

(19)



(11)

EP 2 643 886 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

14.01.2015 Bulletin 2015/03

(51) Int Cl.:

H01Q 9/04 (2006.01)

(86) Numéro de dépôt international:

PCT/EP2011/070712

(21) Numéro de dépôt: **11787860.3**

(22) Date de dépôt: **22.11.2011**

(87) Numéro de publication internationale:

WO 2012/069492 (31.05.2012 Gazette 2012/22)

(54) **ANTENNE PLANAIRE A BANDE PASSANTE ELARGIE**

FLACHANTENNE MIT ERWEITERTER BANDBREITE

PLANAR ANTENNA HAVING A WIDENED BANDWIDTH

(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**

• **DELAVEAUD, Christophe**

F-38430 Saint Jean De Moirans (FR)

• **VIALA, Bernard**

F-38360 Sassenage (FR)

(30) Priorité: **22.11.2010 FR 1059611**

(74) Mandataire: **Labatte, Laurent et al**

Marks & Clerk France

Immeuble Visium

22, avenue Aristide Briand

94117 Arcueil Cedex (FR)

(43) Date de publication de la demande:
02.10.2013 Bulletin 2013/40

(73) Titulaire: **Commissariat à l'Énergie Atomique
et aux Énergies Alternatives
75015 Paris (FR)**

(56) Documents cités:

US-A- 4 903 033

US-A1- 2009 174 606

US-B2- 7 589 676

(72) Inventeurs:

• **GRANGE, François**

F-38430 Moirans (FR)

EP 2 643 886 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne une antenne planaire à bande passante élargie. Elle s'applique notamment aux terminaux de communications mobiles.

[0002] L'invention s'applique, par exemple, pour des antennes planaires hyperfréquences à bande passante élargie.

[0003] De nombreux appareils, notamment les téléphones portables, utilisent une antenne en technologie micro ruban planaire pour leur structure souple et facilement intégrable.

[0004] Cependant, cette antenne doit répondre à certains critères tels qu'avoir une bande passante large, un fort gain, un encombrement réduit et qu'elle soit à faible coût pour l'intégrer dans ces appareils. Ces critères souvent ne peuvent pas être respectés en même temps, notamment pour la bande passante, le bon rendement (fort gain) et l'encombrement réduit. En particulier, pour avoir un bon rendement, la bande passante de cette antenne est généralement faible, de l'ordre de 5%.

[0005] Plusieurs techniques basées sur la modification de la géométrie de l'antenne ont été proposées pour élargir la bande passante au détriment de l'encombrement de l'antenne. D'autres techniques reposent sur l'utilisation de substrats diélectriques à perte, l'insertion de fentes sur l'élément rayonnant, l'utilisation du contexte proche, et l'utilisation de matériaux ayant des surfaces à haute impédance.

[0006] Le document de l'art antérieur US 7589676 qui est considéré comme étant l'état de la technique le plus proche de l'objet de la revendication 1, décrit une antenne à couplage par fente.

[0007] Un exemple d'une telle antenne est donné par l'article « Stacked H-shaped microstrip patch antenna », publié en 2004 dans *Antennas and Propagation*, IEEE Transactions, pages 983 à 993, de J. Anguera et al.

[0008] Dans cet article, il est décrit une antenne patch, comprenant un premier élément rayonnant disposé au dessus d'un plan de masse et excité sur son mode fondamental par une sonde coaxiale, et un deuxième élément rayonnant disposé au dessus du premier élément et excité par le premier élément rayonnant par couplage capacitif de sorte que les courants s'épanouissent dans le premier élément rayonnant et excitent à leur tour le deuxième élément. Des plots métalliques permettent la connexion entre les différentes couches séparées entre elles par une couche d'air faisant office de diélectrique pour isoler électriquement les couches conductrices l'une de l'autre.

[0009] Dans cet article, les deux éléments rayonnants n'ont pas la même taille, le deuxième élément rayonnant est plus grand que le premier élément rayonnant. Il en résulte une création de deux bandes de fréquences séparées.

[0010] La bande passante d'une telle antenne est augmentée par rapport à une structure classique mais au détriment de la taille de cette antenne qui est volumineu-

se. Il en résulte que ce type d'antennes est très difficilement intégrable car on obtient une épaisseur de l'antenne relativement grande pour les besoins de l'intégration dans un objet communiquant.

[0011] Un des buts de l'invention est de pallier tout ou partie des inconvénients des antennes de l'état de la technique en proposant une antenne qui présente à la fois une bande passante élargie et un encombrement moindre par rapport aux antennes connues de l'art antérieur.

[0012] Un objet de l'invention est de proposer une antenne qui a un bon rendement, autrement dit une efficacité de rayonnement améliorée.

[0013] Un autre objet de l'invention est de proposer une antenne en couches minces en technologie planaire réduisant aussi son encombrement de manière à pouvoir l'intégrer dans un réseau d'antennes ou tout système de communication.

[0014] Un autre objet de l'invention est de proposer une antenne bi-mode, autrement dit deux modes de polarisation du champ électromagnétique se propageant dans l'antenne, avec deux fréquences de résonance proches obtenues grâce à un dispositif d'alimentation/excitation simple.

[0015] Un autre objet de l'invention est de proposer une antenne avec les deux modes de polarisation orthogonaux entre eux, dont l'orientation résultante du champ électromagnétique évolue en fonction de la fréquence.

[0016] Un autre objet de l'invention est de proposer une antenne ayant une impédance d'entrée compatible avec une adaptation correcte aux dispositifs hyperfréquences.

[0017] Un autre objet de l'invention est de proposer une antenne simple de réalisation et à faible coût favorable à une production industrielle en masse.

[0018] A cet effet, l'invention a pour objet une antenne planaire adaptée à transmettre ou recevoir une onde électromagnétique, l'antenne comprenant au moins un premier élément conducteur disposé au dessus d'un plan de masse et séparé de ce dernier, des moyens d'excitation dudit au moins premier élément conducteur configurés pour exciter deux modes de propagation (en particulier deux modes résonants) orthogonaux distincts, caractérisée en ce que ledit au moins premier élément conducteur est réalisé par un substrat comportant au moins une couche mince d'un matériau anisotrope à perméabilité relative supérieure à 10 pour 2 GHz.

[0019] Selon un mode de réalisation de l'antenne selon l'invention, au moins une fente est formée dans le plan de masse et permet au dit au moins un premier élément conducteur d'être alimenté par couplage électromagnétique par au moins une ligne de transmission, ladite au moins une fente étant réalisée par une première ouverture s'étendant selon une direction formant un premier angle compris entre 30° et 60° avec la direction de la ligne de transmission, et par une deuxième ouverture s'étendant selon une direction formant un deuxième angle compris entre -30° et +30° avec la direction de la

première ouverture.

[0020] Un avantage d'une antenne selon l'invention réside dans le fait que grâce à la présence d'un matériau anisotrope en couche mince et/ou à la disposition des ouvertures par rapport à un bord de l'élément conducteur ou rayonnant et à leur disposition entre elles, on force le champ électromagnétique dans l'antenne à se propager selon deux modes de propagation orthogonaux entre eux, distincts et proches, amenant l'antenne à avoir une seule et unique bande plus élargie par rapport à la bande passante des antennes connues, sans complexifier la structure et l'encombrement de l'antenne. On crée ainsi une antenne bi-mode (ou dual mode en anglais).

[0021] Les modes de réalisation de cette antenne planaire peuvent comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- chaque ouverture comprend un point proximal à un coin dudit au moins un premier élément conducteur situé à une distance maximale dudit coin sensiblement égale au tiers de la longueur de l'onde électromagnétique, avantageusement sensiblement égale au quart de cette longueur ;
- le point proximal est situé sensiblement sur la diagonale reliant ledit coin au coin opposé dudit au moins un premier élément conducteur ;
- ladite au moins une ligne de transmission croise chaque ouverture avec un angle compris entre 30° et 150° avec la direction dans laquelle s'étend l'ouverture ;
- ledit au moins un premier élément conducteur présente des dimensions différentes selon deux directions orthogonales (X, Y) ;
- ledit au moins premier élément conducteur est réalisé par un substrat comportant au moins une couche mince d'un matériau anisotrope à perméabilité relative supérieure à 10 pour 2 GHz ;
- le substrat peut comprendre en outre au moins une couche mince d'un matériau diélectrique à permittivité relative supérieure à 10 pour 2 GHz ;
- le substrat peut comprendre un empilement d'au moins une couche mince en matériau anisotrope et d'au moins une couche mince en matériau diélectrique alternées, l'épaisseur de la couche mince étant située entre $\lambda/500$ et $\lambda/300$;
- ledit au moins premier élément conducteur présente des dimensions égales selon deux directions orthogonales X, Y, avantageusement égales à la moitié de la longueur de l'onde électromagnétique ;
- l'antenne peut comprendre au moins un deuxième élément conducteur situé au dessus dudit au moins premier élément conducteur et séparé de ce dernier par une couche intermédiaire ;
- ledit au moins un premier élément conducteur et ledit au moins un deuxième élément conducteur ont les mêmes dimensions ;
- les ouvertures sont rapprochées pour ne former qu'une seule fente, et ladite au moins une ligne de

transmission est disposée en regard de cette fente de manière à produire un couplage électromagnétique, à travers la première ouverture et à travers la deuxième ouverture, avec lesdits au moins un premier et un deuxième éléments conducteurs ;

- ladite seule fente forme un « L » et la ligne de transmission est disposée en regard du coin dudit « L » pour former, dans le plan desdits au moins éléments conducteurs, un angle compris entre 30° et 60° avec chacun des deux axes du « L », avantageusement un angle de 45°.

[0022] Ces modes de réalisation présentent en outre les avantages suivants :

- l'utilisation des deux ouvertures à des positions situées au tiers, voire au quart de la longueur de l'onde électromagnétique émise ou reçue, ou l'utilisation de la fente en « L » dans l'alignement d'un coin d'un des éléments conducteurs ou rayonnants, permet d'exciter deux modes de propagation du champ électromagnétique de l'antenne ;
- l'utilisation, pour un des éléments conducteurs, d'un substrat composite magnéto-diélectrique anisotrope multi-alternances à perméabilité et permittivité relatives réglables, en particulier supérieures à 10 pour 2GHz, permet d'accroître la bande passante de l'antenne planaire tout en contribuant à sa miniaturisation ;
- l'utilisation d'une fente en « L » dans l'alignement d'un coin d'un des éléments conducteurs constitué un dispositif d'alimentation/excitation simple de réalisation et permet de n'avoir qu'un seul accès pour exciter les deux modes de propagation orthogonaux du champ électromagnétique dans l'antenne afin de maintenir un type de polarisation voulu ;
- isoler électriquement les éléments rayonnants ou conducteurs du plan de masse permet d'éviter de réaliser des plots verticaux reliant ces éléments au plan de masse ce qui simplifie la fabrication de l'antenne planaire et contribue également à la miniaturisation de l'antenne ;
- faire tourner la polarisation du champ électromagnétique en fonction de la fréquence d'un angle pouvant aller de 0° à 90°.

[0023] D'autres caractéristiques apparaîtront à la lecture de la description détaillée donnée à titre d'exemple et non limitative qui suit faite en regard de dessins annexés qui représentent :

- la figure 1, une représentation en perspective d'un premier mode de réalisation d'une antenne selon l'invention ;
- les figures 2 et 3 sont une représentation en perspective et en coupe respectivement d'un deuxième mode de réalisation de l'antenne selon l'invention ;
- la figure 4, des courbes représentant l'évolution en

fonction de la fréquence, la perméabilité complexe d'un matériau anisotrope utilisé pour former un des éléments conducteurs de l'antenne pour modifier les conditions de résonance selon une seule direction de l'antenne ;

- les figures 5a, 5b, une représentation schématique simplifiée d'exemples de modes d'alimentation d'une antenne selon l'invention ;
- les figures 6a et 6b, respectivement la partie réelle et la partie imaginaire de l'impédance d'entrée d'une antenne selon l'invention ;
- les figures 7a, 7b et 7c, des schémas simplifiés représentant trois types d'antenne différents, le premier type de la figure 7a étant connu de l'art antérieur ;
- la figure 8, des courbes représentant le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence, pour les types d'antenne représentés en figures 7a, 7b, 7c ;
- la figure 9, une courbe représentant l'efficacité de rayonnement de l'antenne de la figure 7c en fonction de la fréquence ;
- les figures 10a et 10b, des schémas représentatifs de trois différents plans de coupe et de la distribution du champ électromagnétique se propageant dans l'antenne selon l'invention ;
- les figures 11 a et 11 b, l'évolution du rapport axial des composantes du champ électromagnétique en fonction de la fréquence ;
- les figures 12a et 12b, l'évolution de l'angle alpha entre un plan de coupe et une direction du champ électromagnétique en fonction de la fréquence
- les figures 13a à 13i, des exemples selon des schémas simplifiés de l'antenne de l'invention, selon la géométrie de l'antenne et la position de la fente (ou des ouvertures) par rapport à un bord de l'antenne.

