



(11) **EP 2 887 450 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
24.06.2015 Bulletin 2015/26

(51) Int Cl.:
H01P 1/207^(2006.01) H01P 1/208^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **14198053.2**

(22) Date de dépôt: **15.12.2014**

(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

- **Perigaud, Aurélien**
87350 Panazol (FR)
- **Tantot, Olivier**
87000 Limoges (FR)
- **Delhote, Nicolas**
87100 Limoges (FR)
- **Bila, Stéphane**
87430 Verneuil sùr Vienne (FR)
- **Verdeyme, Serge**
87700 Aixè sùr Vienne (FR)
- **Pacaud, Damien**
31870 Beaumont sùr Leze (FR)
- **Estagerie, Laetitia**
31170 Tournefeuille (FR)

(30) Priorité: **20.12.2013 FR 1303030**

(71) Demandeurs:

- **Thales**
92200 Neuilly Sur Seine (FR)
- **Centre National de la Recherche Scientifique**
75016 Paris (FR)
- **Centre National d'Etudes Spatiales**
75039 Paris Cedex 01 (FR)

(74) Mandataire: **Joubert, Cécile et al**
Marks & Clerk France
Counseils en Propriete Industrielle
Immeuble "Visium"
22, avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

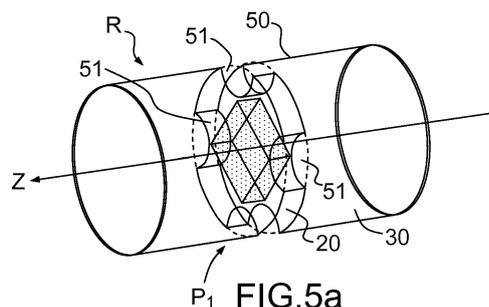
(72) Inventeurs:

- **Ezzedine, Hussein**
37100 Tours (FR)

(54) **Filtre hyperfréquence passe bande accordable par rotation relative d'une section d'insert et d'un élément diélectrique**

(57) L'invention concerne un filtre passe bande pour onde hyperfréquence accordable en fréquence, comprenant au moins un résonateur \otimes ,
-chaque résonateur comprenant une cavité (30) présentant une paroi conductrice (50) sensiblement cylindrique le long d'un axe Z, et au moins un élément diélectrique disposé à l'intérieur de la cavité,
-ledit résonateur résonant sur deux polarisations perpendiculaires présentant respectivement des répartitions du champ électromagnétique dans la cavité se déduisant

l'une de l'autre par une rotation de 90° et selon une même fréquence,
-la paroi de la cavité (50) comprenant une section d'insert (20) en regard dudit élément présentant une forme différente d'une section non située en regard de l'élément,
-la section d'insert (20) et l'élément étant aptes à effectuer une rotation l'un par rapport à l'autre selon l'axe Z de manière à définir au moins une première (P1) et une deuxième positions relatives différant d'un angle sensiblement égal à 45° à 20° près.



EP 2 887 450 A1

Description

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention concerne le domaine des filtres en fréquence dans le domaine des ondes hyperfréquences, typiquement de fréquences comprises entre 1 GHz à 30GHz. Plus particulièrement la présente invention concerne les filtres passe bande accordables en fréquence.

ETAT DE LA TECHNIQUE

[0002] Le traitement d'une onde hyperfréquence, par exemple reçue par un satellite, nécessite le développement de composants spécifiques, permettant la propagation, l'amplification, et le filtrage de cette onde.

Par exemple une onde hyperfréquence reçue par un satellite doit être amplifiée avant d'être renvoyée vers le sol. Cette amplification n'est possible qu'en séparant l'ensemble des fréquences reçues en canaux, correspondant chacun à une bande de fréquence donnée. L'amplification est alors réalisée canal par canal. La séparation des canaux nécessite le développement de filtres passe-bandes.

Le développement des satellites et la complexité accrue du traitement du signal à effectuer, par exemple une reconfiguration des canaux en vol, a conduit à la nécessité de mettre en oeuvre de filtres passe bande accordables en fréquence, c'est-à-dire pour lesquels il est possible de régler la fréquence centrale de filtrage couramment dénommée fréquence d'accord du filtre.

[0003] Une des technologies connues de filtres passe-bande accordables dans le domaine des ondes hyperfréquence est l'utilisation de composants semi-conducteurs passifs, tel que des diodes PIN, des capacités continument variables ou des commutateurs capacitifs. Une autre technologie est l'utilisation de MEMS (pour micro systèmes électromécaniques) de type ohmiques ou capacitifs.

[0004] Ces technologies sont complexes, consommatrices d'énergie électrique et peu fiables. Ces solutions sont également limitées au niveau de la puissance de signal traité. De plus l'accordabilité en fréquence a pour conséquence une dégradation significative des performances du filtre, tel que son facteur de qualité Q. Enfin, les pertes RF (bande réalisée, « Return Loss », pertes d'insertion etc..) sont dégradées par le changement de fréquence.

[0005] Par ailleurs, la technologie des filtres à base d'éléments diélectriques est connue. Elle permet de réaliser des filtres passe bande non accordables.

Ces filtres comprennent typiquement une cavité au moins partiellement fermée, comprenant une paroi conductrice (typiquement métallique par exemple en aluminium ou en invar) dans laquelle est disposé un élément diélectrique, typiquement de forme ronde ou carrée (le matériau diélectrique est typiquement de la zircone, de

l'alumine ou du BMT).

Un moyen d'excitation d'entrée introduit l'onde dans la cavité (par exemple un câble coaxial terminé par une sonde électrique ou un guide d'onde couplé par un iris) et un moyen d'excitation de sortie de même nature permet de faire sortir l'onde de la cavité.

Un filtre passe-bande permet la propagation d'une onde sur une certaine plage de fréquence et atténue cette onde pour les autres fréquences. On définit ainsi une bande passante et une fréquence centrale du filtre. Pour des fréquences autour de sa fréquence centrale, un filtre passe-bande présente une transmission élevée et une réflexion faible.

La bande passante du filtre est caractérisée de différentes manières suivant la nature du filtre.

Le paramètre S est un paramètre qui rend compte des performances du filtre en termes de réflexion et de transmission. S11, ou S22, correspond à une mesure de la réflexion et S12, ou S21, à une mesure de la transmission.

Un filtre réalise une fonction de filtrage. Cette fonction peut généralement s'approcher via des modèles mathématiques (fonctions de Chebychev, de Bessel, ...). Ces fonctions sont généralement fondées sur des rapports de polynômes.

Pour un filtre réalisant une fonction de filtrage de type Chebychev ou Chebychev généralisé, la bande passante du filtre est déterminée à équiorondulation du S11 (ou S22), par exemple à 15dB ou 20 dB de réduction de la réflexion par rapport à son niveau hors bande. Pour un filtre réalisant une fonction de type Bessel, on prend la bande à -3dB (lorsque S21 croise S11 si le filtre présente des pertes négligeables).

[0006] Un filtre comprend typiquement au moins un résonateur comprenant la cavité métallique et l'élément diélectrique. Un mode de résonance du filtre correspond à une distribution particulière du champ électromagnétique qui est excité à une fréquence particulière.

Afin d'augmenter leur sélectivité, c'est-à-dire leur capacité à atténuer le signal hors de la bande passante, ces filtres peuvent être composés d'une pluralité de résonateurs couplés entre eux.

La fréquence centrale et la bande passante du filtre dépendent à la fois de la géométrie des cavités et des éléments diélectriques, ainsi que du couplage des résonateurs entre eux ainsi que des couplages aux moyens d'excitation d'entrée et de sortie du filtre. Des moyens de couplages sont par exemple des ouvertures ou fentes dénommées iris, des sondes électriques ou magnétiques ou des lignes hyperfréquence.

Le filtre laisse passer un signal dont la fréquence est située dans la bande passante, mais le signal est néanmoins atténué par les pertes du filtre.

L'accord du filtre permettant d'obtenir un maxima de transmission pour une bande de fréquence donnée est très délicat à réaliser et dépend de l'ensemble des paramètres du filtre. Il est de plus dépendant de la température.

Afin d'effectuer un réglage du filtre pour obtenir une fréquence centrale précise du filtre, les fréquences de résonance des résonateurs du filtre peuvent être très légèrement modifiées à l'aide de vis métalliques, mais ce procédé effectué de manière empirique, est très coûteux en temps et ne permet qu'une très faible accordabilité en fréquence, typiquement de l'ordre de quelques %. Dans ce cas, l'objectif n'est pas l'accordabilité mais l'obtention d'une valeur précise de la fréquence centrale, et l'on souhaite obtenir une sensibilité réduite de la fréquence de chaque résonateur vis-à-vis de la profondeur de la vis.

La symétrie circulaire ou carrée des résonateurs simplifie la conception du filtre.

