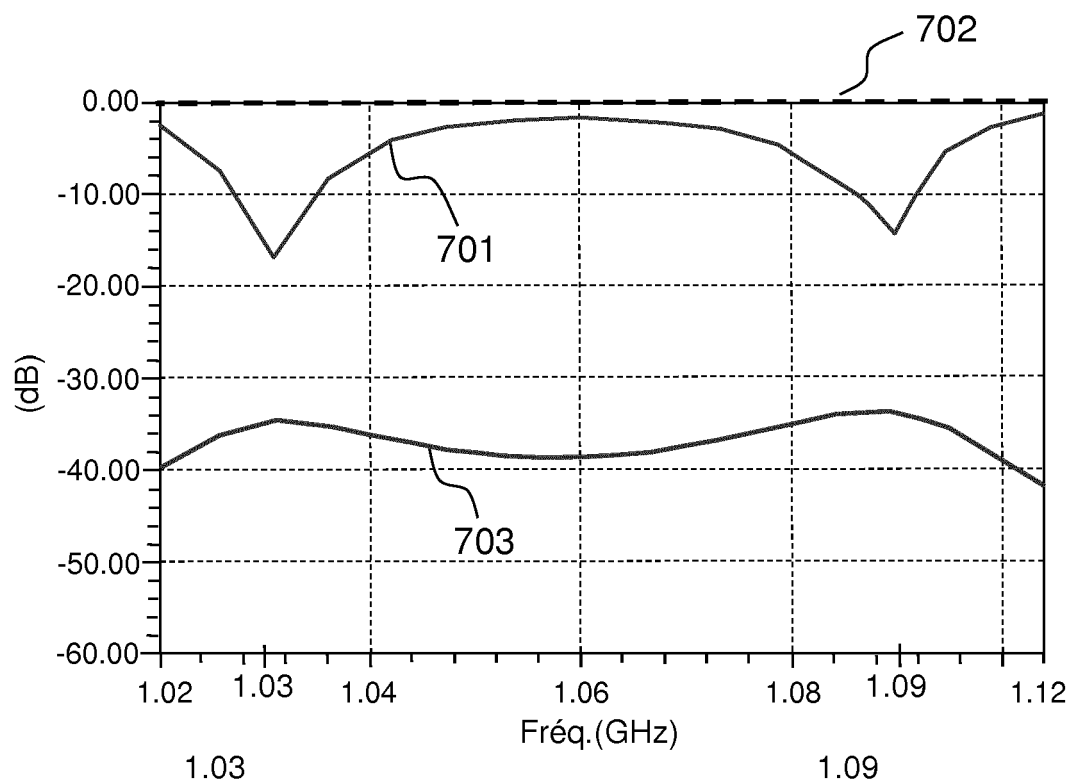


FIG.7a

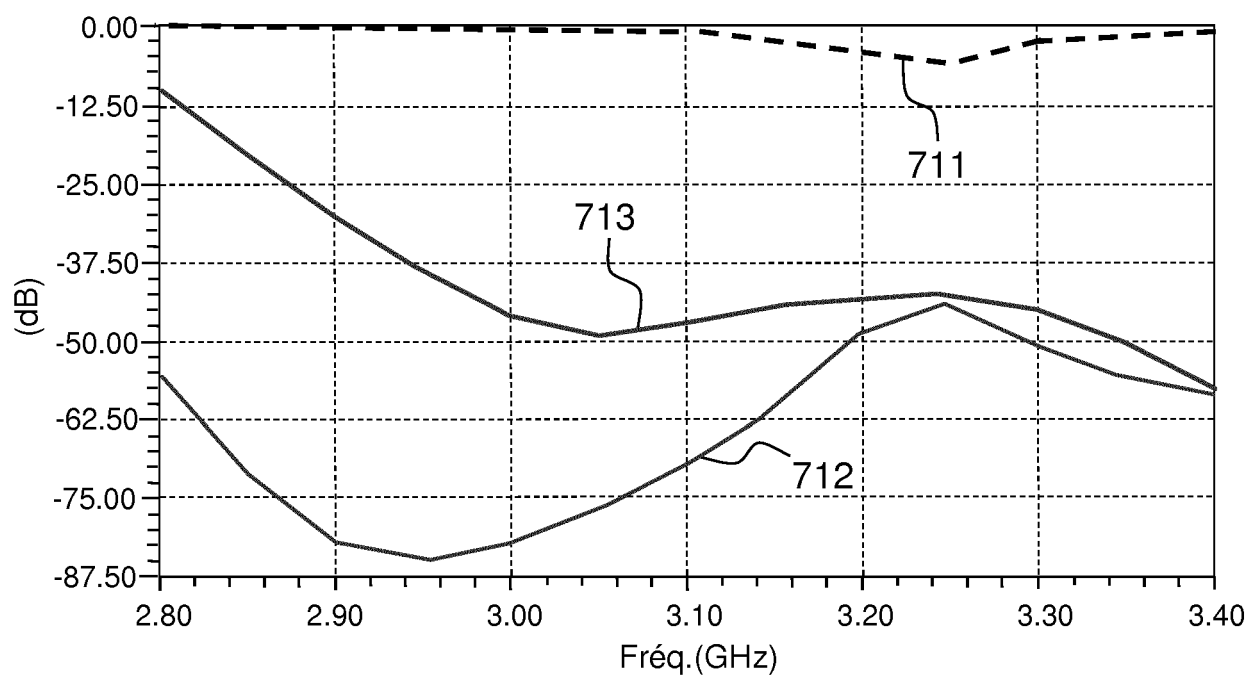


FIG.7b

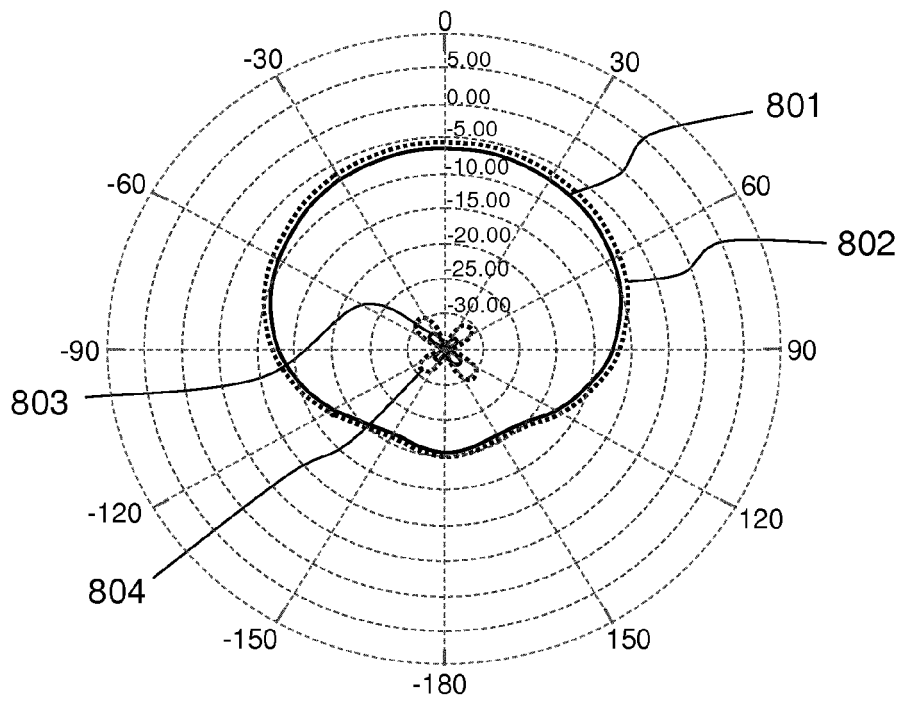


FIG.8a

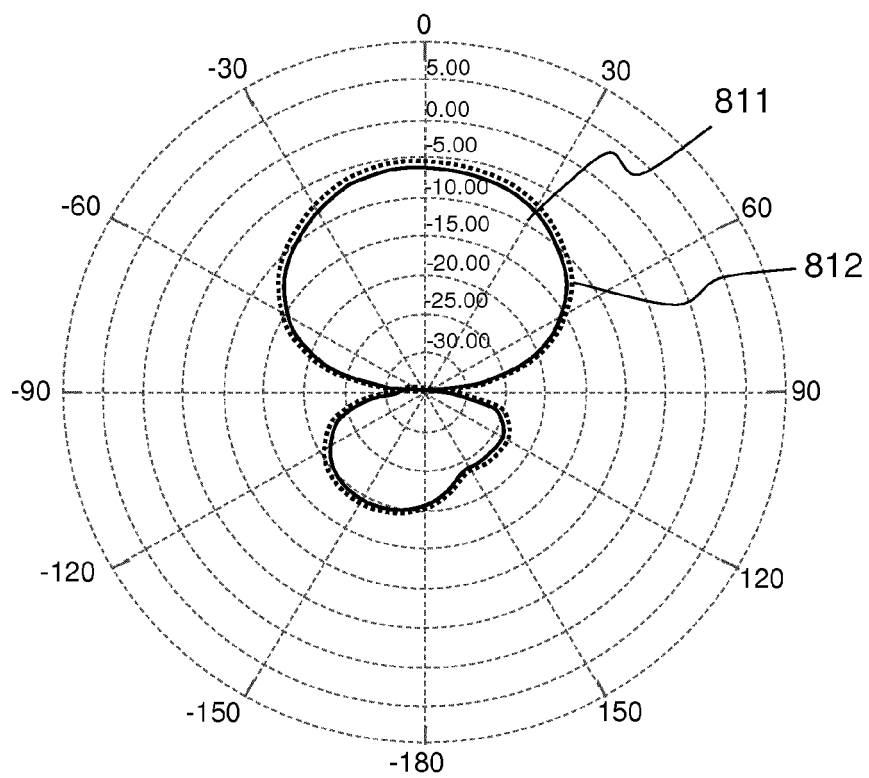


FIG.8b

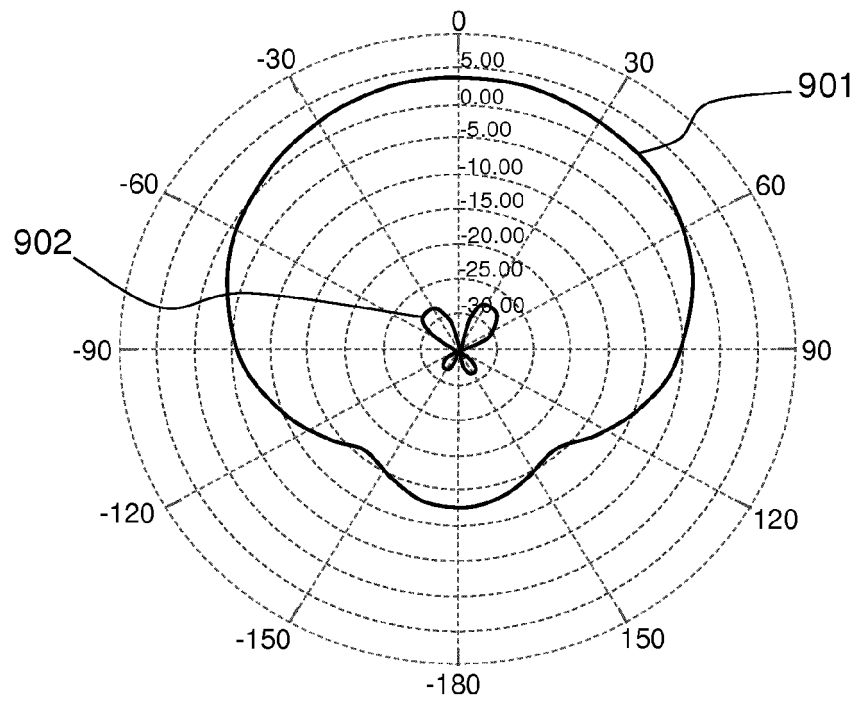


FIG.9a

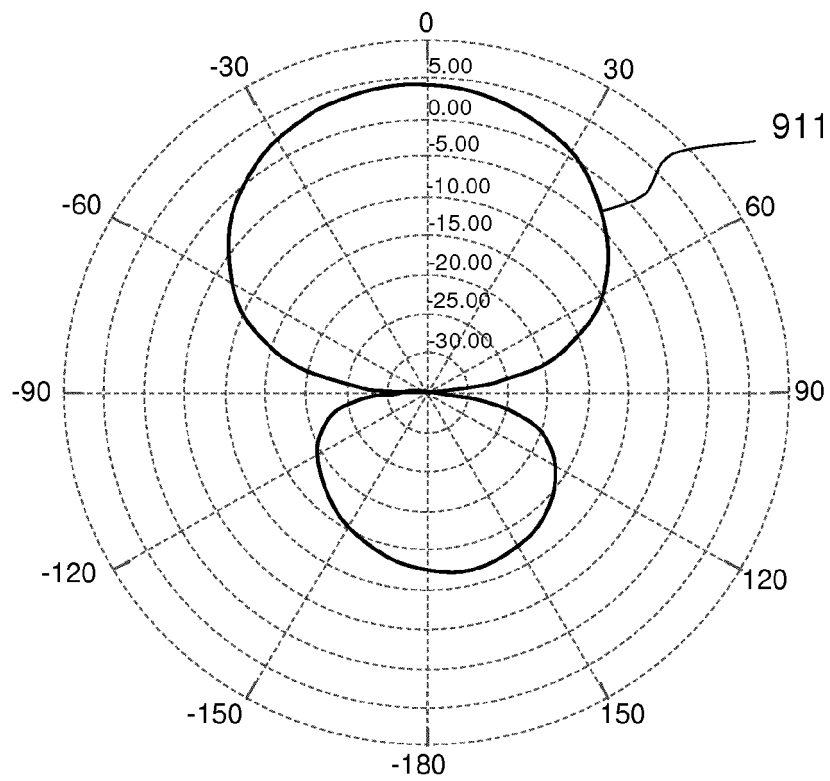


FIG.9b

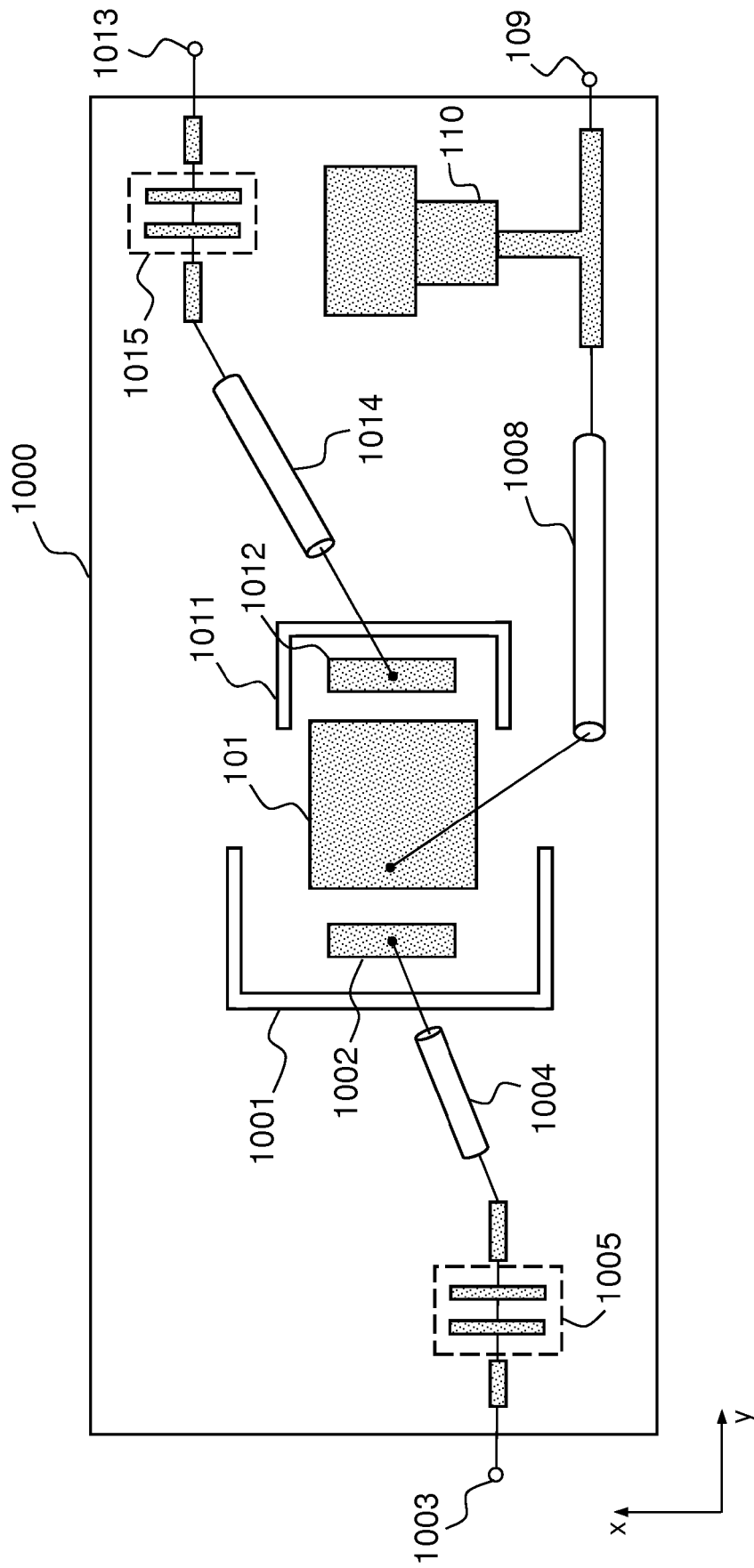


FIG.10



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 16 20 1682

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Y,D	US 2003/164800 A1 (JORDAN