[0024] Pour des commodités de représentation, les figures ne sont pas à l'échelle notamment en ce qui concerne les épaisseurs ainsi que les tailles des ouvertures.

[0025] Dans cette description, les figures sont orientées par rapport à un repère XYZ comportant deux directions horizontales orthogonales X et Y et une direction verticale Z. Les termes « haut » / « bas », « au-dessus » / « au-dessous », « sur » / « sous » sont définis par rapport à cette direction Z.

[0026] Dans la suite de la description, les caractéristiques et les fonctions bien connues de l'homme du métier ne sont pas décrites en détail.

[0027] Dans la figure 1, un premier mode de réalisation d'une antenne selon la présente invention est représenté selon une vue en perspective.

[0028] L'antenne 101 de l'invention est une antenne planaire micro ruban, apte à émettre et/ou à recevoir des ondes électromagnétiques à une fréquence de travail f_T correspondant à une longueur d'onde λ_T . Typiquement, la fréquence f_T est comprise entre 100 MHz et 100 GHz et, de préférence, entre 1 GHz et 10 GHz.

[0029] L'antenne planaire 101, de préférence en technologie micro ruban, émet essentiellement des ondes électromagnétiques dans le demi-espace supérieur au plan XY. Ici, la direction principale d'émission/réception est perpendiculaire au plan XY et confondue avec la direction Z.

[0030] Ici, l'antenne 101 comprend un empilement, selon la direction Z, de différentes couches s'étendant essentiellement dans un plan horizontal.

[0031] L'empilement comporte un premier élément conducteur ou rayonnant 111 disposé au dessus d'un plan de masse 115, ou un substrat ayant pour fonction la masse. Dans le cas particulier décrit ici, le premier élément conducteur se présente sous la forme d'une plaque horizontale, de préférence sensiblement rectangulaire ou sensiblement carrée, mais peut avoir d'autres géométries comme on le verra plus loin.

[0032] Dans ce mode de réalisation, le premier élément conducteur 111 présente une face avant horizontale exposée aux rayonnements électromagnétiques.

[0033] Pour isoler électriquement le premier élément conducteur 111 et le plan de masse 115, ces deux derniers sont séparés par une couche diélectrique ou un substrat 116 d'une hauteur h correspondant à l'épaisseur de cette couche qui est par exemple de l'ordre de 500 à 700 μm .

[0034] Le substrat 116 peut être dans l'exemple une couche mince diélectrique de type ROGERS commercialisé sous la marque ROGERS 4003 de permittivité relative égale à 3.55 et d'épaisseur égale à 0.8 mm. Le plan de masse 115 peut être réalisé en cuivre et peut avoir une épaisseur de plusieurs micromètres, par exemple, de 9 μm à plusieurs mm.

[0035] Une ligne de transmission micro ruban est placée en dessous du plan de masse 115 pour alimenter le premier élément conducteur ou rayonnant 111 à travers une fente 120 pratiquée dans le plan de masse 115.

[0036] Ici, la ligne de transmission peut être une ligne micro ruban imprimée sur un substrat du type ROGERS 4003 et d'impédance caractéristique égale à 50 ohms. Les dimensions de cette ligne peuvent être déterminées à partir de l'épaisseur et la permittivité du substrat, par exemple, elles peuvent être de largeur de 1,2 mm et de longueur de 6cm.

[0037] Une couche formant substrat, non représentée, peut être prévue entre le plan de masse 115 et la ligne de transmission 117 pour la maintenir au dessous de ce plan et de l'isoler électriquement de ce dernier.

[0038] Le plan de masse 115 isole la ligne de transmission 117 de l'élément rayonnant 111 et limite l'interférence du rayonnement parasite sur le diagramme de rayonnement de l'antenne offrant ainsi une pureté de polarisation.

[0039] De manière connue, la ligne de transmission, les paramètres électriques et les dimensions des différentes couches composant l'antenne ainsi que la taille de la fente sont utilisés pour optimiser l'antenne.

[0040] Selon l'invention, la position de la fente 120 par

rapport à l'élément conducteur ainsi que sa forme ont une incidence sur les performances de l'antenne, en particulier sa bande passante, comme on le verra plus loin.

[0041] Selon le premier mode de réalisation de l'invention, le premier élément conducteur ou rayonnant 111 est réalisé par un substrat composite magnéto-diélectrique anisotrope en couche mince et à perméabilité et permittivité réglables.

[0042] Le matériau divulgué dans la demande de brevet européen publiée sous le numéro EP2200051 peut, par exemple, être utilisé dans le cadre de la présente invention pour modifier les conditions de résonance de l'élément conducteur 111.

[0043] Plus particulièrement, le premier élément conducteur est réalisé par au moins une couche en matériau ferromagnétique dont la perméabilité relative est supérieure à 10 dans la bande de fréquence d'intérêt, par exemple, pour une fréquence de 2 GHz, et dont l'épaisseur est strictement inférieure à l'épaisseur de peau de ce matériau ferromagnétique. Cette épaisseur peut être de l'ordre de 25 à 80 nm.

[0044] Une couche diélectrique peut être prévue entre cette couche en matériau ferromagnétique et le plan de masse 115 pour isoler électriquement cette couche du plan de masse.

[0045] Il est également possible que le substrat composite soit réalisé par un empilement de couches minces diélectriques, magnétiques et conductrices. Cet empilement permet de modifier les conditions de résonance de la couche conductrice formée par la couche 111.

[0046] Le matériau des couches magnétique peut être un matériau ferromagnétique utilisé seul ou couplé à un matériau antiferromagnétique.

[0047] Par exemple, ce matériau composite comprend un premier empilement de plusieurs sous-couches fines ferromagnétiques superposé sur une sous-couche fine isolante elle-même superposée sur un deuxième empilement de plusieurs sous-couches fines ferromagnétiques.

[0048] L'empilement de sous-couches fines ferromagnétiques peut être composé, par exemple, d'une première sous-couche intermédiaire assurant l'interface entre une première sous-couche ferromagnétique et une sous-couche diélectrique, d'une sous-couche ferromagnétique, d'une sous-couche antiferromagnétique, d'une deuxième sous-couche ferromagnétique, et d'une deuxième sous-couche intermédiaire.

[0049] La première sous-couche intermédiaire est par exemple réalisée en ruthénium (Ru), en tantale (Ta) ou en platine (Pt). Son épaisseur peut être inférieure à 10 nm.

[0050] La première sous-couche ferromagnétique présente une épaisseur inférieure à l'épaisseur de peau du matériau ferromagnétique et, de préférence, inférieure à la moitié ou au tiers de cette épaisseur de peau. Ici, son épaisseur est inférieure à 100 nm et, de préférence, inférieure à 50 ou 25 nm. Un tel choix de l'épaisseur de la sous-couche ferromagnétique limite les pertes magnéti-

ques du matériau.

[0051] Typiquement, cette sous-couche est réalisée dans un alliage de fer et/ou de cobalt et/ou de nickel. Il peut notamment s'agir d'un alliage fer Cobalt FeCo ou d'un alliage FeCoB. Ici, il s'agit d'un alliage $\text{Fe}_{65}\text{Co}_{35}$.

[0052] La sous-couche antiferromagnétique est par exemple réalisée dans un alliage de manganèse et notamment dans un alliage de manganèse et de nickel. Par exemple, ici, il s'agit d'un alliage Nickel Magnésium $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{50}$. La présence de la couche antiferromagnétique permet de créer un couplage d'échange afin que le matériau soit autopolarisé et ne nécessite donc pas pour cela la présence d'un champ magnétique extérieur artificiel.

[0053] Typiquement, l'épaisseur de cette sous-couche est inférieure à 100 nm et, par exemple, inférieure à 50 nm.

[0054] La deuxième sous-couche ferromagnétique est par exemple identique à la première sous-couche ferromagnétique. De même, la deuxième sous-couche intermédiaire est par exemple identique à la première sous-couche.

[0055] La sous-couche isolante est réalisée dans un matériau diélectrique présentant une permittivité relative supérieure à 10 et, de préférence, supérieure à 100 dans la bande de fréquences d'intérêt, par exemple à 2 ou 3 GHz. Cette sous-couche est typiquement réalisée à l'aide d'un oxyde de strontium (Sr) et de titane (Ti). Par exemple, il s'agit de titane de strontium (SrTiO_3). L'épaisseur de la sous-couche diélectrique est inférieure à 10 μm ou 1 μm . Elle est généralement plus épaisse que les sous-couches ferromagnétiques et antiferromagnétique.

[0056] Le deuxième empilement est par exemple identique au premier empilement et ne sera donc pas décrit plus en détail.

[0057] Selon une variante de ce mode de réalisation, l'élément conducteur 111 et la couche diélectrique séparant cet élément du plan de masse peuvent être remplacées par une alternance de couches minces en matériau magnétique anisotrope à forte perméabilité et de couches minces en matériau diélectrique à forte permittivité.

[0058] L'épaisseur typique des couches minces est avantageusement située entre $\lambda/300$ et $\lambda/100$, λ étant la longueur de l'onde émise ou reçue par l'antenne, par exemple, de quelques dizaines à centaines de nanomètres.

[0059] Le nombre d'alternances peut approximativement varier de 1 à 10.

[0060] Selon un deuxième mode de réalisation illustré sur les figures 2 et 3, l'antenne 201 comprend un empilement de deux éléments conducteurs 211 et 213 séparés par une couche intermédiaire 212 et une couche diélectrique 214 séparant cet empilement du plan de masse 215. Cet élément conducteur contribue à rayonner plus efficacement.

[0061] L'élément conducteur 213 du dessus de l'empilement est par exemple constitué d'or et présente une

face avant horizontale exposée aux rayonnements électromagnétiques. Son épaisseur est par exemple de 2 μm .

[0062] La couche intermédiaire 212 est réalisée en dioxyde de silicium et a pour rôle une isolation électrique entre les deux éléments conducteurs. Son épaisseur est égale à 1 μm dans l'exemple, mais l'espacement entre le premier élément conducteur 211 et le deuxième élément conducteur 213 peut être plus important, selon le niveau d'adaptation d'impédance souhaité.

[0063] La couche diélectrique 214 peut comprendre un substrat, par exemple du verre.

[0064] L'élément conducteur 211 est identique à l'élément conducteur du premier mode de réalisation. Cet élément conducteur peut être réalisé en matériau conducteur de conductivité élevée ou peut être réalisé par un substrat composite magnéto-diélectrique anisotrope en couche mince et à perméabilité et permittivité réglables, comme on le verra plus loin.

[0065] L'empilement de ce deuxième mode de réalisation forme, dans l'exemple, un parallélépipède rectangle de longueur L égale à 35 mm, de largeur W identique, de hauteur H égale à 500 μm , et disposé sur la couche métallique 215 formant le plan de masse surmontant une couche de substrat 216 - dans l'exemple un substrat de type ROGERS 4003 précité d'épaisseur égale à 0,8 mm.

[0066] Comme on le verra plus loin, avec ces dimensions la fréquence de résonance de l'antenne pour le mode fondamental TM_{100} est de 2.1 GHz.

[0067] De la même manière que dans le premier mode de réalisation, une ligne de transmission micro ruban 217 (figure 3) est placée au-dessous de la couche de substrat 216 (figure 3) pour alimenter l'antenne à travers une fente 220 pratiquée dans le plan de masse 215.

[0068] Un connecteur SMA peut être utilisé pour alimenter l'antenne via l'extrémité de la ligne de transmission 217.

[0069] Les éléments conducteurs ou rayonnants sont par exemple réalisés dans un matériau conducteur dont la conductivité est supérieure à 100 S/m et, de préférence, supérieure à 1000 S/m ou 1 MS/m. Ici, la conductivité des éléments résonnants 14 est supérieure ou égale à 5 MS/m.

[0070] Pour concevoir une antenne à bande passante élargie, les deux éléments conducteurs sont métalliques, et leurs dimensions suivant les directions X et Y sont inégales. On dit que l'antenne présente alors une dissymétrie dans ses dimensions.

[0071] Cependant, les dimensions de cette antenne peuvent demeurer identiques (pour une antenne carrée) et avoir une bande passante élargie en réalisant l'élément conducteur 213 en un matériau métallique et l'élément conducteur 211 en un substrat composite anisotrope.

[0072] La figure 4 illustre, par des courbes, la perméabilité complexe du matériau composite magnétique anisotrope en fonction de la fréquence du signal alimentant l'antenne. La première courbe 401 représente l'évolution en fonction de la fréquence de la perméabilité selon un

premier axe dans le plan de l'antenne et la deuxième courbe 402 représente l'évolution en fonction de la fréquence de la perméabilité du matériau selon un axe orthogonal au premier axe de la courbe 401, les deux axes étant dans le plan de la couche conductrice.