[0007] De manière générale un résonateur présente selon sa géométrie un ou plusieurs modes de résonance caractérisés chacun par une distribution particulière (remarquable) du champ électromagnétique entraînant une résonance de l'onde hyperfréquence dans la structure à une fréquence particulière. Par exemple des modes de résonance TE (pour Transverse Electrique ou H en terminologie anglo-saxonne) ou TM (pour Transverse Magnétique ou E en terminologie anglo-saxonne) présentant un certain nombre de maxima d'énergie repérés par des indices, peuvent être excités dans le résonateur à différentes fréquences. La figure 1 décrit à titre d'exemple les fréquences de résonance des différents modes pour une cavité circulaire vide en fonction des dimensions de la cavité (diamètre D et hauteur H).

[0008] Pour optimiser la compacité des filtres, des filtres résonateurs fonctionnant sur plusieurs modes (typiquement 2 ou 3) sont connus de la technique. En particulier, les filtres fonctionnant selon un mode dual (« dual mode filter » en terminologie anglo-saxonne) sont connus. Ces modes présentent deux polarisations perpendiculaires X et Y présentant une répartition remarquable et spécifique du champ électromagnétique dans la cavité: les répartitions des champs électromagnétiques correspondant aux deux polarisations sont orthogonales et se déduisent l'une de l'autre par une rotation de 90° autour d'un axe de symétrie du résonateur.

Si la symétrie du résonateur est parfaite, les deux polarisations orthogonales possèdent la même fréquence de résonance et ne sont pas couplées. Le couplage entre polarisations est obtenu en rompant la symétrie, par exemple en introduisant une discontinuité (perturbation) à 45° des axes de polarisation X et Y, typiquement à l'aide de vis métalliques.

De plus, les fréquences de résonance peuvent être accordées (éventuellement sur des fréquences différentes) en introduisant des discontinuités (perturbations) dans les axes de polarisation (X et Y).

Ainsi les deux polarisations X et Y d'un mode dual peuvent résonner selon une même fréquence (symétrie selon les axes de polarisation) ou selon deux fréquences légèrement différentes (dissymétrie selon les axes de polarisation).

[0009] Les modes duaux permettent ainsi de réaliser

deux résonances électriques dans un élément résonant unique. Plusieurs modes possédant ces distributions de champ particulières peuvent être utilisés. Par exemple les modes duaux TE_{11n} (H_{11n}) sont très utilisés dans les filtres à cavités car ils aboutissent à un bon compromis entre un fort facteur de qualité (d'autant plus que l'indice n est grand), un encombrement réduit (divisé par 2 en employant des modes duaux) et une isolation fréquentielle importante par rapport aux autres modes de résonances (que l'on ne souhaite pas coupler pour assurer le bon fonctionnement du filtre).

BUT DE L'INVENTION

[0010] La présente invention a pour but de réaliser des filtres de type cavité à éléments diélectriques, compacts, accordables en fréquence centrale, et ne présentant pas les inconvénients précités (facteur de qualité et pertes RF dégradés par l'accordabilité, mauvaise tenue en puissance...).

DESCRIPTION DE L'INVENTION

[0011] A cet effet l'invention a pour objet un filtre passe bande pour onde hyperfréquence accordable en fréquence, comprenant au moins un résonateur,

- chaque résonateur comprenant une cavité présentant une paroi conductrice sensiblement cylindrique le long d'un axe Z, et au moins un élément diélectrique disposé à l'intérieur de la cavité,
- le résonateur résonant sur deux polarisations perpendiculaires présentant respectivement des répartitions du champ électromagnétique dans la cavité se déduisant l'une de l'autre par une rotation de 90°,
- la paroi de la cavité comprenant une section d'insert en regard de l'élément présentant une forme différente d'une section non située en regard de l'élément,
- la section d'insert et l'élément étant aptes à effectuer une rotation l'un par rapport à l'autre selon l'axe Z de manière à définir au moins une première et une deuxième positions relatives différant d'un angle sensiblement égal à 45° à 20° près.

[0012] Selon un mode de réalisation, au moins une forme parmi la forme de la section d'insert et la forme de l'élément comprend au moins deux plans orthogonaux de symétrie se coupant selon l'axe Z.

Avantageusement, la forme de la section d'insert et la forme de l'élément comprennent chacune au moins deux plans orthogonaux de symétrie S₁, S₃, Si₁, Si₃ se coupant selon l'axe Z.

Avantageusement, la première position est telle que les plans de symétrie de la section d'insert coïncident avec les plans de symétrie de l'élément à 10° près.

Selon un mode de réalisation au moins une forme parmi la forme de la section d'insert et la forme de l'élément

présente quatre plans de symétrie S1, S2, S3, S4, Si1, Si2, Si3, Si4, deux plans de symétrie consécutifs étant séparés d'un angle de 45°, et se coupant selon l'axe Z. Avantageusement, au moins une forme parmi la forme de la section d'insert et la forme de l'élément présente des concavités et/ou des convexités dont les extrema sont situés au voisinage d'axes de symétries. Préférentiellement, la forme sensiblement cylindrique présente une courbe directrice choisie parmi un cercle, un carré. Préférentiellement ; un mode de résonance du résonateur est du type H113 présentant trois maxima du champ électrique dans ladite cavité le long de l'axe Z.

En variante, le résonateur comprend en outre des moyens de rotation apte à réaliser ladite rotation.

Selon un mode réalisation, la section d'insert est mobile par rapport à la paroi conductrice.

Préférentiellement, la section d'insert mobile comprend une bague de réglage mobile.

Selon un mode de réalisation l'élément diélectrique est mobile par rapport à la paroi conductrice.

Avantageusement, les moyens de rotation comprennent une tige solidaire de l'élément diélectrique et comprenant un matériau diélectrique.

Selon un mode de réalisation, le filtre comprend une pluralité de résonateurs et des moyens de couplage adaptés pour coupler entre eux deux résonateurs consécutifs.

Préférentiellement, le filtre comprend en outre des moyens de liaison adaptés pour égaliser les rotations respectives des moyens de rotation des résonateurs.

Avantageusement, les moyens de liaison comprennent ladite tige solidaire d'une pluralité d'éléments disposés le long de la tige.

Selon un autre aspect, l'invention concerne un circuit hyperfréquence comprenant au moins un filtre selon l'invention.

[0013] D'autres caractéristiques, buts et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre et en regard des dessins annexés donnés à titre d'exemples non limitatifs et sur lesquels :

- La figure 1 illustre les modes de résonance d'une cavité circulaire vide.
- La figure 2 décrit un filtre selon une variante de l'invention selon une coupe transversale.
- La figure 3 décrit un filtre selon une autre variante de l'invention selon une coupe transversale.
- La figure 4 décrit un filtre selon une variante préférée de l'invention comprenant au moins quatre plans orthogonaux de symétrie. La figure 4a décrit le résonateur du filtre selon une première position P1 et la figure 4b décrit le résonateur du filtre selon une deuxième position relative P2.
- La figure 5 décrit le filtre de la figure 4 vu en perspective. La figure 5a décrit le résonateur du filtre selon une première position P1 et la figure 5b décrit le résonateur du filtre selon une deuxième position relative P2.

- La figure 6 illustre une variante de forme de section d'insert et d'élément selon l'invention (6a position P1, 6b position P2)
- La figure 7 illustre une autre variante de forme de section d'insert et d'élément selon l'invention (7a position P1, 7b position P2)
- La figure 8 illustre une autre variante de forme de section d'insert et d'élément selon l'invention (8a position P1, 8b position P2)
- La figure 9 illustre les variations du champ électrique d'une polarisation résonant dans la cavité du résonateur du filtre selon l'invention.
- La figure 10 illustre un filtre comprenant deux résonateurs comprenant chacun une cavité et un élément diélectrique, les résonateurs étant couplés entre eux à l'aide d'un moyen de couplage (figure 10a position P1, figure 10b position P2).
- La figure 11 illustre un filtre selon l'invention présentant des moyens d'entrée et de sortie réalisant un couplage latéral.
- La figure 12 illustre un filtre comprenant trois résonateurs (OK ?).
- La figure 13 illustre le comportement fréquentiel du filtre de la figure 10.
- La figure 14 décrit une deuxième variante de l'invention selon laquelle l'élément est mobile par rapport à la paroi conductrice.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

[0014] L'invention consiste à réaliser un filtre passe bande accordable en fréquence centrale de type « mode dual » à partir d'une rotation de différents éléments composant le filtre. Le filtre comprend au moins un résonateur R, chaque résonateur comprenant une cavité 30 présentant une paroi conductrice, typiquement métallique, sensiblement cylindrique le long d'un axe Z, et au moins un élément diélectrique disposé à l'intérieur de la cavité,

[0015] La figure 2, décrit une coupe transversale d'un résonateur R du filtre selon l'invention dans un plan perpendiculaire à l'axe Z.

