



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
14.04.2010 Bulletin 2010/15

(51) Int Cl.:
H01Q 19/10 (2006.01) **H01Q 3/46** (2006.01)
H01Q 15/00 (2006.01) **H01Q 21/06** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **09171108.5**

(22) Date de dépôt: **23.09.2009**

(84) Etats contractants désignés:
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 SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
AL BA RS

- **Bresciani, Danièle**
31000, TOULOUSE (FR)
- **Chiniard, Renaud**
31320, PECHABOU (FR)
- **Girard, Etienne**
31170, TOURNEFEUILLE (FR)

(30) Priorité: **07.10.2008 FR 0805530**

(71) Demandeur: **Thales**
92200 Neuilly Sur Seine (FR)

(72) Inventeurs:
• **Legay, Hervé**
31830, PLAISANCE DU TOUCH (FR)

(74) Mandataire: **Nguyen, Dominique et al**
Marks & Clerk France
Conseils en Propriété Industrielle
Immeuble Visium
22, avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

(54) **Réseau réflecteur et antenne comportant un tel réseau réflecteur**

(57) Le réseau réflecteur comporte une pluralité d'éléments rayonnants élémentaires formant une surface réfléchissante sans transition brusque et est **caractérisé en ce que** :

- chaque élément rayonnant de la surface réfléchissante est choisi parmi un ensemble d'éléments rayonnants consécutifs prédéterminés, appelé motif,
- Le premier (1) et le dernier (9) éléments du motif correspondent à une même phase modulo 360° et sont identiques,

- Les éléments rayonnants (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) du motif ont une structure rayonnante, de type patch métallique et/ou de type ouverture rayonnante, progressivement évolutive d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant adjacent, l'évolution de la structure rayonnante comportant une succession de croissances progressives d'au moins un patch métallique (25) et/ou d'au moins une ouverture (27) et d'apparitions d'au moins un patch métallique (25) dans une ouverture (27) et/ou d'au moins une ouverture (27) dans un patch métallique (25).

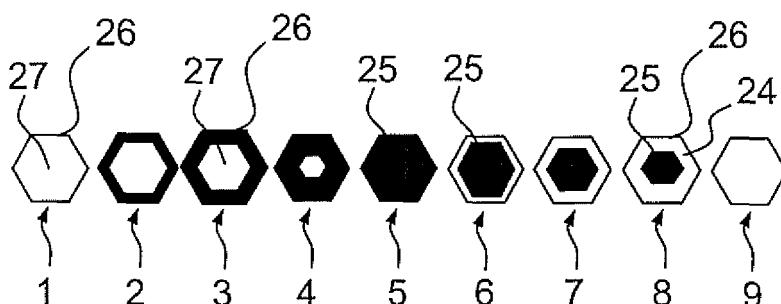


FIG.5

Description

[0001] La présente invention concerne un réseau réflecteur pour une antenne réseau réflecteur. Elle s'applique notamment aux antennes montées sur un engin spatial tel qu'un satellite de télécommunication ou aux antennes des terminaux terrestres pour les systèmes de télécommunications ou de diffusion par satellite.

[0002] Une antenne réseau réflecteur 10 (en anglais : reflectarray antenna) telle que représentée par exemple sur la figure 1, comporte un ensemble d'éléments rayonnants élémentaires 12 assemblés en réseau 11 à une ou deux dimensions et formant une surface réfléchissante 14 permettant d'augmenter la directivité et le gain de l'antenne 10. Les éléments rayonnants élémentaires, appelés aussi cellules élémentaires, du réseau réflecteur, de type patches métalliques et/ou fentes, ont des paramètres variables, tels que par exemple, les dimensions géométriques des motifs gravés (longueur et largeur des « patches » ou des fentes) qui sont réglés de façon à obtenir un diagramme de rayonnement choisi. Comme représenté par exemple sur la figure 2, les éléments rayonnants élémentaires 12 peuvent être constitués par des patches métalliques chargés de fentes rayonnantes et séparés d'un plan de masse métallique d'une distance typique comprise entre $\lambda g/10$ et $\lambda g/6$, où λg est la longueur d'onde guidée dans le milieu espaceur. Ce milieu espaceur peut être un diélectrique, mais aussi un sandwich composite réalisé par un agencement symétrique d'un séparateur de type Nid d'abeille et de peaux diélectriques de fines épaisseurs. Pour que l'antenne 10 soit performante, il faut que la cellule élémentaire puisse contrôler précisément le déphasage qu'elle produit sur une onde incidente, pour les différentes fréquences de la bande passante. Il faut également que le procédé de fabrication du réseau réflecteur soit le plus simple possible.

[0003] L'agencement (en anglais : lay-out) des éléments rayonnants dans le réseau réflecteur requiert une attention importante. Il doit respecter, au moins approximativement, une périodicité forte qui définit les caractéristiques en réflexion du réseau réflecteur (Typiquement inférieure à $0,65 \lambda$ et préférentiellement égale à $0,5 \lambda$, où λ est la longueur d'onde en espace libre). Comme expliqué ci-dessous, plus la périodicité est importante, meilleures sont les performances. Cependant les réseaux réflecteurs actuellement connus présentent un problème majeur.

[0004] L'agencement des éléments rayonnants élémentaires les uns par rapport aux autres pour constituer un réseau réflecteur est synthétisé de façon à obtenir un diagramme de rayonnement donné dans une direction de pointage choisie pour réaliser une couverture donnée. La figure 3a montre un exemple d'arrangement des éléments rayonnants d'une antenne réseau réflecteur selon l'art antérieur, permettant d'obtenir un faisceau directif pointé dans une direction latérale par rapport à l'antenne. En raison de la planéité du réseau réflecteur et des différences de longueurs de trajet d'une onde émise par

une source primaire 13 jusqu'à chaque élément rayonnant du réseau, l'illumination du réseau réflecteur par une onde incidente provenant d'une source primaire 13 provoque une distribution de phase du champ électromagnétique au-dessus de la surface réfléchissante 14. Les dimensions des éléments rayonnants sont donc définies de façon que l'onde incidente soit réfléchi par le réseau 11 avec un décalage de phase qui compense la phase relative de l'onde incidente. Les éléments rayonnants 12 ne sont donc pas tous entourés par des éléments semblables, et les transitions d'un élément rayonnant à un autre sont d'autant plus importantes que la variation de phase est rapide.

[0005] Il en résulte deux problèmes : D'une part, l'approximation usuelle qui consiste à calculer les caractéristiques électriques des éléments rayonnants avec l'hypothèse d'une périodicité infinie, n'est plus valable pour ces éléments. D'autre part, un phénomène de diffraction apparaît à ces zones de rupture de la pseudo-périodicité de l'arrangement des éléments rayonnants élémentaires 12. Alors que l'amplitude du champ électrique est supposée suivre une distribution apodisée liée à la largeur du faisceau de la source primaire 13, la distribution mesurée du champ électrique rayonné au-dessus de l'ensemble du réseau réflecteur 11 présente des zones où elle est amortie, qui correspondent précisément à la localisation de ces fortes transitions. Plus la maille du réseau réflecteur est importante, plus cette diffraction est forte. Ceci provoque une augmentation du niveau des lobes secondaires qui, même s'il reste inférieur à -20dB, crée une dégradation de la directivité de l'antenne 10 associée qui n'est pas acceptable pour une antenne de télécommunication.

[0006] La présente invention a pour but de remédier à ces inconvénients en proposant un réseau réflecteur n'introduisant pas de fortes ruptures de périodicité des éléments rayonnants sur la surface réfléchissante et permettant ainsi de réduire les perturbations dans le diagramme de rayonnement et d'améliorer la directivité de l'antenne réseau comportant un tel réseau réflecteur.

[0007] Un autre but de l'invention est de proposer un réseau réflecteur qui permet de réduire le nombre de transitions tout en augmentant les possibilités de variation de la phase des ondes réfléchies par les éléments rayonnants.

