



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
20.03.2013 Bulletin 2013/12

(51) Int Cl.:
H01Q 3/46 (2006.01) **H01Q 13/10** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **12183120.0**

(22) Date de dépôt: **05.09.2012**

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

(30) Priorité: **14.09.2011 FR 1102786**

(71) Demandeurs:
• **Institut National des Sciences Appliquées de Rennes**
35708 Rennes Cedex 7 (FR)
• **Thales**
92200 Neuilly Sur Seine (FR)
• **Centre National de la Recherche Scientifique**
75016 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
• **Legay, Hervé**
31100 Toulouse (FR)

• **Girard, Etienne**
31000 Toulouse (FR)
• **Bresciani, Daniel**
31100 Toulouse (FR)
• **Gillard, Raphaël**
35708 Rennes Cedex (FR)
• **Salti, Hassan**
35708 Rennes (FR)
• **Makdissy, Tony**
35708 Rennes Cedex 7 (FR)
• **Fourn, Erwan**
35708 Rennes Cedex 7 (FR)

(74) Mandataire: **Labatte, Laurent**
Marks & Clerk France
Immeuble Visium
22, avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

(54) **Cellule déphaseuse rayonnante reconfigurable basée sur des résonances fentes et microrubans complémentaires**

(57) L'invention concerne une cellule déphaseuse rayonnante (200) réalisée pour exciter plutôt une résonance équivalente de type « fentes » dans une première partie du cycle de phase, et plutôt résonance équivalente de type « microruban » dans une seconde partie du cycle de phase. Cette propriété permet notamment d'optimiser la bande passante des cellules déphaseuses. Une gamme de phase de 360° peut en eff et être segmentée en deux sous-gammes d'environ 180°. Cette segmentation en deux sous gammes est rendue possible par la complémentarité des modes résonants de type fente ou microruban.

L'invention s'applique notamment aux réseaux réflecteurs pour une antenne destinée à être montée sur un engin spatial tel qu'un satellite de télécommunication ou sur un terminal terrestre pour les systèmes de télécommunication ou de diffusion par satellite.

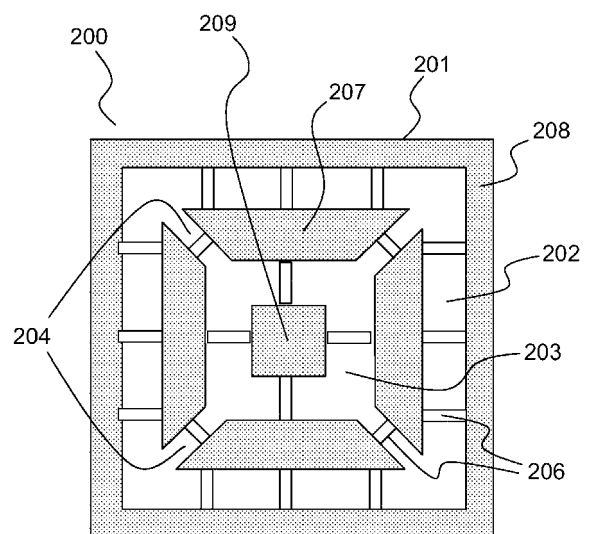


FIG.3

Description

[0001] Le domaine de l'invention est celui des cellules déphaseuses rayonnantes reconfigurables. Elle s'applique notamment aux réseaux réflecteurs pour une antenne destinée à être montée sur un engin spatial tel qu'un satellite de télécommunication ou sur un terminal terrestre pour les systèmes de télécommunication ou de diffusion par satellite.

[0002] Une antenne réseau réflecteur (« reflectarray antenna » en anglais) comporte un ensemble de cellules déphaseuses rayonnantes assemblées en réseau à une ou deux dimensions et formant une surface réfléchissante permettant d'augmenter la directivité et le gain de l'antenne. Les cellules déphaseuses rayonnantes du réseau réflecteur, de type pastilles métalliques (également appelées « patches métalliques ») et/ou de type fente, sont définies par des paramètres pouvant varier d'une cellule à l'autre, ces paramètres étant par exemple, les dimensions géométriques des motifs gravés (longueur et largeur des « patches » ou des fentes) qui sont réglées de façon à obtenir un diagramme de rayonnement souhaité.

[0003] Les cellules déphaseuses rayonnantes peuvent être constituées 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 matériau diélectrique, mais aussi un empilement composite réalisé par un agencement symétrique d'un séparateur de type Nid d'abeille et de peaux diélectriques de fines épaisseurs. Pour qu'une antenne 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.

[0004] Pour cela, la demanderesse a déposé par le passé une première demande de brevet français FR 0450575 intitulée « cellule déphaseuse à polarisation linéaire et à longueur résonante variable au moyen de commutateurs mems ». La figure 1 représente un mode de réalisation de ce type de cellule déphaseuse CD. Son principe de fonctionnement consiste à modifier la longueur électrique de la fente FP en plaçant une ou plusieurs charges localisées variables et commandées DC' dans plusieurs états différents permettant et interdisant l'établissement d'un court-circuit. La variation de la longueur résonante caractéristique de la cellule permet de modifier le déphasage des ondes à réfléchir. Pour une antenne, les ondes proviennent de la source RF. Une cellule selon la figure 1 comprend un substrat SB comportant une face arrière solidarifiée à un plan de masse.

[0005] Cette cellule déphaseuse ne fonctionne que pour une seule polarisation linéaire de l'onde incidente. En outre, la taille de la cellule est relativement importante, de l'ordre de 0.7λ , où λ désigne la longueur d'onde. La maille du réseau réflecteur, c'est à dire la périodicité spa-

tiale selon laquelle les cellules sont agencées en réseau, est donc très supérieure à 0.5λ . Il en résulte un comportement non optimal pour des incidences très obliques de l'onde, liée à la possibilité d'excitation d'un mode de Floquet d'ordre supérieur. Cet effet se traduit par une dégradation des lobes secondaires du diagramme de rayonnement, également désigné par l'homme du métier comme le « lobe image ».

[0006] La cellule déphaseuse fonctionne principalement comme une résonance de type « Patch », modulée par la longueur électrique de la fente ou des fentes. La réalisation d'un cycle de phase supérieur à 360° par la modulation de cette seule résonance est un point critique, et certains états de phase sont réalisés par des configurations très résonantes de la cellule déphaseuse. Ces configurations très résonantes sont également caractérisées par des plus fortes pertes, ainsi que des plus fortes sensibilités des caractéristiques électriques aux incertitudes de fabrication de la cellule et des charges localisées variables et commandées.

[0007] La demanderesse a déposé une deuxième demande de brevet français intitulée « Réseau réflecteur à arrangement optimisé et antenne comportant un tel réseau réflecteur ». Il présente un cycle de phase réalisé par des cellules déphaseuses ayant une structure interne progressivement évolutive d'une cellule déphaseuse à une autre cellule déphaseuse adjacente, et ainsi n'introduisant pas de fortes ruptures de périodicité sur la surface réfléchissante. Ce type de cellule permet ainsi d'éviter, dans le diagramme de rayonnement, les perturbations induites par un phénomène de diffraction parasite sur des zones à rupture brusque de périodicité. La figure 1bis représente un exemple de motif périodique comportant un arrangement à une dimension de plusieurs éléments rayonnants élémentaires et permettant d'obtenir une rotation de phase de 360° . Il présente la propriété d'avoir les cellules déphaseuses extrêmes du cycle de phase identiques. Un cycle de phase progressif a été également proposé à partir d'une cellule déphaseuse avec des charges localisées variables et commandées.

[0008] La figure 2 présente le schéma d'une cellule déphaseuse rayonnante pour un tel réseau réflecteur. Cette cellule déphaseuse est, selon un mode de réalisation, en forme de croix à deux branches perpendiculaires. La croix comporte trois fentes annulaires concentriques 81, 82 et 83 pratiquées dans un patch métallique. Des charges localisées variables et commandées 85 sont disposées de façon choisie dans les fentes et permettent de faire varier la longueur électrique des fentes et donc la phase d'une onde réfléchi par la cellule déphaseuse. A partir de plusieurs cellules, il est possible de réaliser sur la surface d'un réflecteur 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 rayon-

nants 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.

[0009] S'il est possible de réaliser un cycle de phase supérieur à 360°, et ayant la même cellule déphaseuse initiale et finale du cycle, il est très difficile d'obtenir ces états de phases avec des cellules peu résonantes. Un grand nombre de modes résonants peuvent être potentiellement excités, du fait de la présence de plusieurs résonateurs. L'apparition de ces modes résonants peut conduire à une variation brusque de la phase en fonction de la fréquence. Les variations rapides de la phase se traduisent par des pertes significatives en particulier lorsque des MEMS ohmiques sont utilisés et en une sensibilité aux dispersions de fabrication des MEMS.

[0010] Un objectif de l'invention est de proposer une cellule déphaseuse à charges localisées variables et commandées (micro-commutateurs) permettant de couvrir une plage de déphasage avec une variation fréquentielle réduite de la phase, autrement dit avec un comportement plus linéaire, plus stable de la phase en fonction de la fréquence du signal incident. Autrement dit, un objectif de l'invention est de minimiser le caractère résonant de la cellule.

[0011] A cet effet, l'invention a pour objet une cellule déphaseuse rayonnante comprenant une pluralité d'éléments conducteurs formés en surface d'un substrat, au-dessus et à distance d'un plan de masse, lesdits éléments conducteurs étant séparés par des fentes, l'agencement des fentes formant un résonateur équivalent dont la forme électrique configure le déphasage appliqué sur une onde à réfléchir, **caractérisée en ce que** la cellule comprend des charges variables commandées aptes à faire varier la longueur et/ou la largeur électrique desdites fentes, les éléments conducteurs et les charges variables commandées sont agencés pour que selon au moins une première configuration desdites charges, une surface conductrice de signaux hyperfréquences soit formée afin de créer un résonateur à dominance inductive, et pour que selon au moins une deuxième configuration, une fente soit formée autour d'au moins un élément conducteur afin de créer un résonateur à dominance capacitive, ladite surface conductrice formée dans la première configuration entourant ledit élément conducteur autour duquel une fente est formée dans la deuxième configuration.

[0012] La gestion des résonances des fentes et des résonateurs de type microruban est réalisée de sorte à exciter plutôt une résonance équivalente de type « fentes » dans une première partie du cycle de phase, et plutôt résonance équivalente de type « microruban »

(qualifié aussi de « patch ») dans une seconde partie du cycle de phase. La première partie du cycle de phase correspond à un résonateur dont le comportement prédominant est inductif, autrement dit, dont le résonateur équivalent est davantage celui d'un résonateur LC parallèle que celui d'un LC série. La deuxième partie du cycle de phase correspond à un résonateur dont le comportement prédominant est capacitif, autrement dit, dont le résonateur équivalent est davantage celui d'un résonateur LC série que celui d'un LC parallèle.