[0016] Le filtre fonctionne sur un mode dual (« dual mode filter »), ce qui signifie que le résonateur résonne sur deux polarisations perpendiculaires dénommées X et Y qui présentent respectivement des répartitions du champ électromagnétique dans la cavité 30 se déduisant l'une de l'autre par une rotation de 90°.

Les deux polarisations peuvent résonner à la même fréquence ou à des fréquences légèrement différentes. Dans ce dernier cas la réponse en fréquence du filtre est dissymétrique.

Par ailleurs, la symétrie du mode peut être légèrement rompue pour coupler les deux polarisations (voir plus loin).

Dans la cavité 30 est disposé au moins un élément diélectrique 21.

La paroi de la cavité est globalement cylindrique mais comprend une section spécifique, dénommée section

d'insert 20, située en regard de l'élément 21, c'est-à-dire correspondant à la partie de la paroi faisant sensiblement « face » à l'élément dans la cavité 30. La section d'insert 20 présente une forme 10 différente de la forme d'une section de cette même paroi non située en regard de l'élément. Préférentiellement, c'est la forme de la paroi intérieure de la cavité qui présente une forme spécifique. Par exemple sur les figures 2a et 2b, la paroi de la cavité présente une forme cylindrique de révolution, mais la forme de la section d'insert 10 diffère du cercle.

La section d'insert 20 et l'élément 21 sont aptes à effectuer une rotation l'un par rapport à l'autre selon l'axe Z de manière à définir au moins une première position relative P1 et une deuxième position relative P2 différant d'un angle sensiblement égal à 45° à 20° près. La figure 2a décrit le résonateur selon la première position P1 et la figure 2b décrit le résonateur selon la deuxième position relative P2. L'angle relatif entre l'élément et la section d'insert varie d'environ 45° +/-20° entre les deux positions. Ainsi l'angle relatif est compris entre 25° et 65°.

Préférentiellement, l'angle relatif est compris entre 45° +/-10°, soit compris entre 35° et 55°.

Les contours de la section d'insert et l'élément sont adaptés de sorte que la première position P1 correspond à une géométrie de résonateur résonnant selon une première fréquence centrale f1, et la deuxième position P2 correspond à une géométrie de résonateur résonnant selon une deuxième fréquence centrale f2. Ainsi la rotation relative de l'élément par rapport à la section d'insert permet de modifier la fréquence centrale du filtre selon l'invention, selon au moins deux valeurs f1 et f2 de fréquence centrale, ce qui est adapté pour des applications de type « saut de canal ». Un tel effet est obtenu par variation de l'effet capacitif induit par la rotation, comme décrit plus loin.

[0017] Un filtre selon l'invention présente ainsi de nombreux avantages. Le filtre est à la fois dual, avec tous les avantages associés tel la compacité, et accordable. Les performances RF ne sont pas sensiblement dégradées par le changement de fréquence, et le facteur de qualité Q n'est pas non plus sensiblement dégradé comparé avec ceux classiquement obtenus avec des cavités résonnantes, entre autre du fait de l'impact limité de l'élément diélectrique 21 sur les pertes du filtre. Typiquement un facteur $Q > 10000$ est obtenu pour un filtre selon l'invention, alors que les autres solutions d'accord connues, soit ne sont pas applicables à la réalisation d'un filtre à mode dual, soit dégradent fortement les pertes par rapport à un filtre sans élément d'accord.

En outre, il présente une bande étroite (voir plus loin un exemple de performance en fonction de la fréquence). De plus, le filtre est capable de supporter un signal hyperfréquence de puissance élevée, typiquement supérieure à 150W. Ces niveaux de tenue de puissance sont totalement inenvisageables avec des composants semi-conducteurs ou des MEMS. Selon un mode de réalisation, lorsqu'une seule des deux formes présente deux plans de symétries orthogonaux, la forme présentant ces

plans est fixe.

[0018] Préférentiellement, le résonateur du filtre selon l'invention comprend en outre des moyens de rotation apte à réaliser la rotation.

[0019] Préférentiellement, un filtre selon l'invention présente une section d'insert ou un élément présentant des propriétés de symétrie particulière permettant au filtre de remplir de manière optimale la fonction souhaitée. Ainsi au moins une forme parmi la forme 10 de la section d'insert 20 et la forme 11 de l'élément 21 comprend au moins deux plans orthogonaux de symétrie se coupant selon l'axe Z.

Sur la figure 2 à titre d'exemple c'est la forme 11 de l'élément 21, c'est-à-dire le contour extérieur de l'élément selon une section perpendiculaire à l'axe Z, qui comprend au moins deux plans orthogonaux de symétrie Si1 et Si3, se coupant selon l'axe Z, schématisés selon deux droites en traits pleins dans les schémas en coupe des figures 2a et 2b. L'angle de rotation peut être référencé par exemple par rapport aux axes S1 et Si1, mais c'est l'angle relatif entre l'élément et la section d'insert qui varie d'environ 45° +/-20° entre les deux positions.

[0020] La figure 3 (figures 3a et 3b) illustre une autre variante de géométrie de la forme 10 de la section d'insert 20 et de la forme 11 de l'élément 21. La figure 3a décrit le résonateur selon la première position P1 et la figure 3b décrit le résonateur selon la deuxième position relative P2.

Sur la figure 3 la forme 10 de la section d'insert 20, c'est-à-dire le périmètre de la paroi selon une section en regard de l'élément (préférentiellement le périmètre intérieur) comprend au moins deux plans orthogonaux de symétrie S1 et S3 se coupant selon l'axe Z, schématisés selon deux droites en pointillés dans les schémas en coupe des figures 3a et 3b. On entend par forme de la section d'insert 10 la forme globale, en faisant abstraction des éléments de réglage fin, tels que des vis à 45° (non représentées), introduisant localement une légère dissymétrie pour coupler les deux polarisations entre elles.

Dans cet exemple la forme 21 de l'élément 11 présente également deux plans de symétries Si1 et Si3. Ainsi selon cette variante la forme 10 de la section d'insert 20 et la forme 11 de l'élément 21 comprennent chacune au moins deux plans orthogonaux de symétrie, respectivement (S1, S3) et (Si1, Si3), se coupant selon l'axe Z.

[0021] Selon une variante préférée, pour une optimisation plus aisée des différents éléments du filtre, la première position P1 est telle que les plans de symétrie S1 et S3 de la section d'insert 20 coïncident avec les plans de symétrie Si1 Si3 de l'élément 21 à 10° près, comme illustré figure 3.

[0022] Selon une variante préférée, illustrée figures 4 et 5, la forme 10 de la section d'insert 20 et/ou la forme 11 de l'élément 21 présente quatre plans de symétrie dénommés S1, S2, S3 et S4 pour la section d'insert et Si1, Si2, Si3 et Si4 pour l'élément, deux plans de symétrie consécutifs étant séparés d'un angle de 45°, et se coupant selon l'axe Z. Cette géométrie permet également

un calcul d'optimisation du filtre à mode dual plus simple et plus rapide, avec un design simplifié de la structure du filtre.

[0023] Comme illustré sur la figure 4, pour la variante selon laquelle pour la position P1 les plans de symétrie coïncident, lors d'une rotation de 45° pour la position P2, il y a toujours coïncidence puisque les plans consécutifs sont séparés d'un angle de 45°.

Par exemple selon P1 :

$S1=Si1$; $S2=Si2$; $S3=Si3$; $S4=Si4$.

Selon P2, pour une rotation de 45° de la section d'insert, soit des plans S1 à S4.

$S1= Si2$; $S2=Si3$; $S3=Si4$; $S4=Si1$.

[0024] La figure 4 est une vue en coupe perpendiculairement à l'axe Z, et la figure 5 une vue en perspective, permettant de visualiser la section d'insert 20. Les figures 4a et 5a décrivent le résonateur R selon la première position P1 et les figures 4a et 4b décrivent le résonateur R selon la deuxième position relative P2.

Les figures 4 et 5 illustrent également une première variante dans laquelle c'est la section d'insert 20 qui est mobile par rapport à l'élément 21, Préférentiellement la section d'insert est également mobile par rapport à la paroi conductrice 50 du résonateur R, afin de conserver la continuité de la paroi 50. Une section d'insert mobile en rotation est alors disposée à l'intérieur de la cavité 30. La forme de la section d'insert est obtenue par adjonction de parties métalliques 51 (qui sont par exemple des convexités en considérant ces surfaces depuis l'intérieur de la cavité), le long de la section, ces parties modifiant localement, ici diminuant localement, dans les régions en regard de l'élément, le diamètre de la cavité et donc la distance entre l'élément et la paroi métallique 50. Par exemple la section d'insert correspond à une bague de réglage rendue mobile. Suivant l'angle azimutal, le rayon de la bague est variable de sorte la perturbation vue par les 2 polarisations X et Y est différente dans les positions P1 et P2 (voir ci-dessous).