DAVID FREDERICK [US] ET AL) 4 septembre 2003 (2003-09-04) * alinéas [0021] - [0026]; figure 1, * -----	1-17	INV. H01Q9/04 H01Q13/16 H01Q21/28 H01Q21/30
Y,D	AU 2015 101 429 A4 (APPLE INC) 12 novembre 2015 (2015-11-12) * alinéas [0052] - [0061]; figures 7,8 * -----	1-17	
A	US 2006/208901 A1 (KAI MANABU [JP] ET AL) 21 septembre 2006 (2006-09-21) * alinéas [0056] - [0061]; figure 1 * -----	1-17	
A	WO 2004/102744 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]; BOYLE KEVIN R [GB]) 25 novembre 2004 (2004-11-25) * page 5, ligne 3 - page 7, ligne 30; figures 2,5 * -----	1-17	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		5 avril 2017	Moumen, Abderrahim
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 16 20 1682

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

05-04-2017

10

Document brevet cité
au rapport de recherche

Date de
publication

Membre(s) de la
famille de brevet(s)

Date de
publication

15

US 2003164800 A1 04-09-2003

CA 2420814 A1 04-09-2003

DE 60311913 T2 08-11-2007

EP 1365475 A1 26-11-2003

ES 2282571 T3 16-10-2007

JP 2003283230 A 03-10-2003

US 2003164800 A1 04-09-2003

20

AU 2015101429 A4 12-11-2015

AU 2015101429 A4 12-11-2015

CN 205016663 U 03-02-2016

DE 202015007012 U1 26-01-2016

KR 20160001281 U 19-04-2016

KR 20160092517 A 04-08-2016

US 2016104944 A1 14-04-2016

25

US 2006208901 A1 21-09-2006

EP 1720216 A1 08-11-2006

JP 4255493 B2 15-04-2009

US 2006208901 A1 21-09-2006

WO 2005083838 A1 09-09-2005

30

WO 2004102744 A1 25-11-2004

EP 1625639 A1 15-02-2006

JP 4302738 B2 29-07-2009

JP 2006529070 A 28-12-2006

KR 20060013399 A 09-02-2006

US 2007040751 A1 22-02-2007

WO 2004102744 A1 25-11-2004

35

40

45

50

55

EPO FORM P0460

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- US 20030164800 A1 [0008]
- AU 2015101429 A4 [0009]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **S.E VALAVAN.** A Dual Band Quasi-Magneto-Electric Patch Antenna for X-band Phased Array. *Proceedings of the 44th European Microwave Conference*, 2014 [0012]