[0008] Un dernier but de l'invention est de proposer un réseau réflecteur comportant des éléments rayonnants élémentaires ayant une structure rayonnante simple et compacte.

[0009] A cet effet, l'invention a pour objet un réseau réflecteur comportant une pluralité d'éléments rayonnants élémentaires disposés les uns à côtés des autres et formant une surface réfléchissante sans transition brusque et apte à réfléchir des ondes incidentes avec une loi de variation de phase choisie pour réaliser une couverture donnée, **caractérisé en ce que :**

- les éléments rayonnants élémentaires sont réalisés

en technologie planaire,

- chaque élément rayonnant de la surface réfléchissante est choisi parmi un ensemble d'éléments rayonnants consécutifs prédéterminés, appelé motif, le motif étant apte à créer une variation de phase progressive d'au moins 360° entre un premier élément et un dernier élément du motif,
- Le premier élément et le dernier élément du motif correspondent à une même phase modulo 360° et sont identiques,
- Les éléments rayonnants du motif ont une structure rayonnante, de type patch métallique et/ou de type ouverture rayonnante, progressivement évolutive d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant adjacent, l'évolution de la structure rayonnante comportant une succession de croissances progressives d'au moins un patch métallique et/ou d'au moins une ouverture et d'apparitions d'au moins un patch métallique dans une ouverture et/ou d'au moins une ouverture dans un patch métallique.

[0010] Par exemple, l'ouverture peut être une fente annulaire ayant une longueur électrique progressivement croissante d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant adjacent et le patch métallique peut être un anneau métallique ayant une largeur évolutive d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant adjacent.

[0011] Selon un mode de réalisation, le motif comporte :

- plusieurs premiers éléments rayonnants consécutifs comportant un anneau métallique délimitant une ouverture interne dans lesquels la largeur de l'anneau métallique croît progressivement d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant adjacent jusqu'à l'obtention d'un patch métallique complet, et
- plusieurs deuxièmes éléments consécutifs comportant un patch métallique interne et au moins une fente annulaire dans lesquels la largeur de la fente annulaire croît progressivement d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant adjacent jusqu'à la disparition du patch métallique interne et l'obtention d'un anneau métallique.

[0012] Avantageusement, le motif peut comporter au moins un élément rayonnant comportant au moins un patch métallique et deux fentes annulaires concentriques pratiquées dans le patch métallique.

[0013] Avantageusement, le motif peut comporter plusieurs éléments rayonnants comportant un patch métallique et plusieurs fentes annulaires concentriques pratiquées dans le patch métallique, au moins l'une des fentes annulaires d'un élément rayonnant ayant une longueur électrique évolutive par rapport à un autre élément rayonnant adjacent.

[0014] Avantageusement, le motif peut comporter un élément rayonnant comportant un patch métallique complet et plusieurs éléments rayonnants consécutifs com-

portant un patch métallique et plusieurs fentes annulaires concentriques pratiquées dans le patch métallique, les fentes annulaires ayant une longueur évolutive indépendamment ou simultanément d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant adjacent.

[0015] Avantageusement, le motif peut comporter au moins un élément rayonnant comportant une fente annulaire ou plusieurs fentes annulaires concentriques et au moins un moyen court-circuit et/ou un moyen capacitif placé dans au moins une fente annulaire, le moyen court-circuit et/ou le moyen capacitif faisant varier la longueur électrique de la fente.

[0016] Le moyen court-circuit peut être une métallisation sectionnant la fente à un endroit et sur une longueur prédéterminés ou un micro-commutateur.

[0017] Avantageusement, chaque élément rayonnant du motif peut comporter au moins un micro-commutateur, chaque micro-commutateur étant positionné dans une fente annulaire à un endroit prédéterminé et dans un état ouvert ou fermé choisi, toutes les fentes annulaires ayant la même largeur.

[0018] Avantageusement, le motif peut comporter plusieurs éléments rayonnants consécutifs comportant plusieurs fentes annulaires concentriques, tous les éléments rayonnants comportant un même nombre de micro-commutateurs positionnés aux mêmes endroits dans les fentes annulaires, les micro-commutateurs de tous les éléments rayonnants du motif étant configurés dans des états différents, les états des micro-commutateurs variant progressivement d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant adjacent.

[0019] Préférentiellement, les éléments rayonnants ont une forme géométrique choisie parmi une forme d'hexagone ou une forme de croix à deux branches perpendiculaires.

[0020] L'invention concerne également une antenne réseau réflecteur, comportant au moins un réseau réflecteur.

[0021] D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement dans la suite de la description donnée à titre d'exemple purement illustratif et non limitatif, en référence aux dessins schématiques annexés qui représentent :

- figure 1 : un schéma d'un exemple d'antenne réseau réflecteur;
- figure 2 : un schéma d'un exemple d'élément rayonnant élémentaire réalisé en technologie planaire;
- figure 3a : un schéma d'un exemple d'arrangement des éléments rayonnants d'un réseau réflecteur, selon l'art antérieur;
- figure 3b : un agrandissement d'un exemple de rupture brutale de la périodicité d'un réseau réflecteur, selon l'art antérieur ;
- figure 4 : un exemple d'atténuations du champ électromagnétique rayonné au-dessus de la surface rayonnante de l'antenne réseau de la figure 3a ;
- figure 5 : un schéma d'un exemple de motif périodi-

que comportant un arrangement à une dimension de plusieurs éléments rayonnants élémentaires et permettant d'obtenir une rotation de phase de 360° , selon l'invention ;

- figure 6 : un schéma d'un exemple d'éléments rayonnants élémentaires comportant plusieurs fentes de largeurs évolutives, selon l'invention ;
- figure 7 : un schéma d'un exemple d'éléments rayonnants élémentaires comportant au moins une fente et au moins un court-circuit, selon l'invention ;
- figure 8a : un exemple d'élément rayonnant comportant des MEMS, selon l'invention ;
- figure 8b : un exemple de motif périodique constitué de plusieurs éléments rayonnants en forme de croix munis de trois fentes annulaires concentriques et de MEMS dans chaque fente, selon l'invention ;
- figure 9 : un schéma d'un exemple d'une base de données à deux dimensions comportant des arrangements de plusieurs éléments rayonnants élémentaires de structure différente et deux exemples de chemins de variation possibles permettant d'obtenir une rotation de phase de 360° , selon l'invention ;
- figure 10 : un exemple d'implantation des éléments rayonnants pour un réseau réflecteur d'une antenne, selon l'invention ;
- figure 11 : un exemple de variation de phase correspondant aux deux chemins de variation de la figure 9, selon l'invention ;

[0022] La figure 1 montre un exemple d'antenne réseau réflecteur comportant un réseau réflecteur 11 optimisé, comme décrit ci-après, formant une surface réfléchissante 14 périodique et une source primaire 13 pour illuminer le réseau réflecteur 11 avec une onde incidente.

[0023] Sur la figure 2 est représenté un exemple d'élément rayonnant élémentaire 12 de forme carré ayant des côtés de longueur m , comportant un patch métallique 15 imprimé sur une face supérieure d'un substrat diélectrique 16 muni d'un plan de masse métallique 17 sur sa face inférieure. Le patch métallique 15 a une forme de carré ayant des côtés de dimension p et comporte deux fentes 18 de longueur b et de largeur k pratiquées en son centre, les fentes étant disposées en forme de croix. Dans un repère à trois dimensions XYZ, le plan de la surface réfléchissante de l'élément rayonnant est le plan XY. La forme des éléments rayonnants élémentaires 12 n'est pas limitée à un carré, elle peut également être rectangulaire, triangulaire, circulaire, hexagonale, en forme de croix, ou toute autre forme géométrique. Les fentes peuvent également être réalisées en un nombre différent de deux et leur disposition peut être différente d'une croix.