Par exemple la bague de réglage est rendue mobile à l'aide d'un joint tournant afin de maintenir la continuité électrique entre la partie fixe et la partie mobile.

[0025] Sur la figure 5 en perspective, la structure de l'élément et de la section d'insert selon la direction Z est homogène. Cette homogénéité correspond à un mode de réalisation préféré parce que plus simple à réaliser, mais la structure en Z pourrait également être variable.

[0026] Une surface cylindrique est définie par une courbe directrice décrite par une droite dénommée génératrice du cylindre. La courbe directrice de la paroi du filtre selon l'invention est préférentiellement un cercle ou un carré, pour des raisons de symétrie intrinsèque de ce type de cavité et de facilité de conception et de fabrication.

[0027] Un mode dual s'établit préférentiellement selon certains modes particuliers de cavité, correspondant donc à des modes de réalisation préférés de l'invention.

Un exemple est le mode de type TE_{11 n} (ou H_{11 n} en terminologie anglo-saxonne), n correspondant au nombre de variations du champ électrique (minima ou maxima) selon l'axe Z de la cavité. Selon un mode de réalisation préféré, n=3, ce cas correspondant à un compromis entre encombrement et performances électriques (pertes et isolation en fréquence).

[0028] Les figures 6, 7 et 8 illustrent des variantes de formes de section d'insert 10 et d'élément 11 et de rotation relative de l'un par rapport à l'autre d'un résonateur selon l'invention. Sur la figure 8 des concavités 80 (vues de l'intérieur de la cavité) augmentent localement la distance entre l'élément et la paroi métallique.

[0029] Pour respecter les conditions de symétrie tout en obtenant une variation de l'effet capacitif, selon un mode de réalisation la forme de la section d'insert et/ou la forme de l'élément présente des concavités et/ou des convexités dont les extrema sont situés au voisinage d'axes de symétries du résonateur. Pour la section d'insert : au voisinage des plans de symétrie (S1, S2, S3, S4). Pour l'élément : au voisinage des plans de symétrie (Si1, Si2, Si3, Si4). Ce mode de réalisation est bien entendu compatible avec un système ne comprenant que deux plans de symétrie, comme illustré figures 2 et 3.

En outre, il n'est bien entendu pas nécessaire qu'il existe des concavité/convexité au voisinage de chaque axe de symétrie, la contrainte étant de respecter la condition de symétrie.

[0030] La figure 9 illustre les variations du champ électrique d'une des polarisations (X ou Y) résonant dans la cavité du résonateur des figures 4-5. La figure 9a décrit le résonateur R selon la première position relative P1 et la figure 9b décrit le résonateur R selon la deuxième position relative P2, pour laquelle la section d'insert 20 a effectué une rotation de 45° par rapport à l'élément 21. Les zones en pointillés référencées 90 illustrent les zones pour lesquelles le champ électrique présente un maxima.

Pour la première position P1, le champ électrique est concentré entre les pointes de l'élément et les convexités/excroissances 51 de la section d'insert. Pour la deuxième position P2 ce champ électrique est concentré entre les arêtes de l'élément et les convexités 51.

[0031] La modification de la fréquence de résonance du filtre est obtenue par variation de l'effet capacitif entre l'insert 21 et la section d'insert 20. En effet il est possible de modéliser le comportement fréquentiel d'un résonateur par un circuit électrique équivalent: une association parallèle résistance-capacité-inductance (résonateur RLC). Ce circuit possède une fréquence de résonance fonction du produit L.C. Lorsqu'on joue sur l'effet capacitif, la valeur de la capacité varie, entraînant une variation de la fréquence de résonance.

[0032] L'effet capacitif induit par la présence d'un élément diélectrique est fonction de sa géométrie et des caractéristiques du matériau qui le compose (permittivité diélectrique), mais aussi du mode de résonance (en par-

ticulier de la distribution associée du champ électromagnétique). En fonction du mode (ou de la polarisation pour un mode dual), le champ électromagnétique n'est influencé que par une partie de l'élément. Une variation de la forme de l'élément dans des zones de forte amplitude du champ électrique modifie l'effet capacitif du résonateur. Le contraste obtenu sur l'effet capacitif est maximisé lorsque cette variation est localisée sur un maxima de champ électrique. Dans le cas d'un filtre à mode dual, l'effet doit être globalement le même sur chaque polarisation pour obtenir le même décalage en fréquence pour les deux polarisations.

[0033] En variante, le filtre comprend une pluralité de résonateurs et des moyens de couplage adaptés pour coupler entre eux deux résonateurs consécutifs.

La figure 10 (figure 10a position P1, figure 10b position P2) illustre un filtre 100 comprenant deux résonateurs R1 et R2 comprenant chacun une cavité 102 et 103, et un élément diélectrique 106, 107, les résonateurs étant couplés entre eux à l'aide d'un moyen de couplage 101, ici un iris. Des moyens respectivement d'entrée 104 et de sortie 105 permettent à l'onde hyperfréquence respectivement de pénétrer et de sortir du filtre.

La paroi métallique cylindrique 50 est sur cet exemple commune aux deux cavités, et le couplage est réalisé par le fond. Mais le filtre selon l'invention est bien entendu compatible avec un couplage latéral, comme illustré figure 11.

Le filtre 100 de la figure 10 comprend deux cavités, chacune résonant sur deux polarisations, et constitue ainsi un filtre dit « 4 pôles ».

L'invention est bien entendu compatible avec 3 cavités (ou plus), permettant d'obtenir une bande passante plus étroite, tel qu'illustré figure 12.

[0034] Un exemple de comportement fréquentiel du filtre de la figure 10 est illustré figure 13 (figure 13a position P1, figure 13b position P2). Le mode dual est de type H113 et les paramètres du filtre de cet exemple sont :

Longueur totale : 90 mm ; diamètre du cylindre 27 mm ; utilisation d'une bague de réglage mobile ; élément diélectrique en Alumine (permittivité 9.4) de forme carré de côté 12 mm x 12 mm et d'épaisseur selon Z de 4 mm. Les courbes 111 et 112 (trait plein) correspondre aux courbes de type S11 (réflexion du filtre) et les courbes 113 et 114 (trait pointillé) aux courbes de type S21 (transmission du filtre). Entre les deux positions P1 et P2 on constate une variation d'environ 150 MHz (1.5%) de la fréquence de résonance.

[0035] Selon une deuxième variante de l'invention illustrée figure 14 (figure 14a position P1, figure 14b position P2) l'élément est mobile par rapport à la paroi conductrice et par rapport à la section d'insert qui est fixe. Dans cet exemple les moyens de rotation comprennent une tige 120 en matériau diélectrique solidaire de l'élément, ou d'une pluralité d'élément lorsque la structure

des cavités le permet, tel que sur la figure 12. En effet sur la figure 12 le couplage est réalisé par le fond, les éléments successifs se trouvent ainsi alignés selon un même axe et peuvent donc être tous solidaire d'une même tige. Cette géométrie présente l'avantage de permettre le contrôle de l'ensemble des rotations de la pluralité d'élément avec un même élément. Cette géométrie est bien entendu compatible d'un couplage latéral, plutôt que par le fond comme illustré figure 14.

[0036] Dans un mode de réalisation le filtre comprend en outre des moyens de liaison adaptés pour égaliser les rotations respectives des moyens de rotation des résonateurs.

[0037] Pour la deuxième variante dans laquelle les éléments sont mobiles et solitaires d'une même tige 120, la tige est également un moyen de liaison. Les moyens de rotation peuvent également comprendre un moteur pas à pas pour commander la rotation des éléments, dans le cas ou une reconfiguration du filtre doit être effectuée en vol par exemple.

[0038] Selon un autre aspect l'invention a également pour objet un circuit hyperfréquence comprenant au moins un filtre selon l'invention.

Revendications

1. Filtre passe bande (100) pour onde hyperfréquence accordable en fréquence, comprenant au moins un résonateur (R, R1, R2),

- chaque résonateur comprenant une cavité (30, 102, 103) présentant une paroi conductrice (50) sensiblement cylindrique le long d'un axe Z, et au moins un élément diélectrique (21, 106, 107) disposé à l'intérieur de la cavité,

- ledit résonateur résonant sur deux polarisations perpendiculaires (X, Y) présentant respectivement des répartitions du champ électromagnétique dans la cavité se déduisant l'une de l'autre par une rotation de 90°,

- la paroi de la cavité (50) comprenant une section d'insert (20) en regard dudit élément (21, 106, 107) présentant une forme (10) différente d'une section non située en regard de l'élément,

- la section d'insert (20) et l'élément (21, 106, 107) étant aptes à effectuer une rotation l'un par rapport à l'autre selon l'axe Z de manière à définir au moins une première (P1) et une deuxième (P2) positions relatives différant d'un angle sensiblement égal à 45° à 20° près.

