



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
28.09.2005 Bulletin 2005/39

(51) Int Cl.7: **H01Q 21/00, H01P 1/18**

(21) Numéro de dépôt: **05290642.7**

(22) Date de dépôt: **23.03.2005**

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**
Etats d'extension désignés:
AL BA HR LV MK YU

- **Caille, Gérard**
31170 Tournefeuille (FR)
- **Laisne, Alexandre**
50300 Vains (FR)
- **Cadoret, David**
35000 Rennes (FR)
- **Gillard, Raphael**
35700 Rennes (FR)

(30) Priorité: **23.03.2004 FR 0450575**

(71) Demandeur: **ALCATEL**
75008 Paris (FR)

(74) Mandataire: **Hedarchet, Stéphane et al**
Compagnie Financiere Alcatel,
DPI,
54 rue la Boétie
75411 Paris Cedex 08 (FR)

(72) Inventeurs:
• **Legay, Hervé**
31830 Plaisance du Touch (FR)

(54) **Cellule déphaseuse à polarisation linéaire et à longueur résonante variable au moyen de commutateurs mems**

(57) Une cellule déphaseuse (CD), dédiée à une antenne réseau réflecteur, est définie par une longueur résonante caractéristique et comprend en au moins un endroit choisi un dispositif électromécanique micromécanique (DC), de type MEMS, propre à être placé dans au moins deux états différents permettant et interdisant respectivement l'établissement d'un court-circuit destiné à faire varier sa longueur résonante, afin de faire varier le déphasage d'une onde à réfléchir présentant au moins une polarisation linéaire.

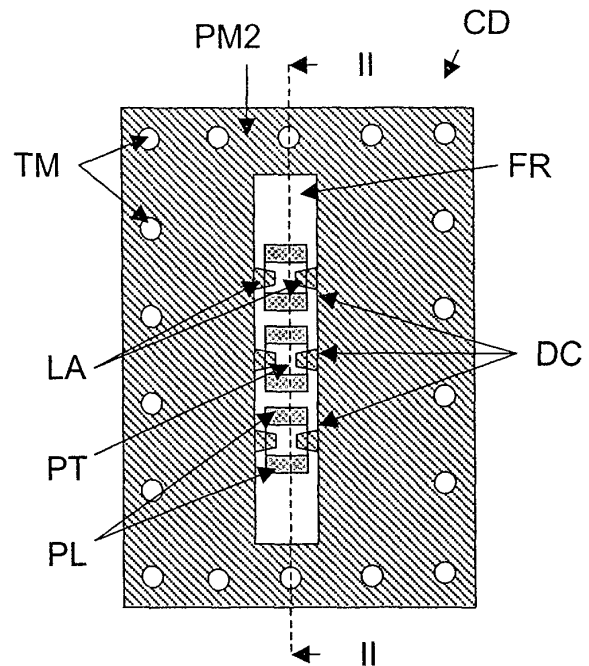


FIG.1

Description

[0001] L'invention concerne le domaine des antennes réseau réflecteur (ou « reflectarray antennas »), et plus particulièrement les cellules déphaseuses qui équipent de telles antennes.

[0002] Les antennes réseau réflecteur constituent l'une des deux principales familles d'antennes réseau, l'autre famille étant constituée des antennes réseau à commande de phase (ou « Phased Array Antennas »). Ces antennes réseaux sont particulièrement intéressantes du fait qu'elles peuvent être reconfigurées, par exemple pour permettre le passage d'une zone de couverture (ou « spot ») à une autre.

[0003] Une antenne réseau réflecteur est constituée d'éléments rayonnants chargés d'intercepter avec des pertes minimales des ondes, comportant des signaux à transmettre, délivrées par une source primaire, afin de les réfléchir dans une direction choisie, appelée direction de pointage. Afin de permettre la reconfigurabilité du diagramme d'antenne, chaque élément rayonnant est équipé d'un dispositif de contrôle de phase avec lequel il constitue une cellule déphaseuse passive ou active.

[0004] Par « cellule déphaseuse » on entend ici aussi bien les structures à cavité et fente rayonnantes que les structures planaires résonantes à pavé rayonnant (ou « patch »).

[0005] L'invention vise plus particulièrement les cellules déphaseuses actives, à polarisation linéaire. Celles-ci comportent généralement une cellule déphaseuse pourvue soit d'un interrupteur (ou commutateur) constitué de diodes (généralement de type PIN), ou de MESFETs, ou encore de varactors, soit de moyens de commande mécanique (comme par exemple un moteur chargé de déplacer un barreau de diélectrique).

[0006] Les cellules déphaseuses à interrupteur consomment une importante quantité d'énergie et sont l'objet de pertes significatives et d'échauffements. Les cellules déphaseuses à commande mécanique sont complexes à mettre en oeuvre, notamment dans le cas de réseaux de grandes tailles, et consommatrices d'énergie. Dans un cas comme dans l'autre, les inconvénients induits par les techniques de commande de phase utilisées limitent les applications des cellules déphaseuses, notamment dans le domaine spatial et plus spécifiquement dans les plateformes d'observation comme par exemple les satellites.

[0007] L'invention a donc pour but d'améliorer la situation dans le cas des antennes réseau réflecteur à cellules déphaseuses actives à polarisation linéaire.

[0008] Elle propose à cet effet une cellule déphaseuse présentant une longueur résonante caractéristique et comprenant en au moins un endroit choisi un dispositif électromécanique micronique, de type MEMS (pour « Micro ElectroMechanical System »), pouvant être placé dans au moins deux états différents permettant et interdisant respectivement l'établissement d'un

court-circuit destiné à faire varier la longueur résonante caractéristique, afin de faire varier le déphasage des ondes à réfléchir qui présentent au moins une polarisation linéaire.

5 **[0009]** Chaque dispositif MEMS peut par exemple comporter un pont flexible conducteur dont les états sont commandés par deux électrodes de commande sensiblement superposées et dont l'une est constituée par le pont. En variante, chaque dispositif MEMS peut
10 comprendre une poutre flexible conductrice suspendue (ou « cantilever ») dont les états sont commandés par une électrode de commande placée en dessous de sa partie suspendue.

15 **[0010]** Dans une famille de réalisation, la cellule peut comporter une structure planaire résonante comprenant au moins un pavé supérieur rectangulaire placé sensiblement parallèlement à un plan de masse inférieur, à une distance choisie, le plan de masse inférieur définissant au moins une « pastille » conductrice, par
20 exemple rectangulaire, intégralement entourée d'une zone non conductrice, placée en dessous du pavé supérieur et de dimensions inférieures aux siennes. Dans ce cas, la cellule comporte au moins une traversée métallisée reliant le pavé supérieur à la pastille, et le dispositif MEMS est placé au niveau de la zone non
25 conductrice afin d'établir dans l'un de ses états une liaison entre la pastille et le reste du plan de masse pour contrôler la longueur résonante du pavé supérieur.

30 **[0011]** Le plan de masse inférieur peut éventuellement définir au moins deux pastilles (par exemple rectangulaires) intégralement entourées d'une zone non conductrice, placées en dessous du pavé supérieur et de dimensions inférieures aux siennes. Dans ce cas, la cellule comporte au moins deux traversées métallisées
35 reliant respectivement le pavé supérieur à l'une des pastilles, et au moins deux dispositifs MEMS placés chacun au niveau de l'une des zones non conductrices afin d'établir des liaisons entre l'une au moins des pastilles et le reste du plan de masse, permettant ainsi de
40 définir au moins trois longueurs résonantes de pavé supérieur différentes selon leurs états.

45 **[0012]** Dans une variante de cette famille de réalisation, la cellule peut comporter un plan de masse supérieur comprenant au moins une fente rayonnante, pourvue d'un dispositif MEMS contrôlant sa longueur résonante caractéristique, un plan de masse inférieur, et des traversées métallisées reliant le plan de masse inférieur à des parties périphériques du plan de masse supérieur afin de définir une cavité résonante. Par exemple, le
50 plan de masse supérieur peut comprendre au moins deux fentes rayonnantes pourvues chacune d'un unique dispositif MEMS contrôlant leur longueur résonante caractéristique. Chaque dispositif MEMS peut alors être préférentiellement placé sensiblement au milieu d'une
55 fente rayonnante. Par ailleurs, les fentes sont préférentiellement sensiblement parallèles entre elles et peuvent présenter des longueurs légèrement différentes. Mais, elles peuvent également avoir une forme courbe,

de manière à réaliser ensemble une fente annulaire court circuitée en deux points sensiblement opposés.

[0013] En variante, le plan de masse supérieur peut comprendre une fente rayonnante, pourvue d'au moins deux dispositifs MEMS permettant de définir au moins trois longueurs résonantes différentes selon leurs états.

[0014] Par ailleurs, le plan de masse supérieur peut éventuellement comprendre au moins une fente rayonnante rectangulaire présentant des grands côtés parallèles à une première direction, et au moins une autre fente rayonnante rectangulaire présentant des grands côtés parallèles à une seconde direction perpendiculaire à la première, afin de permettre une double polarisation linéaire.

[0015] Dans une autre famille de réalisation, la cellule peut comporter une structure planaire résonante comprenant un pavé supérieur placé sensiblement parallèlement à un plan de masse inférieur, à une distance choisie. Dans ce cas, le pavé comporte au moins une fente munie d'au moins un dispositif MEMS contrôlant sa longueur résonante caractéristique.

[0016] La cellule peut alors comprendre une unique fente (de longueur demie onde) munie d'au moins deux dispositifs MEMS, permettant de définir au moins trois longueurs résonantes différentes selon leurs états. En variante, le pavé supérieur peut être sensiblement carré, et la cellule peut comprendre au moins une première et une deuxième fentes rectangulaires (de longueur quart d'onde) placées sensiblement en regard l'une de l'autre, débouchant sur deux côtés opposés non rayonnants du carré, et comportant chacune au moins deux dispositifs MEMS permettant de définir au moins trois longueurs résonantes différentes selon leurs états. Dans ce dernier cas, la cellule peut également comprendre au moins de troisième et quatrième fentes rectangulaires (de longueur quart d'onde) placées sensiblement en regard l'une de l'autre, débouchant sur deux autres côtés opposés non rayonnants du carré, et comportant chacune au moins deux dispositifs MEMS, permettant de définir au moins trois autres longueurs résonantes différentes selon leurs états, afin de permettre une double polarisation linéaire. On peut également prévoir plusieurs pavés supérieurs munis chacun d'au moins une demie fente quart d'onde, des paires de demies fentes en regard constituant alors des fentes demie onde.

[0017] En présence d'un dispositif MEMS à pont et de fente(s) rectangulaire(s), le pont est préférentiellement placé sensiblement parallèlement aux grands côtés de la fente. En revanche, en présence d'un dispositif MEMS à poutre et de fente(s) rectangulaire(s), ladite poutre est préférentiellement placée sensiblement perpendiculairement aux grands côtés de la fente.

[0018] Par ailleurs, le plan de masse inférieur peut définir un pavé inférieur placé en dessous du pavé supérieur et de dimensions inférieures aux siennes. Dans ce cas, la cellule comporte des traversées métallisées qui relient le plan de masse à des parties périphériques du

pavé supérieur afin de définir une cavité résonante. Cette structure à pavé et à cavité définit encore une autre famille de cellules déphaseuses.

[0019] L'invention propose également une antenne réseau réflecteur équipée d'au moins deux cellules déphaseuses du type de celles présentées ci-avant.

[0020] L'invention est particulièrement bien adaptée, bien que de façon non exclusive, aux antennes de télécommunication géostationnaires en bande Ku (12 à 18 GHz), à couverture reconfigurable (changement de position orbitale, adaptation du trafic), et aux antennes radar en bande C (4 à 8 GHz) ou en bande X (8 à 12 GHz), en particulier pour les radars de type SAR (radars à ouverture synthétique).