[0073] Il apparaît que le caractère anisotrope du matériau en couches minces se traduit par la présence de propriétés radioélectriques différentes selon les deux axes précités, la perméabilité relative selon le premier axe étant de l'ordre de 200 à une fréquence de 2GHz, tandis qu'elle est proche de l'unité selon le deuxième axe.

[0074] Par conséquent, l'utilisation d'un tel matériau pour constituer l'une des couches conductrices de l'antenne permet d'obtenir deux couches conductrices superposées (couche 211 et couche 213, cf. figure 2 où la couche 211 est l'élément conducteur 211 qui est le plus proche du plan de masse et la couche 213 est l'élément conducteur 213 qui reçoit l'onde électromagnétique) carrées qui ont des longueurs physiques égales (deux couches dont chacune présentant des dimensions selon les directions X et Y sont égales) mais ont des longueurs électriques différentes, de manière à élargir la bande passante. Il est à noter que l'élément conducteur ou rayonnant 213 du côté du rayonnement électromagnétique peut avoir des dimensions différentes que l'élément conducteur 211.

[0075] De plus, il en résulte que le matériau composite anisotrope satisfait aux besoins d'une compacité et d'une intégration élevée de l'antenne.

[0076] Les figures 5a et 5b représentent de manière schématique simplifiée deux modes d'alimentation d'une antenne selon l'invention, vus du dessous.

[0077] Pour faciliter la lecture de ces figures, seul l'élément conducteur 111 ou 211 est représenté.

[0078] Selon les figures 5a et 5b, l'antenne 500 comprend un élément conducteur 511 en forme d'un patch présentant quatre bords dont seul un des bords est référencé sur ces figures.

[0079] Sur la figure 5a, un premier mode d'alimentation par couplage est représenté.

[0080] Une première ouverture 512a et une deuxième ouverture 512b de forme rectangulaires fines sont pratiquées dans le plan de masse 551.

[0081] La première ouverture 512a s'étend dans une direction formant un angle compris entre 30° et 60° avec un des bords 520 de l'élément conducteur 511. Avantageusement, ladite ouverture 512a forme un angle de 45° avec ce bord.

[0082] La deuxième ouverture 512b s'étend dans une direction formant un angle compris entre -30° et +30° avec la direction de la première ouverture 512a.

[0083] De manière préférentielle, les deux ouvertures sont situées chacune à une distance maximale, égale au tiers voire au quart de la longueur de l'onde électromagnétique, d'un coin 522 de l'élément conducteur 511. Elles peuvent être toutes les deux proches d'un même coin, ou chacune proche d'un coin différent.

[0084] Les deux ouvertures 512a et 512b sont situées

sensiblement sur la diagonale reliant deux coins opposés de l'élément conducteur. Elles peuvent être sur la même diagonale et proches d'un même coin, ou chacune proche d'un côté opposé à l'autre. Elles peuvent également se situer sur deux diagonales différentes reliant deux coins opposés différents et proches d'un même bord 520 de l'élément rayonnant ou conducteur 511, ou chacune disposée sur ces deux diagonales proche de deux bords opposés de l'élément conducteur 511.

[0085] Les deux ouvertures peuvent également se croiser et former un point médian 512c proche d'un coin 522 de l'élément conducteur 511.

[0086] De cette manière, on force deux modes de propagation d'un champ électromagnétique à se propager dans l'antenne.

[0087] La disposition de ces deux ouvertures est contraire à la disposition des ouvertures selon l'état de la technique dans lequel ces ouvertures pratiquées dans le plan de masse sont situées vers le centre de l'élément conducteur ou à une distance égale à la moitié de la longueur de l'onde électromagnétique émise ou reçue par l'antenne, ce qui entraîne une excitation d'un seul mode de propagation ou, s'ils existent, de deux modes de propagation confondus.

[0088] Une ligne de transmission 505 de type micro ruban est disposée en biais sous le plan de masse 551 pour alimenter l'élément conducteur 511. Cette ligne croise chaque ouverture selon un angle compris entre 30° et 150° avec la direction dans laquelle s'étend l'ouverture, l'ouverture étant choisie plus longue à mesure que l'angle s'éloigne de la valeur de 90°. Cette longueur peut être situé dans un intervalle de entre 1/6 à 1/2 de la largeur de l'élément rayonnant.

[0089] Sur la figure 5b, un deuxième mode d'alimentation préféré est représenté.

[0090] Les deux ouvertures sont rapprochées et forment une fente 503 en forme de « L » pratiquée dans le plan de masse 551 et placée près d'un coin 522 du patch 501.

[0091] La ligne de transmission 505 est disposée en biais sous le patch, selon un angle d'environ 45° avec chacune des branches 513a, 513b du « L », de manière à exciter l'antenne par couplage et provoquer les deux modes orthogonaux de propagation séparés.

[0092] La ligne de transmission 505 croise et dépasse, d'une longueur non négligeable, la fente 503 au niveau de l'angle du « L », de manière à assurer l'adaptation en impédance de l'antenne. Typiquement, ce dépassement de la longueur peut être supérieur à $\lambda/20$.

[0093] La ligne de transmission 505 peut croiser la fente 503 avec un angle différent de 45°, mais de préférence dans une plage de 30° à 60° avec l'une des deux branches 513a, 513b, de manière à ce que chacun des deux modes soit suffisamment alimenté.

[0094] Ainsi, si l'on pivote la ligne de transmission autour d'un axe orthogonal au plan de l'antenne et passant par un point médian 514 entre l'angle extérieur du « L » et l'angle intérieur du « L », on doit dans le même

temps adapter la longueur de chacune des branches 513a, 513b pour compenser le déséquilibre engendré par l'angle différent de 45°. Par exemple, si l'angle entre l'une des branches 513a, 513b et la ligne de transmission 505 diminue, il convient d'augmenter la longueur de cette branche, de manière à renforcer le mode de propagation dû à cette branche.

[0095] Un avantage de ce deuxième mode d'alimentation réside dans le fait qu'on n'a besoin que d'un seul accès d'excitation pour amener la ligne de transmission 505 à exciter l'élément conducteur 511. Il en résulte qu'on a un dispositif d'alimentation/d'excitation simple à réaliser.

[0096] Contrairement à l'invention, l'antenne de l'état de la technique a besoin, pour exciter deux modes différents l'un de l'autre, de deux ports d'excitation, chacun des ports permet à une ligne de transmission distincte d'amener l'excitation à l'élément conducteur. L'antenne connue peut n'avoir qu'une seule ligne de transmission, mais dans ce cas, deux accès d'excitation sont nécessaires pour avoir deux modes, et un circuit d'alimentation plus encombrant.

[0097] Selon encore un autre mode de réalisation de l'antenne selon l'invention, l'alimentation est effectuée par contact avec une sonde coaxiale. L'antenne peut comprendre un élément rayonnant placé en surface d'un substrat surmontant un plan de masse. L'âme centrale d'une sonde coaxiale est préférablement connectée sur un premier axe de symétrie de l'élément rayonnant de l'antenne (mais pas en son centre), tandis que l'âme centrale d'une deuxième sonde coaxiale est connectée sur un deuxième axe de symétrie de l'élément rayonnant de l'antenne (mais pas en son centre) de manière à exciter deux modes orthogonaux différents.

[0098] Selon encore un autre mode d'alimentation d'une antenne selon l'invention, l'élément rayonnant est directement alimenté par contact avec des lignes micro-rubans.

[0099] Selon encore un autre mode d'alimentation d'une antenne selon l'invention, celle-ci est alimentée en utilisant une combinaison de moyens d'alimentation différents, parmi lesquels l'utilisation de sondes, lignes micro-rubans, ou fente résonnante.

[0100] Les figures 6a et 6b, respectivement le comportement en fonction de la fréquence de la partie réelle et la partie imaginaire de l'impédance d'entrée d'une antenne selon l'invention.

[0101] On observe sur la courbe 601 montrant la partie réelle de l'impédance d'entrée une première résonance 611 à la fréquence de 2,1 GHz représentant la fréquence de résonance haute de l'antenne de l'invention et une seconde résonance 612 à une fréquence de 2,04 GHz représentant la fréquence de résonance basse de cette antenne.

[0102] Ces deux fréquences de résonances basse et haute sont obtenues grâce à plusieurs paramètres, par exemple, les dimensions des éléments conducteurs, la forme et la position de la fente permettant d'exciter deux

modes de propagation fondamentaux orthogonaux entre eux et distincts du champ électromagnétique se propageant dans les éléments rayonnants.

[0103] Le fonctionnement optimal de l'antenne de l'invention est obtenu par le meilleur compromis entre tous ces paramètres.

[0104] Lorsque la fente est rectangulaire et est située vers le milieu des éléments rayonnants, un seul mode est excité, ou plusieurs différents modes peuvent exister mais sont confondus. En d'autres termes, on ne contrôle pas l'excitation de ces différents modes.

[0105] L'idée de l'invention de concevoir une antenne avec des modes d'alimentation des éléments conducteurs la composant, tels que décrits en relation aux figures 5a et 5b permet de contrôler les modes de propagation que l'on souhaite.

[0106] De plus, grâce au dimensionnement et à la composition des éléments conducteurs, les deux modes de propagation vont générer deux fréquences de résonance différentes convenablement positionnée l'une par rapport à l'autre pour ne former qu'une seule bande de fréquences de fonctionnement, comme on le verra ci-après.

[0107] Les figures 7a, 7b et 7c représentent, par des schémas, trois types d'antenne planaire différents, les figures 7b et 7c représentant des schémas simplifiés d'antenne selon l'invention. W, H, L, Ms sont les largeurs, longueurs, hauteurs de l'élément conducteur et Ms un des axes de propagation du champ électromagnétique

[0108] Le premier type d'antenne, illustré en figure 7a et connu de l'art antérieur, comprend un élément conducteur 701 de forme carrée et une fente rectangulaire 711 placée sensiblement vers le centre de cet élément et pratiquée dans le plan de masse.

[0109] La fente a une longueur environ égale à un quart de la longueur d'onde centrale d'utilisation de l'antenne, et une largeur égale à environ un dixième de cette longueur d'onde. La ligne de transmission alimentant l'antenne coupe la fente 711, de manière à exciter les éléments rayonnants de l'antenne. Les deux modes orthogonaux de propagation, s'ils existent sont alors confondus, de sorte que la bande passante n'est environ égale qu'à 1% (cf. figure 8).

[0110] Pour le deuxième type d'antenne selon l'invention, illustré en figure 7b, l'élément conducteur a une forme rectangulaire et la fente est une fente en « L » 712 placée près d'un coin 722 de l'élément rayonnant 702.

[0111] La fente en « L » 712 comprend une première branche 712a du « L » parallèle à la longueur de l'élément rayonnant et une deuxième branche 712b du « L » 712b perpendiculaire à la première branche 712a.

[0112] Le coin 712c du « L » est placé près d'un coin 722 de l'élément rayonnant, sensiblement sur la diagonale reliant ce coin 722 au coin opposé 724 de l'élément rayonnant.

[0113] En outre, la première branche 712a est plus longue que la deuxième branche 712b, selon un rapport sensiblement égal au rapport de longueur L/W entre deux côtés adjacents de l'élément rayonnant. Autrement dit,

plus le côté de l'antenne perpendiculaire à une branche de l'élément rayonnant est long, plus la longueur de cette branche est choisie grande.

[0114] Dans cet exemple, l'antenne 702 ne comprend pas de matériau anisotrope dans l'une de ses couches conductrices ; les dimensions asymétriques de l'élément rayonnant, couplées aux dimensions inégales des deux branches de la fente en « L » permet de créer deux modes orthogonaux de propagation séparés et proches en fréquence, comme l'illustre la figure 8, et ainsi d'élargir la bande passante à -6 dB de l'antenne, la bande passante à -6dB de cette antenne étant environ égale à 2,6%.

[0115] Il est à noter que le point de la fente en « L » qui est proximal au coin 722 de l'antenne (dans l'exemple, le coin extérieur 712c du « L ») peut être rapprochée du centre de l'élément rayonnant 702, sans toutefois s'éloigner dudit coin de cet élément d'une distance supérieure à un tiers de longueur de l'onde électromagnétique, sous peine de voir les deux modes orthogonaux se rapprocher en fréquence jusqu'à se confondre, et ainsi perdre l'effet bénéfique de la séparation en fréquence des deux modes.

[0116] Avantagusement, le point médian entre l'angle extérieur du « L » et l'angle intérieur du « L », dénommé ci-après « point milieu » de la fente, est situé sur la diagonale reliant deux coins opposés de l'élément rayonnant et à une distance approximativement égale à un quart de la longueur de l'onde électromagnétique.

[0117] Le troisième type d'antenne selon l'invention, illustré en figure 7c, comprend un élément rayonnant 703 de forme carrée comprenant une fente en « L » 713 placée près d'un coin de l'élément conducteur 703. Le côté de cet élément 703 est approximativement égal à la moitié de la longueur de l'onde électromagnétique.