[0024] La figure 3a montre un exemple d'arrangement des éléments rayonnants d'une antenne réseau réflecteur, selon l'art antérieur. Sur cette figure, des éléments rayonnants 12 similaires à ceux de la figure 2 mais ayant des dimensions de patch métallique 15 variables sont arrangés en un réseau réflecteur 11 comportant des rup-

tures brutales de périodicité. La figure 3b est un agrandissement d'un exemple de rupture brutale de périodicité. En effet, certains éléments rayonnants adjacents, tels que les éléments 22 et 23, sont très différents les uns des autres. Aux transitions entre deux éléments rayonnants adjacents très différents, il y a une discontinuité qui induit une diffraction 19 du rayonnement réfléchi par le réseau réflecteur et une atténuation du champ électromagnétique rayonné au-dessus de la surface rayonnante. La figure 4 montre les atténuations 40 du champ électromagnétique obtenu avec le réseau réflecteur de la figure 3a. Cette figure 4 montre qu'il y a une correspondance très nette entre les ruptures de périodicité de la surface rayonnante de la figure 3a et les atténuations du champ électromagnétique rayonné au-dessus de cette surface. Cet arrangement donne un diagramme de rayonnement perturbé avec un accroissement du niveau des lobes secondaires et ne permet pas d'obtenir une bonne directivité de l'antenne comportant ce réseau réflecteur.

[0025] La figure 5 représente un exemple de motif semi-périodique comportant un arrangement à une dimension de plusieurs éléments rayonnants élémentaires et permettant d'obtenir une rotation de phase de 360° , selon l'invention. Dans cet exemple, la forme géométrique des éléments rayonnants est hexagonale, leur dimension circonférentielle périphérique est identique. Ils sont réalisés en technologie planaire et leur structure rayonnante n'est pas plus complexe que celle des éléments rayonnants représentés sur la figure 2 mais ladite structure rayonnante évolue progressivement d'un élément rayonnant à un élément rayonnant adjacent, dans le plan de la surface réfléchissante 14, et ne présente donc pas de rupture brutale entre deux éléments rayonnants adjacents. Le premier 1 et le dernier 9 élément rayonnant sont identiques. Cela permet de réaliser une boucle de variation de phase de 360° puisque l'état final est identique à l'état initial.

[0026] Dans cet exemple, le premier élément 1 comporte un anneau métallique circonférentiel périphérique 26 délimitant une cavité interne 27. Les trois éléments consécutifs suivants 2, 3, 4 comportent également un anneau métallique circonférentiel périphérique 26 délimitant une cavité interne 27, la largeur de l'anneau croissant progressivement d'un élément rayonnant à un deuxième élément rayonnant immédiatement adjacent jusqu'à l'obtention du cinquième élément 5, placé au centre du motif, qui est un patch métallique complet 25. A partir du sixième élément 6, une fente annulaire 24, par exemple hexagonale lorsque les éléments rayonnants ont une forme hexagonale, est introduite au voisinage de la périphérie du patch métallique interne 25 et un anneau métallique circonférentiel 26 est laissé à la périphérie. Les éléments rayonnants consécutifs suivants 7, 8 ont une fente hexagonale 24 dont la largeur croît progressivement jusqu'à la disparition du patch métallique interne 25 comme l'élément rayonnant 9. Au lieu d'agir sur la largeur de la fente, il est également possible d'agir

sur la longueur de la fente ou de charger la fente par des charges capacitives. Une modification de la largeur ou de la longueur de la fente, ou l'ajout d'une charge capacitive, a pour effet de modifier les caractéristiques de propagation des ondes dans la fente et d'affecter la longueur électrique de la fente. Pour rappel, la longueur électrique d'une fente correspond à sa longueur physique rapportée à la longueur d'onde qui s'y propage. Lorsque l'élément rayonnant est un patch métallique complet 5, une onde incidente provenant d'une source primaire 13 qui illumine cet élément rayonnant est complètement réfléchi par le patch. Lorsque le patch métallique présente une ouverture, telle qu'une fente par exemple, une cavité résonante se forme entre le patch métallique et le plan de masse métallique. Une partie de l'onde incidente illuminant cet élément rayonnant est alors transmise vers le plan de masse métallique de l'élément rayonnant qui réfléchit l'onde incidente avec un déphasage. L'ouverture introduit donc un déphasage dans l'onde réfléchi par l'élément rayonnant qui est d'autant plus important que l'ouverture est grande. Par rapport à un élément rayonnant comportant un patch complet, le déphasage maximal, est obtenu lorsque l'élément rayonnant 1, 9 ne comporte plus de patch métallique mais seulement un fin anneau métallique délimitant une cavité résonante.

[0027] Avec un cycle de variation de phase complet tel que celui représenté à la figure 5, il est possible d'obtenir un déphasage supérieur à 360° . Pour cela, il suffit de répéter plusieurs fois le même motif de variation de la structure des éléments rayonnants. Le nombre d'éléments rayonnants pour réaliser un motif peut être différent de celui de la figure 5, mais il en faut suffisamment de façon à ne pas créer de rupture brutale dans la périodicité de la surface réfléchissante 14. Pour obtenir des possibilités supplémentaires de variation de phase et limiter encore le nombre de transitions brusques dans le réseau réflecteur, il est également possible d'ajouter un ou plusieurs éléments rayonnants additionnels dans le motif représenté sur la figure 5.

[0028] Plusieurs fentes peuvent être réalisées dans le patch métallique des éléments rayonnants de façon à obtenir plusieurs résonateurs couplés par élément rayonnants élémentaires comme représenté sur la figure 6. Dans cet exemple, un premier élément 50 est constitué d'un patch métallique complet, et chacun des trois éléments rayonnants suivants 51, 52, 53 comporte trois fentes 54, 55, 56 hexagonales concentriques pratiquées dans un patch métallique. La largeur des fentes, dans le plan de la surface réfléchissante 14, augmente entre le deuxième 51 et le troisième 52 élément puis la largeur des zones métalliques augmente entre le troisième 52 et le quatrième 53 élément. Les éléments rayonnants, en nombre de quatre sur la figure 6, peuvent être arrangés selon le motif montré sur cet exemple, ce motif pouvant être reproduit de manière récursive sur toute la surface réfléchissante 14. Selon la fréquence de l'onde incidente, c'est l'une ou l'autre des trois fentes du patch

qui résonne. Sur l'exemple de la figure 6 les largeurs des trois fentes évoluent simultanément, mais l'invention n'est pas limitée à ce cas. Il est également possible de réaliser un motif comportant des éléments rayonnants dans lesquels les fentes ont des largeurs qui évoluent indépendamment l'une de l'autre et/ou des éléments rayonnants dans lesquels seules une ou deux fentes ont une largeur qui évolue d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant adjacent.

[0029] L'avantage des éléments rayonnants comportant plusieurs fentes dans un patch métallique est qu'ils permettent de réaliser une progression de la variation de phase plus élaborée qu'avec des éléments ne comportant qu'une seule fente. Ils permettent d'obtenir une gamme de variation de phase jusqu'à 1000° et de réduire le nombre de transitions. Dans les cas précisément décrits ci-dessus, les éléments rayonnants ont une forme hexagonale, mais le même principe peut être utilisé pour tous types de formes géométriques, tel que par exemple, une forme carrée, rectangulaire, circulaire, triangulaire, une croix, ou une autre forme.

[0030] Alternativement, il est possible de combiner dans un même motif, des éléments rayonnants ne comportant pas de fente et des éléments rayonnants comportant une ou plusieurs fentes. En introduisant progressivement les fentes dans des éléments rayonnants consécutifs, il est possible de réduire encore le nombre de transitions et d'élargir encore la gamme de variation de la phase des ondes réfléchies par les éléments rayonnants d'un motif.