[0021] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, et des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 illustre de façon schématique, dans une vue du dessus, un premier exemple de réalisation d'une cellule déphaseuse selon l'invention,
- la figure 2 est une vue en coupe transversale selon l'axe II-II de la cellule déphaseuse de la figure 1,
- la figure 3 illustre de façon schématique, dans une vue du dessus, un deuxième exemple de réalisation d'une cellule déphaseuse selon l'invention,
- la figure 4 est une vue en coupe transversale selon l'axe IV-IV de la cellule déphaseuse de la figure 3,
- la figure 5 illustre de façon schématique, dans une vue du dessus, un troisième exemple de réalisation d'une cellule déphaseuse selon l'invention,
- la figure 6 est une vue en coupe transversale selon l'axe VI-VI de la cellule déphaseuse de la figure 5,
- la figure 7 illustre de façon schématique, dans une vue du dessus, un quatrième exemple de réalisation d'une cellule déphaseuse selon l'invention,
- la figure 8 est une vue en coupe transversale selon l'axe VIII-VIII de la cellule déphaseuse de la figure 7,
- la figure 9 illustre de façon schématique, dans une vue du dessus, un cinquième exemple de réalisation d'une cellule déphaseuse selon l'invention,
- la figure 10 illustre de façon schématique, dans une vue du dessus, un sixième exemple de réalisation d'une cellule déphaseuse selon l'invention,
- la figure 11 est une vue en coupe transversale selon l'axe XI-XI des cellules déphaseuses des figures 10 et 12,
- la figure 12 illustre de façon schématique, dans une vue du dessus, un septième exemple de réalisation d'une cellule déphaseuse selon l'invention,
- la figure 13 illustre de façon schématique, dans une vue du dessus, un huitième exemple de réalisation d'une cellule déphaseuse selon l'invention,
- la figure 14 illustre de façon schématique, dans une vue du dessus, un neuvième exemple de réalisation d'une cellule déphaseuse selon l'invention,
- la figure 15 illustre de façon schématique, dans une vue du dessus, un dixième exemple de réalisation

- d'une cellule déphaseuse selon l'invention,
- la figure 16 illustre de façon schématique, dans une vue du dessus, un onzième exemple de réalisation d'une cellule déphaseuse selon l'invention,
- la figure 17 est une vue en coupe transversale selon l'axe XVII-XVII de la cellule déphaseuse de la figure 16,
- la figure 18 est une vue en perspective détaillant une partie de la cellule déphaseuse de la figure 16,
- la figure 19 illustre de façon schématique, dans une vue du dessus, un douzième exemple de réalisation d'une cellule déphaseuse selon l'invention,
- la figure 20 est une vue en coupe transversale selon l'axe XX-XX de la cellule déphaseuse de la figure 19,
- la figure 21 illustre de façon schématique, dans une vue du dessus, un treizième exemple de réalisation d'une cellule déphaseuse selon l'invention, sans ses dispositifs MEMS,
- la figure 22 illustre de façon schématique, dans une vue du dessus, un quatorzième exemple de réalisation d'une cellule déphaseuse selon l'invention, sans ses dispositifs MEMS,
- la figure 23 illustre de façon schématique, dans une vue du dessus, un quinzième exemple de réalisation d'une cellule déphaseuse selon l'invention,
- la figure 24 illustre de façon schématique, dans une vue du dessus, un seizième exemple de réalisation d'une cellule déphaseuse selon l'invention,
- la figure 25 est une vue en coupe transversale selon l'axe XXV-XXV de la cellule déphaseuse de la figure 24, et
- la figure 26 est un diagramme illustrant l'évolution du déphasage ($\Delta\phi$ en degrés) en fonction de la longueur d'une fente (b en mm), pour plusieurs valeurs différentes de longueur de pavé supérieur (x = 3, 4, 5, 7,5 et 8 mm respectivement en allant du haut vers le bas) et pour une épaisseur de substrat (d').

[0022] Les dessins annexés pourront non seulement servir à compléter l'invention, mais aussi contribuer à sa définition, le cas échéant.

[0023] L'invention porte sur une cellule déphaseuse active à polarisation linéaire pour une antenne réseau réflecteur active.

[0024] L'antenne réseau réflecteur peut par exemple être dédiée aux télécommunications, par exemple de type géostationnaire en bande Ku (12 à 18 GHz), à couverture reconfigurable (changement de position orbitale ou adaptation du trafic), ou bien aux radars en bande C (4 à 8 GHz) ou en bande X (8 à 12 GHz), en particulier pour les radars de type SAR (radars à ouverture synthétique), ou encore aux liaisons de type ISL-RF à haut débit, notamment à l'intérieur d'une petite constellation de satellites volant en formation.

[0025] Dans sa plus grande généralité, une cellule déphaseuse, selon l'invention, comprend en un ou plusieurs endroits choisis un dispositif électromécanique

micronique, de type MEMS (pour « Micro ElectroMechanical System »). Chaque dispositif MEMS peut être placé, à l'aide de commandes électriques, dans au moins deux états différents permettant et interdisant respectivement l'établissement d'un court-circuit destiné à faire varier une longueur résonante caractéristique de la cellule, afin de faire varier le déphasage des ondes à réfléchir (provenant de la source de l'antenne) présentant au moins une polarisation linéaire.

[0026] Une telle cellule déphaseuse peut se décliner selon trois grandes familles selon sa structure rayonnante. Une première famille regroupe les structures à cavité et à fente(s) rayonnantes, une deuxième famille regroupe les structures planaires résonantes à pavés (ou « patches ») et une troisième famille regroupe les structures planaires résonantes à cavité.

[0027] On se réfère tout d'abord aux figures 1 à 9 pour décrire des exemples de réalisation de cellules déphaseuses appartenant à la première famille.

[0028] Sur les figures 1 et 2 se trouve illustré un premier exemple de cellule déphaseuse CD comprenant un substrat SB comportant une face « arrière » (ou « inférieure »), solidarisée à un plan de masse « inférieur » PM1, et une face « avant » (ou « supérieure »), solidarisée à un plan de masse « supérieur » PM2.

[0029] Le substrat SB est par exemple réalisé en Duroïd ou TMM et présente une épaisseur d égale, par exemple, à $\lambda/4$, où λ est la longueur d'onde dans le vide des ondes à réfléchir, provenant de la source de l'antenne.

[0030] Les plans de masse inférieur PM1 et supérieur PM2 sont raccordés électriquement entre eux par l'intermédiaire de trous (ou traversées) métallisés TM formés dans le substrat SB. Ces plans sont par exemple réalisés à partir de substrats en alumine, en silicium ou en verre qui, du fait de leurs faibles épaisseurs (typiquement 500 μm) doivent être rapportés sur un substrat SB en Duroïd ou TMM de manière à permettre l'obtention d'une épaisseur égale à $\lambda/4$. Les trous métallisés TM sont préférentiellement implantés à la périphérie des plans de masse inférieur PM1 et supérieur PM2 de manière à définir une cavité résonante.

[0031] Deux techniques peuvent être envisagées pour réaliser cet assemblage. Une première technique consiste à superposer un substrat en Duroïd (ou Metclad), par exemple d'épaisseur égale à environ 3 mm, sur un substrat en alumine, par exemple d'épaisseur égale à environ 0,254 mm, puis à déposer un plan de masse inférieur PM1 sur la face inférieure du substrat en Duroïd et un plan de masse supérieur PM2, sur la face supérieure du substrat en alumine, ledit plan de masse supérieur PM2 étant localement interrompu par les fentes. Une seconde technique consiste à n'utiliser qu'un substrat en Duroïd (ou Metclad), par exemple d'épaisseur égale à environ 2 ou 3 mm, puis à former sur sa face supérieure des portions d'un plan de masse intermédiaire dans lesquelles sont formées des lignes

de commande de tension, puis à rapporter sur cette face supérieure des portions de substrats en alumine, par exemple d'épaisseur égale à environ 0,254 mm, comportant sur une face supérieure un plan de masse supérieur PM2 comportant chacun une ou plusieurs fentes, puis à déposer un plan de masse inférieur PM1 sur la face inférieure du substrat en Duroïd, et enfin à relier les plans de masse inférieur, intermédiaire et supérieur par deux niveaux de trous (ou traversées) métallisés.

[0032] Par ailleurs, le plan de masse supérieur PM2 comporte une unique fente rayonnante FR, préférentiellement de forme rectangulaire définie par deux grands côtés (longitudinaux), de longueur b, et deux petits côtés (transversaux), de largeur a.

[0033] Cette fente rayonnante FR est par exemple réalisée par gravure du plan de masse supérieur PM2.

[0034] Par ailleurs, la fente rayonnante FR présente une résonance de type LC parallèle. Les paramètres d'un tel résonateur (fréquence de résonance et bande passante) dépendent principalement des longueur b et largeur a de la fente rayonnante FR, ainsi que de la permittivité ϵ_r du substrat SB.

[0035] Plusieurs modes peuvent se propager dans la cavité délimitée par les trous métallisés TM. Chacun de ces modes présente une constante de propagation β propre et une impédance caractéristique Z_0 propre. La fréquence de coupure des modes dans la cavité dépend principalement des longueur m_x et largeur m_y des plans de masse inférieur PM1 et supérieur PM2, ainsi que de la permittivité ϵ_r du substrat SB. Il est par ailleurs rappelé qu'une résonance verticale peut survenir dans ce type de cavité lorsque son épaisseur d est égale à $n\lambda_g/2$, où n est un entier et λ_g est la longueur d'onde du (des) mode(s) guidé(s) se propageant dans la cavité.

[0036] Par exemple, on peut choisir un réseau de maille carrée dans lequel $m_x = m_y = 0,7\lambda = 8$ mm. Dans ce cas, et en présence d'une longueur d'onde λ correspondant à une fréquence de travail de 26,4 GHz, la cavité présente une fréquence de coupure égale à 18,75 GHz et ne fonctionne que dans son mode fondamental, ce qui correspond à une longueur d'onde guidée λ_g égale à environ 16,14 mm, dans le cas d'une cavité à air.

[0037] En présence d'une cavité d'épaisseur d égale à $\lambda/4$ (soit ici environ $\lambda_g/5,7$), des déphasages pouvant atteindre 360° peuvent être obtenus pour des largeurs a de fente FR comprises entre environ 0,25 mm et environ 1 mm. Par exemple, en présence d'une largeur a égale à 0,5 mm, le point d'inflexion du déphasage est obtenu à la résonance de la fente FR, qui correspond à une longueur b égale à environ 5,5 mm, compte tenu des autres valeurs précitées.

[0038] Dans cet exemple de réalisation, la fente rayonnante FR est préférentiellement centrée au milieu du plan de masse supérieur PM2. Mais, il pourrait en être autrement, notamment en présence d'une éventuelle fente parasite complémentaire. Dans ce dernier cas, les fentes sont situées préférentiellement symétriquement par rapport au centre de la cellule.

[0039] Par ailleurs, dans cet exemple de réalisation, la fente rayonnante FR est pourvue de trois dispositifs MEMS DC constituant chacun un commutateur à deux états. Bien entendu, la fente rayonnante pourrait comporter un nombre différent de dispositifs MEMS DC dès lors que celui-ci est au moins égal à un.

[0040] Chaque dispositif MEMS DC est ici constitué d'un pont flexible conducteur PT dont les deux extrémités sont solidarifiées à des plots de maintien PL eux-mêmes solidarifiés à la face supérieure du substrat SB. Ces plots PL sont par exemple réalisés en Or ou en Aluminium et présentent une épaisseur légèrement supérieure à celle du plan de masse supérieur PM2. Le pont flexible PT est réalisé sous la forme d'une lame rendue conductrice, par exemple par une métallisation en Or ou en Aluminium, et installée dans la fente FR sensiblement parallèlement à ses bords longitudinaux.

[0041] Par ailleurs, chaque dispositif MEMS DC comporte deux électrodes de commande sensiblement superposées, l'une d'entre elles étant constituée par le pont flexible PT, et l'autre étant, par exemple, placée à un niveau supérieur au dessus du pont flexible PT (non représenté), ces deux électrodes étant raccordées à un circuit d'alimentation (non représenté).

[0042] On prévoit également sur la face supérieure du substrat SB, à l'intérieur de la fente rayonnante FR et sensiblement au niveau d'une partie centrale de ses bords longitudinaux, deux petites lignes d'accès LA placées sensiblement en regard l'une de l'autre, perpendiculairement au pont flexible PT, et raccordées électriquement au plan de masse supérieur PM2.

[0043] En présence d'un courant de commande choisi au niveau des électrodes de commande, la partie suspendue du pont PT est attirée vers lesdites lignes d'accès LA. La partie suspendue fléchit alors jusqu'à venir au contact des deux lignes d'accès LA, ce qui génère localement un court-circuit dans la fente rayonnante FR et réduit sa longueur résonante caractéristique (b), qui est sa longueur électrique. Cela constitue l'un des deux états du dispositif MEMS DC.

[0044] En l'absence de courant de commande, le pont PT est éloigné des lignes d'accès LA, si bien que la longueur de la fente rayonnante FR n'est pas perturbée. Cela constitue l'autre état du dispositif MEMS DC.

[0045] En commandant de façon séparée les différents dispositifs MEMS DC, il est donc possible, dans cet exemple de réalisation, de définir en trois positions différentes trois courts-circuits correspondant à au moins quatre longueurs résonantes différentes pour la fente FR. Bien entendu, les positions des différents dispositifs MEMS DC sont choisies de manière à réaliser une quantification régulière de la loi de phase. Cette contrainte positionnelle privilégie l'implantation des dispositifs MEMS en bord de fente. Ces différentes longueurs résonantes correspondent à des déphasages différents de l'onde réfléchie par la cellule déphaseuse CD.

[0046] Sur les figures 3 et 4 se trouve illustré un

deuxième exemple de cellule déphaseuse CD de la première famille. Il s'agit d'une variante de la cellule déphaseuse CD décrite ci-avant en référence aux figures 1 et 2. Plus précisément, ce qui différencie le premier exemple de réalisation du deuxième c'est le mode de réalisation des dispositifs MEMS.