[0013] Les résonateurs équivalents de la cellule déphaseuse à charges localisées variables et commandées peuvent décrire un cycle semblable à celui présenté en figure 1bis. Cette propriété permet, par exemple, de réaliser un cycle de phase supérieur à 360°, et d'avoir des résonateurs équivalents semblables pour les valeurs extrêmes du cycle de phase.

[0014] Cette propriété permet également d'optimiser la bande passante des cellules déphaseuses. La gamme de phase de 360°, par exemple, peut en effet être segmentée en deux sous-gammes d'environ 180°. Cette segmentation en deux sous gammes est rendue possible par la complémentarité des modes résonants de type fente ou patch.

[0015] La minimisation de la résonance se traduit par des moindres pertes. Plus la phase varie de façon linéaire, plus cette caractéristique s'obtient sur une large bande (par opposition à un fonctionnement de type seuil). Des bandes passantes de l'ordre de 30% peuvent être obtenues grâce à la cellule selon l'invention.

[0016] L'arrangement périodique de la cellule déphaseuse rayonnante selon l'invention définit un panneau réflecteur d'un montage d'antenne. Le montage peut, en outre, comporter plusieurs panneaux réflecteurs comportant des cellules déphaseuses selon l'invention.

[0017] Avantagusement, la surface conductrice en face avant, est séparée du plan de masse par une distance égale au quart de la longueur d'onde du signal incident. De cette manière, les résonances en mode fente (première configuration) et en mode microruban (deuxième configuration) peuvent être séparées de 180°.

[0018] Selon un mode de réalisation de la cellule déphaseuse rayonnante selon l'invention, l'élément conducteur autour duquel une fente est formée dans la deuxième configuration est situé sensiblement au centre de la cellule, les éléments conducteurs formant la surface conductrice étant situés en périphérie, ladite surface conductrice étant annulaire, chacun desdits conducteurs périphériques étant reliés au conducteur central et aux conducteurs périphériques voisins par l'intermédiaire de charges capacitatives commandées. Par « annulaire », on entend une fente en forme de boucle fermée. Celle-ci est formée par l'interconnexion de différents éléments conducteurs périphériques. Sa forme peut être, par exemple, rectangulaire, circulaire, hexagonale ou toute autre forme polygonale, ou courbe fermée.

[0019] Les éléments conducteurs peuvent prendre une forme de croix à quatre branches alignées selon plu-

sieurs rangées, les croix appartenant à deux rangées successives étant décalées les unes par rapport aux autres, les croix étant reliées par l'intermédiaire de charges capacitatives variables commandées. La forme des éléments conducteurs peut être différente, par exemple, des patchs carrés, des zones en forme de disque. Un avantage des éléments conducteurs en forme de croix est qu'ils permettent des interconnexions plus aisées.

[0020] Selon un autre mode de réalisation de la cellule déphaseuse rayonnante selon l'invention, ladite surface conductrice annulaire est formée par des rubans conducteurs encadrés par des fentes annulaires lesdits rubans étant reliés par des charges capacitatives aptes à modifier la longueur et/ou la largeur électrique de fentes d'interconnexion desdites fentes annulaires.

[0021] En d'autres termes, la cellule peut comprendre une surface conductrice dans laquelle sont formées au moins deux premières fentes sensiblement concentriques et espacées l'une de l'autre, la surface conductrice étant disposée au-dessus d'un plan de masse, l'agencement des fentes formant un résonateur équivalent dont la forme électrique configure le déphasage appliqué à une onde incidente, la cellule étant **caractérisée en ce qu'elle** comprend des fentes d'interconnexion reliant lesdites premières fentes entre-elles, et une pluralité de charges variables commandées aptes à faire varier la longueur et/ou la largeur électrique desdites premières fentes et desdites fentes d'interconnexion, lesdites charges étant activables pour configurer la cellule selon un résonateur sensiblement équivalent à un circuit LC parallèle, lesdites charges étant également activables selon au moins une autre configuration pour configurer la cellule selon un résonateur sensiblement équivalent à un circuit LC série.

[0022] Cette même cellule déphaseuse peut également être considérée comme l'agencement de résonateurs de type microruban, à savoir d'un cadre métallique, un anneau métallique intermédiaire coupé en plusieurs points, et un patch central métallique. Les connexions réalisées par des charges localisées variables et commandées - aussi qualifiées de micro actuateurs, micro-interrupteurs ou de moyens de court-circuitage - permettent de modifier la longueur et/ou la largeur électrique du résonateur microruban équivalent.

[0023] Selon un autre mode de réalisation de la cellule selon l'invention, la cellule comprend plus de deux fentes concentriques. Elle comprend par exemple trois fentes, avec des fentes d'interconnexion entre chaque fente concentrique successive.

[0024] Selon un mode de réalisation de la cellule déphaseuse rayonnante selon l'invention, lorsque la cellule est dans la première configuration, les charges reliant les éléments conducteurs périphériques entre eux sont activées, les charges reliant l'élément conducteur central aux éléments conducteurs périphériques étant désactivées, de manière à former une fente résonante dont la contribution principale équivaut à celle d'un circuit LC parallèle.

[0025] Avantageusement, les charges reliant les éléments conducteurs périphériques entre eux sont adaptées à prendre des valeurs multiples entre deux valeurs extrêmes pour pouvoir faire varier les dimensions de la fente résonante équivalente progressivement en fonction desdites valeurs.

[0026] Selon un mode de réalisation de la cellule déphaseuse rayonnante selon l'invention, lorsque la cellule est dans la deuxième configuration, les charges reliant les éléments conducteurs périphériques entre eux sont désactivées, les charges reliant l'élément conducteur central aux éléments conducteurs périphériques étant activées, de manière à former un microruban résonant dont la contribution principale équivaut à celle d'un circuit LC série.

[0027] Avantageusement, les charges reliant l'élément conducteur central aux éléments conducteurs périphériques sont adaptées à prendre des valeurs multiples entre deux valeurs extrêmes pour pouvoir faire varier les dimensions du microruban résonant équivalent progressivement en fonction desdites valeurs.

[0028] Selon un mode de réalisation de la cellule déphaseuse rayonnante selon l'invention, les charges reliant l'élément conducteur central aux éléments conducteurs périphériques sont adaptées à varier indépendamment de la valeur des charges reliant les éléments conducteurs périphériques entre eux, de manière à ce que la plage de déphasage appliqué à l'onde incidente soit décomposée en deux intervalles de déphasage, les déphasages appliqués dans le premier intervalle étant obtenus avec une configuration de type fente résonante, les déphasages appliqués dans le deuxième intervalle étant obtenus avec une configuration de type microruban résonant.

[0029] Selon un mode de réalisation de la cellule déphaseuse rayonnante selon l'invention, les charges variables et les dimensions des éléments conducteurs sont déterminés pour que la configuration de la cellule permettant d'appliquer le déphasage correspondant à la première extrémité de la plage de déphasage est identique à la configuration de la cellule permettant d'appliquer le déphasage correspondant à la deuxième extrémité de la plage.

[0030] Selon un mode de réalisation de la cellule déphaseuse rayonnante selon l'invention, la plage de déphasage est de 360°.

[0031] Selon un mode de réalisation de la cellule déphaseuse rayonnante selon l'invention, les éléments conducteurs, les fentes et les charges capacitatives sont disposés sur la cellule selon un centre de symétrie placé au centre de la cellule.

[0032] Selon un mode de réalisation de la cellule déphaseuse rayonnante selon l'invention, les charges capacitatives sont des diodes, des MEMS, ou des capacités ferroélectriques.

[0033] L'invention a également pour objet un réseau réflecteur comprenant une pluralité de cellules déphaseuses rayonnantes telles que décrites plus haut, lesdi-

tes cellules formant la surface réfléchissante du réseau.

[0034] L'invention a également pour objet une antenne comprenant un réseau réflecteur tel que décrit plus haut.

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

- la figure 3, un exemple d'un schéma d'architecture mécanique et de positionnement de charges localisées variables et commandées d'une cellule déphaseuse rayonnante selon l'invention, en vue de face du plan de rayonnement de la cellule ;
- la figure 4, un exemple d'un cycle de cellules déphaseuses rayonnantes selon l'invention couvrant une plage de déphasage de 360°; la figure représente un exemple d'agencement de l'architecture mécanique et de la configuration des charges localisées variables et commandées pour chaque cellule déphaseuse du cycle ;
- la figure 5a, une représentation du résonateur équivalent lorsque la cellule déphaseuse selon l'invention est en mode de résonance « fente » ;
- la figure 5b, une représentation du résonateur équivalent lorsque la cellule déphaseuse selon l'invention est en mode de résonance « microruban » ;
- la figure 5c, un modèle électrique de la cellule déphaseuse selon l'invention ;
- les figures 6a et 6b, des cellules déphaseuses selon l'invention à MEMS capacitifs ;
- la figure 7, un autre mode de réalisation de la cellule déphaseuse selon l'invention ;
- la figure 8a, une illustration d'un premier type de dispositif de commande des charges variables utilisées pour reconfigurer la cellule déphaseuse selon l'invention ;
- la figure 8b, une illustration d'un deuxième type de dispositif de commande des charges variables utilisées pour reconfigurer la cellule déphaseuse selon l'invention ;
- la figure 9, un mode de réalisation de la cellule déphaseuse selon l'invention dans laquelle des vias sont disposés pour faire transiter les signaux de commandes vers les charges capacitives variables ;
- la figure 10, un autre mode de réalisation d'une cellule déphaseuse rayonnante selon l'invention ;
- la figure 11, une pluralité de configurations prises successivement par une même cellule déphaseuse telle que celle présentée en figure 10 ;
- la figure 12, un exemple de moyens d'acheminement des signaux de commande vers une cellule déphaseuse telle que celle de la figure 10.

[0036] La figure 3 présente un mode de réalisation d'une cellule déphaseuse rayonnante 200 selon l'invention. La cellule 200 comporte une structure planaire telle que décrit dans les cellules déphaseuses de l'état de la technique et la figure 3 représente la vue de face de la

structure planaire. Typiquement une structure planaire comprend un substrat comportant une face arrière solidarisée à un plan de masse et une face avant. Les matériaux utilisés pour former le substrat, les couches de diélectrique et les couches conductrices ne limitent pas la portée de l'invention. On peut citer par exemple, les matériaux nommés dans les documents de l'état de la technique décrit précédemment.

[0037] La cellule déphaseuse 200 est préférablement de forme rectangulaire. Toutefois, d'autres modes de réalisation sont possibles et on peut citer à titre d'exemple non limitatif une surface en forme hexagonale ou en forme circulaire.