2. Filtre selon la revendication 1 dans lequel au moins une forme parmi la forme (10) de la section d'insert (20) et la forme (11) de l'élément (21) comprend au moins deux plans orthogonaux de symétrie (S1, S3), (Si1, Si3) se coupant selon l'axe Z.

3. Filtre selon l'une des revendications 1 ou 2 dans lequel la forme (10) de la section d'insert (20) et la forme (11) de l'élément (21) comprennent chacune au moins deux plans orthogonaux de symétrie (S1, S3), (Si1, Si3) se coupant selon l'axe Z. 5
4. Filtre selon la revendication 3 dans lequel la première position (P1) est telle que lesdits plans de symétrie (S1, S3) de la section d'insert (20) coïncident avec lesdits plans de symétrie (Si1, Si3) de l'élément à 10° près. 10
5. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel au moins une forme parmi la forme de la section d'insert (10) et la forme de l'élément (11) présente quatre plans de symétrie (S1, S2, S3, S4), (Si1, Si2, Si3, Si4), deux plans de symétrie consécutifs étant séparés d'un angle de 45°, et se coupant selon l'axe Z. 15 20
6. Filtre selon l'une des revendications 2 à 5 dans lequel au moins une forme parmi la forme de la section d'insert (10) et la forme de l'élément (11) présente des concavités et/ou des convexités (51, 80) dont les extrema sont situés au voisinage d'axes de symétries (S1, S2, S3, S4), (Si1, Si2, Si3, Si4). 25
7. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel la forme sensiblement cylindrique présente une courbe directrice choisie parmi un cercle, un carré. 30
8. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel un mode de résonance du résonateur est du type H113 présentant trois maxima du champ électrique dans ladite cavité le long de l'axe Z. 35
9. Filtres selon l'une des revendications précédentes dans lequel le résonateur comprend en outre des moyens de rotation apte à réaliser ladite rotation. 40
10. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel la section d'insert est mobile par rapport à la paroi conductrice. 45
11. Filtre selon la revendication 10 dans lequel la section d'insert mobile comprend une bague de réglage mobile. 50
12. Filtre selon l'une des revendications 1 à 9 dans lequel l'élément diélectrique est mobile par rapport à la paroi conductrice. 50
13. Filtre selon la revendication 9 dans lequel lesdits moyens de rotation comprennent une tige (120) solidaire de l'élément diélectrique et comprenant un matériau diélectrique. 55
14. Filtre selon l'une des revendications précédentes comprenant une pluralité de résonateurs (R1, R2) et des moyens de couplage (101) adaptés pour coupler entre eux deux résonateurs consécutifs
15. Filtre selon la revendication 14 comprenant en outre des moyens de liaison adaptés pour égaliser les rotations respectives des moyens de rotation des résonateurs
16. Filtre selon la revendication 15 dans lequel les moyens de liaison comprennent ladite tige solidaire d'une pluralité d'éléments disposés le long de la tige.
17. Circuit hyperfréquence comprenant au moins un filtre selon l'une des revendications précédentes.