[0047] Ici, chaque dispositif MEMS DC' comprend une poutre flexible (ou « cantilever ») conductrice PE comportant une extrémité solidarifiée à un plot de maintien PL' conducteur, formé dans la fente rayonnante FR le long de l'un des bords longitudinaux et raccordé électriquement au plan de masse supérieur PM2.

[0048] Ce plot PL' est par exemple réalisé en Or ou en Aluminium et présente une épaisseur légèrement supérieure à celle du plan de masse supérieur PM2, de sorte que la poutre PE soit suspendue au dessus de la fente rayonnante FR et du niveau du plan de masse supérieur PM2. La poutre flexible PE est réalisée sous la forme d'une lame rendue conductrice, par exemple au moyen d'une métallisation en Or ou en Aluminium, installée sensiblement perpendiculairement à ses bords longitudinaux. L'extrémité libre de la poutre PE traverse la fente FR dans sa largeur et déborde légèrement sur le plan de masse supérieur PM2 en un endroit où est préférentiellement placé un plot de contact PLC conducteur électriquement.

[0049] Par ailleurs, chaque dispositif MEMS DC' comporte une électrode de commande EC' placée en dessous de la partie centrale suspendue de la poutre PE, et raccordée à un circuit d'alimentation (non représenté), une autre électrode étant constituée par la poutre flexible conductrice PE. L'électrode de commande EC' est formée sur la face supérieure du substrat SB, à l'intérieur de la fente rayonnante FR.

[0050] En présence d'un courant de commande choisi au niveau de l'électrode de commande EC', la partie suspendue de la poutre PE est attirée vers ladite électrode. Elle fléchit alors jusqu'à ce que son extrémité libre vienne au contact du plot de contact PLC, ce qui génère localement un court-circuit dans la fente rayonnante FR et réduit sa longueur résonante caractéristique (b), qui est sa longueur électrique. Cela constitue l'un des deux états du dispositif MEMS DC'.

[0051] En l'absence de courant de commande, l'extrémité libre de la poutre PE est éloignée du plot de contact PLC, si bien que la longueur de la fente rayonnante FR n'est pas perturbée. Cela constitue l'autre état du dispositif MEMS DC'.

[0052] En commandant de façon séparée les différents dispositifs MEMS DC', il est donc également possible, dans cet exemple de réalisation, de définir en trois positions différentes trois courts-circuits correspondant à au moins quatre longueurs résonantes différentes pour la fente FR. Bien entendu, les positions des différents dispositifs MEMS DC' sont choisies de manière à réaliser une quantification régulière de la loi de phase. Ces différentes longueurs résonantes correspondent à des déphasages différents de l'onde réfléchie par la cel-

lule déphaseuse CD.

[0053] Dans cet exemple de réalisation, la fente rayonnante FR est pourvue de trois dispositifs MEMS DC'. Mais, la fente rayonnante FR pourrait comporter un nombre différent de dispositifs MEMS DC' dès lors que celui-ci est au moins égal à un.

[0054] Sur les figures 5 et 6 se trouve illustré un troisième exemple de cellule déphaseuse CD de la première famille. Dans cet exemple la cellule déphaseuse CD reprend la structure du premier exemple décrit ci-avant en référence aux figures 1 et 2, mais au lieu d'une unique fente rayonnante elle en comporte plusieurs (N = 5), et chaque fente comporte un unique dispositif MEMS DC à pont PT. Bien entendu, le nombre N de fentes rayonnantes illustré n'est pas limitatif. Il peut prendre n'importe quelle valeur supérieure ou égale à deux. Par ailleurs, on peut envisager que l'une au moins des fentes ne soit pas équipée d'un dispositif MEMS.

[0055] Les fentes rayonnantes présentent, pour certaines, des longueurs différentes. Plus précisément, dans l'exemple illustré, le plan de masse supérieur PM2 comporte deux fentes rayonnantes d'extrémité FR1, présentant une première longueur résonante caractéristique L1, deux fentes rayonnantes intermédiaires FR2, présentant une deuxième longueur résonante caractéristique L2 supérieure à L1, et une fente rayonnante centrale FR3, présentant une troisième longueur résonante caractéristique L3 supérieure à L2. Dans une variante, les cinq fentes pourraient présenter cinq longueurs différentes.

[0056] Ici, les cinq fentes rayonnantes FR1 à FR3 sont sensiblement centrées par rapport au milieu du plan de masse supérieur PM2, et leur dispositif MEMS DC à pont PT est également installé en position centrée. Mais, on pourrait faire différemment. En effet, dans l'exemple décrit ci-avant on court-circuite les fentes non désirables, mais on pourrait également modifier la longueur résonante de certaines d'entre elles afin d'exciter plusieurs résonances et de bien maîtriser le déphasage entre fentes, avec le couplage.

[0057] La distance séparant deux fentes voisines peut être fixe ou variable. Elle varie selon les besoins. Elle est typiquement comprise entre environ 100 µm et 500 µm.

[0058] Il s'agit ici de n'utiliser qu'une ou plusieurs fentes rayonnantes en plaçant leurs dispositifs MEMS DC respectifs dans leur second état (non fléchi). La ou les fentes que l'on ne souhaite pas utiliser sont court-circuitées en plaçant leurs dispositifs MEMS DC dans leur premier état (fléchi). La variation de phase de l'onde réfléchie est donc ici obtenue par sélection de l'une des combinaisons de fentes court-circuitées et non court-circuitées. A chaque combinaison correspond en effet un déphasage particulier et discret fonction principalement du rapport entre la plus petite longueur résonante caractéristique et la plus grande longueur résonante caractéristique.

[0059] Chaque fente court-circuitée en son milieu agit

en quelque sorte comme un élément parasite pour la fente non court-circuitée voisine. Il s'agit ici d'exciter plusieurs résonances pour disposer d'une gamme de déphasages acceptable, tout en évitant une réponse très résonante conduisant à des performances faible bande. Le couplage entre les différentes résonances, réalisé par couplage entre une fente et un pavé (ou patch), permet d'atténuer la réponse résonante.

[0060] Sur les figures 7 et 8 se trouve illustré un quatrième exemple de cellule déphaseuse CD de la première famille. Il s'agit d'une variante de la cellule déphaseuse CD décrite ci-avant en référence aux figures 5 et 6.

[0061] Plus précisément, ce qui différencie le quatrième exemple de réalisation du troisième c'est le mode de réalisation des dispositifs MEMS. Dans cet exemple, chaque dispositif MEMS DC à pont PT est en effet remplacé par un dispositif MEMS DC' à poutre PE, du type de ceux décrits en référence aux figures 3 et 4.

[0062] Le fonctionnement de cette cellule déphaseuse CD est identique à celui de la cellule déphaseuse décrite ci-avant en référence aux figures 5 et 6.

[0063] Comme cela est illustré sur le cinquième exemple de la figure 9, il est possible de constituer une cellule déphaseuse CD appartenant à la première famille et adaptée à une double polarisation linéaire.

[0064] Pour ce faire, on utilise au moins une fente rayonnante FRV orientée selon une première direction (« verticale »), et au moins une fente rayonnante FRH orientée selon une seconde direction (« horizontale »), perpendiculaire à la première. Bien entendu, comme illustré sur la figure 9, la cellule déphaseuse CD peut comporter une ou plusieurs fentes rayonnantes FRV et une ou plusieurs fentes rayonnantes FRH, selon les besoins. La cellule est alors préférentiellement rectangulaire et présente une largeur sensiblement égale à la moitié de sa longueur.

[0065] Il est possible d'utiliser des fentes rayonnantes FRV et FRH ne comportant qu'un unique dispositif MEMS à pont PT ou à poutre PE, mais il est cependant préférable d'utiliser des fentes rayonnantes FRV et FRH comportant au moins deux dispositifs MEMS à pont PT ou à poutre PE (comme illustré).

[0066] On se réfère maintenant aux figures 10 à 18 pour décrire des exemples de réalisation de cellules déphaseuses appartenant à la deuxième famille.

[0067] Sur les figures 10 et 11 se trouve illustré un premier exemple de cellule déphaseuse CD comprenant un substrat SB comportant une face arrière (ou inférieure), solidarisée à un plan de masse inférieur PM1 définissant un pavé (ou « patch ») inférieur, et une face avant (ou supérieure), solidarisée à un plan de masse supérieur définissant un pavé (ou « patch ») supérieur PS. Les pavés supérieur PS et inférieur PM1 définissent une structure planaire résonante.

[0068] Le substrat SB est par exemple réalisé en Duroid ou en TMM et présente une épaisseur d' faible, typiquement de l'ordre de $\lambda/10$ à $\lambda/5$, où λ est la longueur

d'onde dans le vide des ondes à réfléchir, provenant de la source de l'antenne.

[0069] Le pavé supérieur PS est placé sensiblement parallèlement au plan de masse inférieur PM1 et présente des dimensions inférieures aux siennes. Par exemple, et comme illustré, le pavé supérieur PS est de forme rectangulaire, et préférentiellement carrée.

[0070] Par ailleurs, le pavé supérieur PS comporte une unique fente FP, préférentiellement de forme rectangulaire définie par deux grands côtés (longitudinaux), de longueur b, et deux petits côtés (transversaux), de largeur a.

[0071] Cette fente FP est par exemple réalisée par gravure du plan de masse constituant le pavé supérieur PS.

[0072] Dans cet exemple de réalisation, la fente FP est pourvue de trois dispositifs MEMS DC à pont PT constituant chacun un commutateur à deux états, du type de ceux décrits précédemment en référence aux figures 1 et 2. Bien entendu, la fente FP pourrait comporter un nombre différent de dispositifs MEMS DC dès lors que celui-ci est au moins égal à un.

[0073] Le principe de fonctionnement de cette cellule déphaseuse CD, et plus précisément de ses dispositifs MEMS DC, est identique à celui décrit précédemment en référence aux figures 1 et 2. Seul l'effet physique impliqué diffère. La fente FP est ici destinée à venir perturber le trajet des courants qui circulent dans le pavé supérieur PS. En faisant varier la longueur de la fente perturbatrice FP, par l'établissement de court(s)-circuit (s) choisi(s) au moyen de l'un au moins des dispositifs MEMS DC placé dans son premier état (fléchi), on fait varier les perturbations de trajet des courants, ce qui fait varier la longueur résonante caractéristique (ou longueur électrique) du pavé supérieur PS et donc le déphasage de l'onde réfléchie.

[0074] Il est important de noter que l'invention ne peut ici s'appliquer qu'à condition que le pavé supérieur PS soit résonant à $\lambda/2$.

[0075] Sur la figure 12 se trouve illustré un deuxième exemple de cellule déphaseuse CD de la deuxième famille. Il s'agit d'une variante de la cellule déphaseuse CD décrite ci-avant en référence aux figures 10 et 11. Plus précisément, ce qui différencie le premier exemple de réalisation du deuxième c'est le mode de réalisation des dispositifs MEMS.

[0076] Ici, chaque dispositif MEMS DC' est de type à poutre PE, comme dans l'exemple de réalisation décrit ci-avant en référence aux figures 3 et 4. Par ailleurs, dans cet exemple de réalisation, la fente perturbatrice FP est pourvue de trois dispositifs MEMS DC'. Mais, la fente perturbatrice FP pourrait comporter un nombre différent de dispositifs MEMS DC' dès lors que celui-ci est au moins égal à un.

[0077] Comme cela est illustré sur les figures 13 et 14, on peut envisager au moins des troisième et quatrième exemples de réalisation, variantes des premier et deuxième exemples de réalisation décrits ci-avant en

référence aux figures 10 à 12.

[0078] Plus précisément, le troisième exemple illustré sur la figure 13 comporte deux trous (ou traversées) métallisés TM permettant de coupler électriquement le pavé supérieur PS et le plan de masse inférieur PM1 de part et d'autre des deux extrémités opposées de la fente perturbatrice FP. Ces trous métallisés MT sont destinés à alimenter en courant continu le pavé supérieur PS de manière à polariser le dispositif MEMS.

[0079] Dans le quatrième exemple illustré sur la figure 14, le pavé supérieur PS comporte deux petites fentes perturbatrices F1 et F2, dont la résonance correspond approximativement à une longueur égale au quart de la longueur d'onde, placées sensiblement en regard l'une de l'autre et débouchant sur des bords opposés, non rayonnants. Chaque petite fente F1, F2 est munie d'au moins un (ici deux) dispositif MEMS à pont PT (mais il pourrait s'agir d'une poutre PE). Par ailleurs, un trou (ou traversée) métallisé TM permet de coupler électriquement le pavé supérieur PS et le plan de masse inférieur PM1 dans une partie centrale située entre les deux petites fentes perturbatrices F1 et F2. Ce trou métallisé MT est destiné à alimenter en courant continu le pavé supérieur PS de manière à polariser le dispositif MEMS. On peut envisager de réaliser deux petites fentes perturbatrices quart d'onde, ou plus, débouchant sur l'un au moins des côtés non rayonnants.

[0080] Bien entendu, on peut également envisager que le pavé supérieur PS (sensiblement carré) ne comprenne qu'une fente rectangulaire débouchant sur un côté non rayonnant du carré et comportant au moins deux dispositifs MEMS DC ou DC'.