[0031] Il est également possible, à titre de variante de réalisation de l'invention pour les éléments rayonnants comportant au moins une fente, d'introduire progressivement un ou plusieurs court-circuits comme décrit ci-dessus en liaison avec la figure 7 ou plus loin en liaison avec la figure 8.

[0032] Sur la figure 7, des éléments rayonnants comportent un patch 25 et une fente 24, ou plusieurs fentes, dans laquelle est introduit un ou plusieurs court-circuits 28 permettant de faire varier la longueur électrique de la fente. Les court-circuits 28 peuvent être de type passif lorsqu'ils sont constitués d'une simple métallisation sectionnant la fente 24 à un endroit et sur une longueur prédéterminés pour obtenir au moins deux demi-fentes 24a et 24b de longueurs choisies. Alternativement, les court-circuits peuvent être de type actif lorsqu'ils sont réalisés au moyen de micro-commutateurs, par exemple de type MEMS (En anglais : Micro Electro-Mechanical System) ou diodes. L'ajout des court-circuits 28 placés dans une fente 24 d'un élément rayonnant élémentaire permet de réaliser ainsi plusieurs résonateurs sur le même élément rayonnant élémentaire, d'accroître ainsi les possibilités de variation de la phase et de diminuer encore le nombre de transitions brusques.

[0033] Il est possible dans un même élément rayonnant et/ou dans deux ou plusieurs éléments rayonnants différents d'un même motif de combiner des fentes ayant un ou plusieurs court-circuits actifs et des fentes ayant

un ou plusieurs court-circuits passifs. Toutes les combinaisons possibles étant envisageables dans le cadre de la présente invention.

[0034] L'utilisation de ces éléments rayonnants à résonateurs multiples couplés entre eux dans un réseau réflecteur permet donc de réduire considérablement le nombre de transitions brusques dans le réseau réflecteur et de diminuer d'autant les perturbations induites sur le diagramme de rayonnement. Un autre avantage est qu'avec un nombre de degrés de liberté accru, il est permis de garantir le déphasage requis non seulement à fréquence centrale, mais aussi en plusieurs autres fréquences de la bande passante du réseau réflecteur.

[0035] La figure 8a montre un exemple d'élément rayonnant en forme de croix à deux branches perpendiculaires. La croix et l'hexagone, présentent la propriété d'être miniatures car les fentes qui déterminent la résonance sont courbées. Ceci permet d'insérer plusieurs résonateurs distincts sur le patch métallique et avec quatre fentes par exemple, il est possible de faire varier la phase jusqu'à 1000° sans créer de transitions fortes.

[0036] Sur la figure 8a, la croix comporte trois fentes annulaires concentriques 81, 82, 83 pratiquées dans un patch métallique, mais elle pourrait en comporter un nombre différent de trois. De la même façon que pour l'hexagone, il est possible de piloter progressivement la variation de la phase sur une surface réfléchissante en agencant plusieurs éléments rayonnants en forme de croix et ayant des largeurs de fentes, ou des largeurs d'anneaux métalliques, variables.

[0037] Comme représenté sur la figure 8b, pour obtenir des éléments rayonnants jointifs, chaque croix peut par exemple être inscrite à l'intérieur d'une grille métallique continue 84 ayant une maille de forme géométrique différente, par exemple carrée, rectangulaire ou hexagonale. Alternativement, au lieu de faire varier la géométrie des fentes, il est possible de faire varier la phase en utilisant des micro-commutateurs par exemple de type MEMS 85 (En anglais : Micro Electro-Mechanical System) ou d'autres systèmes de commutations comme des diodes, disposées de façon choisie dans les fentes comme représenté par exemple sur les figures 8a et 8b. Dans ce cas, tous les éléments rayonnants ont la même structure et toutes les fentes annulaires ont la même largeur. Les MEMS 85 placés dans les fentes 81, 82, 83 ont deux états possibles, ouvert ou fermé, et agissent comme court-circuit ou comme circuit ouvert. Ils peuvent agir également comme une charge capacitive variable dans le cas de MEMS capacitifs. Ils permettent ainsi de faire varier la longueur électrique des fentes et donc la phase d'une onde réfléchie par chaque élément rayonnant. De la même façon que pour les éléments rayonnants à largeur de fentes variables, il est alors possible de piloter la phase des éléments rayonnants en plaçant, de façon prédéterminée, par exemple dans les zones les plus actives où le champ électromagnétique est le plus important, certains MEMS à l'état fermé et d'autres MEMS à l'état ouvert suivant la loi de déphasage souhaitée. Ainsi,

par exemple, il est possible de réaliser un motif à variation de phase progressive et ne comportant pas de transition brutale, en utilisant plusieurs éléments rayonnants ayant la même géométrie, le même nombre de MEMS positionnés au même endroit dans les fentes annulaires, mais des MEMS configurés dans des états différents. Par exemple, avec un motif constitué de plusieurs éléments rayonnants en forme de croix ou d'hexagone, munis de trois fentes annulaires concentriques et de MEMS dans chaque fente, il est possible de faire varier progressivement la phase jusqu'à 1000° en court-circuitant progressivement les différentes fentes des éléments rayonnants adjacents jusqu'à obtenir un élément rayonnant ayant tous ses MEMS à l'état fermé, puis sur plusieurs éléments adjacents additionnels, à progressivement mettre les MEMS à l'état ouvert jusqu'à obtenir un élément rayonnant ayant tous ses MEMS à l'état ouvert. Il est également possible d'appairer certains MEMS et de les regrouper sur une même commande pour faire varier leur état ouvert ou fermé en même temps. Cela peut permettre par exemple dans le cas d'une géométrie en forme de croix à deux branches perpendiculaires, de conserver une symétrie miroir selon les deux axes X et Y des deux branches de la croix et d'éviter l'excitation de modes de rayonnement d'ordre supérieur au mode principal susceptibles de générer de la polarisation croisée et de diminuer la bande passante du réseau réflecteur.

[0038] Dans l'exemple représenté sur la figure 8b, le motif comporte dix éléments rayonnants identiques en forme de croix comportant trois fentes annulaires concentriques et ayant le même nombre de MEMS, soit deux MEMS appairés selon l'axe Y, dans la première fente la plus interne, six MEMS dans la deuxième fente et six MEMS dans la troisième fente externe. Les six MEMS de la deuxième, respectivement de la troisième, fente sont appairés par deux selon l'axe Y et les quatre autres MEMS appairés ensembles. Dans le premier élément rayonnant 90, tous les MEMS sont dans un état fermé. Dans le deuxième élément rayonnant 91, les quatre MEMS de la troisième fente qui sont appairés ensembles sont dans un état ouvert, tous les autres MEMS étant dans un état fermé. Dans le troisième élément rayonnant 92, les deux MEMS de la première fente sont à l'état ouvert et tous les autres MEMS sont à l'état fermé. Les éléments rayonnants suivants 93 à 98 comportent d'autres combinaisons d'états des différents MEMS jusqu'au dernier élément rayonnant 99 du motif pour lequel tous les MEMS sont dans le même état fermé que le premier élément rayonnant du motif. Un tel motif permet de faire varier la phase des éléments rayonnants sur 360°.

[0039] La géométrie de l'élément rayonnant des figures 8a et 8b est en forme de croix, mais on peut alternativement placer des MEMS dans des éléments rayonnants ayant une autre géométrie telle qu'une forme d'hexagone, de carré, de rectangle ou toute autre forme souhaitée.

[0040] Un élément rayonnant en forme de croix ou en

forme d'hexagone présente l'avantage d'être très compact et donc à large bande. Plus le nombre de fentes annulaires, donc de résonateurs, est grand, plus l'élément rayonnant est compact et plus il est à large bande. En particulier, un élément rayonnant en forme de croix permet d'obtenir une antenne fonctionnant entre 11 et 14 GHz. En outre, une forme de croix présente l'avantage d'être compatible avec une maille carrée ou rectangulaire, ce qui simplifie la réalisation d'un panneau comportant un réseau réflecteur composé d'éléments rayonnants ayant cette forme de croix.