[0118] Cet élément conducteur 703 est réalisé en substrat d'un matériau composite anisotrope, par exemple le matériau décrit en relation aux figures 1 à 3, permettant de modifier, non pas la longueur physique de l'élément rayonnant, mais la longueur électrique de cet élément selon une direction dans le plan de cet élément.

[0119] Par longueur électrique, on entend la longueur physique divisée par la racine carrée du produit de la perméabilité effective avec la permittivité effective du matériau.

$$l_{\text{électrique}} = \frac{l_{\text{physique}}}{\sqrt{\mu_{\text{effectif}} \epsilon_{\text{effectif}}}}$$

[0120] La perméabilité (ou la permittivité) effective est une grandeur qui est telle que son rapport avec la perméabilité (ou la permittivité) spécifique donne la perméabilité (ou permittivité) relative.

[0121] En d'autres termes, au lieu de modifier la longueur physique de l'élément conducteur, comme en figure 7b, on ajuste la perméabilité effective du matériau

compris dans l'un des éléments rayonnants, séparément sur chacun des axes dans le plan de l'antenne.

[0122] Grâce à l'utilisation des propriétés d'anisotropie du matériau, chacun des éléments conducteurs de forme carré et de même dimensions conduit à une fréquence de résonance différente, les deux fréquences étant suffisamment rapprochées pour que la bande passante de l'antenne soit élargie.

[0123] Aussi, les dimensions des branches 713a, 713b de la fente en L, c'est-à-dire de sa composante verticale 713b et horizontale 713a, sont choisies en fonction de la perméabilité du matériau dans chacune des directions correspondant aux branches du L, et également en fonction des dimensions des éléments conducteurs, c'est-à-dire leur largeur et leur longueur.

[0124] De même, les dimensions de chacune des composantes 713a, 713b de la fente dépend également de la position de la ligne de transmission conduisant le signal d'excitation vers l'antenne, comme expliqué plus haut en regard des figures 5a et 5b.

[0125] La bande passante à -6dB de cette antenne est environ égale à 4,3%.

[0126] Il est à noter que la largeur de la bande passante peut être ajustée via le réglage de l'espacement entre les deux couches conductrices 211, 213 (cf. fig. 2) de l'antenne (c'est-à-dire entre les deux éléments rayonnants), le choix des dimensions de la ou des fentes et du choix de la perméabilité du matériau anisotrope.

[0127] Un avantage des deuxième et troisième type d'antenne est qu'ils ne nécessitent chacun qu'un seul accès pour exciter les éléments rayonnants, ce qui facilite l'intégration de l'antenne dans un circuit ; en effet, une seule ligne de transmission, sans circuiterie supplémentaire est requise.

[0128] Un autre avantage de ces antennes, est que l'utilisation d'un seul accès d'alimentation pour exciter deux modes orthogonaux de propagation du champ électromagnétique, permet de maintenir une polarisation rectiligne dans la mesure où aucun déphasage n'est introduit entre les deux modes de propagation.

[0129] Un autre avantage de ces antennes, illustré plus loin en figures 11 a et 11 b, est que la polarisation du champ électromagnétique qui se propage dans l'antenne évolue en fonction de la fréquence du signal.

[0130] Un avantage du troisième type d'antenne est que la réduction de la longueur électrique de l'une des deux couches conductrices, grâce à la perméabilité du matériau, contribue à la miniaturisation de l'antenne car il n'est plus nécessaire d'en augmenter une dimension (cf. figure 7b) pour parvenir à modifier la longueur électrique d'un élément rayonnant.

[0131] De plus, seule une faible épaisseur d'isolation est nécessaire entre les deux couches conductrices pour supprimer les courants de Foucault, ce qui permet d'obtenir une antenne de très faible épaisseur, donc un encombrement réduit.

[0132] Corollairement, l'élargissement de la bande passante de l'antenne peut avantageusement être utilisé

pour réduire la longueur physique de l'antenne lorsqu'une bande étroite suffit pour l'application visée.

[0133] La figure 8 représente, via différentes courbes, le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence, pour les types d'antenne représentés en figures 7a, 7b, 7c.

[0134] Une première courbe 801 représente l'évolution en fonction de la fréquence du module du coefficient de réflexion, noté S_{11} , du premier type d'antenne représenté en figure 7a. Un seul pic négatif 811 apparaît car les deux modes de propagations sont confondus ; les conditions de propagation étant identiques sur les deux axes de l'antenne.

[0135] Une deuxième courbe 802 représente l'évolution en fonction de la fréquence du module du coefficient de réflexion du deuxième type d'antenne représenté en figure 7b. On constate sur cette deuxième courbe 802, que deux pics négatifs 821, 822 apparaissent.

[0136] L'apparition du premier pic 821, de manière séparée du deuxième pic 822, est due à l'allongement de l'une des dimensions de l'antenne. Chacun de ces pics 821, 822 correspond à un mode de propagation de l'onde électromagnétique ; deux modes de propagation orthogonaux sont donc séparés en fréquence, du fait des dimensions physiques différentes de l'antenne de la figure 7b.

[0137] Grâce à l'apparition de ces deux modes orthogonaux séparés, la bande passante à -6dB est nettement plus large que pour la première antenne de la figure 7a.

[0138] Il faut que les paramètres de l'antenne tels que, par exemple, les dimensions de la fente, les dimensions de l'antenne, l'espacement entre les deux couches conductrices, soient choisis pour que les deux modes ne soient pas trop éloignés en fréquence, sinon la bande passante est scindée en deux parties disjointes correspondant aux deux pics 821, 822.

[0139] Une troisième courbe 803 représente l'évolution en fonction de la fréquence du module du coefficient de réflexion du troisième type d'antenne représenté en figure 7c. Comme sur la deuxième courbe 802, on constate sur cette troisième courbe 803, que deux pics négatifs 831, 832 apparaissent.

[0140] L'apparition du premier pic 831, de manière séparée du deuxième pic 832, est due à l'utilisation d'un matériau magnétique anisotrope modifiant les conditions de résonance dans une direction de l'antenne.

[0141] Deux modes de propagation orthogonaux sont donc séparés en fréquence, grâce à l'utilisation de ce matériau anisotrope. Grâce à l'apparition de ces deux modes orthogonaux séparés, la bande passante à -6dB pour cette troisième antenne est encore plus large que pour la deuxième antenne 702 de la figure 7b.

[0142] Cependant, dans ce cas particulier, on note une diminution de la valeur des pics 822, 832 par rapport à la valeur du pic 811 due à la position de l'excitation (fente, ligne de transmission) par rapport aux éléments conducteurs.

[0143] Les deux courbes 802 et 803 présentent un pla-

teau approximativement autour d'une fréquence proche de 2 GHz et qui est à -6 dB. Ce plateau peut être abaissé vers des valeurs inférieures à -6dB, par exemple à -10 dB (correspondant à la valeur de la bande passante pour certains standards de communication), en jouant sur les paramètres tels que la composition et les dimensions des éléments conducteurs ou rayonnants, les dispositions de la fente et de la ligne de transmission entre elles ainsi que leur géométrie respective, et la disposition de la fente par rapport à un coin d'un des éléments rayonnants.

[0144] Pour évaluer les performances de l'antenne selon l'invention, la figure 9 montre une courbe 901 représentant l'efficacité de rayonnement de l'antenne de la figure 7c en fonction de la fréquence du signal d'excitation de cette antenne. Il apparaît que l'antenne de la figure 9 révèle une forte disparité en fonction de la fréquence. La conductivité du matériau anisotrope joue un rôle important sur les performances de l'antenne, puisqu'en fonction de la qualité de l'élément conducteur réalisé par ce matériau, une efficacité différente est obtenue.

[0145] On note que l'efficacité est très bonne à la fréquence de résonance haute qui correspond au mode non sollicité par le matériau anisotrope. Elle est cependant moins importante quand on va vers la fréquence de résonance basse. Ceci est dû aux pertes ohmiques du matériau dues aux courants de Foucault créés dans la couche conductrice par la variation au cours du temps du champ électromagnétique.

[0146] Comme annoncé plus haut, un des avantages de l'invention, plus particulièrement l'antenne selon le deuxième mode de réalisation pourvu d'un seul accès d'excitation pour la ligne de transmission, réside dans le fait que la polarisation du champ électromagnétique se propageant dans l'antenne selon l'invention évolue en fonction de la fréquence et varie selon un angle allant de 0° à 90°.

[0147] Dans l'état de la technique, deux accès d'excitation conduisent à deux polarisations distinctes du champ électromagnétique. On se rend compte que grâce à l'invention, à savoir avoir un accès d'excitation et deux modes de polarisation orthogonaux, on obtient une polarisation tournante.

[0148] Pour comprendre ce phénomène, nous allons décrire les figures 10 à 12.

[0149] Les figures 10a et 10b représentent des schémas simplifiés représentatifs de trois différents plans de coupe de l'antenne de l'invention et de la distribution du champ électromagnétique se propageant dans cette antenne.

[0150] Les plans P1, P2 et P3 sont définis comme références pour mettre en évidence les variations de la polarisation en fonction de la fréquence. Ils sont tels que le plan P1 coïncide avec le plan de la direction X, le plan P3 coïncidant avec le plan de la direction Y, le plan P2 étant situé entre les deux.

[0151] Plus particulièrement, lorsque le champ électromagnétique est défini en coordonnées polaires ou cy-

lindriques connus, les plans P1 et P2 définissent entre eux un angle égal à l'angle φ et le plan P3 et le plan de la direction Z définissent un angle égal à l'angle θ . Le plan P1 est tel que $\varphi=0^\circ$, pour le plan P2 $\varphi=45^\circ$ et pour le plan P3, $\varphi=90^\circ$.

[0152] Le champ électromagnétique, plus particulièrement la composante E de ce champ a deux composantes, l'une E_φ suivant le plan horizontal comprenant l'angle φ et E_θ est suivant le plan vertical comprenant l'angle θ .

[0153] Le mode de polarisation du champ électromagnétique choisi dans cet exemple est la polarisation rectiligne. D'autres polarisations peuvent être envisagées, telle qu'une polarisation elliptique ou une polarisation circulaire, par exemple.

[0154] Il est à noter que dans le plan P1, on retrouve la fréquence de résonance basse de l'antenne correspondant au mode de propagation du champ électromagnétique se propageant dans l'antenne pourvue du matériau anisotrope. Dans le plan P3, on retrouve la fréquence de résonance haute de l'antenne correspondant au mode de propagation du champ se propageant dans l'antenne sans l'influence du matériau anisotrope (qui n'intervient que sur une seule direction). Dans le plan P2, les deux modes de propagation du champ coexistent.

[0155] De manière connue, on définit un rapport axial qui est, pour une polarisation elliptique, le rapport entre le grand axe de l'ellipse sur le petit axe de cette ellipse. Si on approxime la polarisation elliptique par une polarisation rectiligne, ce rapport vaut soit 0 soit l'infini tout dépend de l'axe sur lequel on se place.

[0156] Les figures 11 a à 12b montrent l'évolution en fonction de la fréquence du rapport axial du champ électromagnétique se propageant dans l'antenne selon l'invention.

[0157] On constate que le rapport axial pour le plan P1 est bas pour la fréquence de résonance haute de l'antenne puis augmente au fur et à mesure que l'on s'approche de la fréquence de résonance basse de l'antenne.

[0158] A l'inverse, le rapport pour le plan P3, diminue lorsque la fréquence diminue de la fréquence de résonance haute à la fréquence de résonance basse.

[0159] Un point commun existe entre les deux rapports axiaux des plans P1 et P3 et correspond à un point pour lequel ce rapport est nul. Ce point est situé entre les deux fréquences, où les deux composantes E_θ et E_φ sont égales. Ce point commun correspond à un angle $\varphi=45^\circ$.

[0160] Sur la figure 11b, on constate que pour f_0 , fréquence de résonance basse E_θ est supérieur à E_φ , de sorte qu'on remarque l'influence du caractère anisotrope du matériau sur l'antenne de l'invention. Pour f_1 E_θ est égal à E_φ , et pour f_2 , correspondant à la fréquence de résonance haute, pour laquelle le caractère anisotrope du matériau n'intervient pas, on a E_θ inférieur à E_φ .

[0161] Sur les figures 12a et 12b, on a représenté l'évolution de l'angle alpha en fonction de la fréquence. Cet angle alpha est défini par l'angle entre le plan P1 et la direction du champ E, en d'autres termes selon un premier axe 1211 orthogonal à la direction de propagation

du champ et l'axe 1221 du champ électromagnétique du signal propagé dans l'antenne (figure 12b).