[0081] Comme cela est illustré sur le cinquième exemple de la figure 15, il est possible de constituer une cellule déphaseuse CD appartenant à la deuxième famille et adaptée à une double polarisation linéaire.

[0082] Pour ce faire, on peut par exemple utiliser au moins deux petites fentes perturbatrices F1 et F2 orientées selon une première direction, et au moins deux petites fentes perturbatrices F3 et F4 orientées selon une seconde direction, perpendiculaire à la première. On entend ici par « petite fente » une fente perturbatrice FP du type de celle présentée ci-avant en référence à la figure 14.

[0083] Il est possible d'utiliser des petites fentes perturbatrices F1 à F4, de longueur quart d'onde, ne comportant qu'un unique dispositif MEMS à pont PT ou à poutre PE, mais il est cependant préférable d'utiliser des petites fentes perturbatrices F1 à F4 comportant au moins deux dispositifs MEMS à pont PT ou à poutre PE (comme illustré). Le nombre de dispositifs MEMS utilisés dans chaque fente dépend du nombre d'états de phase que l'on souhaite obtenir.

[0084] Comme dans l'exemple précédent, un trou (ou traversée) métallisé(e) TM permet de coupler électriquement le pavé supérieur PS et le plan de masse inférieur PM1 dans une partie centrale située entre les quatre petites fentes perturbatrices F1 à F4, de longueur

quart d'onde. Ce trou métallisé MT est destiné à alimenter en courant continu le pavé supérieur PS de manière à polariser le dispositif MEMS.

[0085] Dans les trois derniers exemples de réalisation (figure 13 à 15), l'alimentation du pavé supérieur PS s'effectue au moyen d'au moins un trou métallisé TM. Mais, en variante cette alimentation peut s'effectuer au moyen d'une ligne quart d'onde à forte impédance.

[0086] Sur les figures 16 à 18 se trouve illustré un sixième exemple de cellule déphaseuse CD comprenant un substrat SB comportant une face arrière (ou inférieure), solidarisée à un plan de masse inférieur PM1, et une face avant (ou supérieure), solidarisée à un plan de masse supérieur définissant un pavé (ou patch) supérieur PS' de forme rectangulaire. Le pavé supérieur PS' et le plan de masse inférieur PM1 constituent une structure pavée court circuitée qui définit une structure planaire résonante. Il est important de noter que la longueur du pavé supérieur PS est choisie de sorte qu'il soit résonant à $\lambda/4$.

[0087] Le substrat SB est par exemple réalisé en Duroid ou en TMM et présente une épaisseur d' faible, typiquement de l'ordre de $\lambda/10$ à $\lambda/5$, où λ est la longueur d'onde dans le vide des ondes à réfléchir, provenant de la source de l'antenne.

[0088] Le pavé supérieur PS' est placé sensiblement parallèlement au plan de masse inférieur PM1 et présente des dimensions très inférieures aux siennes au moins selon une direction.

[0089] Comme illustré sur la figure 18, le plan de masse inférieur PM1 comporte au moins une petite « pastille » conductrice PI, isolée de sa propre partie conductrice par une zone non conductrice Z, réalisée par exemple par gravure. Chaque petite pastille conductrice PI est raccordée électriquement au pavé supérieur PS' par l'intermédiaire d'un trou (ou traversée) métallisé TM. Par ailleurs, chaque petite pastille conductrice PI est de préférence de forme rectangulaire, et plus préférentiellement carrée.

[0090] Chaque trou métallisé TM est raccordé au pavé supérieur PS' en un endroit choisi, les différents endroits étant préférentiellement sensiblement alignés suivant une droite parallèle aux côtés longitudinaux du dit pavé supérieur PS.

[0091] Par ailleurs, chaque petite pastille conductrice PI est munie d'un dispositif MEMS à pont PT ou à poutre PE (comme illustré sur la figure 18), du type de ceux décrits précédemment. Chaque dispositif MEMS DC' (ou DC) est destiné à établir une liaison électrique entre son petit pavé inférieur PI et la partie conductrice du plan de masse inférieur PM1, lorsqu'il est placé dans son premier état (fléchi). Ainsi, lorsque l'un des dispositifs MEMS DC' (ou DC) est placé dans son premier état (fléchi), le trou métallisé TM, qui est raccordé à sa petite pastille conductrice PI, court-circuite le pavé supérieur PS' sensiblement à l'endroit où il lui est raccordé, ce qui a pour conséquence de faire varier sa longueur résonante caractéristique (ou longueur électrique) et donc

le déphasage de l'onde réfléchi.

[0092] Cette structure est avantageuse car ses dispositifs étant placés sur la face arrière ils sont davantage protégés des rayonnements.

[0093] Dans l'exemple illustré sur les figures 16 et 17, cinq trous métallisés TM permettent de définir cinq courts-circuits correspondant à au moins six longueurs résonantes différentes pour le pavé supérieur PS'. Par conséquent, en commandant de façon séparée les différents dispositifs MEMS DC' (ou DC), il est possible d'obtenir plusieurs déphasages différents de l'onde réfléchi par la cellule déphaseuse CD.

[0094] Bien entendu, la cellule déphaseuse CD peut comporter un nombre de dispositifs MEMS (DC ou DC') différent de cinq, dès lors que celui-ci est au moins égal à un. Le nombre de dispositifs MEMS utilisé dépend du nombre d'états de phase que l'on souhaite obtenir.

[0095] Il est important de noter que dans cet exemple de réalisation, à la fréquence de résonance, la somme de la longueur du dipôle « actif » (c'est-à-dire comprise entre le court-circuit et l'autre extrémité du dipôle) et de la longueur du court-circuit doit être égale au quart de la longueur d'onde du mode guidé λ_g .

[0096] Cet exemple de réalisation peut permettre la constitution d'une cellule déphaseuse à double polarisation linéaire, du type de celle illustrée sur la figure 9. Il faut pour ce faire combiner des dipôles « horizontaux » et des dipôles « verticaux » du type de celui décrit ci-avant en référence aux figures 16 à 18.

[0097] On se réfère maintenant aux figures 19 et 20 pour décrire un exemple de réalisation de cellule déphaseuse appartenant à la troisième famille.

[0098] Cet exemple de réalisation constitue en quelque sorte une structure intermédiaire entre les exemples de réalisation illustrés sur les figures 5 à 8 et les exemples de réalisation illustrés sur les figures 10 à 12.

[0099] Ici, la cellule déphaseuse CD comprend un substrat SB comportant une face arrière (ou inférieure), solidarisée à un plan de masse inférieur PM1, et une face avant (ou supérieure), solidarisée à un pavé supérieur PS.

[0100] Le substrat SB est par exemple réalisé en Duroid ou en TMM et présente une épaisseur d égale à $\lambda/4$, où λ est la longueur d'onde dans le vide des ondes à réfléchir, provenant de la source de l'antenne.

[0101] Le substrat SB est traversé, sur sa périphérie, par des trous (ou traversées) métallisé(e)s TM raccordés au plan de masse inférieur PM1 et entourant le pavé supérieur PS de manière à définir une cavité résonante. Par exemple, pour un fonctionnement dans la bande Ku, le pavé supérieur PS est un carré de longueur comprise entre environ 15 mm et environ 17 mm.

[0102] Par ailleurs, le pavé supérieur PS comporte au moins deux (ici cinq) fentes rayonnantes comportant chacune un unique dispositif MEMS (DC ou DC') à pont PT ou à poutre PE. Bien entendu, le nombre N de fentes rayonnantes illustré n'est pas limitatif. Il peut prendre n'importe quelle valeur supérieure ou égale à deux. Par

exemple, les fentes présentent un grand côté de longueur comprise entre environ 5 mm et environ 7 mm, et un petit côté de largeur comprise entre environ 0,3 mm et environ 0,7 mm.

[0103] Les fentes rayonnantes présentent, pour certaines, des longueurs différentes. Plus précisément, dans l'exemple illustré, le pavé supérieur PS comporte deux fentes rayonnantes d'extrémité FR1, présentant une première longueur résonante caractéristique L1, deux fentes rayonnantes intermédiaires FR2, présentant une deuxième longueur résonante caractéristique L2 supérieure à L1, et une fente rayonnante centrale FR3, présentant une troisième longueur résonante caractéristique L3 supérieure à L2. Dans une variante, les cinq fentes pourraient présenter cinq longueurs différentes.

[0104] Ici, les cinq fentes rayonnantes FR1 à FR3 sont sensiblement centrées par rapport au milieu du pavé supérieur PS, et leurs dispositifs MEMS DC à pont PT (ou DC' à poutre PE) sont également installés en position centrée (par exemple).

[0105] Il s'agit ici de n'utiliser qu'une ou plusieurs fentes rayonnantes en plaçant leurs dispositifs MEMS DC respectifs dans leur second état (non fléchi). La ou les fentes que l'on ne souhaite pas utiliser sont court-circuitées en plaçant leurs dispositifs MEMS DC dans leur premier état (fléchi). La variation de phase de l'onde réfléchi est donc ici obtenue par sélection de l'une des combinaisons de fentes court-circuitées et non court-circuitées. A chaque combinaison correspond en effet un déphasage particulier et discret fonction principalement du rapport entre la plus petite longueur résonante caractéristique et la plus grande longueur résonante caractéristique.

[0106] Chaque fente court-circuitée en son milieu agit en quelque sorte comme un élément parasite pour la fente non court-circuitée voisine. Par conséquent, elle est susceptible d'améliorer la bande passante de la fente non court-circuitée.

[0107] Dans l'exemple décrit ci-avant on court-circuite les fentes non désirables, mais on pourrait procéder différemment. Par exemple, on peut modifier la longueur résonante de certaines fentes afin d'exciter plusieurs résonances et de bien maîtriser le déphasage entre fentes, avec le couplage. Cela peut par exemple se faire en plaçant un ou plusieurs (par exemple deux ou trois) dispositifs MEMS, de préférence de type cantilever DC', dans les parties d'extrémités opposées des fentes, et non dans leur partie centrale.

[0108] Bien entendu, on peut utiliser des fentes de formes et dimensions sensiblement identiques.

[0109] Certains trous (ou traversées) métallisé(e)s TM, par exemple un sur deux, peuvent être avantageusement utilisés pour acheminer les commandes de tension au niveau des différents dispositifs MEMS DC ou DC'.

[0110] Dans ce qui précède, on a décrit des cellules comportant des fentes simples de longueur quart d'onde

ou demie onde. Mais, il est possible de réaliser des cellules comportant des fentes composées, comme illustré sur les figures 21 et 22.

[0111] Plus précisément, les cellules des exemples de réalisation illustrés sur les figures 21 et 22 reprennent sensiblement la structure des cellules illustrées sur les figures 10 à 12. Ici, chaque fente de longueur demie onde est constituée par deux demies fentes de longueur quart d'onde. Les dispositifs MEMS DC ou DC' ont été volontairement omis afin de ne pas surcharger les dessins.

[0112] Dans l'exemple illustré sur la figure 21, deux pavés supérieurs PS1 et PS2 sont placés sensiblement parallèlement au plan de masse inférieur PM1 et à distance de celui-ci. Ces deux pavés supérieurs PS1 et PS2 sont espacés l'un de l'autre d'une distance choisie de manière à définir entre eux une zone capacitive. Ils présentent des formes différentes et comportent chacun une demie fente quart d'onde FR1, FR2. Ces deux demies fentes FR1 et FR2 constituent ensemble une fente demie onde et une zone inductive dont l'effet est avantageusement compensé (au moins partiellement) par la zone capacitive inter pavés.

[0113] Par exemple les pavés présentent une largeur égale à environ 3,7 mm et sont séparés d'une distance, formant une fente, égale à environ 0,1 mm.

[0114] Une telle structure dissymétrique offre une réponse en fréquence de bonne stabilité en raison d'un couplage efficace entre les deux résonances.

[0115] Dans l'exemple illustré sur la figure 22, trois pavés supérieurs PS1, PS2 et PS3 sont placés sensiblement parallèlement au plan de masse inférieur PM1 et à distance de celui-ci. Les deux pavés supérieurs PS1 et PS3 sont sensiblement identiques et encadrent le pavé PS2. Par ailleurs, les deux pavés supérieurs PS1 et PS3 comportent chacun une demie fente quart d'onde FR1, FR4, tandis que le pavé supérieur PS2 comporte deux demies fentes quart d'onde FR2 et FR3 débouchant sur deux côtés opposés, l'une placée en regard de la demie fente FR1 du pavé supérieur PS1 et définissant avec elle une première fente demie onde, et l'autre placée en regard de la demie fente FR4 du pavé supérieur PS3 et définissant avec elle une seconde fente demie onde.

[0116] Une telle structure symétrique offre également une réponse en fréquence de bonne stabilité en raison d'un couplage efficace entre les résonances.