[0038] La cellule comporte au moins deux premières fentes, une première fente 202 et une deuxième fente 203 concentriques. La première fente 202 est positionnée en périphérie extérieure par rapport à la seconde fente 203, c'est-à-dire à une distance plus élevée du centre du patch par rapport à la seconde fente 203. La cellule déphaseuse 200 peut comporter deux fentes 202 et 203 ou plus, comme illustré sur la figure 3. De préférence, les fentes 202 et 203 ont une forme s'étendant longitudinalement à la forme du cadre métallique 201. Ainsi, les fentes 202 positionnées en périphérie extérieure du patch entourent les fentes 203 en périphérie intérieure. Si les cellules déphaseuses sont destinées à fonctionner pour une seule polarisation linéaire, il est possible de court-circuiter au moyen de jonctions métalliques 705 les fentes concentriques en un point où le champ électrique est nul, comme illustré en figure 7. Cette possibilité n'est pas offerte lorsque la cellule est destinée à fonctionner en double polarisation linéaire, car à l'endroit où le champ électrique est nul dans la fente concentrique pour une polarisation linéaire, il est maximal pour l'autre polarisation linéaire orthogonale. La périphérie 201 de la cellule est séparée de la fente concentrique extérieure 202 par une bande conductrice 208, également désigné par le terme « cadre ».

[0039] Les fentes 202 et 203 sont reliées par au moins quatre fentes d'interconnexion 204. Cet agencement de fentes définit des rubans métalliques 207 placés en interface entre les fentes concentriques 201, 202. En outre, des charges localisées variables et commandées 206 sont disposées à des endroits choisis sur les premières fentes 202 et 203, ainsi que sur les fentes d'interconnexion 204. Il s'agit par exemple de commutateurs on/off permettant de réaliser des courts-circuits, ou de charges capacitatives variables. Les commutateurs ont pour but de modifier la longueur et/ou la largeur électrique du résonateur « fente » équivalent ou du résonateur « microruban » équivalent.

[0040] Selon l'invention, les différentes charges localisées variables et commandées 206 de la cellule déphaseuse sont commandées pour configurer la longueur et/ou la largeur électrique des premières fentes 202 et 203 de sorte que le résonateur équivalent de la cellule déphaseuse agisse comme une cellule déphaseuse introduisant un déphasage choisi sur une onde incidente.

La variation de la longueur électrique des fentes interconnectées 202, 203 et 204 modifie les dimensions électriques du résonateur fente ou patch équivalent. Ainsi, grâce aux charges localisées variables et commandées 206, il est possible d'obtenir une cellule déphaseuse couvrant une plage de déphasage d'au moins 360° délimitée par une première valeur extrême et par une seconde valeur extrême. Il est également possible, avantageusement, d'obtenir une cellule dont la forme électrique du résonateur équivalent est identique pour la première et pour la seconde valeur extrême. Au sein de la plage de déphasage, les valeurs de déphasage d'une même cellule peuvent varier de façon continue ou discontinue. Des moyens électroniques de commande, décrits plus loin en regard des figures 8a, 8b, et 9 sont aptes à contrôler les charges localisées variables et commandées de sorte à faire varier le déphasage de façon continue ou discontinue.

[0041] On peut distinguer notamment deux méthodes pour modifier les paramètres électriques des fentes : la première consiste à disposer des micro-commutateurs ON/OFF le long de la fente, et à faire varier la longueur de la section de la fente comprise entre deux commutateurs réalisant un court circuit (ON). Avantageusement, lorsque le plan de masse est séparé de la surface avant de l'antenne d'une épaisseur égale à un quart de la longueur d'onde guidée, alors il est possible de parcourir la totalité de la phase de 360°

[0042] Selon la première méthode, les micro-commutateurs sont activés selon une progression permettant d'approcher le cycle de cellules équivalentes. Un exemple est proposé : la première cellule 401 du cycle illustré en figure 4 est celle où tous les micro-commutateurs sont à l'état bas. Le déphasage réalisé est 180°, correspondant à la réponse d'une plaque métallisée. Progressivement, à partir de la deuxième illustration de cellule 402 à la cinquième illustration de cellule 405, les micro-commutateurs sont libérés au centre de la cellule, pour réaliser un fonctionnement équivalent à une ouverture dans la plaque métallisée, dont la taille s'agrandit. Puis, à partir de la sixième illustration de cellule 406, les micro-commutateurs sont progressivement refermés depuis le centre, pour avoir un fonctionnement équivalent à celui d'un patch central qui s'agrandit, jusqu'à retrouver pour la neuvième illustration 409 une configuration identique à la première illustration de cellule 401. Avec une telle progression, le cycle parcourt un déphasage sur une plage de valeur délimitée par une première valeur extrême et par une seconde valeur extrême, avec une configuration des micro-commutateurs identique pour la première et pour la seconde valeur extrême, sans devoir assurer un fonctionnement autour d'une fréquence de résonance.

[0043] Cette première méthode de modification des paramètres électriques des fentes nécessite un nombre significatif de micro-commutateurs. Il est possible d'en réduire le nombre, et d'optimiser le cycle pour parcourir une gamme de déphasage suffisante. Toutefois, si le nombre de micro-actuateurs est significativement réduit,

il ne sera pas possible d'éviter l'excitation de modes supérieurs à l'intérieur de cette cellule. Ces modes supérieurs permettent de réaliser un déphasage, mais sont souvent associés à des variations fréquentielles de la phase plus importantes. Ils peuvent aussi induire un rayonnement en polarisation croisée. Les micro-commutateurs sont des charges localisées reconfigurables, par exemple de type MEMS (acronyme Micro Electro-Mechanical System), des diodes, ou des capacités ferroélectriques variables.

[0044] Avantageusement, une cellule déphaseuse réalisant la même phase pour les deux polarisations linéaires est invariable par rotation. Cette propriété de symétrie évite d'exciter des modes supérieurs contribuant à la polarisation croisée, et également pouvant altérer la stabilité de la phase dans la polarisation principale. Un minimum de quatre MEMS par commande doit généralement être utilisé pour respecter cette contrainte de symétrie.

[0045] Avantageusement, une cellule déphaseuse fonctionnant en double polarisation linéaire et réalisant des phases indépendantes dans chacune des polarisations linéaires possède deux symétries axiales. Cette propriété évite d'exciter des modes supérieurs contribuant à la polarisation croisée, et également pouvant altérer la stabilité de la phase dans la polarisation principale. Une telle propriété nécessite d'utiliser un minimum de deux MEMS par commande et par polarisation.

[0046] Avantageusement, une cellule fonctionnant en simple polarisation linéaire possède deux symétries axiales. Cette propriété évite d'exciter des modes supérieurs contribuant à la polarisation croisée et pouvant également altérer la stabilité de la phase dans la polarisation principale. Une telle propriété nécessite d'utiliser un minimum de deux MEMS par commande.

[0047] Des modes de réalisations dégradés peuvent être aussi réalisés, par exemple dans l'objectif de réduire le nombre de MEMS, ou d'augmenter le nombre d'états de phase pour un même nombre de MEMS. Ainsi, il est possible de varier légèrement l'emplacement des MEMS autour de ces symétries, ou de moduler faiblement la valeur des capacités réalisées par ces MEMS disposés aux emplacements symétriques.

[0048] La deuxième méthode pour gérer le cycle de phase en excitant successivement un résonateur équivalent de type fente ou de type patch consiste à faire varier le chargement capacitif des fentes. Une fente est chargée par une capacité, par exemple en son centre. Ce chargement capacitif de la fente permet de faire varier la vitesse de la phase dans la fente, et ainsi modifier leur fréquence de résonance. La variation de capacité peut être effectuée à l'aide de plusieurs capacités digitales. Le concept est dérivé des lignes de transmission à chargement capacitif distribué DMTL (Distributed MEMS Transmission Line).

[0049] Un exemple de progression est présenté ci-après en regard des figures 6a et 6b. Dans une première partie du cycle de phase, illustrée en figure 6a, les

fentes d'interconnexion ne sont pas chargées. Les charges capacitives des fentes concentriques sont en revanche variées. La cellule déphaseuse fonctionne de la même façon qu'une fente dont on fait varier les paramètres longueur et largeur électrique. Dans une seconde partie du cycle, illustré en figure 6b, les fentes concentriques sont non résonantes. Les charges capacitives des fentes d'interconnexion sont variées, connectant ainsi les quatre morceaux rubans 207 (cf. figure 2) de l'anneau microruban intermédiaire. La cellule déphaseuse fonctionne de la même façon qu'un résonateur microruban dont on fait varier les paramètres longueur et largeur électrique.

[0050] Dans le cas où des charges capacitives variables sont employées pour court-circuiter les fentes, ces charges peuvent être réalisées au moyen d'un micro-commutateur en série avec une capacité. Les valeurs usuelles des capacités de chargement permettant de modifier les résonances fentes sont entre 20 et 200 fF pour un fonctionnement autour de 10 GHz. Néanmoins, il n'est pas toujours aisé de réaliser des capacités variables, et il est possible de faire varier la capacité par incréments digitaux. Dans ce cas, la charge est constituée de plusieurs capacités en parallèles connectées à un commutateur.

[0051] Comme illustré en figure 4, la plage de déphasage de 360° commence et se termine optionnellement par un résonateur équivalent identique. La cellule selon l'invention peut ainsi couvrir une plage de 360° par un rebouclage de la forme du résonateur équivalent. Ainsi, une surface réfléchissante peut être constituée de plusieurs motifs périodiques, un motif étant constitué de plusieurs cellules déphaseuses adjacentes configurant chacune un déphasage proche, pour éviter une rupture importante dans la forme du résonateur équivalent de deux cellules adjacentes. Cela réduit les parasites formés dans le faisceau réfléchi par la surface réfléchissante. Les dimensions électriques du résonateur équivalent dépendent de la longueur et/ou de la largeur électrique des fentes 202 et 203. Des moyens de calculs et de commande adaptés au contrôle des charges localisées variables des cellules de la surface réfléchissante permettent de configurer le déphasage voulu. Selon un autre mode de réalisation, il n'y a pas de rebouclage de la forme du résonateur équivalent ; autrement dit, la plage de déphasage de 360° peut commencer et se terminer par deux configurations différentes.

[0052] Dans la première sous gamme, on excite une résonance de type fente, dont un schéma équivalent est présenté en figure 5a. Dans cette première sous-gamme, la cellule déphaseuse se comporte à l'égard de l'onde incidente, comme un circuit LC parallèle 501.