[0162] La figure 12a illustre l'évolution de la polarisation de ce champ en fonction de la fréquence, en montrant l'évolution de l'angle alpha en fonction de la fréquence. On constate qu'à la fréquence de résonance basse f_0 égale à 2,04 GHz, l'angle alpha est environ égal à 20°, puis l'angle alpha augmente à environ 45° à $f_1=2,07$ GHz et quasiment 90° à la fréquence de résonance haute $f_2=2,1$ GHz.

[0163] Les figures 13a à 13i représentent des variantes des modes de réalisation de l'antenne selon l'invention. Ces variantes ont été en partie décrites en relation aux figures 5a, 5b et 7b et 7c.

[0164] Ici, soit on a deux ouvertures séparées distinctes et deux lignes de transmission disposées selon deux directions orthogonales entre elles pour exciter les deux modes de propagation orthogonaux du champ électromagnétique se propageant dans l'antenne, soit on a une seule fente avec une seule ligne de transmission excitant les deux modes.

[0165] Notons que les deux ouvertures peuvent se rapprocher pour réaliser une seule fente en « T », comme illustré sur la figure 13a, ou une fente en « L », comme illustré sur la figure 13d, mais dont les branches 712a, 713a et 712b et 713b sont symétriques par rapport aux branches de la fente illustrée sur les figures 7b et 7c.

[0166] On peut également noter qu'il est possible d'obtenir une fente en forme de triangle comme illustrée sur la figure 13e dont les côtés adjacents sont dans l'alignement d'un coin de l'élément conducteur.

[0167] Il est aussi possible d'utiliser un élément rayonnant de forme circulaire pour lequel deux ouvertures sont nécessaires pour avoir l'excitation des deux modes de propagation orthogonaux, tel qu'illustré sur la figure 13h. Notons cependant, que les configurations des figures 13b, 13c, 13f et 13g peuvent s'appliquer pour l'élément rayonnant circulaire.

[0168] Une géométrie de l'élément rayonnant en ellipse comme illustré sur la figure 13i permet de n'avoir qu'une seule fente pour l'excitation des modes orthogonaux. En effet, ici l'ellipse présente deux dimensions distinctes (un grand axe et un petit axe), il est donc possible de n'avoir qu'une seule fente au lieu de deux ouvertures. Cette fente peut avoir n'importe quelle géométrie, à condition de respecter la position de la fente selon l'invention. Dans l'exemple de la figure 13i, cette fente a la forme d'un arc.

[0169] De nombreux autres modes de réalisation sont possibles.

[0170] De nombreuses formes sont possibles pour chaque élément rayonnant. Par exemple, il peut s'agir d'une pastille carrée, orthogonale, en forme de diamant ou d'un dipôle. Généralement, cette forme présente un axe de symétrie par rapport à un axe orthogonal au plan dans lequel s'étend l'essentiel de cet élément rayonnant.

[0171] Dans un mode de réalisation simplifié, le deuxième empilement et la sous-couche diélectrique de

l'élément rayonnant 111, 211 sont omis. Dans un mode de réalisation encore plus simplifié, l'élément conducteur ou rayonnant est constitué d'une seule sous-couche fine en matériau ferromagnétique dont l'épaisseur est inférieure à l'épaisseur de peau de ce matériau ferromagnétique.

[0172] En variante, d'autres matériaux peuvent être utilisés comme diélectrique. Par exemple, il peut s'agir d'un oxyde de baryum (Ba) et de titane (Ti), notamment du titane de baryum $BaTiO_3$, d'un oxyde de hafnium (Hf), notamment du HfO_2 , ou de tantale (Ta), notamment du Ta_2O_5 (ferroélectrique). On préférera néanmoins les pérovskites comme $BaTiO_3$ ou $SrTiO_3$ par exemple qui présentent une permittivité relative plus élevée (de l'ordre de 100 contre 10 pour les oxydes de baryum ou d'hafnium à 2 ou 3 GHz).

[0173] D'autres matériaux sont également possibles pour la couche antiferromagnétique comme un alliage PtMn ou IrMn et plus généralement tout alliage à base de manganèse ou encore les oxydes de fer ou de cobalt ou de nickel.

[0174] Pour la couche ferromagnétique, on privilégiera les alliages CoFeB, FeN et CoFeN, mais d'autres matériaux sont possibles, notamment tous les alliages associant deux ou trois des éléments choisis parmi le fer, le cobalt et le nickel. Ces alliages pourront éventuellement être dopés, par exemple en bore ou en azote. Ils pourront également être associés à d'autres éléments comme Al, Si, Ta, Hf, Zr.

[0175] Le conducteur rayonnant 213 peut être un simple fil.

[0176] Par ailleurs, au moins deux antennes selon l'invention peuvent être regroupées dans un réseau d'antennes pour tout type de système de communication pour augmenter l'efficacité du rayonnement ainsi que le gain de l'antenne.

Revendications

1. Antenne planaire (201) adaptée à transmettre ou recevoir une onde électromagnétique, ladite antenne comprenant au moins un premier élément conducteur (211, 511) disposé au dessus d'un plan de masse (215) et séparé de ce dernier, des moyens d'excitation (505, 565, 575, 585, 589) dudit au moins premier élément conducteur configurés pour exciter deux modes de propagation orthogonaux distincts, **caractérisée en ce que** ledit au moins premier élément conducteur (211, 511) est réalisé par un substrat comportant au moins une couche mince d'un matériau anisotrope à perméabilité relative supérieure à 10 pour 2 GHz.
2. Antenne planaire selon la revendication 1, dans laquelle le substrat comprend au moins une couche mince d'un matériau diélectrique à permittivité relative supérieure à 10 pour 2 GHz.

3. Antenne planaire selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle le substrat comprend un empilement d'au moins une couche mince en matériau anisotrope et d'au moins une couche mince en matériau diélectrique alternées, l'épaisseur desdites couches minces étant située entre $\lambda/300$ à $\lambda/100$.
4. Antenne planaire selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle ledit au moins premier élément conducteur (211) présente des dimensions égales selon deux directions orthogonales (X, Y), avantageusement égales à la moitié de la longueur de l'onde électromagnétique guidée.
5. Antenne planaire selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans laquelle ledit au moins un premier élément conducteur (211, 511, 702) présente des dimensions différentes selon deux directions orthogonales (X, Y).
6. Antenne planaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'elle** comporte au moins un deuxième élément conducteur (213) situé au dessus dudit au moins premier élément conducteur (211, 511, 702, 703) et séparé de ce dernier par une couche intermédiaire (212).
7. Antenne planaire selon la revendication 6, dans laquelle ledit au moins un premier élément conducteur (211, 511, 702, 703) et ledit au moins un deuxième élément conducteur (213) ont les mêmes dimensions.
8. Antenne planaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle au moins une fente (120, 220) est formée dans ledit plan de masse (115, 215, 501) et configurée pour que au moins un premier élément conducteur (111, 211) soit alimenté par couplage électromagnétique par au moins une ligne de transmission (117, 217, 505), **caractérisée en ce que** ladite au moins une fente (120, 220) est réalisée par une première ouverture (512a, 513a, 712a, 713a) s'étendant dans une direction formant un angle compris entre 30° et 60° avec la ligne de transmission (505), et par une deuxième ouverture (512b, 513b, 712b, 713b) s'étendant selon une direction formant un deuxième angle compris entre -30° et $+30^\circ$ avec la direction de ladite première ouverture.
9. Antenne planaire selon la revendication 8, dans laquelle chaque ouverture (512a, 513a, 712a, 713a; 512b, 513b, 712b, 713b) comprend un point proximal (512c, 712c) à un coin (522, 722) dudit au moins un premier élément conducteur (111, 211, 511, 702, 703) situé sensiblement à une distance maximale dudit coin égale au tiers de la longueur de l'onde électromagnétique, avantageusement égale au quart de cette longueur de l'onde électromagnétique.
10. Antenne planaire selon la revendication 9, dans laquelle le point proximal (512c, 712c) est situé sensiblement sur la diagonale reliant ledit coin au coin opposé (524, 724) dudit au moins un premier élément conducteur (111, 211, 511, 702, 703).
11. Antenne planaire selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, dans laquelle ladite au moins une ligne de transmission (117, 217, 505) croise chaque ouverture avec un angle compris entre 30° et 150° avec la direction dans laquelle s'étend l'ouverture.
12. Antenne planaire selon l'une des revendications 8 à 11, dans laquelle les ouvertures (513a, 712a, 713a; 513b, 712b, 713b) sont rapprochées pour ne former qu'une seule fente (512, 712, 713) dans l'alignement d'un coin (522, 722) dudit au moins un premier élément conducteur, et ladite au moins une ligne de transmission (505) est disposée en regard de cette fente de manière à produire un couplage électromagnétique, à travers la première ouverture (513a, 712a, 713a) et à travers la deuxième ouverture (513b, 712b, 713b), avec lesdits au moins un premier et un deuxième éléments conducteurs (211, 511, 702, 703; 213).
13. Antenne planaire selon la revendication 12, dans laquelle ladite seule fente forme un « L » (512, 712, 713) et la ligne de transmission (505) est disposée en regard du coin dudit « L » pour former, dans le plan desdits au moins éléments conducteurs (211, 511, 702, 703; 213), un angle compris entre 30° et 60° avec chacun des deux axes du « L », avantageusement formant un angle de 45° avec ces axes.

Patentansprüche

1. Flachantenne (201), die geeignet ist, um eine elektromagnetische Welle zu übertragen oder zu empfangen, wobei die Antenne mindestens ein erstes leitendes Element (211, 511), das auf einer Massenebene (215) angeordnet und von dieser getrennt ist, Erregungsmittel (505, 565, 575, 585, 589) des mindestens ersten leitenden Elements, die konfiguriert sind, um zwei unterschiedliche orthogonale Verbreitungsmodi anzuregen, umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mindestens erste leitende Element (211, 511) aus einem Substrat hergestellt ist, das mindestens eine dünne Schicht eines anisotropen Materials mit relativer Permeabilität über 10 für 2 GHz aufweist.
2. Flachantenne nach Anspruch 1, wobei das Substrat mindestens eine dünne Schicht eines dielektrischen

Materials mit relativer Permittivität über 10 für 2 GHz umfasst.

3. Flachantenne nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Substrat eine abwechselnde Stapelung mindestens einer dünnen Schicht aus anisotropem Material und mindestens einer dünnen Schicht aus dielektrischem Material umfasst, wobei die Dicke der dünnen Schichten zwischen $\lambda/300$ bis $\lambda/100$ liegt.
4. Flachantenne nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das mindestens erste leitende Element (211) Abmessungen aufweist, die in zwei orthogonalen Richtungen (X, Y) gleich sind, in vorteilhafter Weise gleich der Hälfte der Länge der gelenkten elektromagnetischen Welle.
5. Flachantenne nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das mindestens eine erste leitende Element (211, 511, 702) Abmessungen aufweist, die sich in zwei orthogonalen Richtungen (X, Y) unterscheiden.
6. Flachantenne nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet dass** sie mindestens ein zweites leitendes Element (213) aufweist, das sich über dem mindestens ersten leitenden Element (211, 511, 702, 703) befindet und von diesem durch eine Zwischenschicht (212) getrennt ist.
7. Flachantenne nach Anspruch 6, wobei das mindestens eine erste leitende Element (211, 511, 702, 703) und das mindestens eine zweite leitende Element (213) dieselben Abmessungen haben.
8. Flachantenne nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei mindestens ein Spalt (120, 220) in der Massenebene (115, 215, 501) ausgebildet ist und konfiguriert, damit mindestens ein erstes leitendes Element (111, 211) durch elektromagnetische Kopplung durch mindestens eine Übertragungslinie (117, 217, 505) versorgt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mindestens eine Spalt (120, 220) durch eine erste Öffnung (512a, 513a, 712a, 713a) realisiert ist, die sich in eine Richtung erstreckt, wobei ein Winkel zwischen 30° und 60° mit der Übertragungslinie (505) gebildet wird, und durch eine zweite Öffnung (512b, 513b, 712b, 713b), die sich in eine Richtung erstreckt, wobei ein zweiter Winkel zwischen -30° und $+30^\circ$ mit der Richtung der ersten Öffnung gebildet wird.
9. Flachantenne nach Anspruch 8, wobei jede Öffnung (512a, 513a, 712a, 713a; 512b, 513b, 712b, 713b) einen proximalen Punkt (512c, 712c) an einer Ecke (522, 722) des mindestens einen ersten leitenden Elements (111, 211, 511, 702, 703) umfasst, der sich im Wesentlichen in einem maximalen Abstand von der Ecke gleich dem Drittel der Länge der elektro-

magnetischen Welle befindet, in vorteilhafter Weise gleich dem Viertel dieser Länge der elektromagnetischen Welle.