[0117] De nombreuses autres combinaisons de pavés supérieurs peuvent être envisagées. Ainsi, on peut envisager une combinaison de plusieurs pavés supérieurs séparés les uns des autres par des espaces constituant des fentes de largeurs choisies avec lesquelles ils constituent ce que l'homme de l'art appelle une « croix de Jérusalem ». En réduisant, avec un dispositif MEMS, la largeur des fentes en regard, on peut agir sur la fréquence de résonance d'une telle structure, et ainsi modifier la phase de l'onde réfléchie. Une structure duale, comprenant des lignes métalliques de la forme d'une

croix de Jérusalem est notamment décrite dans le document de C. Simovski et al, « High-impedance surfaces with angular and polarization stability », 27th ESA Antenna Technology Workshop on Innovative Periodic Antennas, pp 176-184. La résonance d'une telle structure est principalement assurée par les parties inductives et capacitives propres à la croix de Jérusalem, et non plus par la résonance des pavés. Cette structure, de type dit « métamatériau », fonctionne alors selon des bandes de fréquences beaucoup plus basses.

[0118] Il est également possible d'adjoindre aux cellules déphaseuses, qui comportent au moins un pavé muni d'au moins une fente FP, décrites ci-avant, un ou plusieurs pavés auxiliaires et au moins un dispositif MEMS de couplage, de manière à faire varier la dimension du pavé selon l'une au moins de ses deux directions (X et Y), et de préférence suivant sa longueur X qui est parallèle à la direction définissant la longueur b (ou grand côté) des fentes FP. Une cellule déphaseuse CD de ce type est illustrée sur la figure 23.

[0119] Plus précisément, la cellule déphaseuse CD illustrée sur la figure 23 part d'une structure du type de celle illustrée sur les figures 10 à 12. Elle comprend donc un substrat SB comportant une face arrière (ou inférieure), solidarisée à un plan de masse inférieur PM1, et une face avant (ou supérieure), solidarisée à au moins un pavé (ou patch) supérieur PS et à au moins un pavé auxiliaire PA1, PA2. Ici, on a représenté deux pavés auxiliaires PA1 et PA2, placés de part et d'autre de deux côtés parallèles du pavé PS (eux-mêmes parallèles aux grands côtés (Y) de la fente FP). Mais, on pourrait envisager de ne prévoir qu'un seul pavé auxiliaire PA. Par ailleurs, on peut également envisager, en variante ou en complément, de placer un pavé auxiliaire le long de l'un au moins des deux côtés non rayonnants du pavé PS (parallèles au petit côté (X) de la fente FP).

[0120] Les pavés supérieurs PS, PA1 et PA2 et le plan de masse inférieur PM1 définissent une structure planaire résonante.

[0121] La cellule déphaseuse CD comporte également au moins un dispositif MEMS de couplage DC ou DC' installé entre le pavé PS et un pavé auxiliaire PA1, PA2 et chargé d'établir, ou non, un contact entre ces pavés selon l'état dans lequel il est placé.

[0122] Dans l'exemple illustré le pavé PS est susceptible d'être relié à chaque pavé auxiliaire PA1, PA2 par l'intermédiaire de trois dispositifs MEMS DC', un central et deux d'extrémité. Les deux dispositifs MEMS DC' d'extrémité sont préférentiellement placés de façon symétrique par rapport au centre du pavé auxiliaire PA1, PA2.

[0123] Les différents dispositifs MEMS DC' ou DC qui relient le pavé PS à l'un des pavés auxiliaires PA1, PA2 sont préférentiellement commandés par un même courant de commande. En d'autres termes, ils sont préférentiellement placés simultanément dans un même état de manière à assurer soit une liaison électrique, soit une absence de liaison électrique, entre le pavé PS et le pa-

vé auxiliaire PA1, PA2 concerné.

[0124] Lorsqu'une liaison est établie entre le pavé PS et un pavé auxiliaire PA1, PA2, la longueur physique (suivant X) du pavé PS peut donc être augmentée. En agissant simultanément sur le couple longueur du pavé PS et longueur de la fente FP, on peut alors modifier simultanément le couple déphasage de l'onde incidente, sur une gamme supérieure à 360° , et dispersion de ce déphasage en fréquence. La possibilité de maîtriser la dispersion de ce déphasage en fréquence est notamment intéressante pour compenser l'illumination dispersive en fréquence d'un réseau réflecteur plan par une source primaire.

[0125] Il est important de noter que plusieurs (au moins deux) pavés auxiliaires, de préférence de mêmes dimensions, peuvent être placés parallèlement les uns aux autres, sur l'un au moins des deux côtés du pavé PS, les pavés étant reliés deux à deux par un ou plusieurs dispositifs MEMS de couplage DC' ou DC, et de préférence trois. Cela permet de faire varier encore plus la longueur physique du pavé PS, en fonction des besoins, en jouant sur les états respectifs des dispositifs MEMS DC' ou DC couplant les pavés auxiliaires.

[0126] Par ailleurs, les pavés auxiliaires qui sont situés de part et d'autre des deux côtés parallèles du pavé PS ne présentent pas obligatoirement les mêmes dimensions. C'est notamment le cas dans l'exemple illustré sur la figure 23, où le pavé auxiliaire PA1 présente une longueur (suivant la direction X) plus grande que celle du pavé auxiliaire PA2, mais une largeur (suivant la direction Y) sensiblement identique à celle du pavé auxiliaire PA2. Par exemple, si la longueur du pavé PS est égale à L, les longueurs des pavés auxiliaires PA1 et PA2 peuvent être respectivement égales à $L/2$ et $L/3$.

[0127] Comme dans les exemples précédemment décrits, le pavé PS peut comporter un ou plusieurs dispositifs MEMS DC ou DC'. Le nombre de dispositifs MEMS utilisés dépend du nombre d'états de déphasage que l'on souhaite obtenir.

[0128] Ce type de cellule déphaseuse CD permet donc de faire varier dynamiquement, en fonction des besoins, le déphasage et la dispersion de phase en fréquence, ce qui est particulièrement avantageux pour une antenne active (ou reconfigurable). Le choix du déphasage et de la dispersion du déphasage est en effet fixé par la longueur physique du pavé PS et par la longueur électrique de chaque fente FP de chaque pavé PS, selon les états respectifs des différents dispositifs MEMS utilisés.

[0129] Afin de constituer une cellule déphaseuse CD de type passif, pour une antenne non reconfigurable, on peut s'affranchir des dispositifs MEMS au niveau des fentes. Plus précisément, comme illustré sur les figures 24 et 25, on peut utiliser une structure du type de celle illustrée sur les figures 10 à 12, mais sans dispositif MEMS.

[0130] Une telle structure CD comprend donc un substrat SB comportant une face arrière (ou inférieure),

solidarisée à un plan de masse inférieur PM1, et une face avant (ou supérieure), solidarisée à au moins un pavé (ou patch) supérieur PS comportant au moins une fente FP. Le pavé supérieur PS et le plan de masse inférieur PM1 définissent une structure planaire résonante.

[0131] En choisissant judicieusement les dimensions du pavé supérieur PS, et notamment sa longueur x (suivant la direction X), et de la fente FP, et notamment sa longueur b (suivant la direction Y), ainsi que l'épaisseur d du substrat SB, on peut imposer à la fois un déphasage choisi et une dispersion de phase en fréquence choisie.

[0132] Les dimensions et épaisseurs peuvent être déduites de courbes du type de celles illustrées sur la figure 26, donnant l'évolution du déphasage $\Delta\Phi$ en fonction de la longueur b de la fente FP, pour plusieurs valeurs différentes x de longueur de pavé supérieur PS et pour une épaisseur d' de substrat SB (par exemple égale à environ 2 mm).

[0133] Lorsque le pavé supérieur PS ne comporte qu'une seule fente FP, celle-ci est de préférence placée sensiblement en son centre. Mais, le pavé supérieur PS pourrait comporter plusieurs fentes FP, éventuellement de différentes dimensions.

[0134] Une telle cellule déphaseuse CD permet d'obtenir n'importe quel déphasage, et notamment des déphasages (très) supérieurs à 360° . Elle permet de maîtriser également la dispersion de ce déphasage en fréquence. Les cellules déphaseuses de l'art antérieur, qui permettent d'obtenir de telles caractéristiques, comprennent trois pavés placés parallèlement les uns au dessus des autres et au dessus d'un plan de masse inférieur (elles sont notamment décrites dans l'article de J.A. Encinar et al, "Design of a three-layer printed reflectarray for dual polarization and dual coverage", 27th ESA Antenna workshop, Santiago de Compostel, Spain, March 2004). Les cellules déphaseuses CD selon l'invention ne comprennent qu'un seul niveau de métallisation (pavé supérieur), en plus du plan de masse inférieur PM1, et sont donc beaucoup plus simples à réaliser que les cellules déphaseuses de l'art antérieur.

[0135] L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation de cellule déphaseuse et d'antenne réseau réflecteur décrits ci-avant, seulement à titre d'exemple, mais elle englobe toutes les variantes que pourra envisager l'homme de l'art dans le cadre des revendications ci-après.

Revendications

1. Cellule déphaseuse (CD), pour une antenne réseau réflecteur, définie par une longueur résonante caractéristique, **caractérisée en ce qu'elle** comprend en au moins un endroit choisi un dispositif électromécanique micronique (DC, DC'), de type MEMS, propre à être placé dans au moins deux états diffé-

- rents permettant et interdisant respectivement l'établissement d'un court-circuit destiné à faire varier ladite longueur résonante, de manière à faire varier le déphasage d'une onde à réfléchir présentant au moins une polarisation linéaire.
2. Cellule selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** ledit dispositif MEMS (DC) comporte un pont flexible conducteur (PT) dont les états sont commandés par deux électrodes de commande sensiblement superposées et dont l'une est constituée par ledit pont (PT).
 3. Cellule selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** ledit dispositif MEMS (DC') comprend une poutre flexible conductrice (PE) suspendue dont les états sont commandés par une électrode de commande (EC') placée en dessous d'une partie suspendue de ladite poutre (PE), laquelle constitue une autre électrode.
 4. Cellule selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce qu'elle** comporte une structure plane résonante comprenant un pavé supérieur (PS) placé sensiblement parallèlement à un plan de masse inférieur (PM1), à une distance choisie, ledit pavé supérieur (PS) comportant au moins une fente (FP) munie d'au moins un dispositif MEMS (DC, DC') contrôlant la longueur résonante caractéristique dudit pavé supérieur (PS).
 5. Cellule selon la revendication 4, **caractérisée en ce qu'elle** comprend une unique fente (FP) munie d'au moins deux dispositifs MEMS (DC, DC'), permettant de définir au moins trois longueurs résonantes (FP) différentes selon les états dans lesquels ils sont respectivement placés.
 6. Cellule selon l'une des revendications 4 et 5, **caractérisée en ce qu'elle** comprend au moins un pavé auxiliaire (PA1, PA2) placé le long de l'un au moins des côtés dudit pavé supérieur (PS), à une distance choisie de celui-ci, et au moins un dispositif MEMS de couplage (DC', DC), placé entre ledit pavé auxiliaire (PA1, PA2) et ledit pavé supérieur (PS) et permettant d'établir, ou non, une liaison électrique entre lesdits pavés auxiliaire et supérieur selon l'état dans lequel il est placé.
 7. Cellule selon la revendication 6, **caractérisée en ce qu'elle** comprend au moins deux pavés auxiliaires voisins parallèles entre eux, de dimensions sensiblement identiques et placés le long de l'un au moins des côtés dudit pavé supérieur (PS), et au moins un dispositif MEMS de couplage (DC', DC) placé entre lesdits pavés auxiliaires voisins et permettant d'établir, ou non, une liaison électrique entre eux selon l'état dans lequel il est placé.
 8. Cellule selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** ledit pavé supérieur (PS) est sensiblement carré, et **en ce qu'elle** comprend au moins une fente rectangulaire débouchant sur un côté non rayonnant dudit carré et comportant au moins deux dispositifs MEMS (DC, DC'), permettant de définir au moins trois longueurs résonantes différentes selon les états dans lesquels ils sont respectivement placés.
 9. Cellule selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** ledit pavé supérieur (PS) est sensiblement carré, et **en ce qu'elle** comprend au moins de première (F1) et deuxième (F2) fentes rectangulaires placées sensiblement en regard l'une de l'autre et débouchant sur deux côtés opposés dudit carré, non rayonnants, chaque fente (F1, F2) comportant au moins deux dispositifs MEMS (DC, DC'), permettant de définir au moins trois longueurs résonantes différentes selon les états dans lesquels ils sont respectivement placés.
 10. Cellule selon la revendication 9, **caractérisée en ce qu'elle** comprend au moins de troisième (F3) et quatrième (F4) fentes rectangulaires placées sensiblement en regard l'une de l'autre et débouchant sur deux autres côtés opposés dudit carré, chaque fente (F3, F4) comportant au moins deux dispositifs MEMS (DC, DC'), permettant de définir au moins trois autres longueurs résonantes différentes selon les états dans lesquels ils sont respectivement placés, de manière à permettre une double polarisation linéaire.
 11. Cellule selon l'une des revendications 4 à 10 en combinaison avec la revendication 2, **caractérisée en ce que** chaque fente (FP, F1-F4) est rectangulaire, et **en ce que** chaque pont (PT) de dispositif MEMS (DC) est placé sensiblement parallèlement à des grands côtés de ladite fente.
 12. Cellule selon l'une des revendications 4 à 10 en combinaison avec la revendication 3, **caractérisée en ce que** chaque fente (FP, F1-F4) est rectangulaire, et **en ce que** chaque poutre (PE) de dispositif MEMS (DC') est placée sensiblement perpendiculairement à des grands côtés de ladite fente.
 13. Cellule selon l'une des revendications 4, 5, 11 et 12, **caractérisée en ce que** ledit pavé supérieur (PS) présente des dimensions inférieures aux dimensions du plan de masse inférieur (PM1), et **en ce qu'elle** comporte des traversées métallisées (TM) raccordées audit plan de masse inférieur (PM1) et entourant ledit pavé supérieur (PS) de manière à définir une cavité résonante.
 14. Cellule selon l'une des revendications 4 à 13, ca-