[0053] Dans la seconde sous-gamme, une résonance de type microruban est excitée, le schéma équivalent est présenté en figure 5b. Dans cette deuxième sous-gamme, la cellule déphaseuse se comporte à l'égard de l'onde incidente, comme un circuit LC série 502. Le plan de masse séparé de la surface conductrice en face avant

peut être représenté par une ligne de transmission 504.

[0054] En résumé, la cellule déphaseuse à double résonance peut être assimilée à deux circuits LC parallèles 503, 505 placés en série. En fonction des valeurs des paramètres inductifs et capacitifs, la cellule peut être placée dans un mode « fente » comme illustré en figures 5a et dans les configurations 402, 403, 404, 405 de la figure 4 ou dans un mode « patch », comme illustré en figure 5b, et dans les configurations 406, 407, 408, 409, 401.

[0055] La cellule déphaseuse selon l'invention apporte un avantage significatif par rapport à une cellule déphaseuse de l'art antérieur, basée sur une seule résonance (de type fente ou de type microruban). En effet, pour une cellule de l'art antérieur, il est nécessaire de réaliser une excursion de 360° en modifiant les seuls paramètres de longueur et largeur électriques du résonateur. Cette contrainte conduit à des comportements très résonants. En utilisant le fait que la cellule est basée sur des résonances fentes et microruban complémentaires fonctionnant sur des gammes réduites, on réduit significativement les contraintes de résonances, et il est ainsi possible d'élargir significativement la bande passante de la cellule déphaseuse.

[0056] La figure 5c représente un schéma équivalent de la cellule déphaseuse selon l'invention. En fonction de la configuration des charges reconfigurables de la cellule, celle-ci peut adopter un comportement proche de la configuration « fente » illustrée en figure 5a, ou un comportement proche de la configuration « microruban » illustrée en figure 5b.

[0057] La figure 6a et la figure 6b représentent des cellules déphaseuses selon l'invention à MEMS capacitifs. La figure 6a représente le cas où les fentes d'interconnexion 640 sont faiblement chargées et où les charges capacitives des fentes 650 sont variées. La cellule dans une telle configuration est équivalente à un résonateur de type fente dont on ferait varier la longueur et la largeur électrique. La figure 6b représente le cas où les fentes d'interconnexion 640 sont chargées du point de vue capacitif et où les charges capacitives des fentes sont variées. La cellule dans une telle configuration est équivalente à un résonateur « microruban » dont on ferait varier la longueur et la largeur électrique.

[0058] Selon le mode de réalisation de la figure 7, la cellule déphaseuse rayonnante 700 est de forme rectangulaire avec quatre premières fentes 702 et 703 et quatre secondes fentes 704. Deux premières fentes 702 et 703, interconnectées par deux secondes fentes 704, sont positionnées dans une première moitié de la surface conductrice 708. Les deux autres premières fentes 702 et 703, interconnectées par les deux autres secondes fentes 704, sont positionnées dans la seconde moitié de la surface conductrice du patch. Les premières fentes 702 et 703 ont une largeur physique choisie avantageusement pour être du même ordre que celle des rubans métalliques intermédiaires 707. Néanmoins, selon d'autres modes de réalisation, les largeurs des fentes 702 et 703 et des rubans métalliques intermédiaires 707 peuvent

être différentes.

[0059] La cellule déphaseuse 700 de la figure 7 est particulièrement adaptée à la réflexion des ondes incidentes à polarisation linéaire. Une portion 705 de la couche conductrice sépare les premières fentes 702 et 703 de la moitié supérieure des premières fentes 702 et 703 de la moitié inférieure du patch.

[0060] L'acheminement des signaux de commandes aux micro-commutateurs disposés sur une cellule déphaseuse constitue également un problème. Cet acheminement ne doit pas perturber le rayonnement du réseau réflecteur. Avantageusement, l'invention propose également une réponse à la résolution de ce problème.

[0061] Comme illustré en figure 8a, pour limiter les contraintes de routage, une architecture de commande distribuée est proposée. L'information de commande est transmise par exemple de façon digitale à un circuit intégré spécialisé (ASIC) 801, placé à proximité des charges variables commandées, en face arrière 810 du panneau antenne. Ce circuit transforme l'information reçue en signal de commande adapté pour chaque charge commandée. Une difficulté consiste donc à router ces signaux de commande de la face arrière vers chaque charge située sur la face avant 820 du réseau réflecteur, en ne perturbant pas le fonctionnement électromagnétique des cellules rayonnantes.

[0062] Dans une première réalisation, illustrée en figure 8a, le panneau est constitué d'un substrat diélectrique multicouche sur lequel est reporté en face avant les puces radiofréquence (RF), comprenant le motif métallique de la cellule, et les MEMS. Ces puces RF sont alors dites monolithiques, et par exemple réalisées en quartz, silice fondue ou alumine. Le substrat diélectrique, par exemple en RO 4003 réalise la fonction d'espaceur entre les puces RF 803 et le plan de masse, et réalise les traversées des signaux de commandes vers les puces DC reportées en face arrière du substrat. L'acheminement des signaux de commandes en face avant est alors réalisé au sein des puces RF. Les procédés de micro-électroniques peuvent être utilisés pour réaliser les lignes résistives, au moins par section, à l'endroit où ces lignes croisent des fentes.

[0063] Dans une deuxième réalisation illustrée en figure 8b, le panneau est constitué d'un substrat diélectrique multicouche sur lequel est gravé le motif métallique 851 de la cellule, et sur lequel sont reportés des composants MEMS 853. Il s'agit alors d'un concept hybride.

[0064] Comme illustré en figure 9, il est possible de disposer des vias de commandes 901 à la périphérie de la cellule (dans le cadre 908), ou en son centre, sans altérer fondamentalement son fonctionnement. Aussi, l'agencement périodique de traversées métalliques en périphérie pourra avoir le même effet qu'un mur périphérique métallique connectant le cadre 908 et le plan de masse. Plusieurs de ces vias pourront alors être utilisés pour acheminer des signaux de commande depuis la face arrière vers la face avant. Il est également possible de connecter le patch central de la cellule 903 au plan

de masse par une traversée métallique sans modifier significativement son comportement électrique. Un via de commande 902 peut donc également être implanté en cet endroit. Lorsque ce via est utilisé pour la commande, il doit être isolé du motif pour éviter tout risque de court-circuit électrique.

[0065] Une difficulté consiste alors à router en face avant ce signal de commande sans altérer le fonctionnement de la cellule déphaseuse. Si la technologie permet de réaliser des lignes très résistives (typiquement $10 \text{ k}\Omega/$), les commandes peuvent être acheminées aux MEMS sans précautions particulières. Les pistes de commande peuvent par exemple traverser des fentes résonantes sans en altérer leur comportement. Il peut toutefois être également recommandé de n'utiliser ces lignes résistives qu'avec modération, pour que l'impédance totale de la ligne ne soit pas trop importante. C'est le cas par exemple si un dispositif de diagnostic est utilisé, permettant de vérifier si le micro-commutateur a été correctement activé. Dans ce cas, la ligne de commande pourra être résistive par section, ces sections correspondant aux traversées des fentes.

[0066] La figure 10 présente un autre mode de réalisation d'une cellule déphaseuse rayonnante selon l'invention. La cellule comprend une pluralité d'éléments conducteurs 1001, 1002 sous la forme, par exemple, de motifs imprimés sur un substrat diélectrique. La cellule comprend un élément conducteur central 1001 et quatre éléments conducteurs périphériques 1002 placés autour de ce premier élément conducteur 1001, les centres des quatre éléments conducteurs périphériques 1002 formant un carré au centre duquel est placé l'élément conducteur central 1001. Des éléments conducteurs d'interconnexion 1004 sont intercalés entre chacun des éléments conducteurs 1001, 1002.

[0067] Les éléments conducteurs 1001, 1002 sont reliés avec les éléments conducteurs d'interconnexion 1004 par des charges capacitatives variables et commandées 1006.

[0068] Du fait de ses dimensions réduites, un élément conducteur 1001 ne permet pas, à lui seul, de créer un mode résonant. C'est l'interconnexion de ces éléments conducteurs qui peut permettre d'établir un tel mode.

[0069] Dans l'exemple, chaque élément conducteur a un motif en forme de croix à quatre branches orthogonales, de sorte que pour des éléments conducteurs alignés, les extrémités des branches des croix appartenant à deux croix adjacentes soient proches et facilement connectables par un élément conducteur d'interconnexion 1004.

[0070] Des charges capacitatives 1005 variables et commandées sont disposées en interface entre les éléments conducteur d'interconnexion 1004 et les extrémités des branches des croix formant les éléments conducteurs 1001, 1002.

[0071] La figure 11 illustre une pluralité de configurations prises successivement par une même cellule déphaseuse telle que celle présentée en figure 10.

[0072] Dans une première configuration 1101, la cellule se comporte comme un patch métallique plein. Tous les éléments conducteurs sont liés par des charges capacitatives. Cette première configuration 1101 peut, par exemple, être utilisée pour opérer un déphasage de l'onde incidente autour de 180°.

[0073] Dans une deuxième configuration 1102, les charges capacitatives centrales 1110 - celles qui dans l'exemple sont placées en interface entre l'élément conducteur central et les éléments conducteur d'interconnexion - sont diminuées, de sorte que la cellule se comporte comme une ouverture dans le plan de masse, autrement dit, comme une fente annulaire 1150. La cellule a un comportement inductif. Cette deuxième configuration 1102 peut correspondre à un déphasage s'éloignant progressivement de 180° pour atteindre, par exemple, environ 80° lorsque les capacités centrales sont totalement déchargées.

[0074] Dans une troisième configuration 1103, les charges capacitatives périphériques 1120 - c'est-à-dire celles qui dans l'exemple sont placées en interface entre les éléments conducteurs périphériques et les éléments conducteur d'interconnexion - sont diminuées, de sorte que le comportement inductif soit atténué au profit d'un comportement capacitif de la cellule rayonnante. Cette troisième configuration 1103 peut correspondre à une variation du déphasage comprise entre 80° (deuxième configuration 1102) et -20° lorsque les capacités périphériques sont totalement déchargées.

[0075] Dans une quatrième configuration 1104, les charges capacitatives centrales 1110 sont augmentées, tandis que les charges capacitatives périphériques sont demeurent déchargées. La cellule a, dans cette quatrième configuration 1104, un comportement capacitif. Cette quatrième configuration 1104 peut correspondre à une variation du déphasage comprise entre -20° et -50°.

[0076] Dans une cinquième configuration 1105, les charges capacitatives centrales, sont augmentées jusqu'à retrouver l'état de la première configuration 1101, cette configuration pouvant correspondre, dans l'exemple, à un déphasage appliqué au signal incident entre -50° et -180°. La cellule retrouve son état initial correspondant à un patch métallique plein.

[0077] La figure 12 illustre des moyens d'acheminement des signaux de commande vers une cellule déphaseuse telle que celle de la figure 10.