10. Flachantenne nach Anspruch 9, wobei sich der proximale Punkt (512c, 712c) im Wesentlichen auf der Diagonalen befindet, die die Ecke mit der gegenüberliegenden Ecke (524, 724) des mindestens einen ersten leitenden Elements (111, 211, 511, 702, 703) verbindet.
11. Flachantenne nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei die mindestens eine Übertragungslinie (117, 217, 505) jede Öffnung mit einem Winkel zwischen 30° und 150° mit der Richtung kreuzt, in die sich die Öffnung erstreckt.
12. Flachantenne nach einem der Ansprüche 8 bis 11, wobei die Öffnungen (513a, 712a, 713a; 513b, 712b, 713b) angenähert sind, um nur einen einzigen Spalt (512, 712, 713) in der Fluchtlinie einer Ecke (522, 722) des mindestens einen ersten leitenden Elements zu bilden, wobei die mindestens eine Übertragungslinie (505) gegenüber diesem Spalt derart angeordnet ist, dass durch die erste Öffnung (513a, 712a, 713a) und durch die zweite Öffnung (513b, 712b, 713b) mit dem mindestens einem ersten und einem zweiten leitenden Element (211, 511, 702, 703; 213) eine elektromagnetische Kopplung hergestellt wird.
13. Flachantenne nach Anspruch 12, wobei der einzige Spalt ein "L" (512, 712, 713) bildet und die Übertragungslinie (505) gegenüber der Ecke des "L" angeordnet ist, um in der Ebene der mindestens leitenden Element (211, 511, 702, 703; 213) einen Winkel zwischen 30° und 60° mit jeder der zwei Achsen des "L" zu bilden, wobei in vorteilhafter Weise ein Winkel von 45° mit diesen Achsen gebildet wird.

Claims

1. A planar antenna (201) designed to transmit or receive an electromagnetic wave, said antenna comprising at least one first conducting element (211, 511) disposed above a ground plane (215) and separated therefrom, means (505, 565, 575, 585, 589) for exciting said at least one first conducting element, which means are configured to excite two distinct orthogonal propagation modes, **characterised in that** said at least one first conducting element (211, 511) is formed by a substrate comprising at least one thin layer of an anisotropic material with relative permeability of more than 10 for 2 GHz.
2. The planar antenna according to claim 1, wherein said substrate comprises at least one thin layer of a

dielectric material with relative permittivity of more than 10 for 2 GHz.

3. The planar antenna according to claim 1 or 2, wherein said substrate comprises a stack of at least one thin layer of anisotropic material and at least one thin layer of dielectric material that are alternating, with the thickness of said thin layers being between $\lambda/300$ to $\lambda/100$. 5
4. The planar antenna according to any one of claims 1 to 3, wherein said at least one first conducting element (211) has equal dimensions along two orthogonal directions (X, Y), advantageously equal to half of the length of the guided electromagnetic wave. 10
5. The planar antenna according to any one of claims 1 to 3, wherein said at least one first conducting element (211, 511, 702) has different dimensions along two orthogonal directions (X, Y). 15
6. The planar antenna according to any one of the preceding claims, **characterised in that** it comprises at least one second conducting element (213) located above said at least one first conducting element (211, 511, 702, 703) and separated from said first conducting element by an intermediate layer (212). 20
7. The planar antenna according to claim 6, wherein said at least one first conducting element (211, 511, 702, 703) and said at least one second conducting element (213) have the same dimensions. 25
8. The planar antenna according to any one of the preceding claims, wherein at least one slot (120, 220) is formed in said ground plane (115, 215, 501) and is configured so that at least one first conducting element (111, 211) is fed by electromagnetic coupling by at least one transmission line (117, 217, 505), **characterised in that** said at least one slot (120, 220) is formed by a first opening (512a, 513a, 712a, 713a) extending in a direction forming an angle of between 30° and 60° with said transmission line (505), and by a second opening (512b, 513b, 712b, 713b) extending along a direction forming a second angle of between -30° and $+30^\circ$ with the direction of said first opening. 30
9. The planar antenna according to claim 8, wherein each opening (512a, 513a, 712a, 713a; 512b, 513b, 712b, 713b) comprises a proximal point (512c, 712c) at a corner (522, 722) of said at least one first conducting element (111, 211, 511, 702, 703) substantially located at a maximum distance from said corner that is equal to a third of the length of the electromagnetic wave, advantageously equal to a quarter of this length of the electromagnetic wave. 35

10. The planar antenna according to claim 9, wherein said proximal point (512c, 712c) is substantially located on the diagonal linking said corner to the opposite corner (524, 724) of said at least one first conducting element (111, 211, 511, 702, 703). 40
11. The planar antenna according to any one of claims 8 to 10, wherein said at least one transmission line (117, 217, 505) crosses each opening with an angle of between 30° and 150° with the direction in which the opening extends. 45
12. The planar antenna according to any one of claims 8 to 11, wherein said openings (513a, 712a, 713a; 513b, 712b, 713b) are brought together so as to form a single slot (512, 712, 713) in the alignment of a corner (522, 722) of said at least one first conducting element, and said at least one transmission line (505) is disposed facing said slot so as to produce an electromagnetic coupling, through said first opening (513a, 712a, 713a) and through said second opening (513b, 712b, 713b), with said at least one first and one second conducting elements (211, 511, 702, 703; 213). 50
13. The planar antenna according to claim 12, wherein said single slot forms an "L"-shape (512, 712, 713) and said transmission line (505) is disposed facing the corner of said "L"-shape so as to form, in the plane of said at least one conducting element (211, 511, 702, 703; 213), an angle of between 30° and 60° with each of the two axes of the "L"-shape, advantageously forming an angle of 45° with these axes. 55