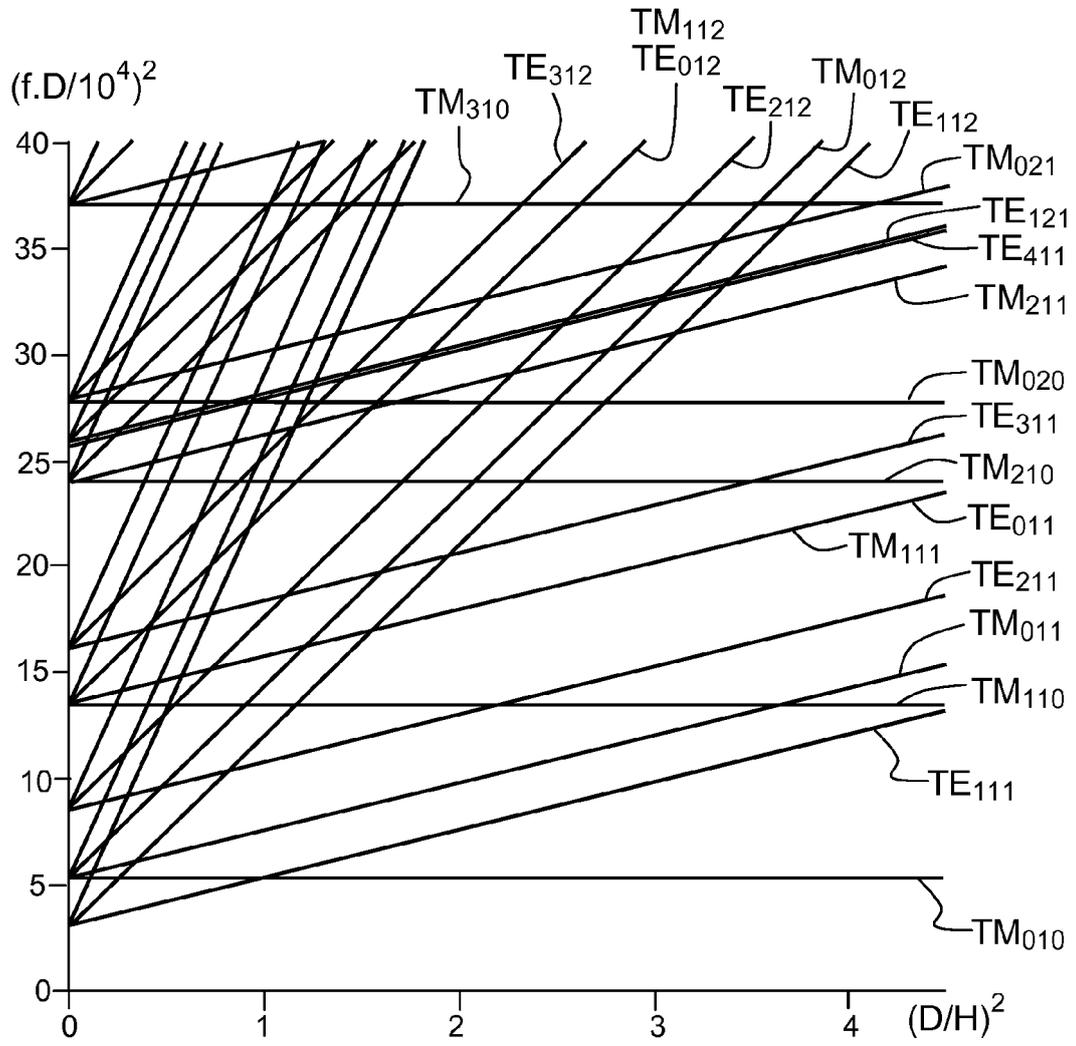


FIG.1

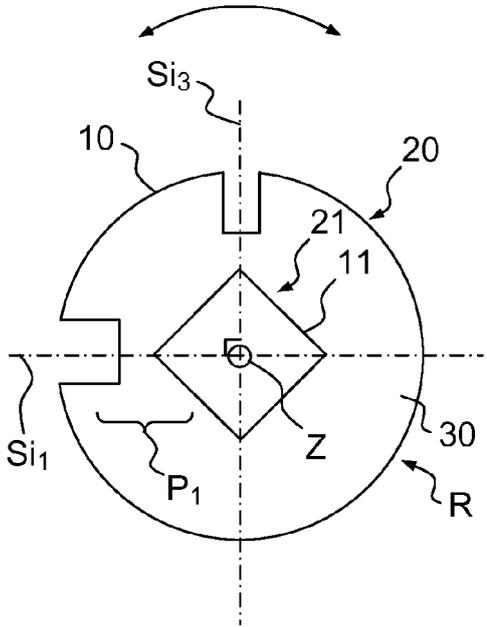


FIG. 2a

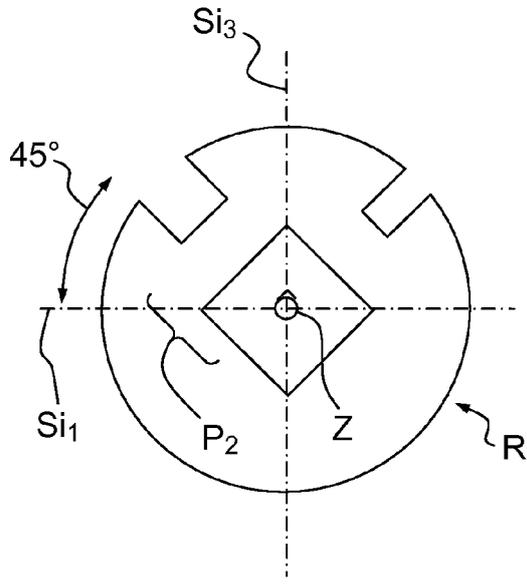


FIG. 2b

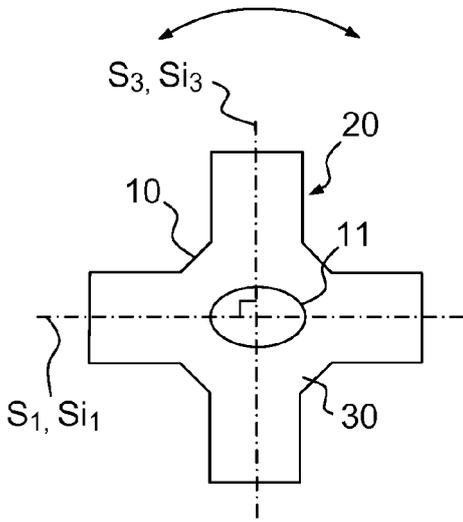


FIG. 3a

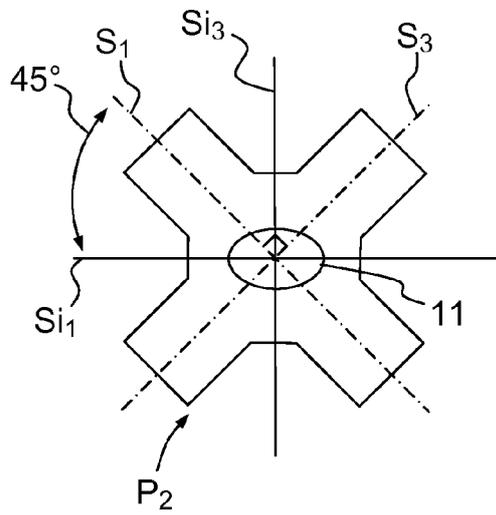


FIG. 3b

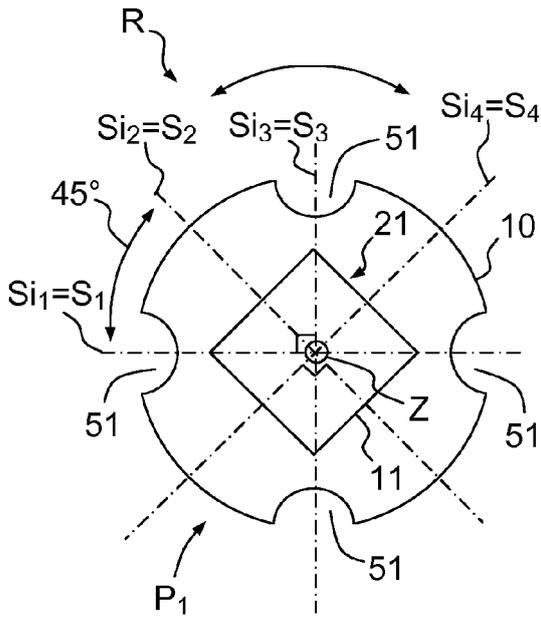


FIG. 4a

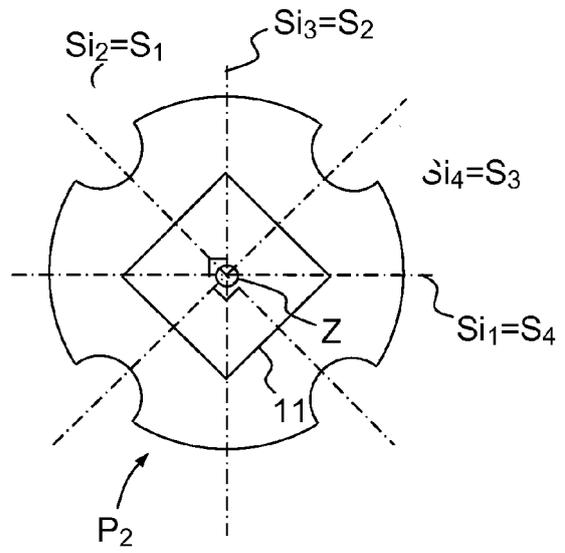


FIG. 4b

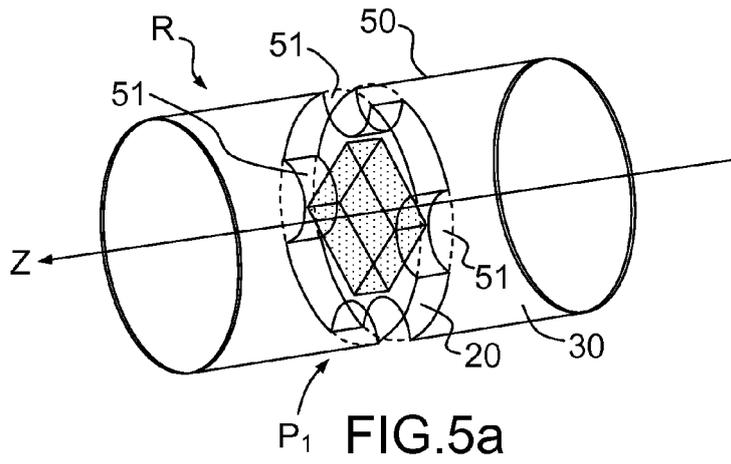


FIG. 5a