[0078] Des vias 1210 sont réalisés au niveau des centres des croix formant les éléments conducteurs. Le routage des commandes peut être effectué à un niveau inférieur à la surface de la cellule.

[0079] La cellule déphaseuse selon l'invention présente plusieurs avantages au regard des solutions de l'état de la technique.

[0080] Un premier avantage est que la cellule déphaseuse est apte à présenter deux résonances complémentaires, une première résonance par un résonateur équivalent de type fente et une seconde résonance par un résonateur équivalent de type patch. Cela permet

d'éviter la présence de modes fortement résonants, et ainsi de limiter la sensibilité des cellules aux variations en fréquence. La valeur de phase évolue ainsi de manière beaucoup plus linéaire en fonction de la fréquence du signal source, évitant ainsi des sauts de phase brusques. La cellule déphaseuse selon l'invention est utilisable sur une plus large bande de fréquence (par exemple 30% de bande).

[0081] Un deuxième avantage est la diminution des effets parasites d'un réseau réflecteur tel que décrit dans le demande de brevet FR 0450575 du fait qu'il n'y a pas de rupture forte entre deux cellules adjacentes constituant le réseau réflecteur. Cela est possible grâce à la possibilité de couvrir une plage de déphasage de 360° par un cycle de commande des charges localisées variables permettant de minimiser la variation fréquentielle de la phase.

[0082] Grâce à l'invention, il est possible de concevoir un réseau réflecteur pour une antenne dont la surface est couverte de cellules déphaseuses rayonnantes selon l'invention. Ces dernières sont commandées pour introduire un déphasage choisi sur une onde incidente, chacune des cellules adjacentes est commandée de sorte que le résonateur équivalent soit dans une configuration proche de celle d'une cellule adjacente. L'invention s'applique notamment aux antennes à réseau réflecteur embarquées sur engin mobile, comme par exemple à une antenne de satellite de télécommunication.

[0083] La cellule peut être utilisée dans des panneaux satellitaires destinés à une utilisation en bande Ku ou en bande Ka à la fois en émission et en réception. A titre d'exemple, les cellules déphaseuses selon l'invention peuvent être employées autour de 20GHz pour l'émission et autour de 30GHz pour la réception.

Revendications

1. Cellule déphaseuse rayonnante comprenant une pluralité d'éléments conducteurs (207, 209, 1001, 1002) formés en surface d'un substrat, au-dessus et à distance d'un plan de masse, lesdits éléments conducteurs étant séparés par des fentes (202, 203, 204), l'agencement des fentes (204) formant un résonateur équivalent dont la forme électrique configure le déphasage appliqué sur une onde à réfléchir, **caractérisée en ce que** la cellule comprend des charges variables commandées (206, 1005) aptes à faire varier la longueur et/ou la largeur électrique desdites fentes, les éléments conducteurs (207, 209, 1001, 1002) et les charges variables commandées (206, 1005) étant agencés pour que selon au moins une première configuration desdites charges, une surface conductrice annulaire de signaux hyperfréquences soit formée afin de créer un résonateur à dominance inductive, et pour que selon au moins une deuxième configuration, une fente soit formée autour d'au moins un élément conducteur central

- (209, 1001) afin de créer un résonateur à dominance capacitive, ladite surface conductrice étant formée par une pluralité d'éléments conducteurs (207, 1002) entourant ledit élément conducteur central (209, 1001).
2. Cellule déphaseuse rayonnante selon la revendication 1, dans laquelle les éléments conducteurs (207, 1002) formant la surface conductrice sont situés en périphérie, chacun desdits conducteurs périphériques (207, 1002) sont reliés au conducteur central (209, 1001) et aux conducteurs périphériques voisins par l'intermédiaire de charges capacitives commandées (206, 1005).
 3. Cellule déphaseuse rayonnante selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle les éléments conducteurs (1001, 1002) sont en forme de croix à quatre branches alignées selon plusieurs rangées, les croix appartenant à deux rangées successives étant décalées les unes par rapport aux autres, les croix étant reliées par l'intermédiaire de charges capacitives variables commandées.
 4. Cellule déphaseuse rayonnante (200) selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle ladite surface conductrice est formée par des rubans conducteurs (207) encadrés par des fentes annulaires (202, 203) lesdits rubans étant reliés par des charges capacitives (206) aptes à modifier la longueur et/ou la largeur électrique de fentes (204) d'interconnexion desdites fentes annulaires (202, 203).
 5. Cellule déphaseuse rayonnante selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, dans laquelle, lorsque la cellule est dans la première configuration, les charges reliant les éléments conducteurs périphériques (207, 1002) entre eux sont activées, les charges reliant l'élément conducteur central (209, 1001) aux éléments conducteurs périphériques (207, 1002) étant désactivées, de manière à former une fente résonante dont la contribution principale équivaut à celle d'un circuit LC parallèle.
 6. Cellule déphaseuse rayonnante selon la revendication 5, dans laquelle les charges reliant les éléments conducteurs périphériques (207, 1002) entre eux sont adaptées à prendre des valeurs multiples entre deux valeurs extrêmes pour pouvoir faire varier les dimensions de la fente résonante équivalente progressivement en fonction desdites valeurs.
 7. Cellule déphaseuse rayonnante selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, dans laquelle, lorsque la cellule est dans la deuxième configuration, les charges reliant les éléments conducteurs périphériques (207, 1002) entre eux sont désactivées, les charges reliant l'élément conducteur central (209, 1001) aux éléments conducteurs périphériques (207, 1002) étant activées, de manière à former un microruban résonant dont la contribution principale équivaut à celle d'un circuit LC série.
 8. Cellule déphaseuse rayonnante selon la revendication 7, dans laquelle les charges reliant l'élément conducteur central (209, 1001) aux éléments conducteurs périphériques (207, 1002) sont adaptées à prendre des valeurs multiples entre deux valeurs extrêmes pour pouvoir faire varier les dimensions du microruban résonant équivalent progressivement en fonction desdites valeurs.
 9. Cellule déphaseuse selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle les charges reliant l'élément conducteur central (209, 1001) aux éléments conducteurs périphériques (207, 1002) sont adaptées à varier indépendamment de la valeur des charges reliant les éléments conducteurs périphériques (207, 1002) entre eux, de manière à ce que la plage de déphasage appliqué à l'onde incidente soit décomposée en deux intervalles de déphasage, les déphasages appliqués dans le premier intervalle étant obtenus avec une configuration de type fente résonante, les déphasages appliqués dans le deuxième intervalle étant obtenus avec une configuration de type microruban résonant.
 10. Cellule déphaseuse rayonnante selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle les charges variables et les dimensions des éléments conducteurs (207, 209, 1001, 1002) sont déterminés pour que la configuration de la cellule permettant d'appliquer le déphasage correspondant à la première extrémité de la plage de déphasage est identique à la configuration de la cellule permettant d'appliquer le déphasage correspondant à la deuxième extrémité de la plage.
 11. Cellule déphaseuse rayonnante selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle la plage de déphasage est de 360° .
 12. Cellule déphaseuse rayonnante selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle les éléments conducteurs, les fentes et les charges capacitives sont disposés sur la cellule selon un centre de symétrie placé au centre de la cellule.
 13. Cellule déphaseuse rayonnante selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle les charges capacitives sont des diodes, des MEMS, ou des capacités ferroélectriques.
 14. Réseau réflecteur comprenant une pluralité de cellules déphaseuses rayonnantes selon l'une quelconque des revendications précédentes, lesdites cel-

lules formant la surface réfléchissante du réseau.

15. Antenne comprenant un réseau réflecteur selon la revendication 14.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