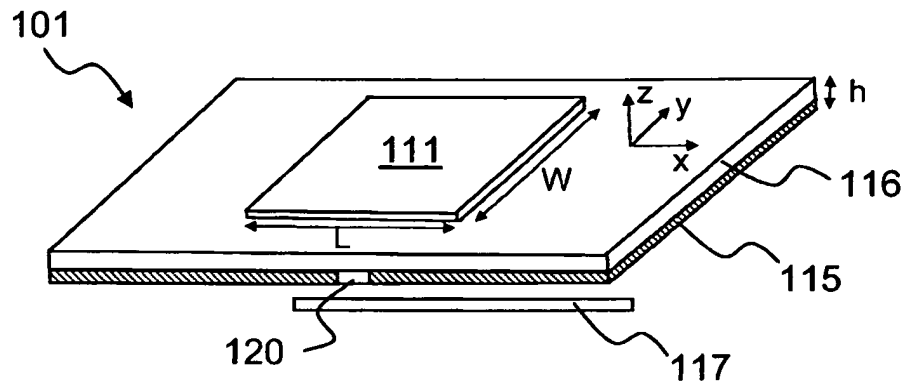


FIG. 1

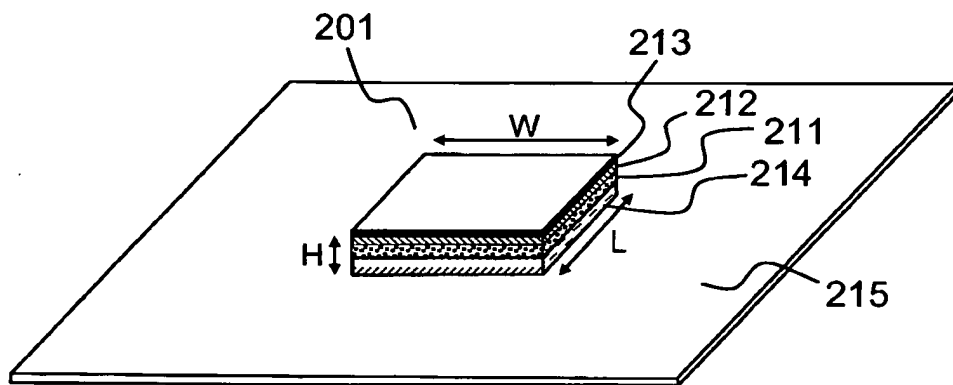


FIG. 2

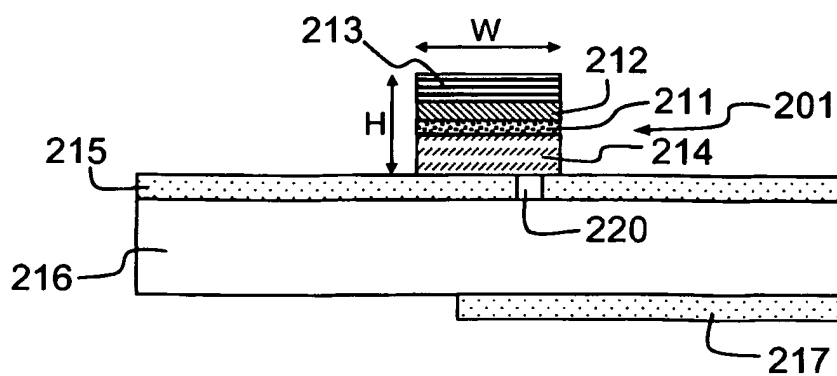


FIG. 3

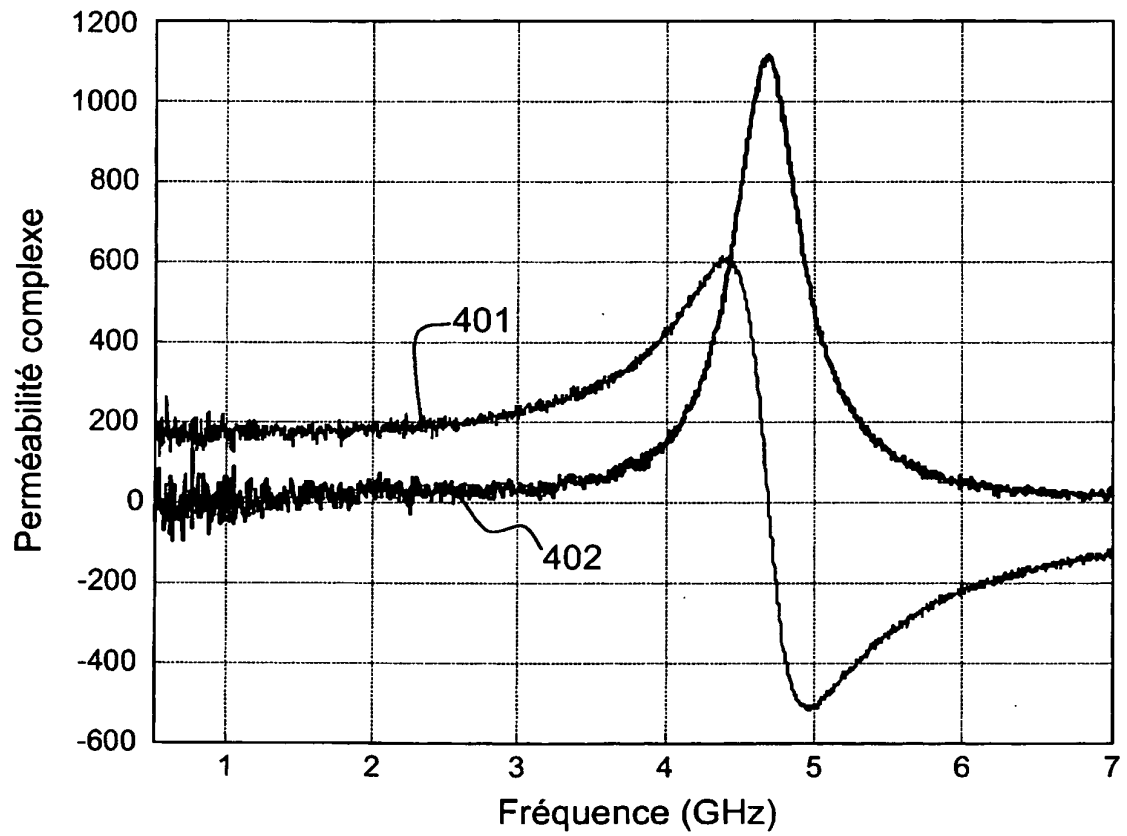


FIG.4

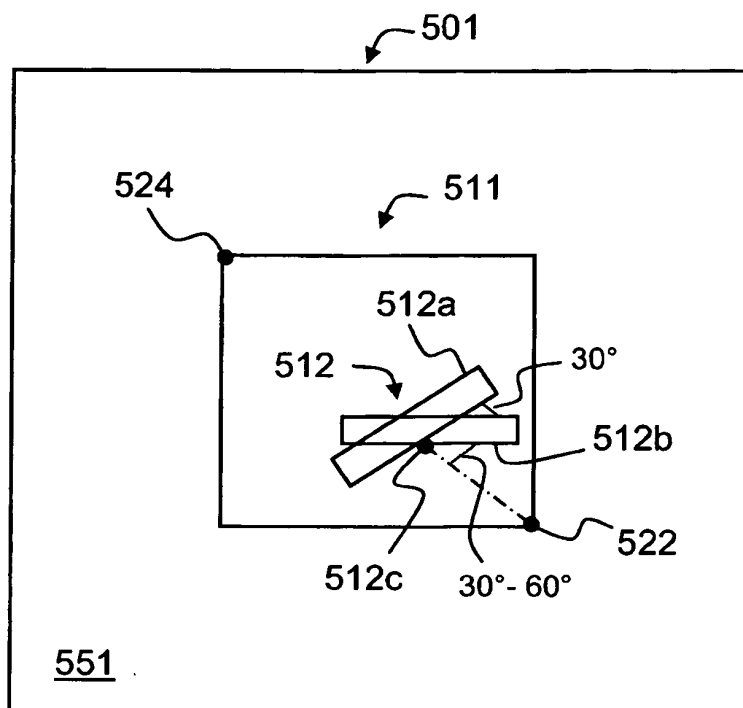


FIG.5a

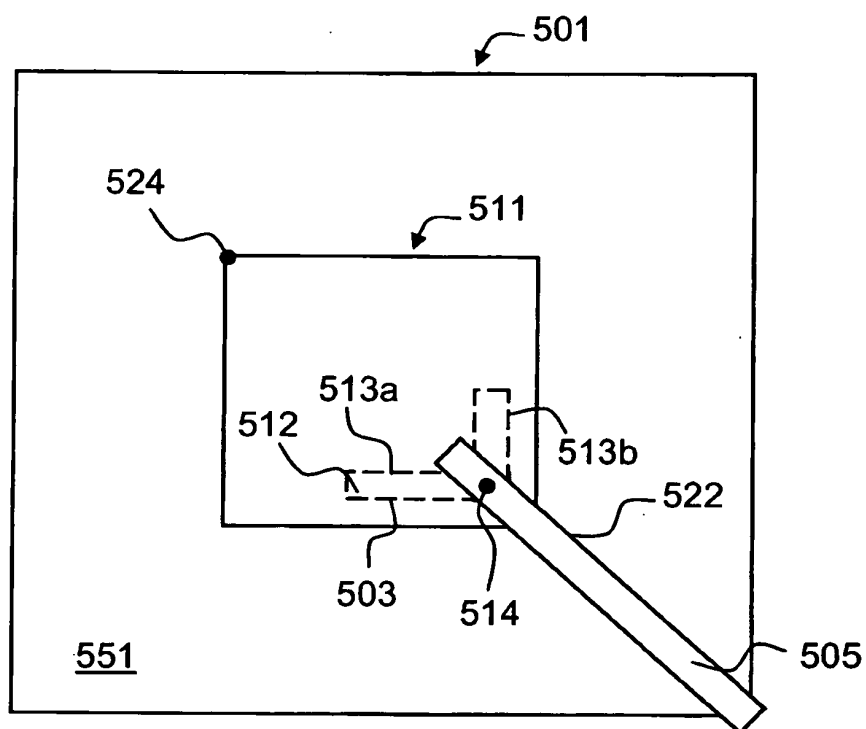


FIG.5b

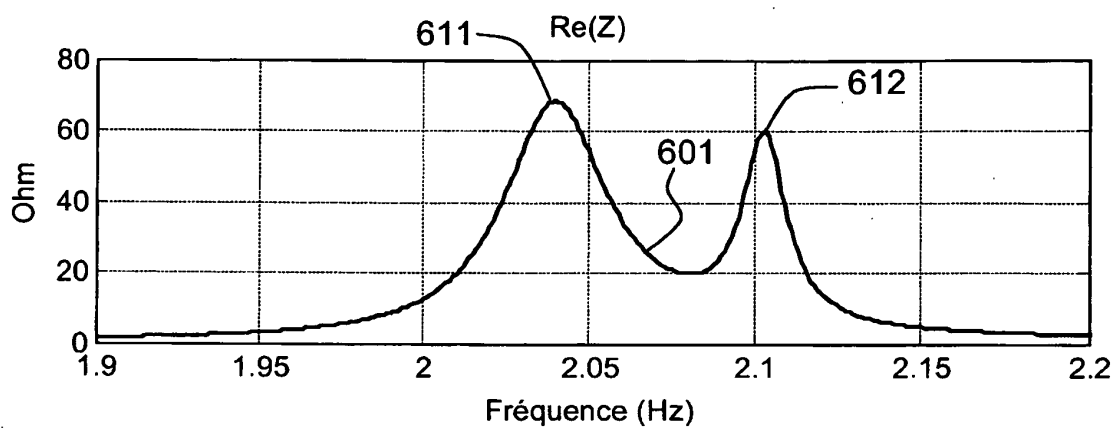


FIG.6a

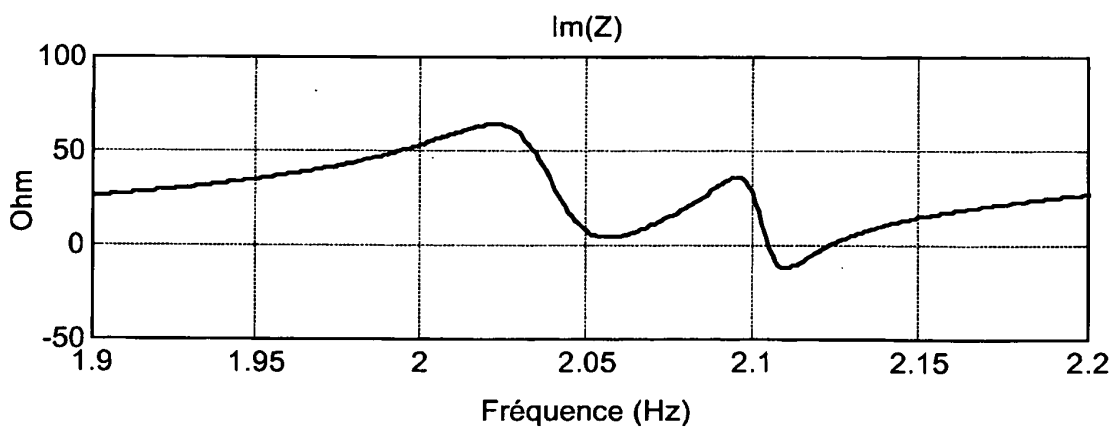


FIG.6b

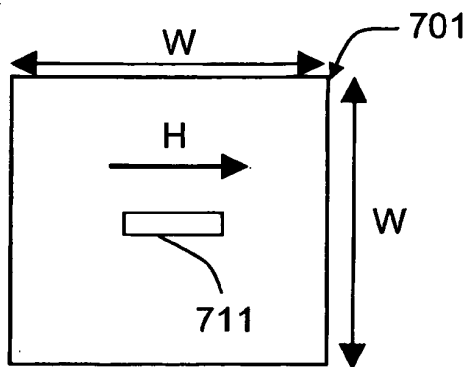


FIG. 7a

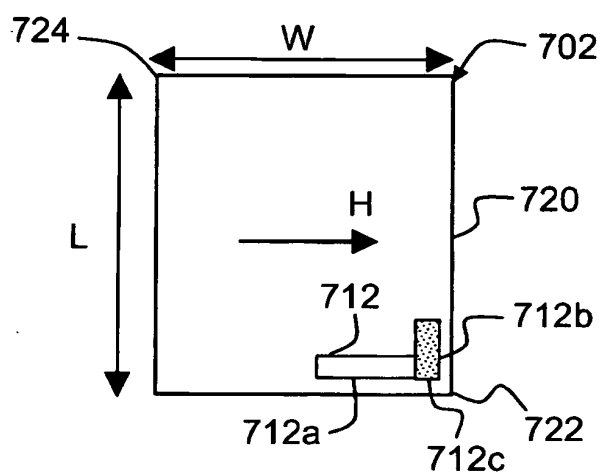


FIG. 7b

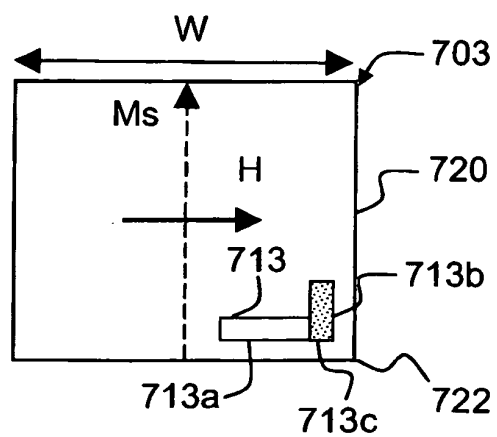


FIG. 7c

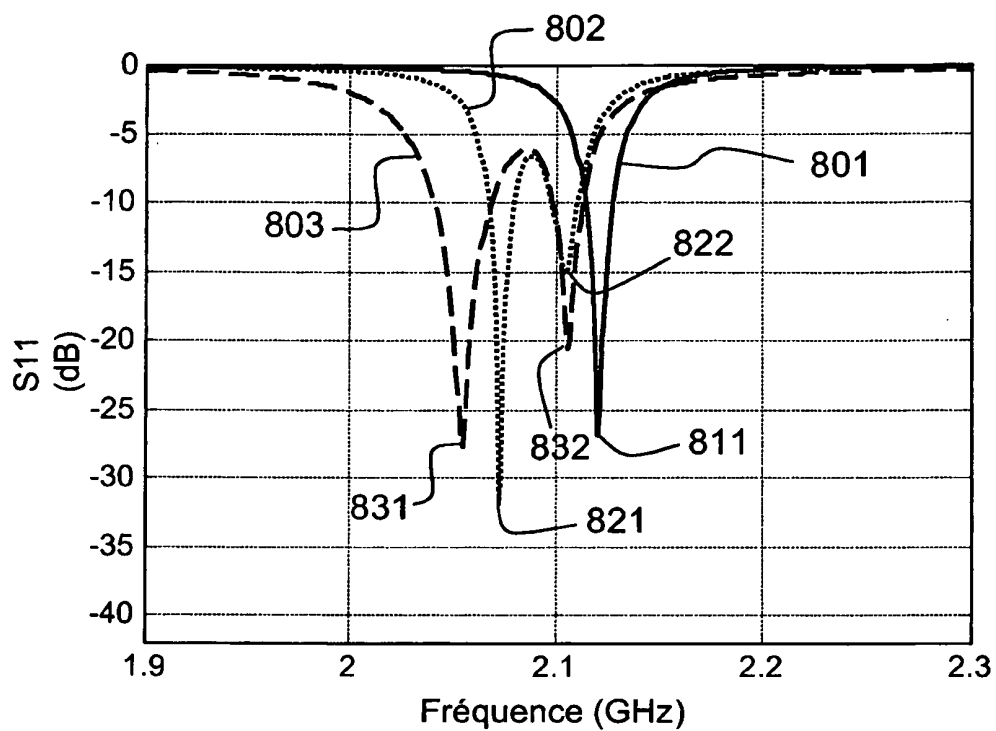


FIG.8

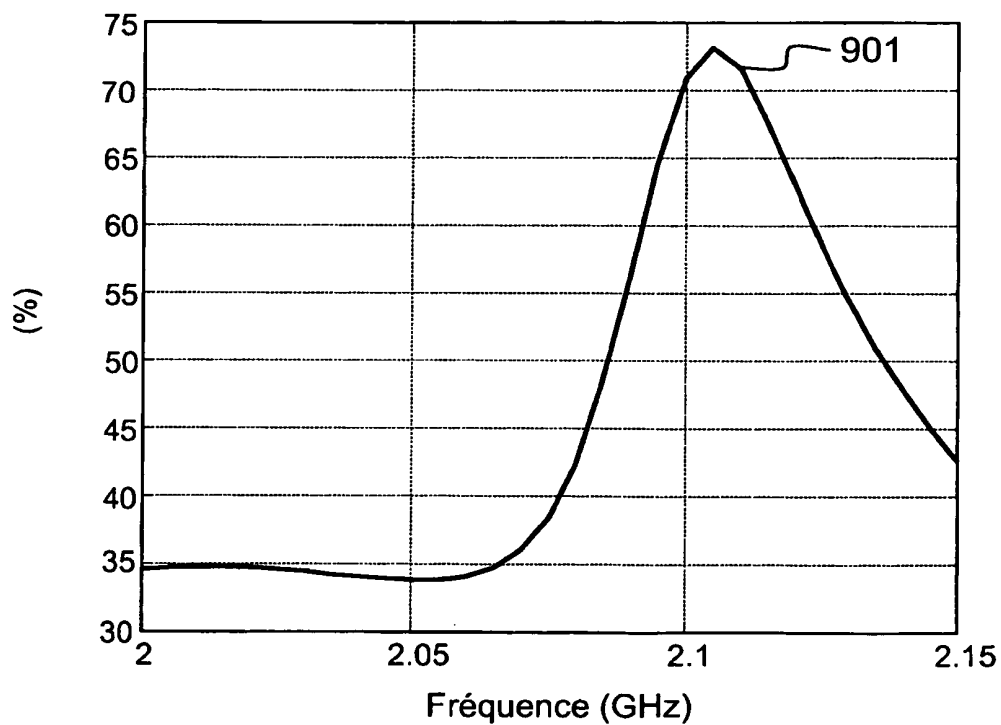