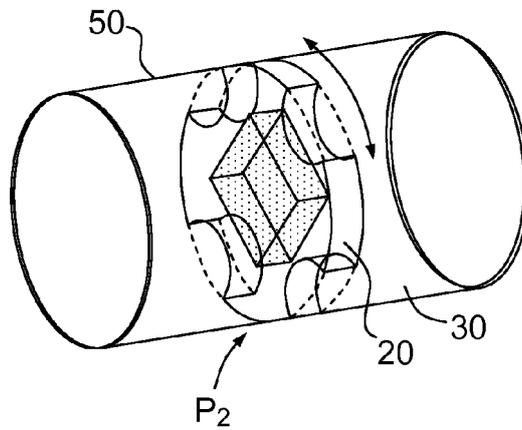


FIG. 5b

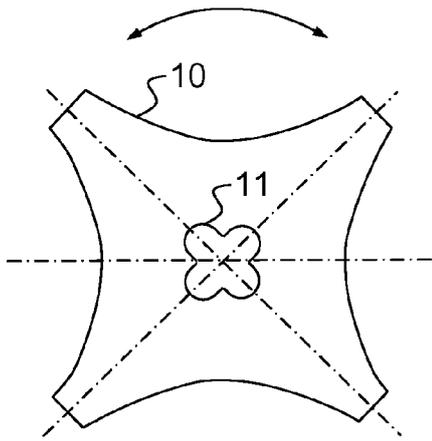


FIG. 6a

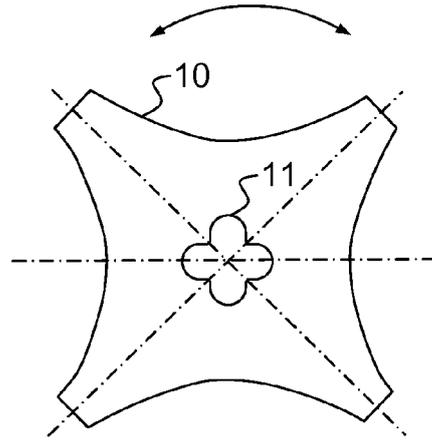


FIG. 6b

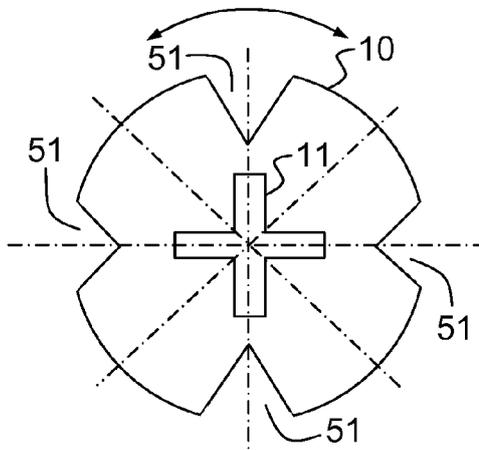


FIG. 7a

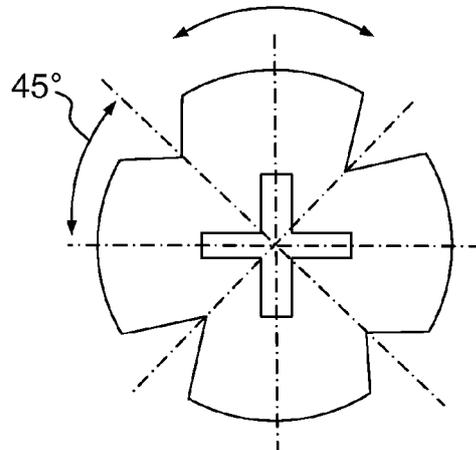


FIG. 7b

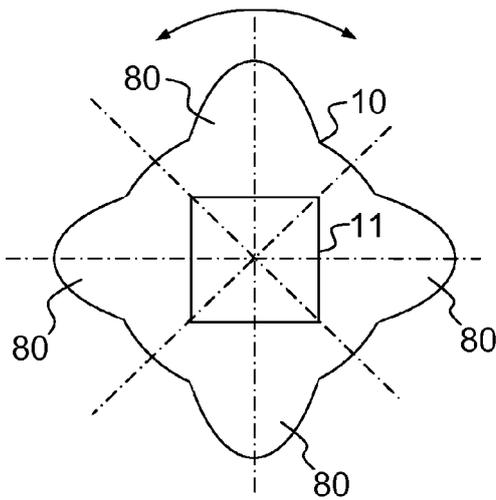


FIG. 8a

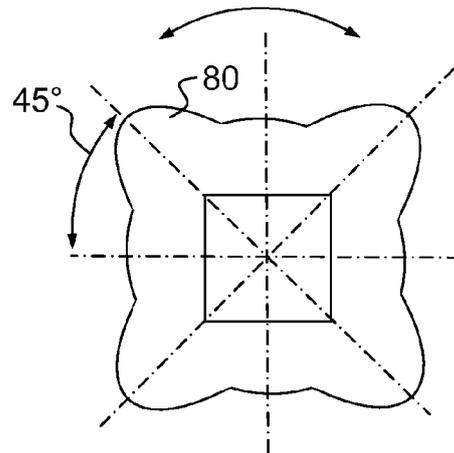


FIG. 8b

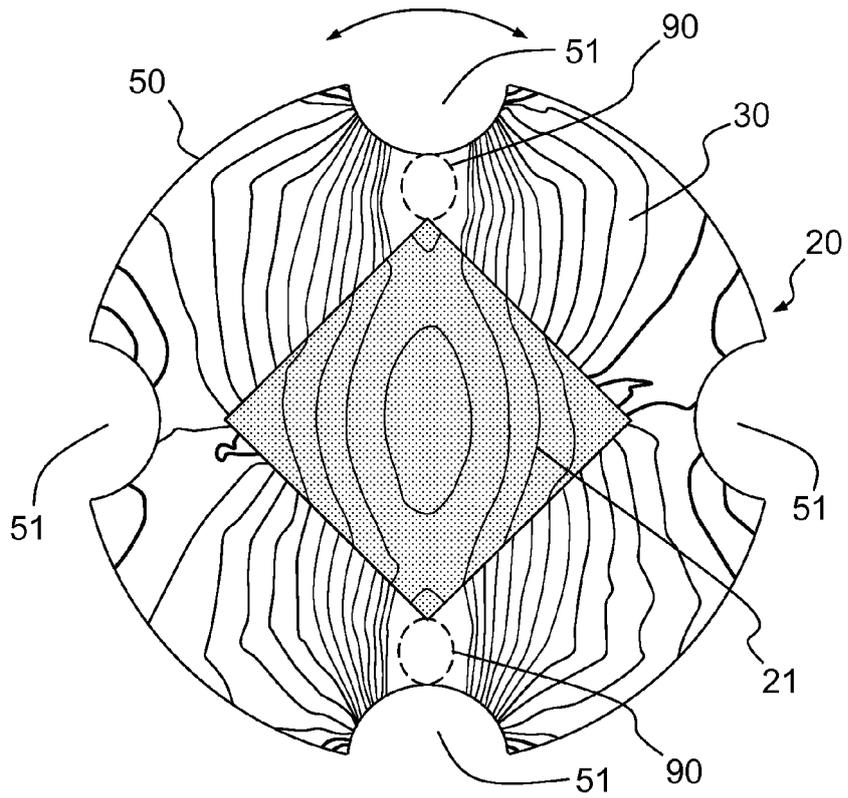


FIG. 9a