[0041] Alternativement, il est également possible de combiner dans un même motif, des éléments rayonnants ayant une ou plusieurs fentes de largeur évolutive et des éléments rayonnants ayant une ou plusieurs fentes ayant une longueur électrique évolutive, les éléments rayonnants ayant au moins une fente de longueur électrique évolutive pouvant comporter des éléments rayonnants comportant au moins une fente court-circuitée de manière passive et/ou des éléments rayonnants ayant au moins une fente court-circuitée de manière active et/ou des éléments rayonnants comportant au moins une fente incorporant des MEMS capacitifs.

[0042] Pour réaliser un arrangement à deux dimensions permettant d'obtenir une loi de variation de phase choisie sans créer de rupture brutale de périodicité, il peut être judicieux de créer une base de données comportant des éléments rayonnants différents ayant une structure évolutive permettant d'obtenir une variation de phase de 360° , comme décrit ci-dessus, et agencés selon un motif à deux dimensions. La figure 9 illustre un exemple de base de données selon l'invention. Cette base de données comporte les éléments rayonnants 1 à 9 de la figure 5 et des éléments rayonnants additionnels 63 à 68 ayant des structures intermédiaires différentes. En utilisant cette base de données pour sélectionner correctement le chemin de variation, il est possible de réaliser une variation progressive de la phase d'une onde réfléchie, à partir d'une variation physique progressive des éléments rayonnants. Sur cette figure 9, différents chemins possibles permettent d'obtenir une variation de phase progressive de 360° . Deux exemples de chemins 61, 62 sont représentés. Un exemple de variation de phase obtenue pour un chemin de variation, tel que le chemin 61 ou 62, choisi dans la base de données de la figure 9, pour un angle d'incidence de l'onde plane θ égal à 30° et trois fréquences centrales différentes, est représenté sur la figure 11. Les trois fréquences de cet exemple sont 14 GHz, 14.25 GHz, 14.50 GHz et la variation de phase obtenue est comprise entre 60° et 420° pour un motif comportant 45 éléments rayonnants différents. Cette figure 11 montre une variation de phase progressive ne comportant pas de saut brutal.

[0043] La base de données peut être étendue aux éléments rayonnants comportant plusieurs fentes hexagonales. Dans ce cas, il devient possible de réaliser exactement le déphasage souhaité pour la fréquence centrale du diagramme de rayonnement de l'antenne ainsi que la

dispersion de phases souhaitée.

[0044] Les éléments rayonnants choisis pour réaliser une variation de phase prédéterminée peuvent alors être arrangés selon un réseau réfléchissant à deux dimensions tel que représenté par exemple sur la figure 10. Le réseau réfléchissant ainsi réalisé permet d'obtenir une variation progressive de la phase des ondes incidentes réfléchies par le réseau à partir d'une variation physique progressive des éléments rayonnants élémentaires du réseau.

[0045] Bien que l'invention ait été décrite en relation avec un mode de réalisation particulier, il est bien évident qu'elle n'y est nullement limitée et qu'elle comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci entrent dans le cadre de l'invention.

Revendications

1. Réseau réflecteur comportant une pluralité d'éléments rayonnants élémentaires disposés les uns à côtés des autres et formant une surface réfléchissante sans transition brusque et apte à réfléchir des ondes incidentes avec une loi de variation de phase choisie pour réaliser une couverture donnée, **caractérisé en ce que :**

- les éléments rayonnants élémentaires (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) sont réalisés en technologie planaire,
- chaque élément rayonnant de la surface réfléchissante est choisi parmi un ensemble d'éléments rayonnants (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) consécutifs prédéterminés, appelé motif, le motif étant apte à créer une variation de phase progressive d'au moins 360° entre un premier élément (1) et un dernier élément (9) du motif,
- Le premier (1) et le dernier (9) éléments du motif correspondent à une même phase modulo 360° et sont identiques,
- Les éléments rayonnants (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) du motif ont une structure rayonnante, de type patch métallique et/ou de type ouverture rayonnante, progressivement évolutive d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant adjacent, l'évolution de la structure rayonnante comportant une succession de croissances progressives d'au moins un patch métallique (25) et/ou d'au moins une ouverture (27) et d'apparitions d'au moins un patch métallique (25) dans une ouverture (27) et/ou d'au moins une ouverture (27) dans un patch métallique (25).

2. Réseau réflecteur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'ouverture (27) est une fente annulaire (24) ayant une longueur électrique progressivement croissante d'un élément rayonnant (7) à

un autre élément rayonnant (8) adjacent.

3. Réseau réflecteur selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** le patch métallique (25) est un anneau métallique (26) ayant une largeur évolutive d'un élément rayonnant (3) à un autre élément rayonnant (4) adjacent.

4. Réseau réflecteur selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** le motif comporte :

- plusieurs premiers éléments rayonnants (1, 2, 3, 4) consécutifs comportant un anneau métallique (26) délimitant une ouverture interne (27) dans lesquels la largeur de l'anneau métallique (26) croît progressivement d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant adjacent jusqu'à l'obtention d'un patch métallique complet (25) constituant un élément rayonnant (5), et
- plusieurs deuxièmes éléments consécutifs (6, 7, 8, 9) comportant un patch métallique interne (25) et au moins une fente annulaire (24) dans lesquels la largeur de la fente annulaire (24) croît progressivement d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant adjacent jusqu'à la disparition du patch métallique interne (25) et l'obtention d'un anneau métallique (26).

5. Réseau réflecteur selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le motif comporte en outre au moins un élément rayonnant (51, 52, 53) comportant au moins un patch métallique (25) et deux fentes annulaires concentriques (54, 55, 56) pratiquées dans le patch métallique (25).

6. Réseau réflecteur selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le motif comporte en outre plusieurs éléments rayonnants (51, 52, 53) comportant un patch métallique (25) et plusieurs fentes annulaires concentriques (54, 55, 56) pratiquées dans le patch métallique (25) et **en ce que** au moins une fente annulaire d'un élément rayonnant (51) a une longueur électrique évolutive par rapport à un autre élément rayonnant (52) adjacent.

7. Réseau réflecteur selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le motif comporte un élément rayonnant (50) comportant un patch métallique complet (25) et plusieurs éléments rayonnants consécutifs (51, 52, 53) comportant un patch métallique (25) et plusieurs fentes annulaires concentriques (54, 55, 56) pratiquées dans le patch métallique (25), et **en ce que** les fentes annulaires ont une longueur évolutive indépendamment ou simultanément d'un élément rayonnant (51) à un autre élément rayonnant (52) adjacent.

8. Réseau réflecteur selon l'une des revendications 1

à 3, **caractérisé en ce que** au moins un élément rayonnant comporte une fente annulaire (24) ou plusieurs fentes annulaires concentriques (54, 55, 56) et au moins un moyen court-circuit (28) et/ou un moyen capacitif placé dans au moins une fente annulaire (24, 54, 55, 56), le moyen court-circuit et/ou le moyen capacitif faisant varier la longueur électrique de la fente.

9. Réseau réflecteur selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le moyen court-circuit (28) est une métallisation sectionnant la fente (24) à un endroit et sur une longueur prédéterminés.

10. Réseau réflecteur selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** le moyen court-circuit est un micro-commutateur (85).

11. Réseau réflecteur selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** chaque élément rayonnant du motif comporte au moins un micro-commutateur (85) et **en ce que** chaque micro-commutateur (85) est positionné dans une fente annulaire (24) à un endroit prédéterminé et dans un état ouvert ou fermé choisi, toutes les fentes annulaires ayant la même largeur.