- ractérisée en ce que** ladite structure planaire résonante comprend au moins deux pavés supérieurs (PS1, PS2) distants l'un de l'autre d'une distance choisie, chaque pavé comportant au moins une demie fente (FR1, FR2, FR3, FR4) débouchant sur l'un de ses côtés et deux demies fentes en regard constituant une fente.
- 5
15. Cellule selon l'une des revendications 4 à 13, **caractérisée en ce que** ladite structure planaire résonante comprend plusieurs pavés supérieurs distants les uns des autres par des espaces constituant des fentes de largeurs choisies, lesdits pavés et lesdites fentes constituant une « croix de Jérusalem ».
- 10
16. Cellule selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce qu'elle** comporte, d'une part, une structure planaire résonante comprenant un pavé supérieur (PS) rectangulaire placé sensiblement parallèlement à un plan de masse inférieur (PM1), à une distance choisie, ledit plan de masse inférieur (PM1) définissant au moins une pastille (PI) intégralement entourée d'une zone non conductrice (Z), placée en dessous dudit pavé supérieur (PS) et de dimensions inférieures aux dimensions de ce dernier, et d'autre part, au moins une traversée métallisée (TM) reliant ledit pavé supérieur (PS) à ladite pastille (PI), et **en ce que** ledit dispositif MEMS (DC, DC') est placé au niveau de ladite zone (Z) de manière à établir dans l'un de ses états une liaison entre ladite pastille (PI) et le reste dudit plan de masse (PM1) pour contrôler la longueur résonante dudit pavé supérieur (PS).
- 15
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
17. Cellule selon la revendication 16, **caractérisée en ce que** ledit plan de masse inférieur (PM1) définit au moins deux pastilles (PI) intégralement entourées d'une zone non conductrice (Z), placées en dessous dudit pavé supérieur (PS) et de dimensions inférieures aux dimensions de ce dernier, et **en ce qu'elle** comporte, d'une part, au moins deux traversées métallisées (TM) reliant respectivement le pavé supérieur (PS) à l'une desdites pastilles (PI), et d'autre part, au moins deux dispositifs MEMS (DC, DC') placés chacun au niveau de l'une des zones (ZI) de manière à établir des liaisons entre l'une au moins desdites pastilles (PI) et le reste dudit plan de masse (PM1), permettant ainsi de définir au moins trois longueurs résonantes différentes du pavé supérieur (PS) selon les états dans lesquels ils sont respectivement placés.
18. Cellule selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce qu'elle** comporte un plan de masse supérieur (PM2) comprenant au moins une fente rayonnante (FR), pourvue d'un dispositif MEMS (DC, DC') contrôlant sa longueur résonante caractéristique, un plan de masse inférieur (PM1), et des traversées métallisées (TM) reliant ledit plan de masse inférieur (PM1) à des parties périphériques dudit plan de masse supérieur (PM2) de manière à définir une cavité résonante.
19. Cellule selon la revendication 18, **caractérisée en ce que** ledit plan de masse supérieur (PM2) comprend au moins deux fentes rayonnantes (FR1, FR2, FR3) pourvues chacune d'un unique dispositif MEMS (DC, DC') contrôlant leur longueur résonante caractéristique.
20. Cellule selon la revendication 19, **caractérisée en ce que** chaque dispositif MEMS (DC, DC') est placé sensiblement au milieu d'une fente rayonnante (FR1, FR2, FR3).
21. Cellule selon l'une des revendications 19 et 20, **caractérisée en ce que** lesdites fentes (FR1, FR2, FR3) sont sensiblement parallèles entre elles et présentent des longueurs différentes.
22. Cellule selon la revendication 18, **caractérisée en ce que** ledit plan de masse supérieur (PM2) comprend une fente rayonnante (FR), pourvue d'au moins deux dispositifs MEMS (DC, DC') permettant de définir au moins trois longueurs résonantes différentes de fente selon les états dans lesquels ils sont respectivement placés.
23. Cellule selon l'une des revendications 18 à 22, **caractérisée en ce que** ledit plan de masse supérieur (PM2) comprend au moins une fente rayonnante (FRV) rectangulaire présentant des grands côtés parallèles à une première direction, et au moins une autre fente rayonnante (FRV) rectangulaire présentant des grands côtés parallèles à une seconde direction perpendiculaire à la première, de manière à permettre une double polarisation linéaire.
24. Cellule déphaseuse (CD), pour une antenne réseau réflecteur, **caractérisée en ce qu'elle** comprend une structure planaire résonante comprenant un pavé supérieur (PS) placé sensiblement parallèlement à un plan de masse inférieur (PM1), à une distance choisie, et comportant au moins une fente (FP), les dimensions du pavé (PS) et de la fente (FP) et ladite distance étant choisies de manière à imposer un déphasage choisi et une dispersion de phase en fréquence choisie à une onde à réfléchir présentant au moins une polarisation linéaire.
25. Antenne réseau réflecteur, **caractérisée en ce qu'elle** comprend au moins deux cellules déphaseuses (CD) selon l'une des revendications précédentes.