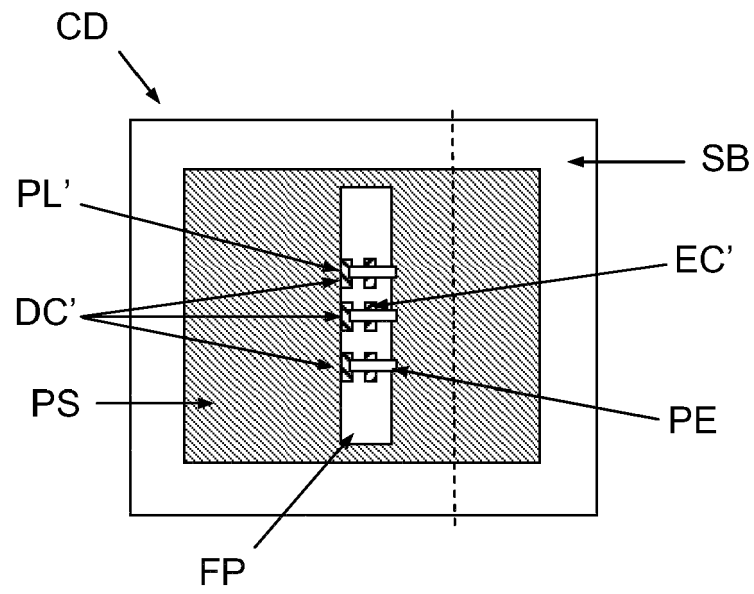


FIG.1

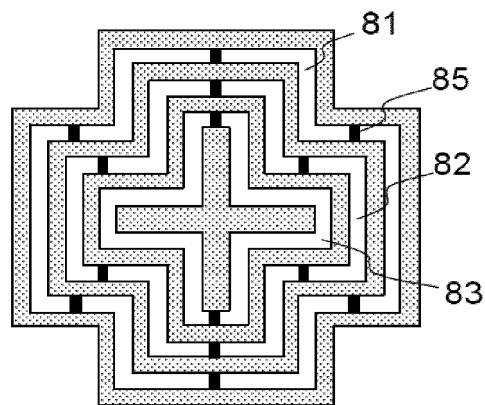


FIG.2

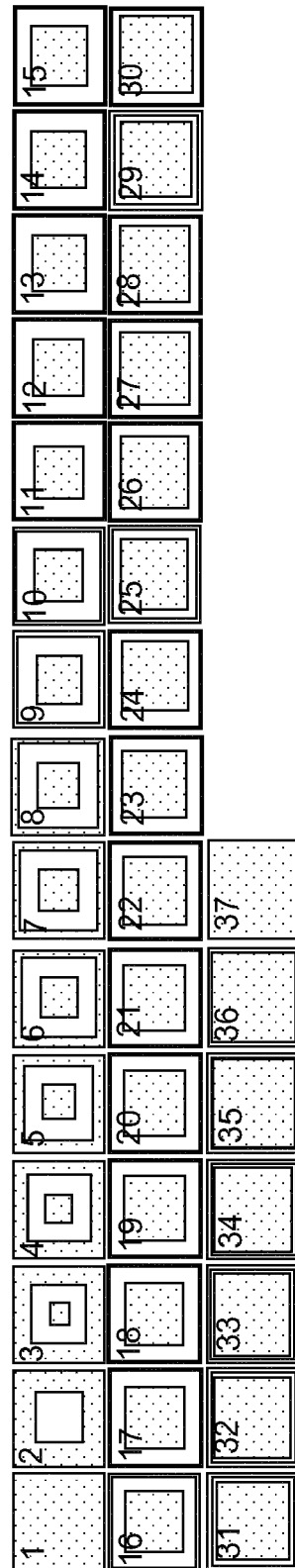


FIG.1bis

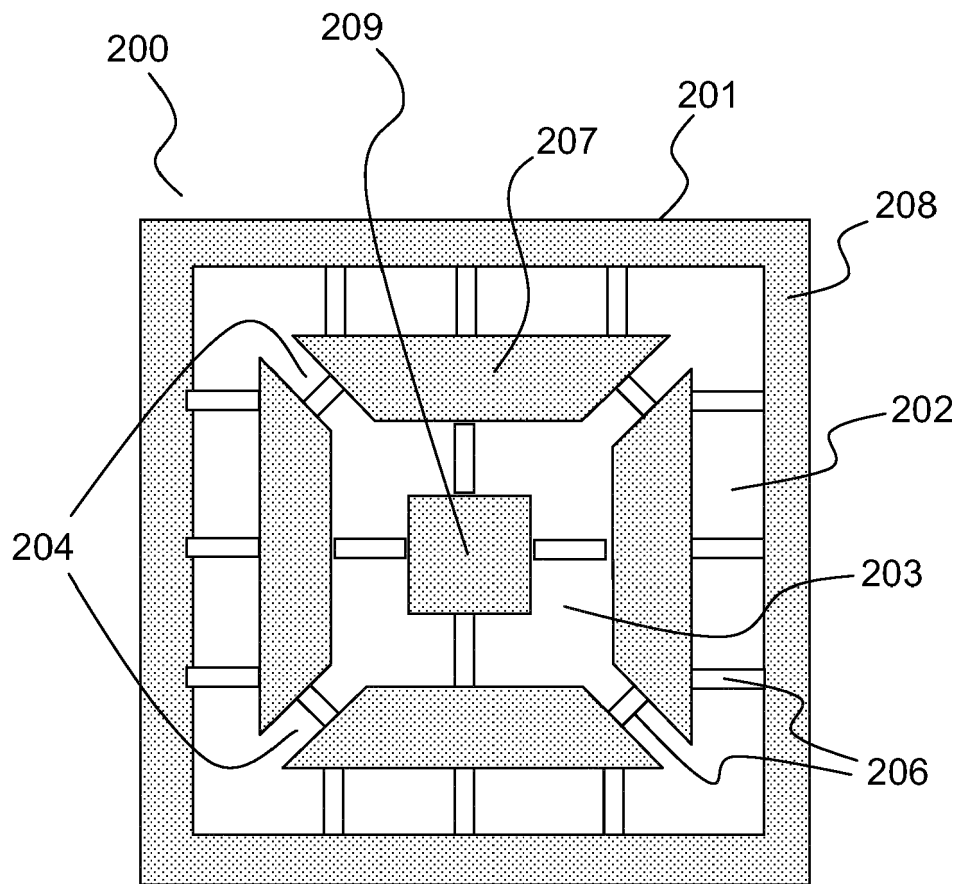


FIG.3

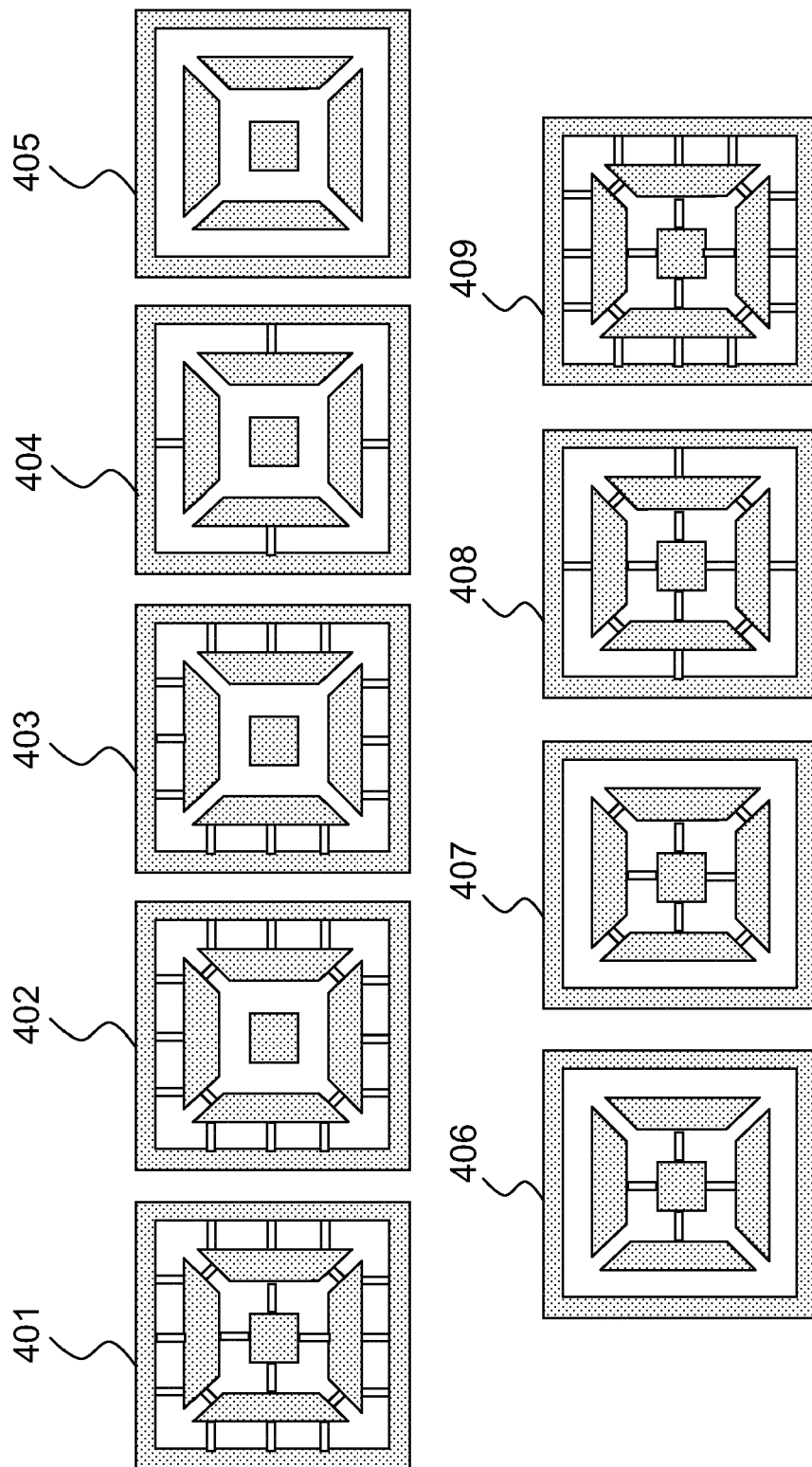


FIG.4

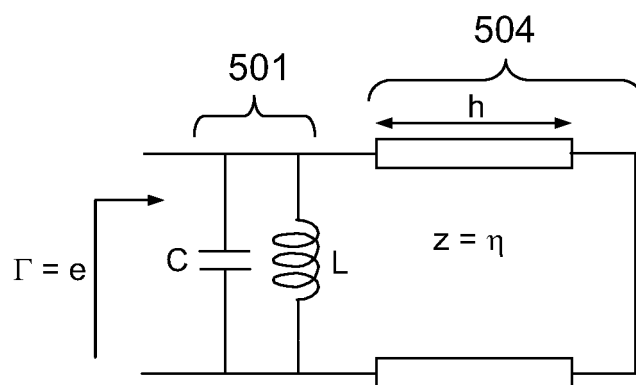


FIG.5a

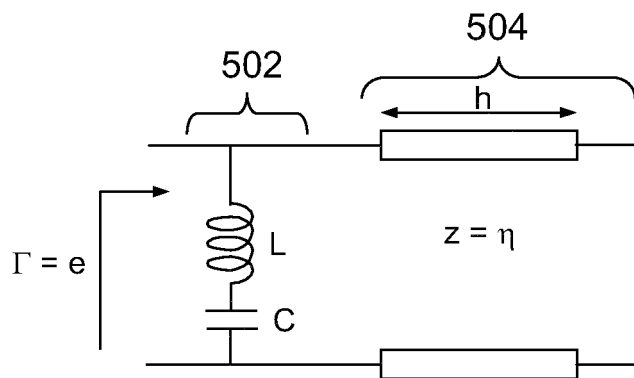


FIG.5b

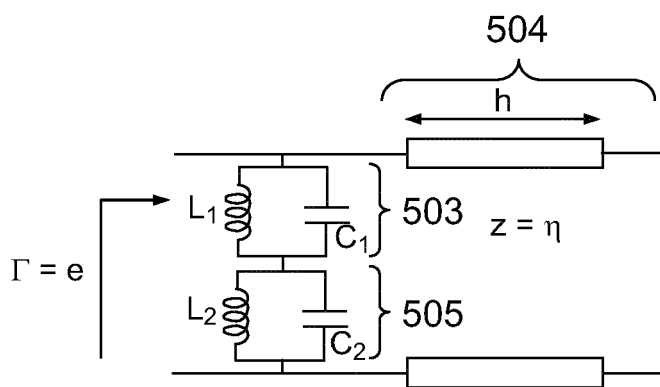


FIG.5c

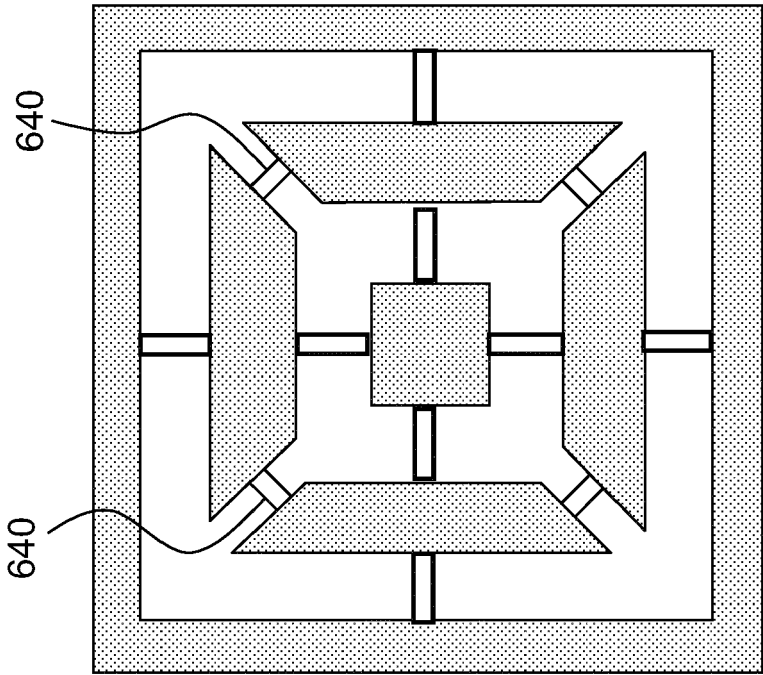


FIG. 6b

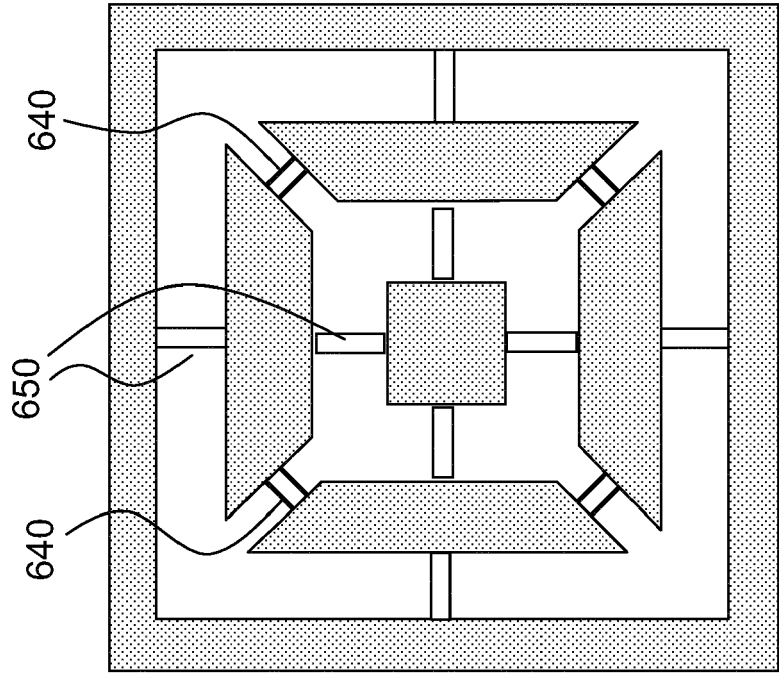


FIG. 6a

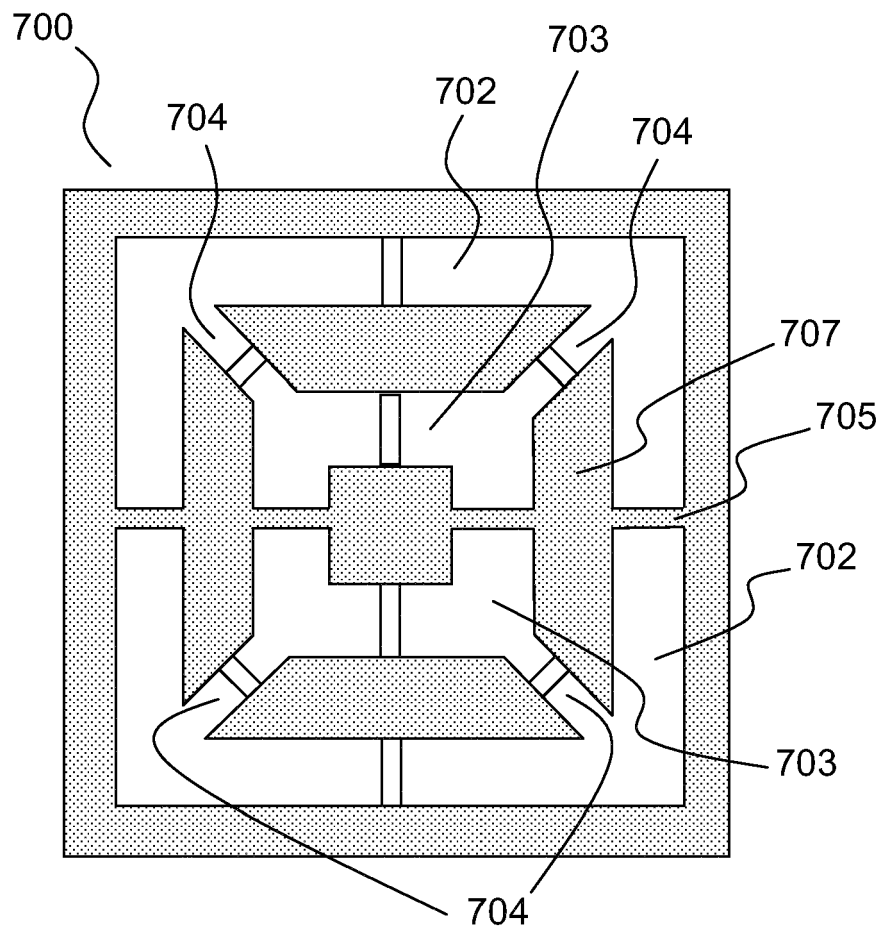


FIG.7

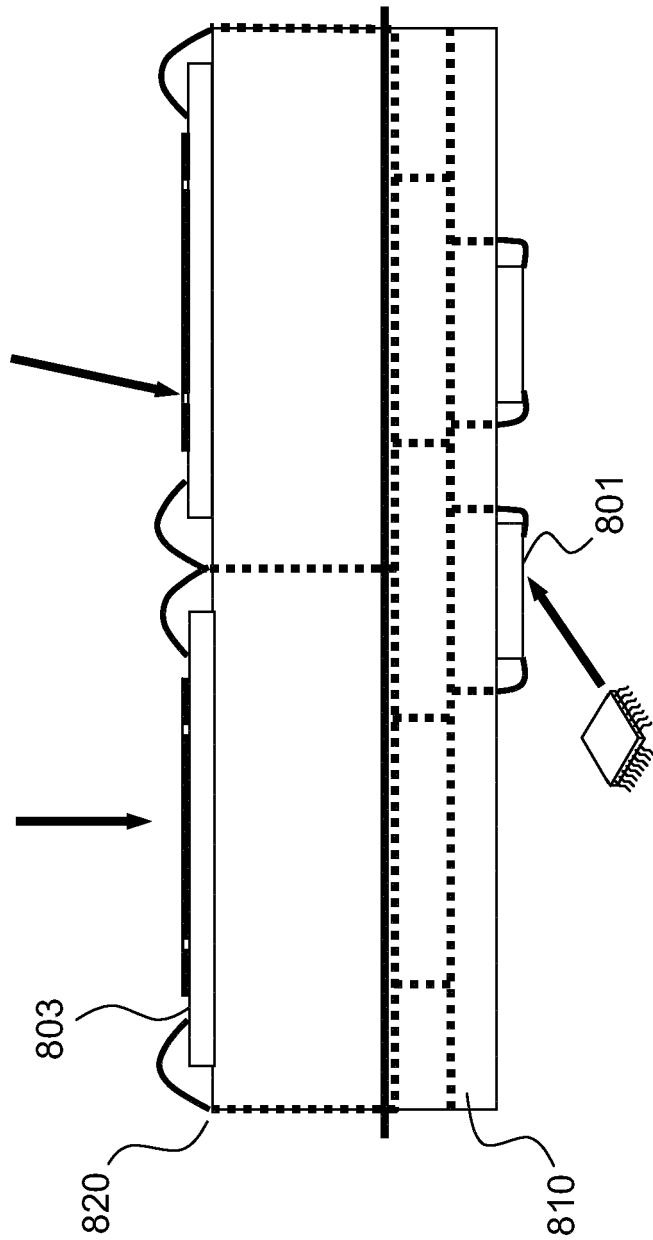


FIG. 8a

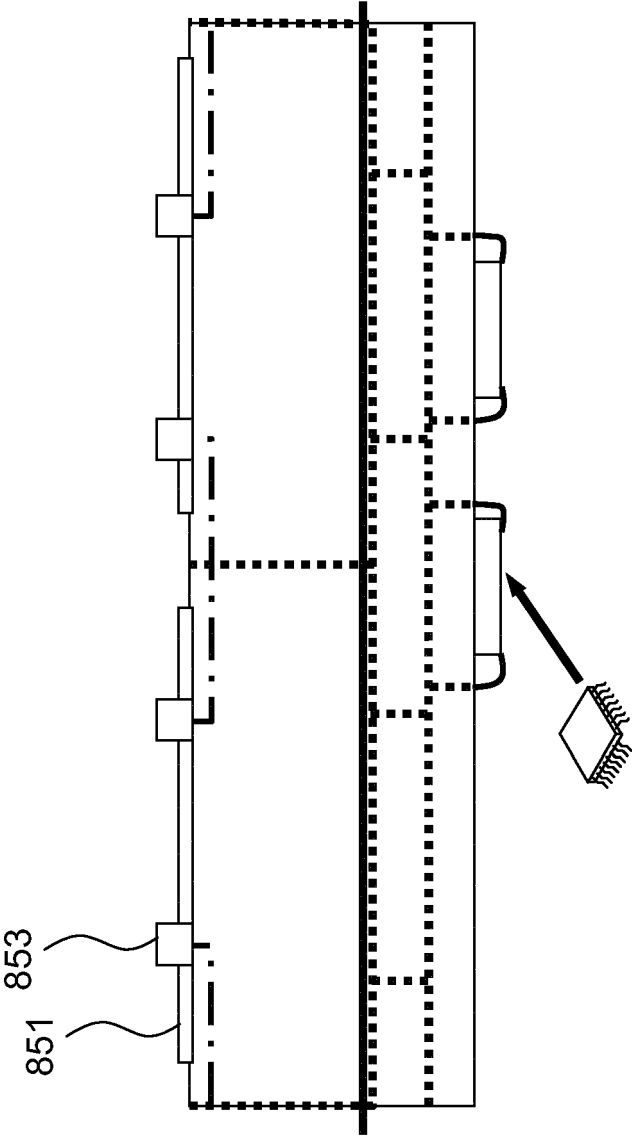


FIG. 8b

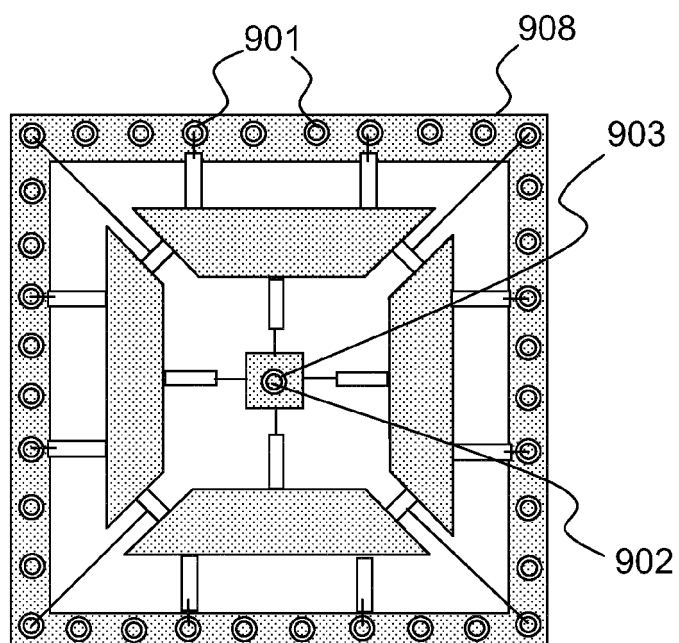


FIG.9

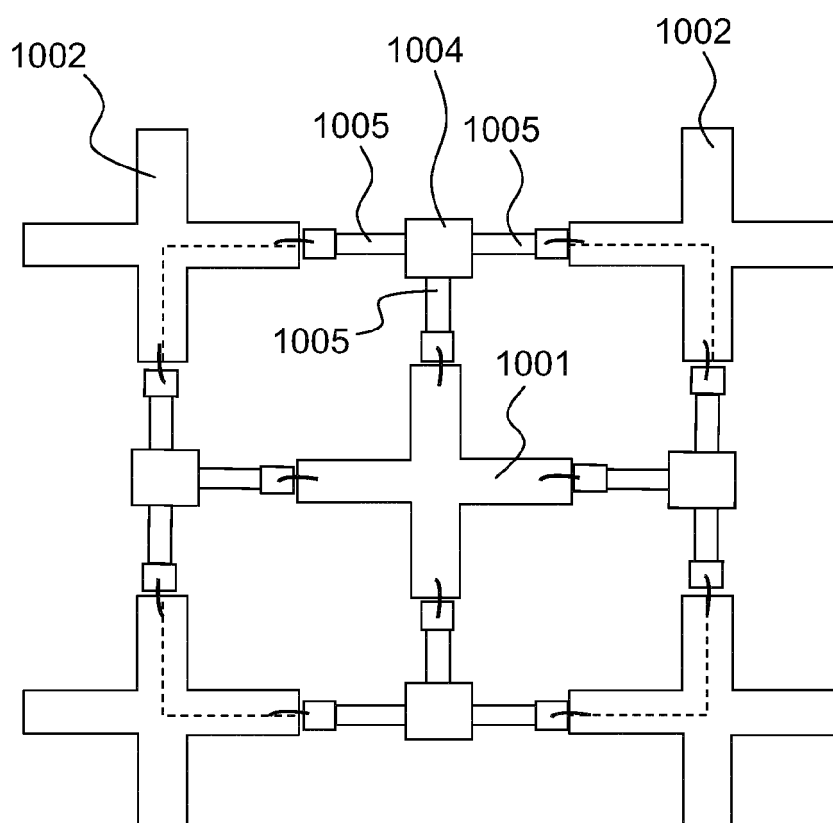


FIG.10