12. Réseau réflecteur selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** le motif comporte plusieurs éléments rayonnants consécutifs (90 à 99), chaque élément rayonnant comportant plusieurs fentes annulaires concentriques (81, 82, 83), tous les éléments rayonnants comportant un même nombre de micro-commutateurs (85) positionnés aux mêmes endroits dans les fentes annulaires, les micro-commutateurs de tous les éléments rayonnants du motif étant configurés dans des états différents, les états des micro-commutateurs variant progressivement d'un élément rayonnant (90) à un autre élément rayonnant adjacent (91).

13. Réseau réflecteur selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les éléments rayonnants ont une forme géométrique choisie parmi une forme d'hexagone ou une forme de croix à deux branches perpendiculaires.

14. Antenne réseau réflecteur, **caractérisée en ce qu'elle** comporte au moins un réseau réflecteur selon l'une quelconque des revendications précédentes.

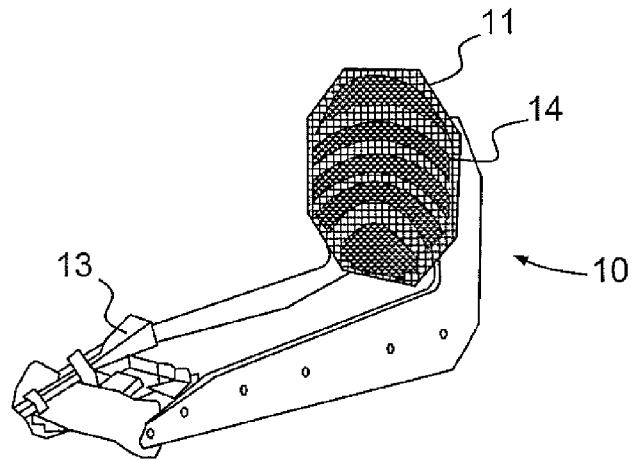


FIG. 1

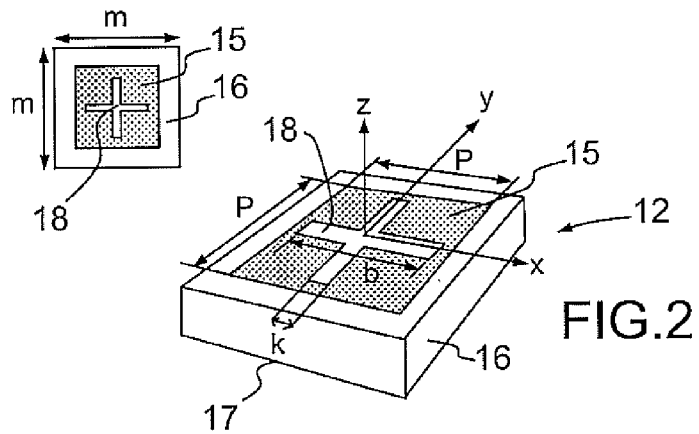


FIG. 2

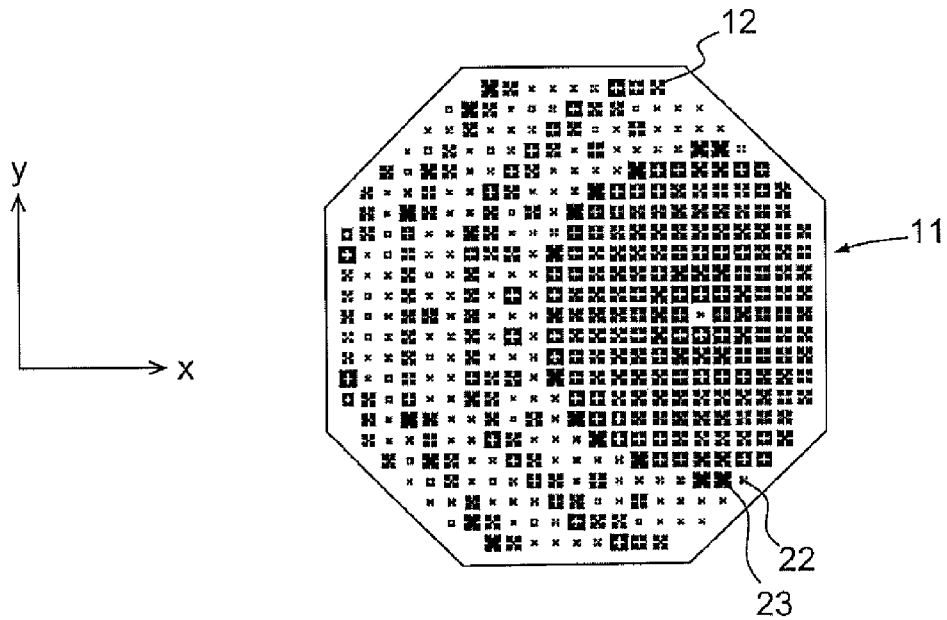


FIG. 3a

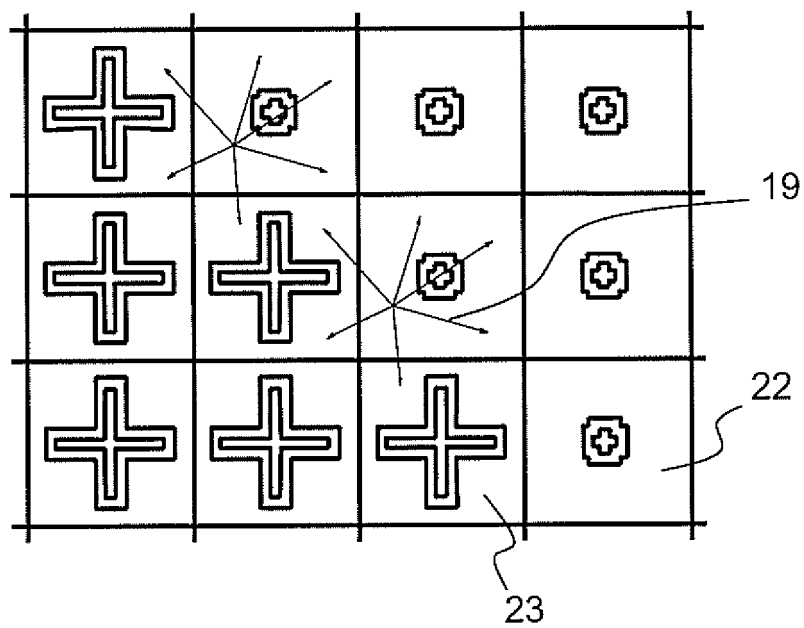


FIG.3b

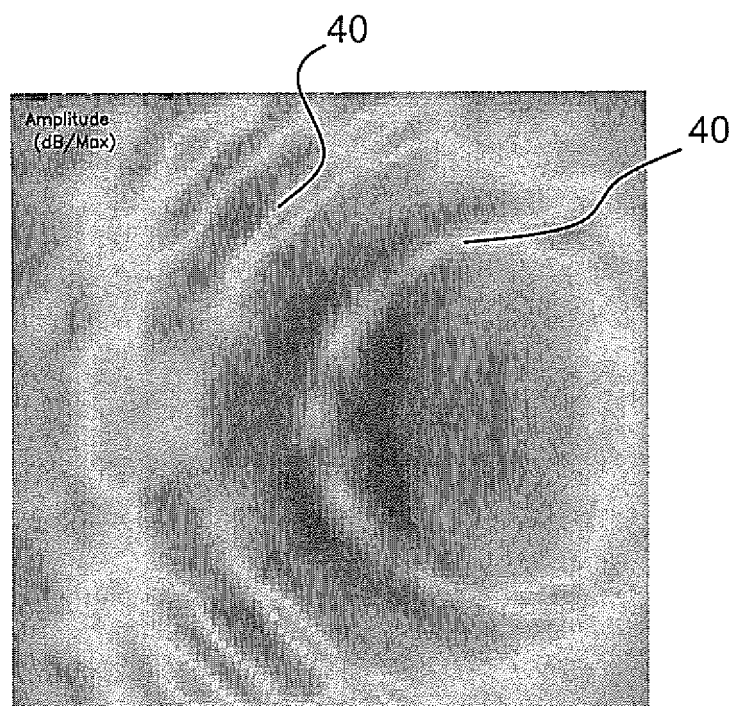