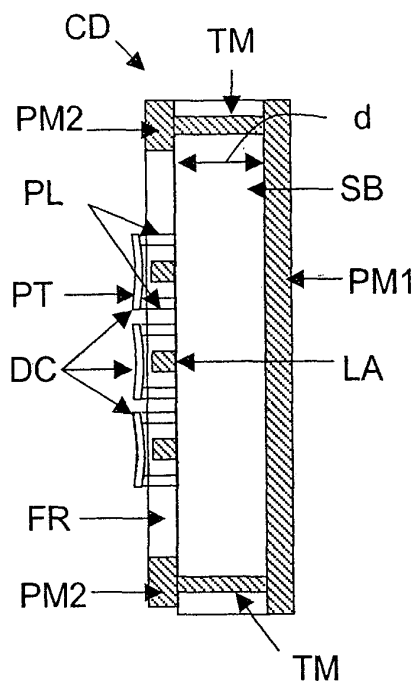


FIG. 2

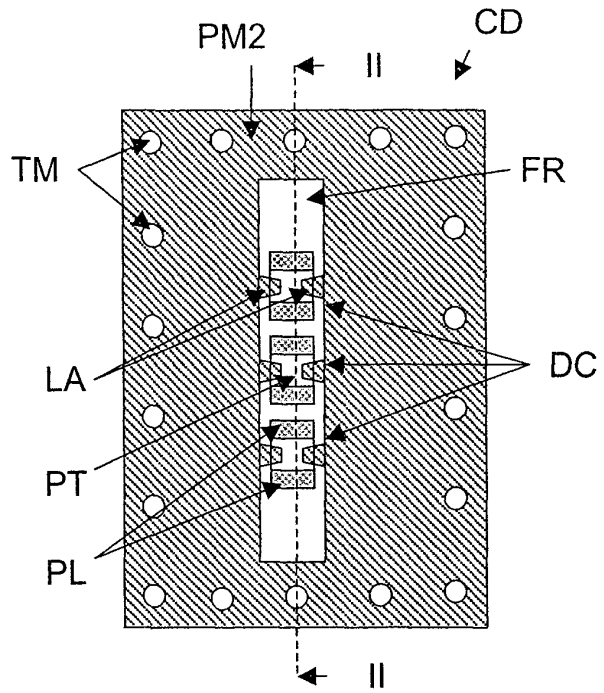


FIG. 1

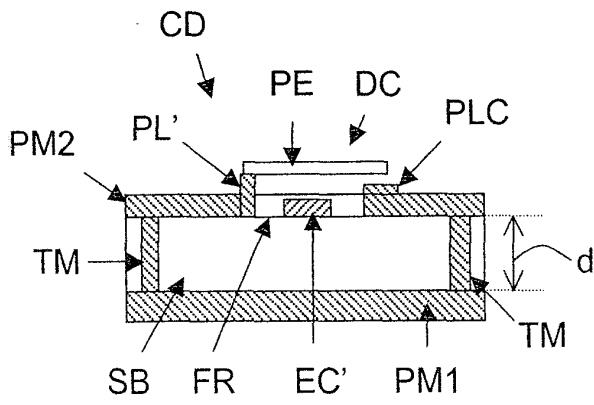


FIG. 4

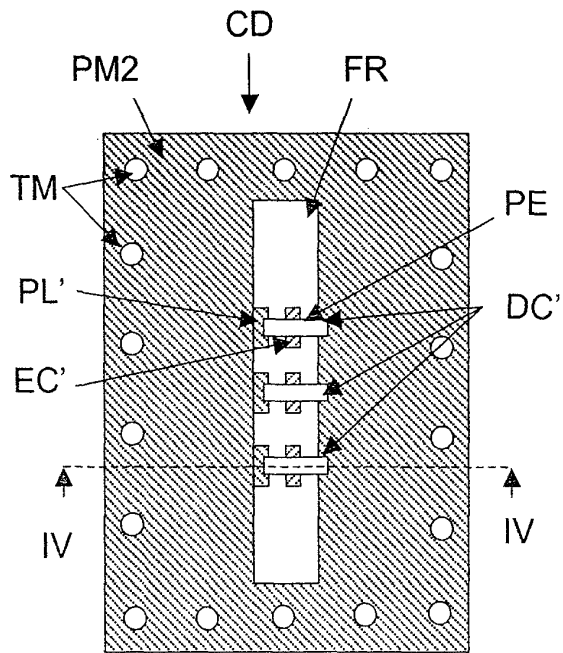


FIG. 3

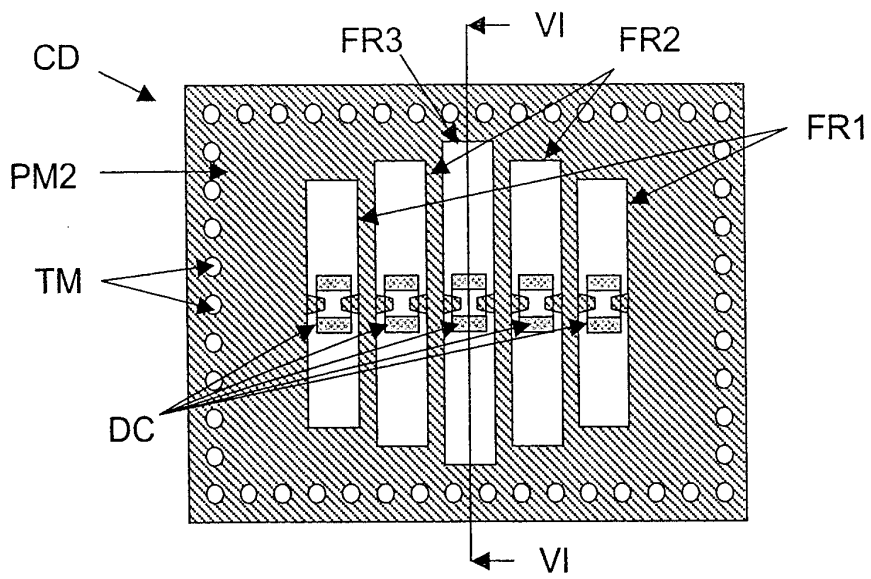


FIG. 5

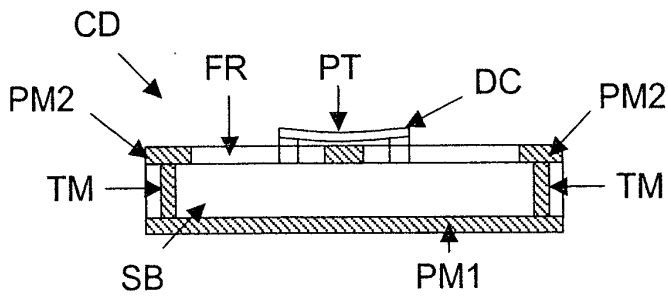


FIG. 6

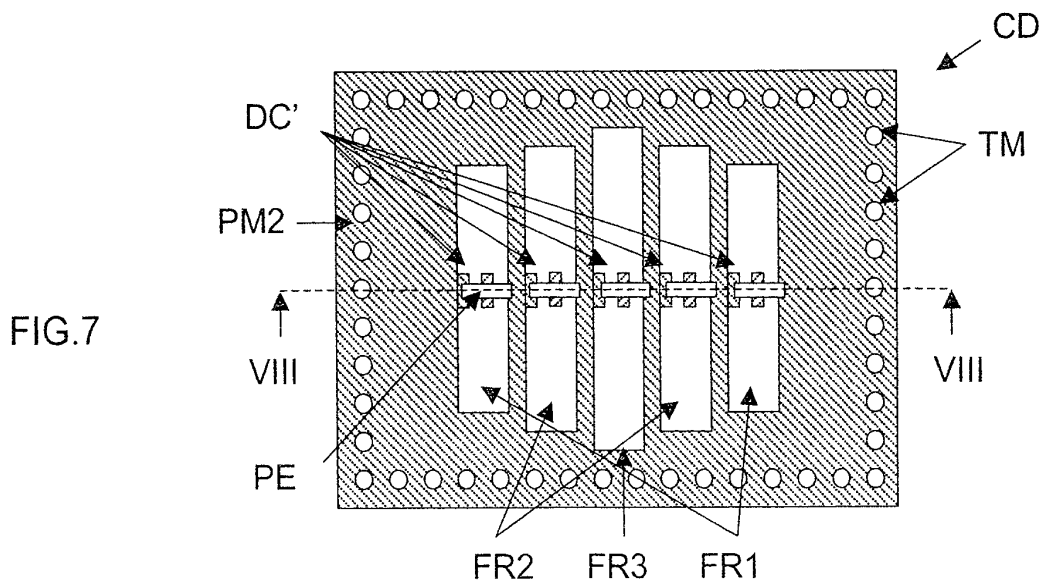


FIG. 7

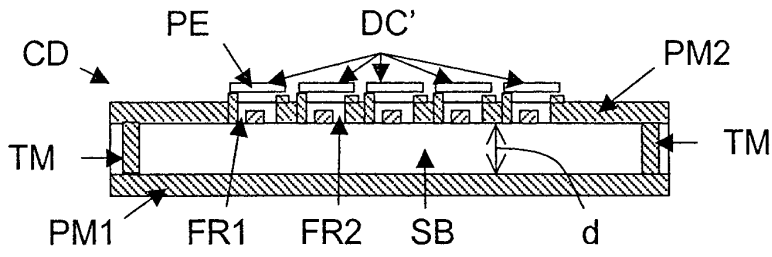


FIG. 8

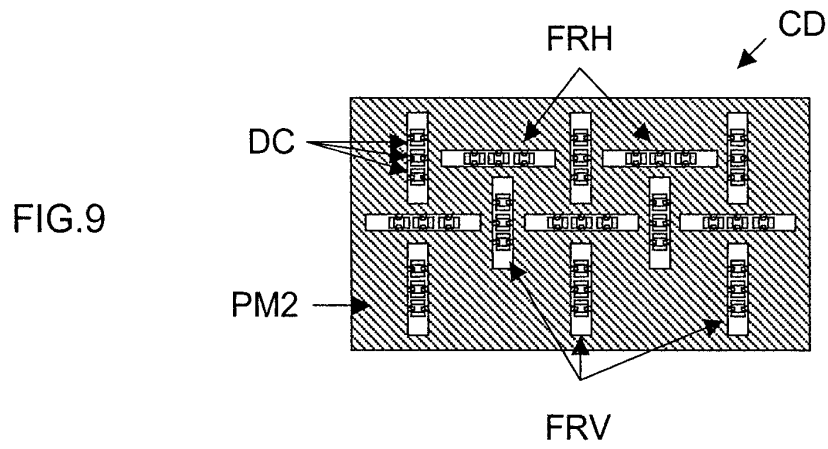


FIG. 9

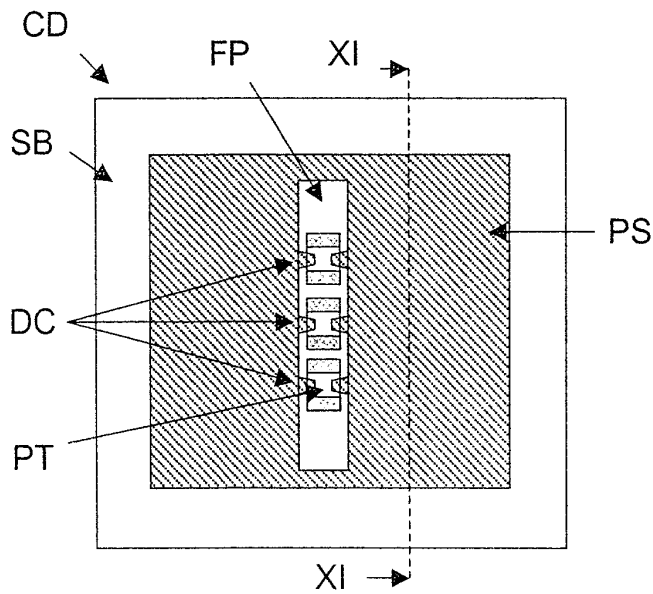
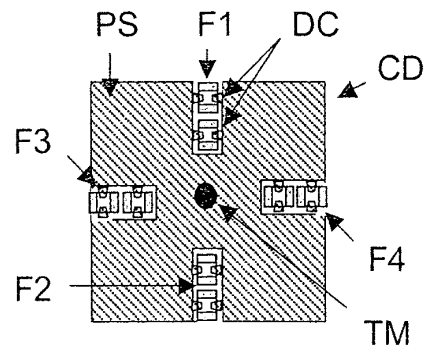
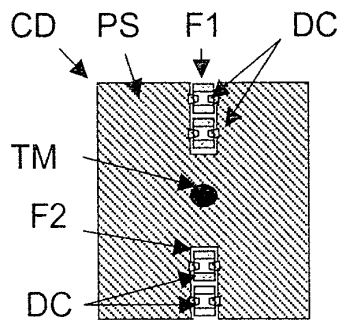
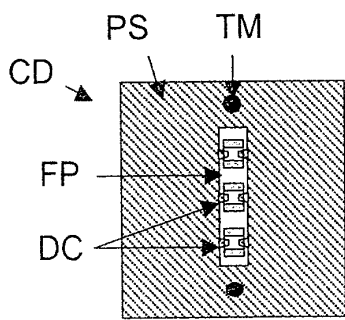
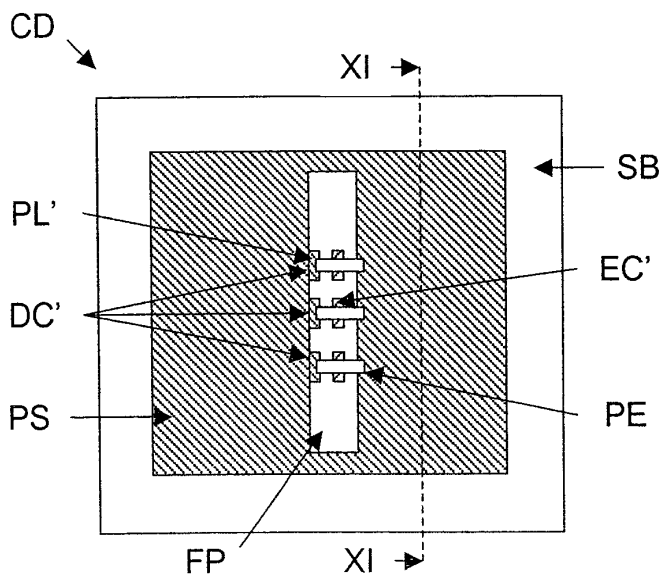
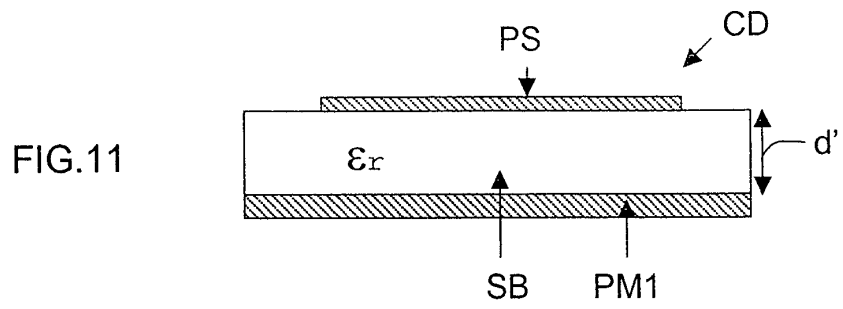