FIG.9

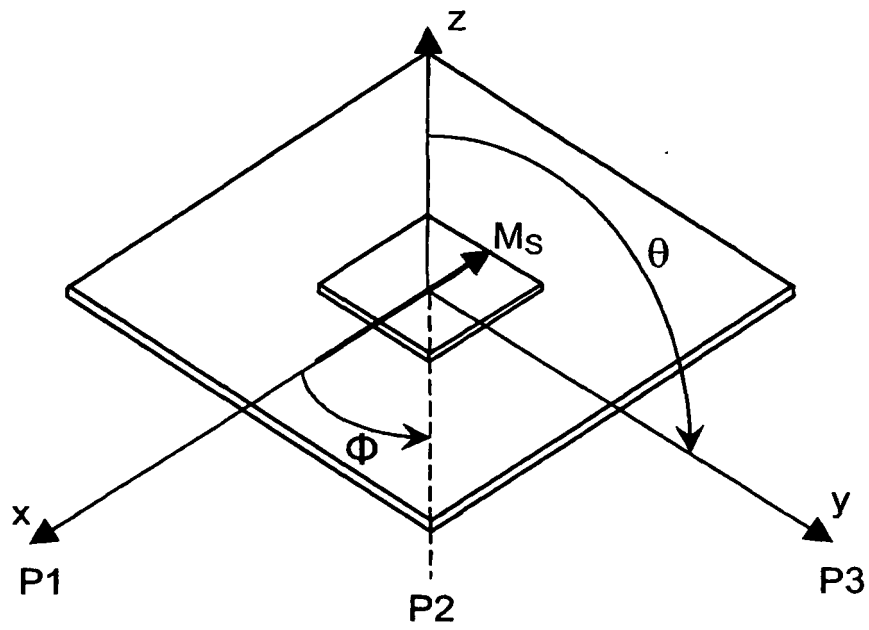


FIG.10a

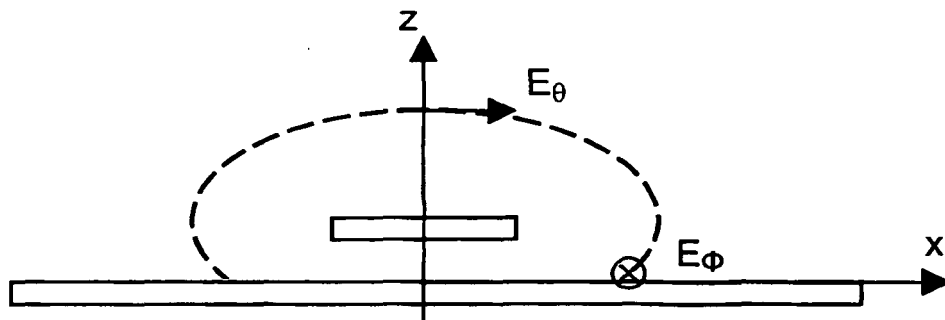


FIG.10b

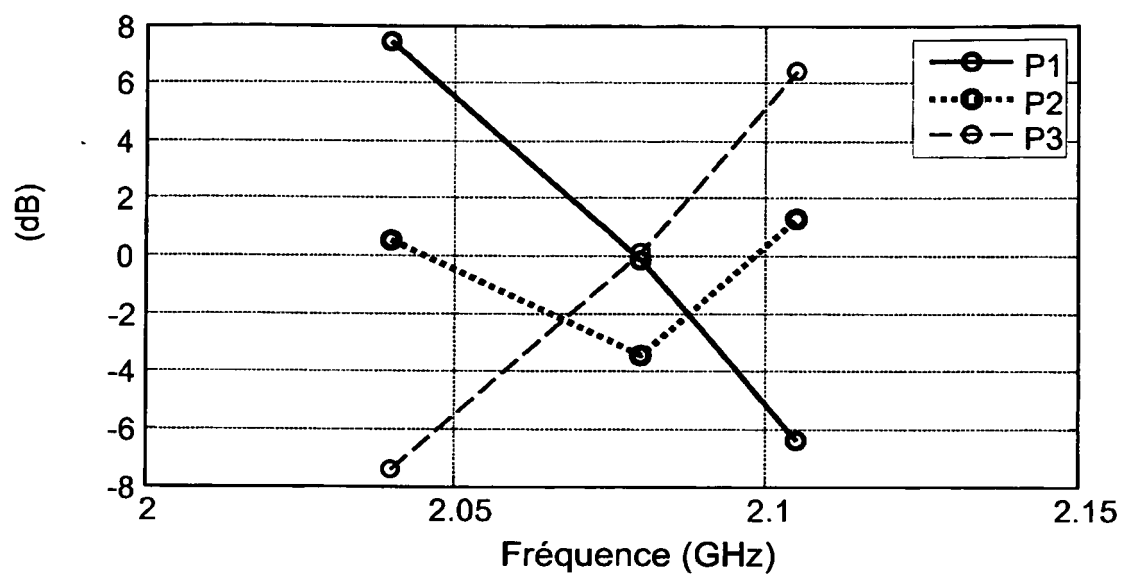


FIG.11a

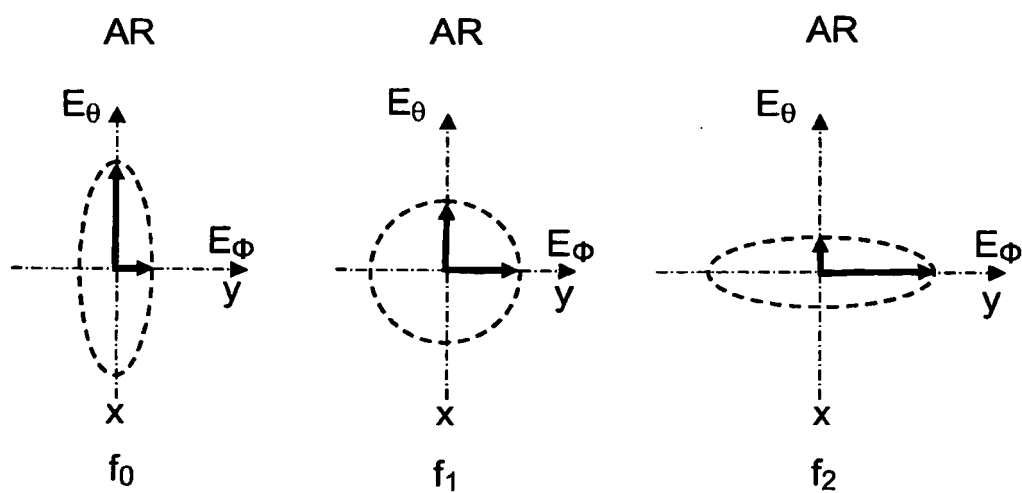


FIG.11b

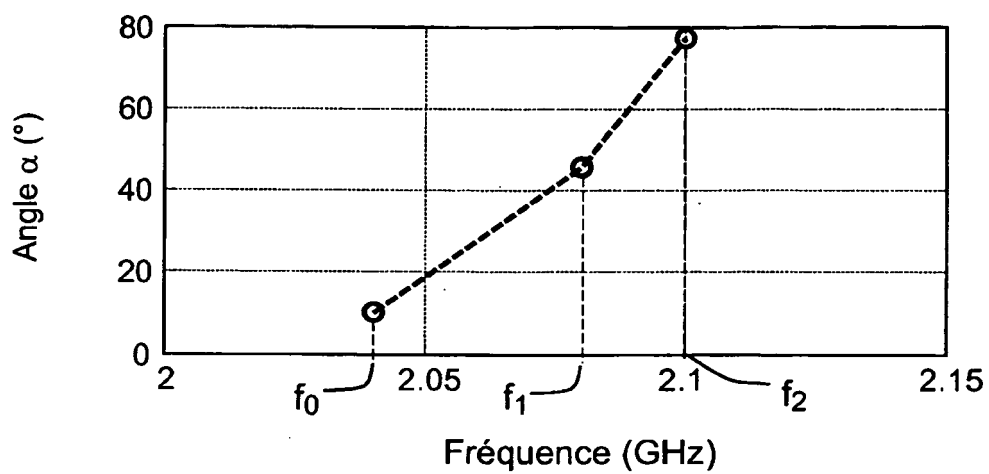


FIG.12a

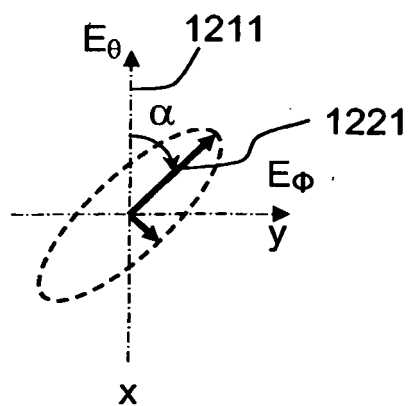


FIG.12b

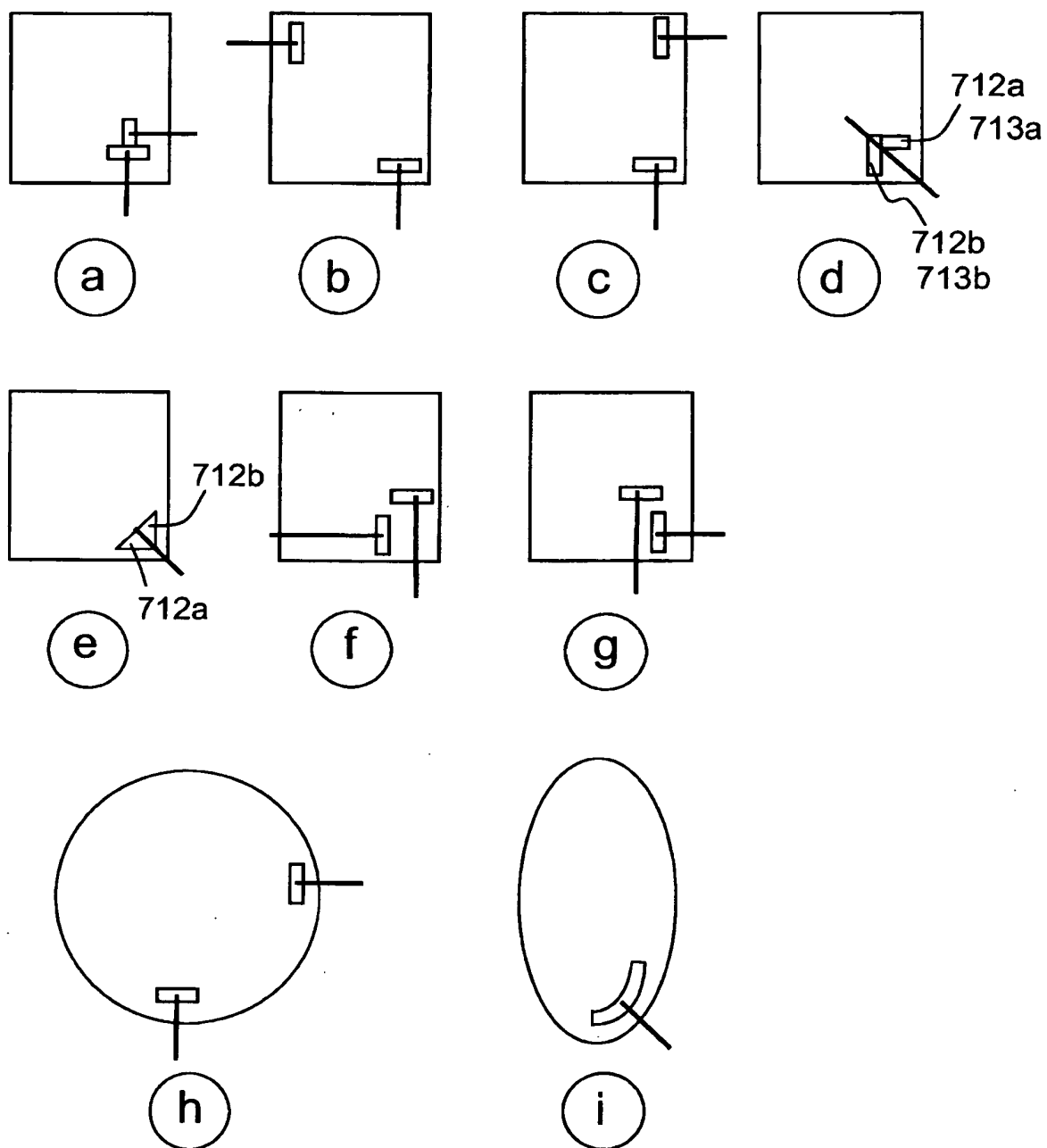


FIG.13

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 7589676 B [0006]
- EP 2200051 A [0042]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **J. ANGUERA.** Stacked H-shaped microstrip patch antenna. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions*, 2004, 983-993 [0007]