FIG.4

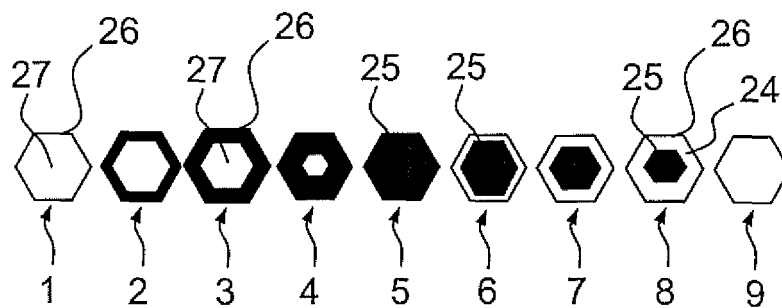


FIG.5

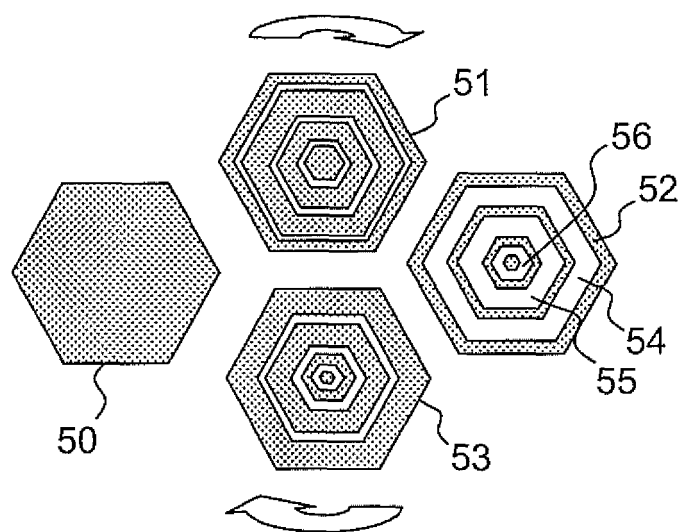


FIG.6

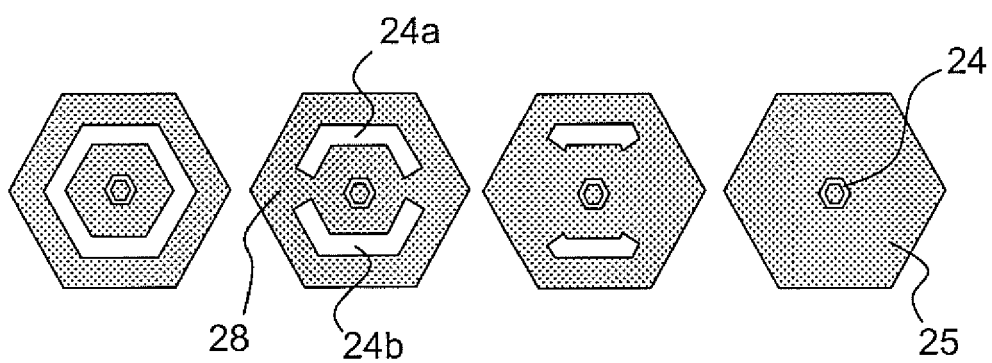


FIG. 7

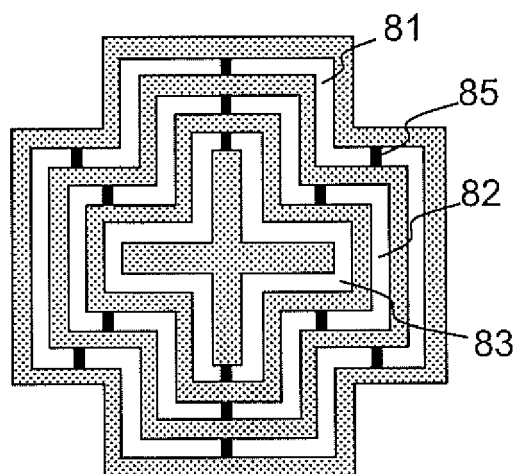


FIG. 8a

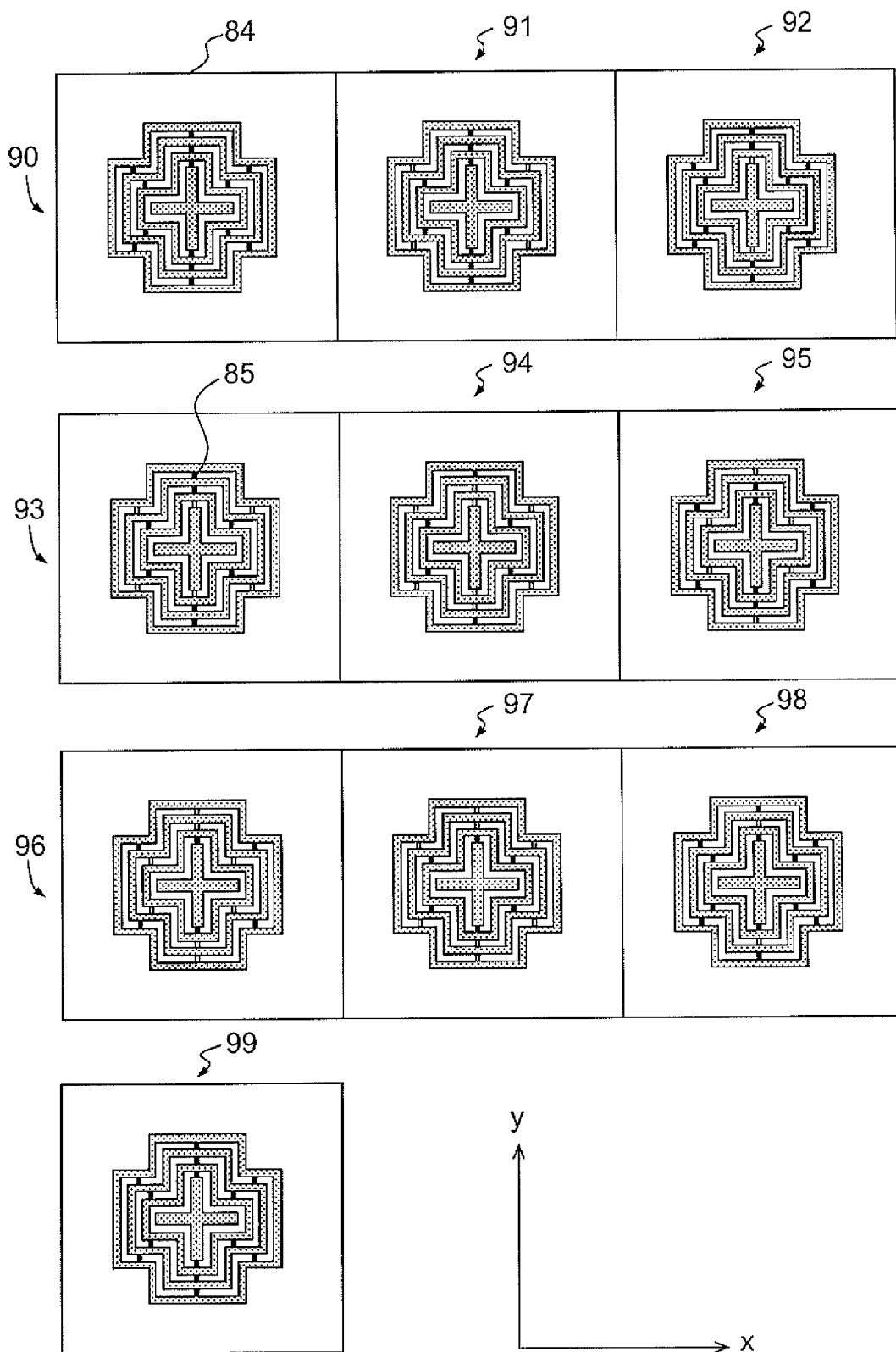


FIG.8b

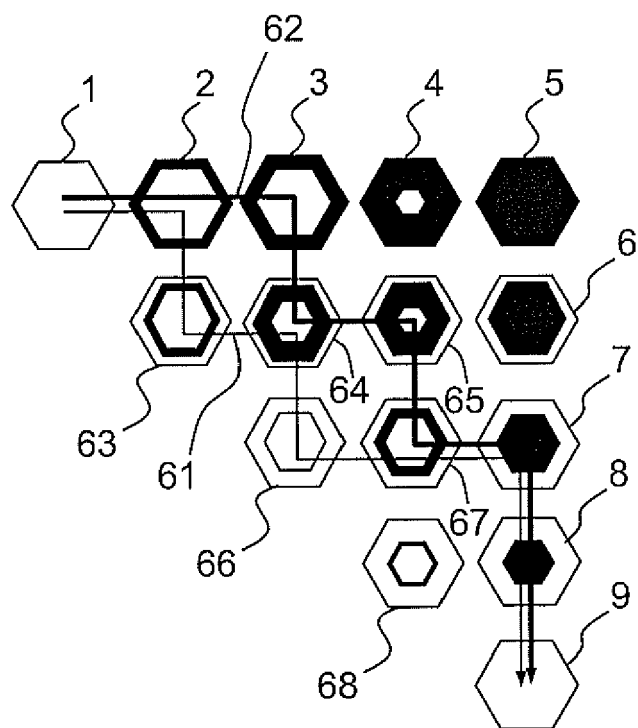


FIG. 9

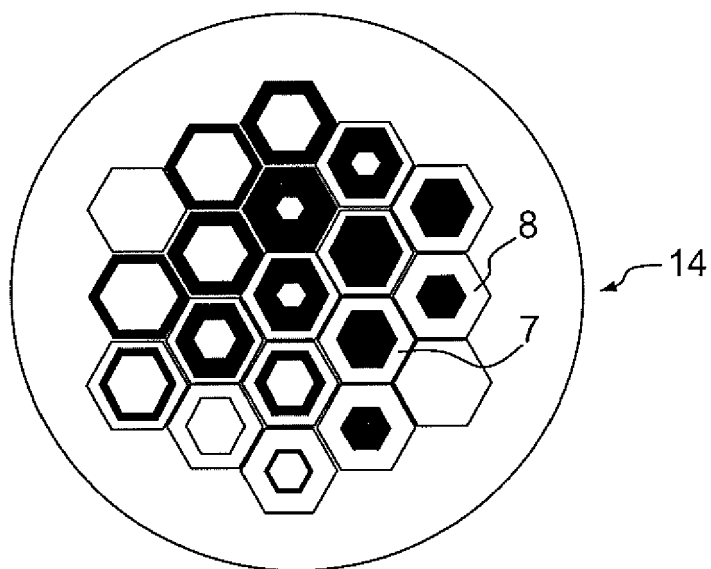


FIG. 10

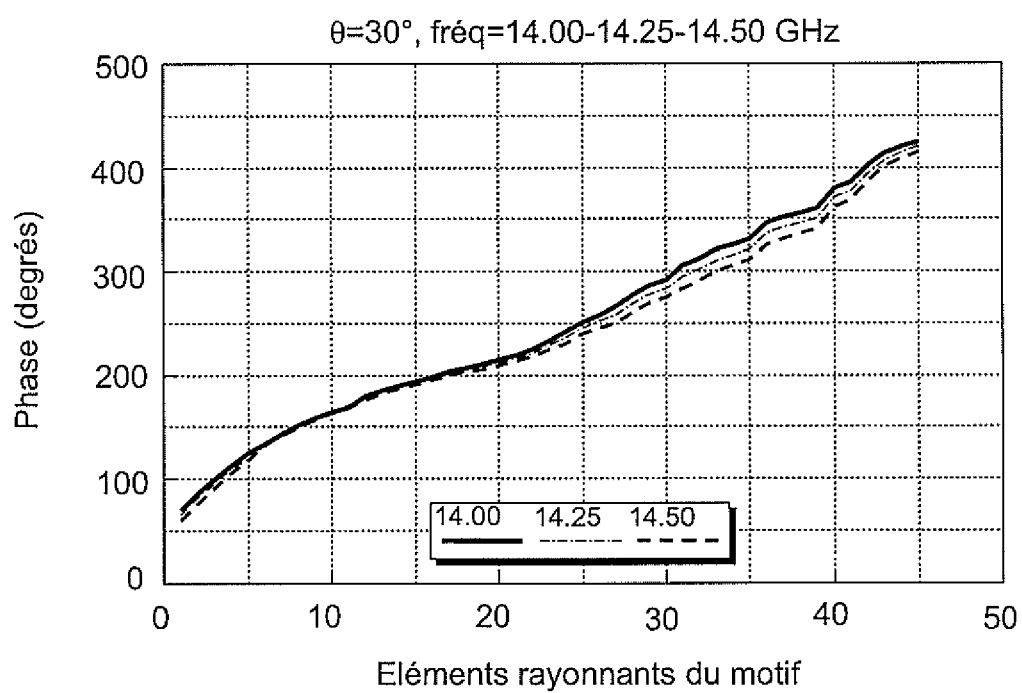


FIG.11



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 09 17 1108

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	US 2003/058189 A1 (CROUCH DAVID D [US] ET AL) 27 mars 2003 (2003-03-27) * le document en entier *	1-2,14	INV. H01Q19/10 H01Q3/46 H01Q15/00 H01Q21/06
Y	JOSÉ A ENCINAR: "Design of Two-Layer Printed Reflectarrays Using Patches of Variable Size" IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 49, no. 10, 1 octobre 2001 (2001-10-01), XP011004124 ISSN: 0018-926X * le document en entier *	1-14	
Y	EP 1 796 450 A (MITSUBISHI GAS CHEMICAL CO [JP]) 13 juin 2007 (2007-06-13) * le document en entier *	1-14	
X	US 2008/024368 A1 (CHANG THE-NAN [TW] ET AL) 31 janvier 2008 (2008-01-31) * abrégé *	1	
X	US 4 905 014 A (GONZALEZ DANIEL G [US] ET AL) 27 février 1990 (1990-02-27) * abrégé *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