FIG. 10



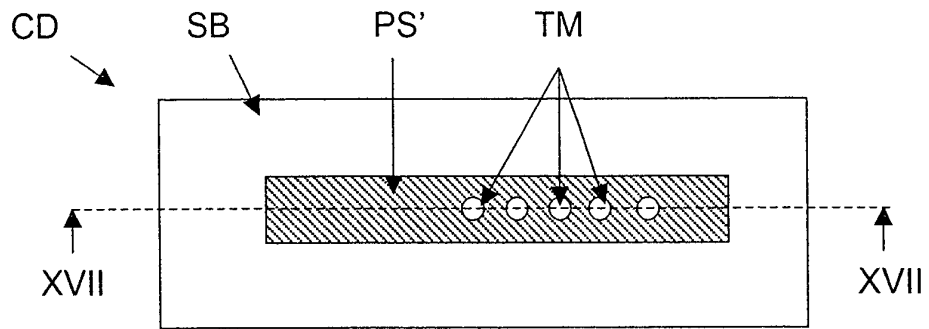


FIG. 16

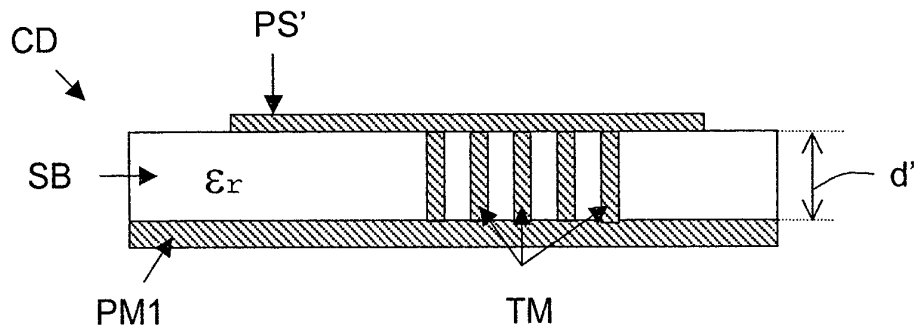


FIG. 17

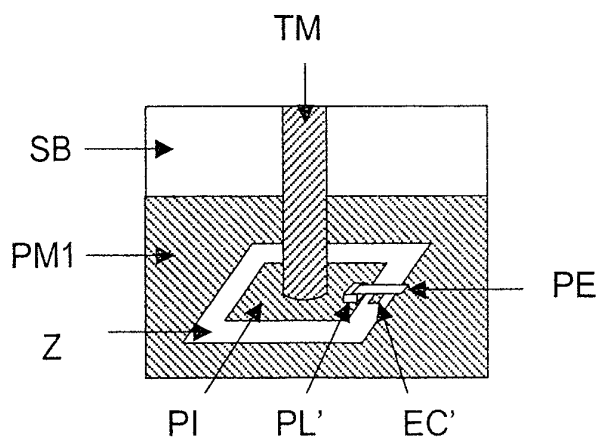


FIG. 18

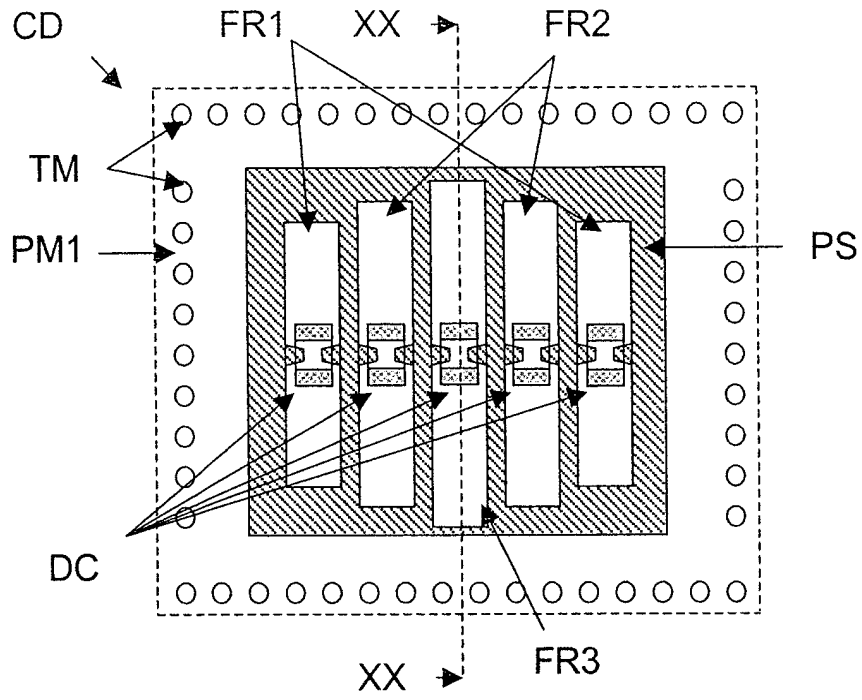


FIG.19

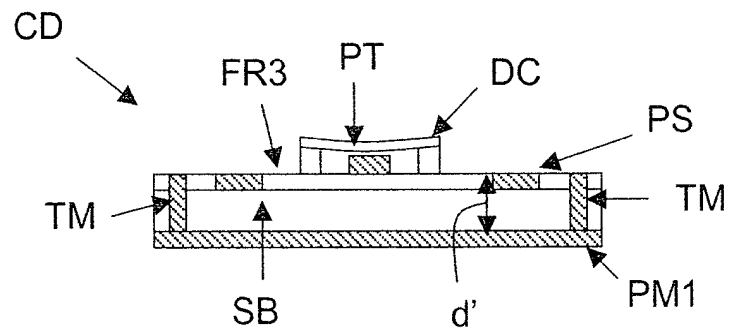


FIG.20

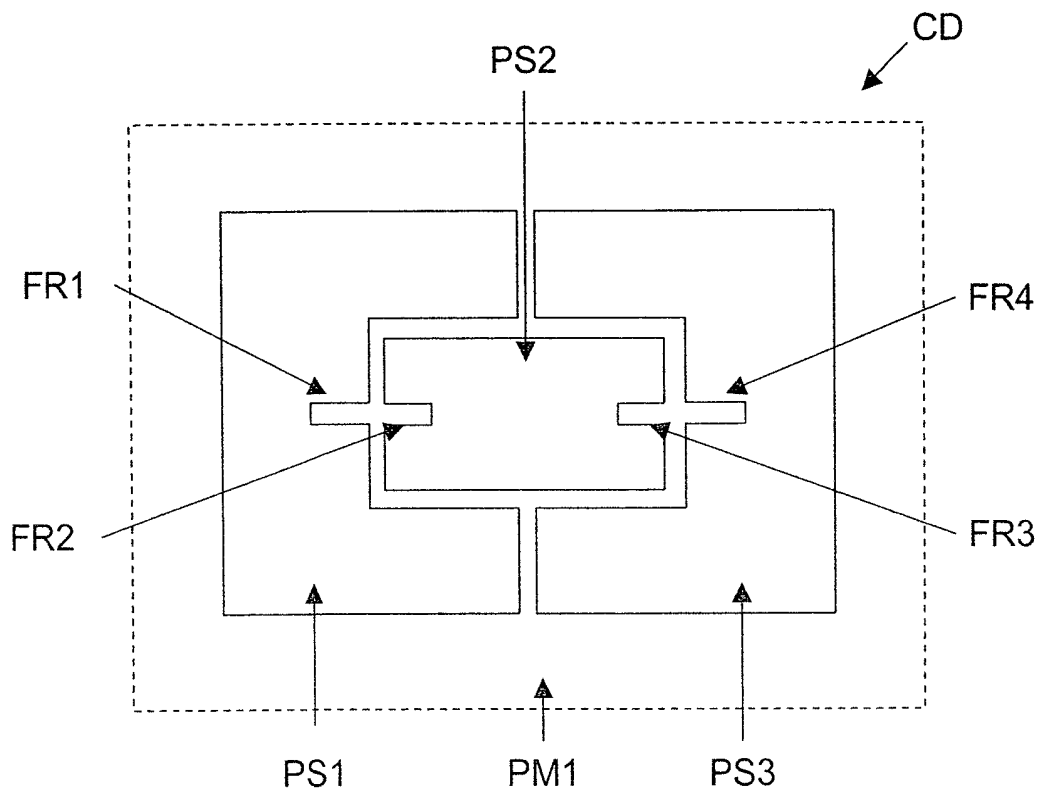
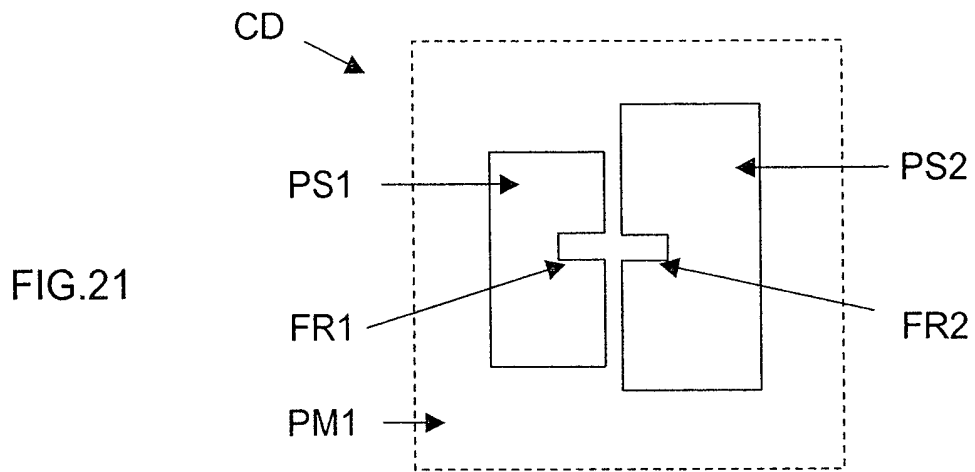
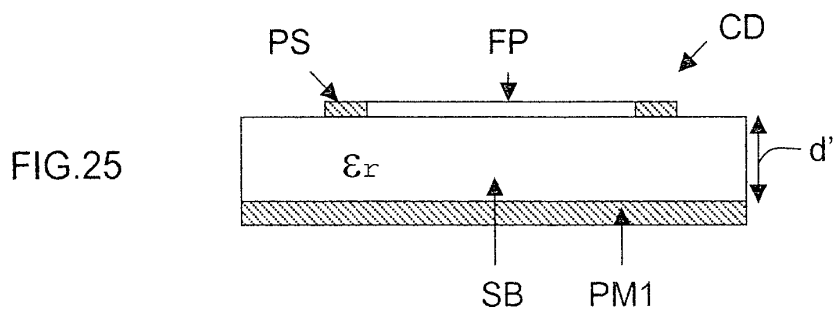
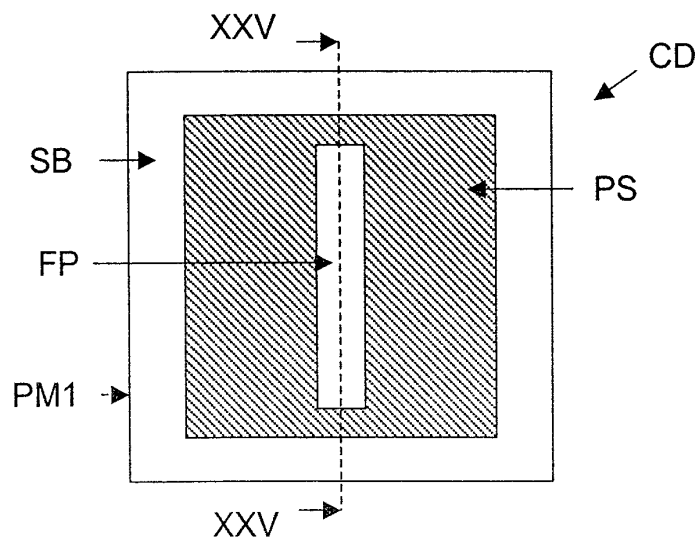
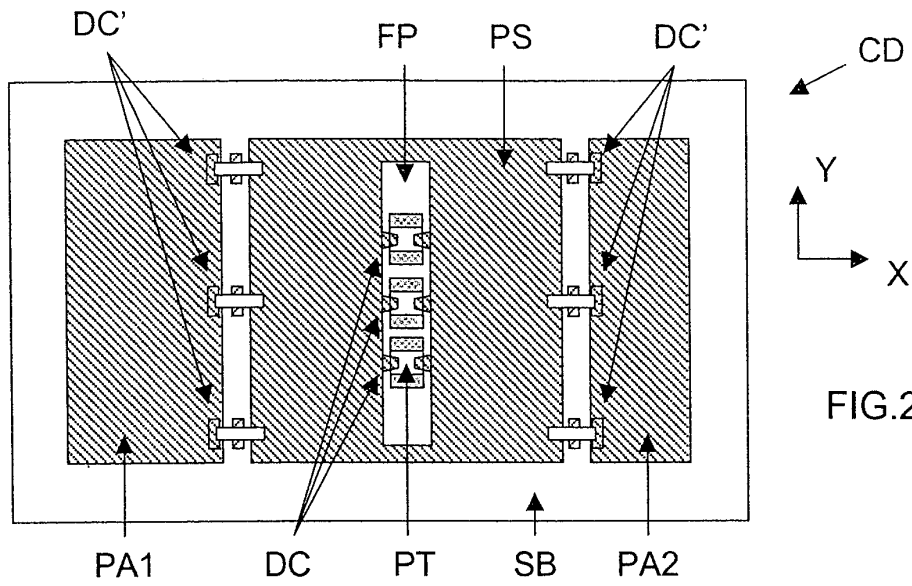


FIG.22



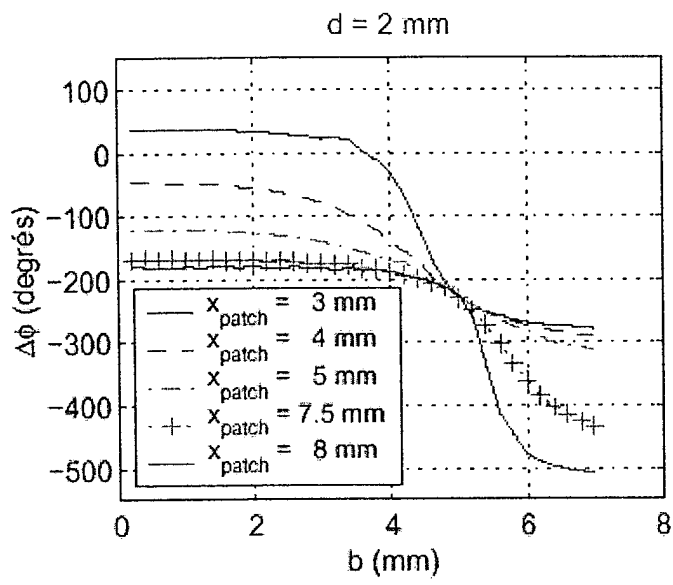


FIG.26



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
Y	US 6 184 839 B1 (LOANE JOSEPH T ET AL) 6 février 2001 (2001-02-06) * abrégé; figures 6-9 *	1,5, 20-23	H01Q21/00 H01P1/18
Y	US 2003/122721 A1 (SIEVENPIPER DANIEL F) 3 juillet 2003 (2003-07-03) * alinéa [0018]; figure 1 *	1,5, 20-23	
A	BACKHOUSE P M ET AL: "ANTENNA-COUPLED MICROWAVE PHASE SHIFTERS USING GAAS VARACTORS" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 27, no. 6, 14 mars 1991 (1991-03-14), pages 491-492, XP000225079 ISSN: 0013-5194 * figure 1 *	1	
A	NEWMAN H S ED - INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS: "RF MEMS switches and applications" 2002 IEEE INTERNATIONAL RELIABILITY PHYSICS SYMPOSIUM PROCEEDINGS. 40TH ANNUAL. DALLAS, TX, APRIL 7 - 11, 2002, IEEE INTERNATIONAL RELIABILITY PHYSICS SYMPOSIUM, NEW YORK, NY : IEEE, US, 7 avril 2002 (2002-04-07), pages 111-115, XP010589210 ISBN: 0-7803-7352-9 * figure 2 *	2	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7) H01Q H01P
A	JUNG-MU KIM ET AL: "A 5-17 ghz wideband reflection-type phase shifter using digitally operated capacitive mems switches" CONFERENCE PROCEEDINGS ARTICLE, vol. 1, 9 juin 2003 (2003-06-09), pages 907-910, XP010646855 * figure 4 *	2	
----- -/--			
1 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 12 juillet 2005	Examineur Marot-Lassauzaie, J
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
A	US 6 388 631 B1 (LIVINGSTON STAN W ET AL) 14 mai 2002 (2002-05-14) * figure 7b * -----	3	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 12 juillet 2005	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 05 29 0642

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.

12-07-2005

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6184839	B1	06-02-2001	AU 5797798 A WO 9827611 A1	15-07-1998 25-06-1998
US 2003122721	A1	03-07-2003	AU 2002351307 A1 DE 10297569 T5 GB 2400240 A JP 2005514844 T WO 03058758 A1	24-07-2003 02-12-2004 06-10-2004 19-05-2005 17-07-2003
US 6388631	B1	14-05-2002	EP 1371110 A2 JP 2004532546 T TW 538560 B WO 02075841 A2	17-12-2003 21-10-2004 21-06-2003 26-09-2002

EPO FORM P0460

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