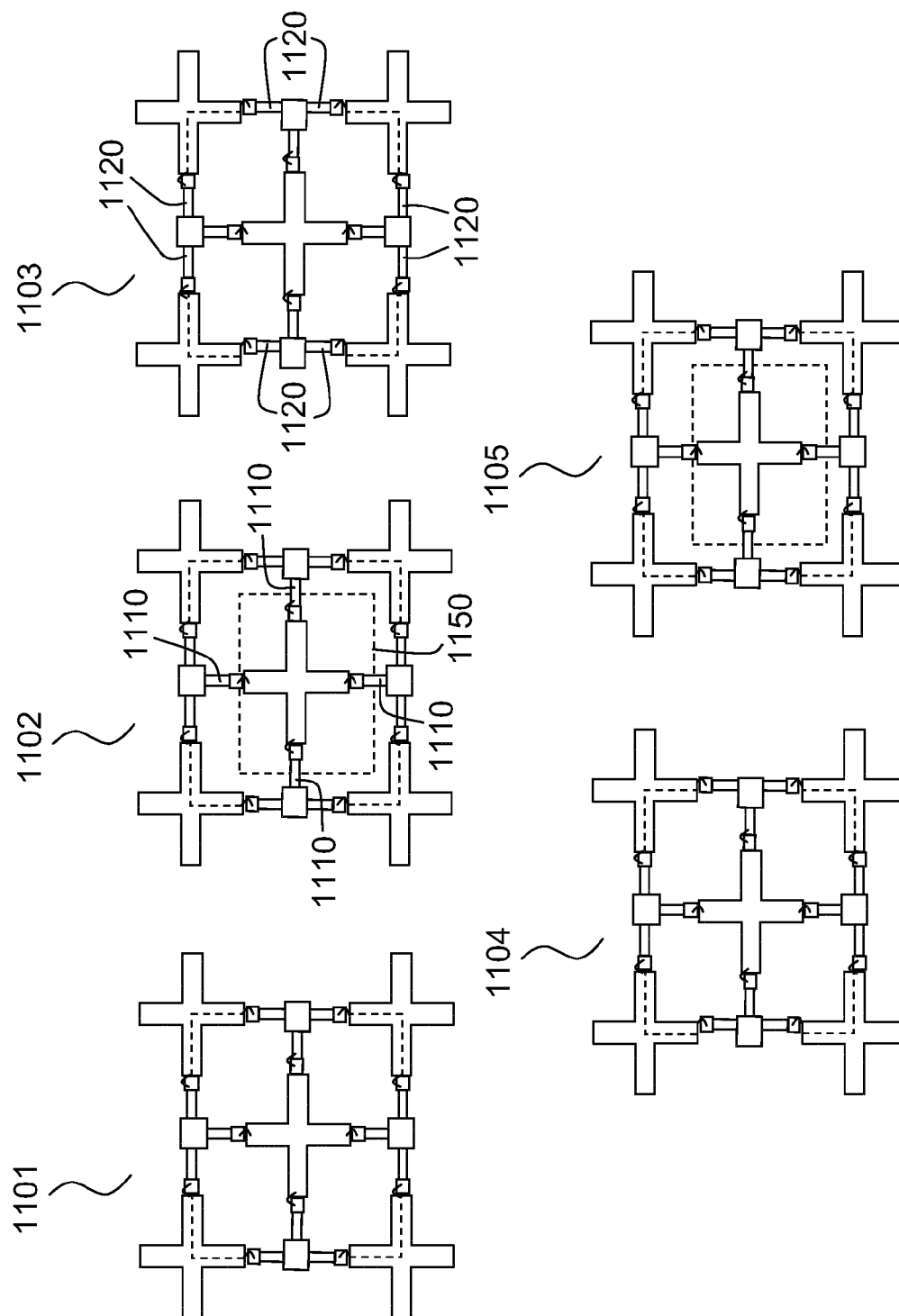


FIG.11

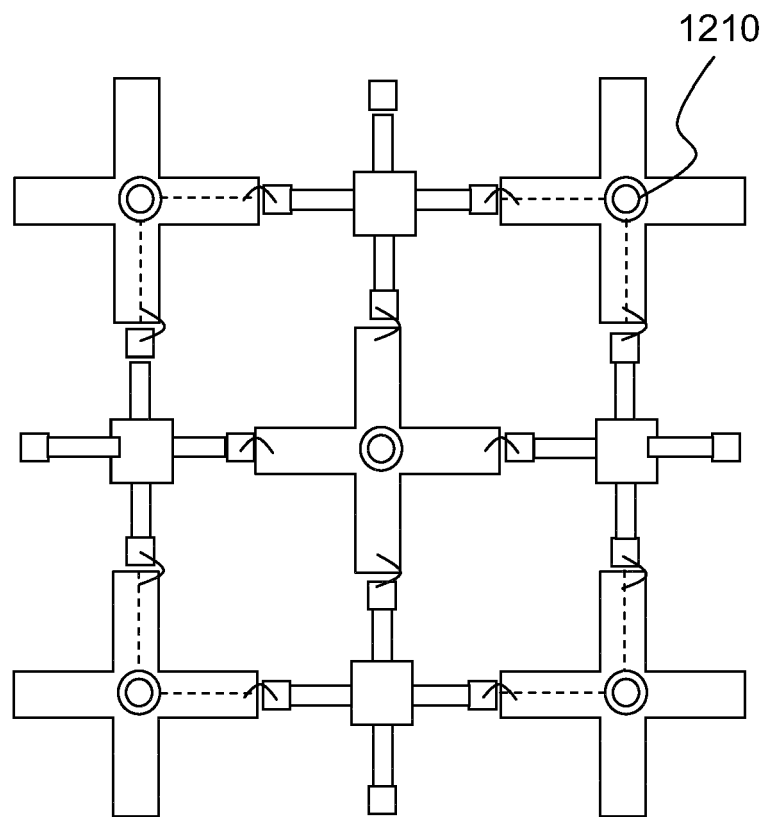


FIG.12



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

 Numéro de la demande
EP 12 18 3120

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A,D	EP 2 175 523 A1 (THALES SA [FR]) 14 avril 2010 (2010-04-14) * alinéa [0032]; figure 7 *	1-15	INV. H01Q3/46
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 * abrégé; figure 1 *	1-15	ADD. H01Q13/10
A	US 2010/085134 A1 (LEE JAE SEUNG [US] ET AL) 8 avril 2010 (2010-04-08) * abrégé; figure 4 *	1-15	
A	US 2008/024368 A1 (CHANG THE-NAN [TW] ET AL) 31 janvier 2008 (2008-01-31) * le document en entier *	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 19 décembre 2012	Examineur Marot-Lassauzaie, J
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			

 1
EPO FORM 1503 03 82 (P04C02)

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

EP 12 18 3120

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.

19-12-2012

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2175523	A1	14-04-2010	CA 2681548 A1	07-04-2010
			CN 101714695 A	26-05-2010
			EP 2175523 A1	14-04-2010
			FR 2936906 A1	09-04-2010
			JP 2010093811 A	22-04-2010
			KR 20100039264 A	15-04-2010
			RU 2009137020 A	20-04-2011
			US 2010085272 A1	08-04-2010

US 2010085134	A1	08-04-2010	AUCUN	

US 2008024368	A1	31-01-2008	JP 4294672 B2	15-07-2009
			JP 2008035461 A	14-02-2008
			TW 200807809 A	01-02-2008
			US 2008024368 A1	31-01-2008

EPO FORM P0460

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- FR 0450575 [0004] [0081]