A	SHA K ET AL: "Characteristics of new types of quasi-optical diplexers" ELECTRONICS & COMMUNICATIONS IN JAPAN, PART I - COMMUNICATIONS, WILEY, HOBOKEN, NJ, US, vol. 69, no. 12, 1 décembre 1986 (1986-12-01), pages 90-99, XP002141598 ISSN: 8756-6621 * le document en entier *	1-14	H01Q
3 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 11 décembre 2009	Examineur Wattiaux, Véronique
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03/82 (P04C02)

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

EP 09 17 1108

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.

11-12-2009

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2003058189 A1	27-03-2003	EP 1436856 A1	14-07-2004
		JP 4018630 B2	05-12-2007
		JP 2005504474 T	10-02-2005
		WO 03028154 A1	03-04-2003
EP 1796450 A	13-06-2007	CN 101010999 A	01-08-2007
		EP 2081423 A2	22-07-2009
		JP 2006073924 A	16-03-2006
		WO 2006027978 A1	16-03-2006
		KR 20070046936 A	03-05-2007
		US 2007247349 A1	25-10-2007
US 2008024368 A1	31-01-2008	JP 4294672 B2	15-07-2009
		JP 2008035461 A	14-02-2008
US 4905014 A	27-02-1990	AUCUN	

EPO FORM P0460

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