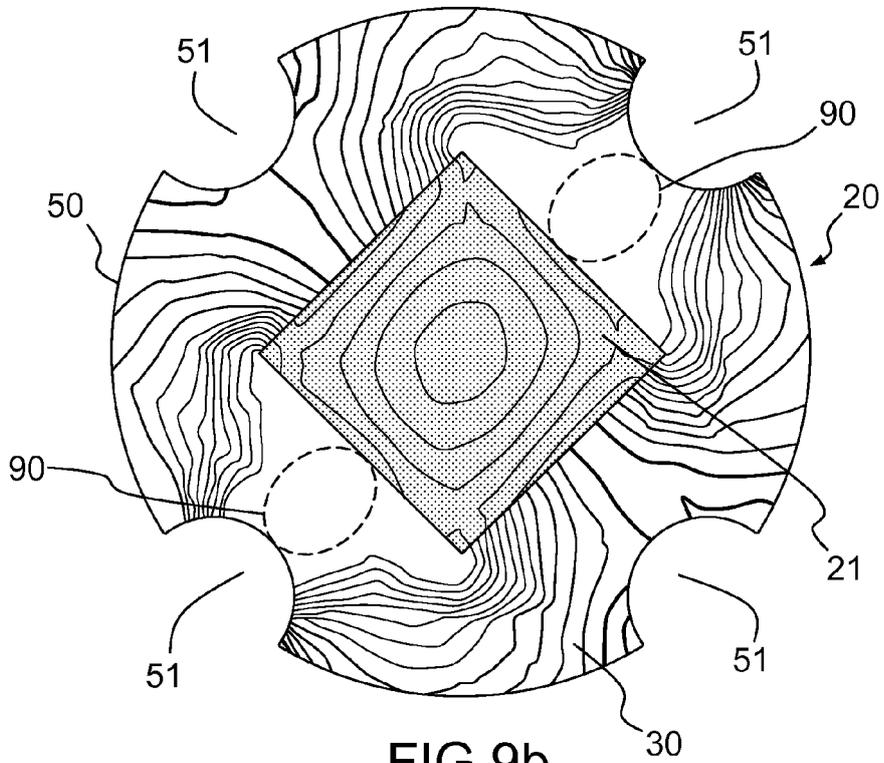


FIG. 9b

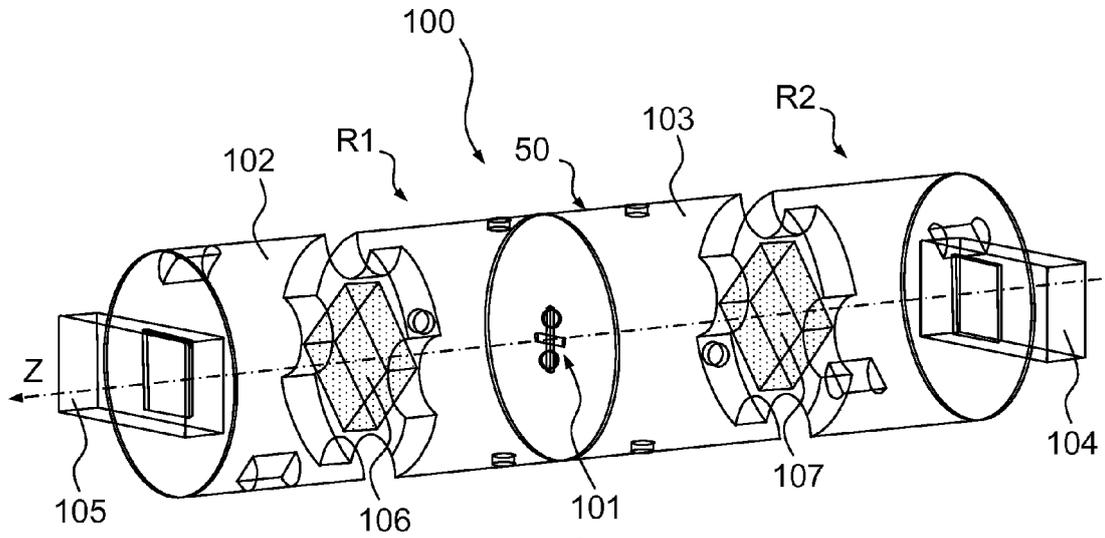


FIG. 10a

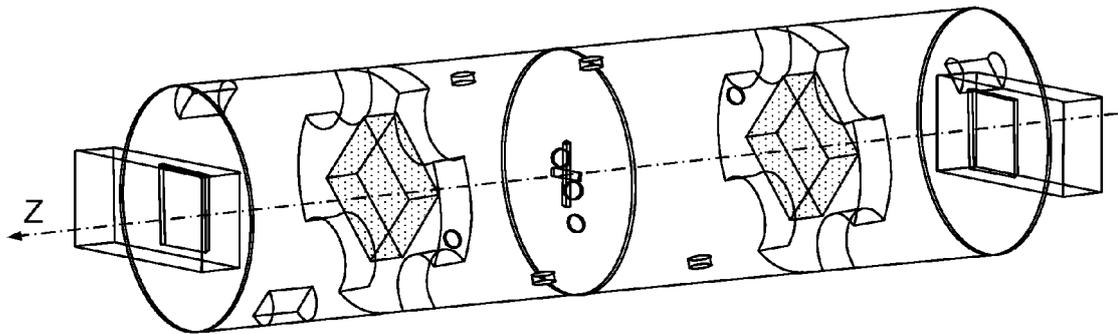


FIG. 10b

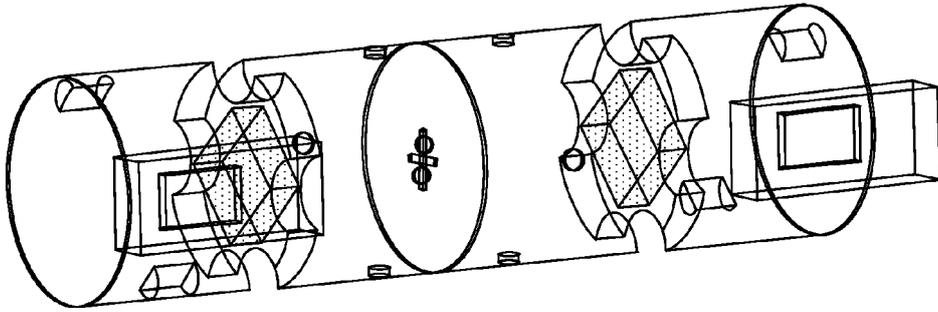


FIG. 11

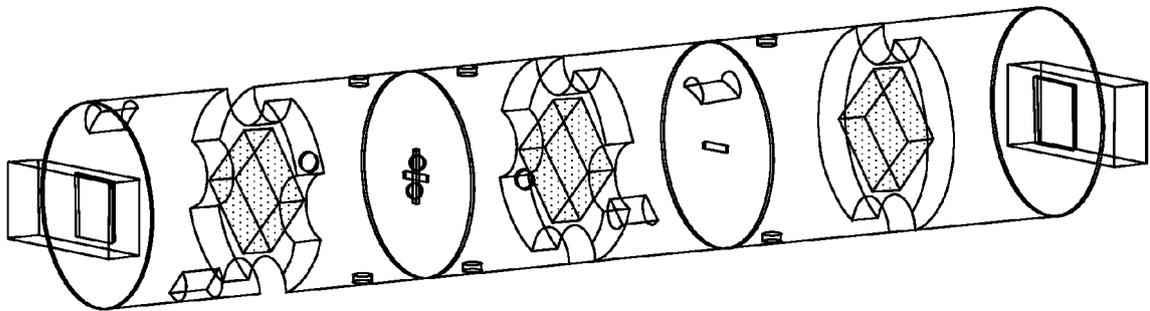


FIG. 12

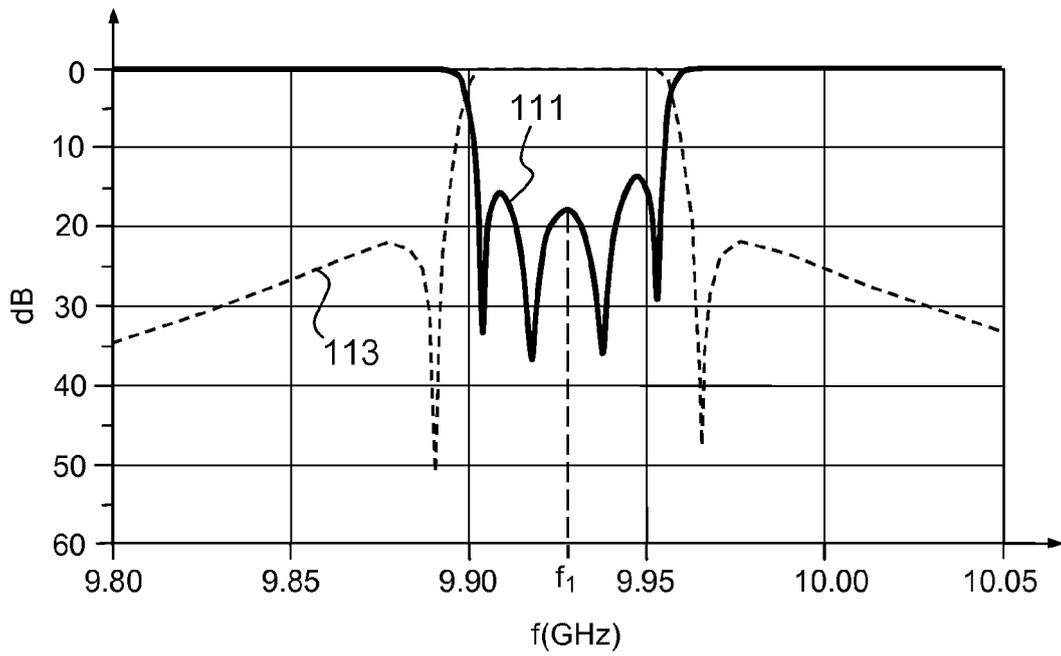


FIG.13a

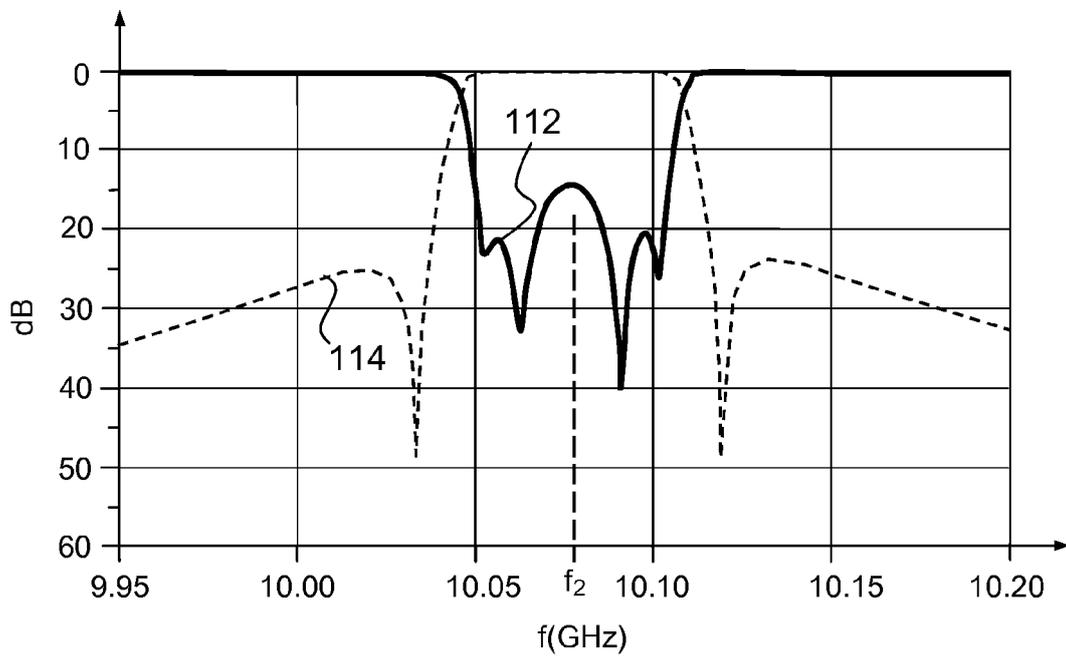


FIG.13b

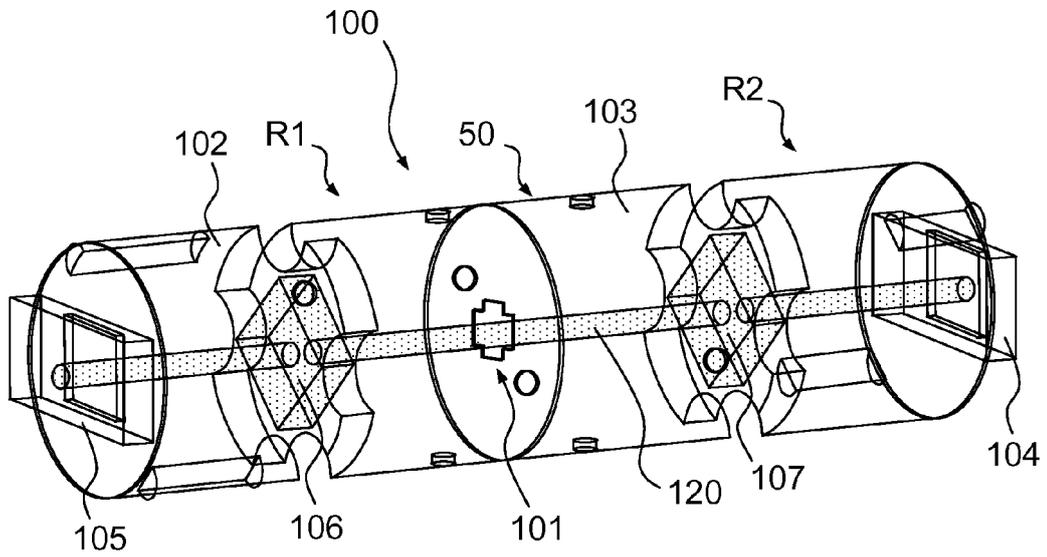


FIG. 14a

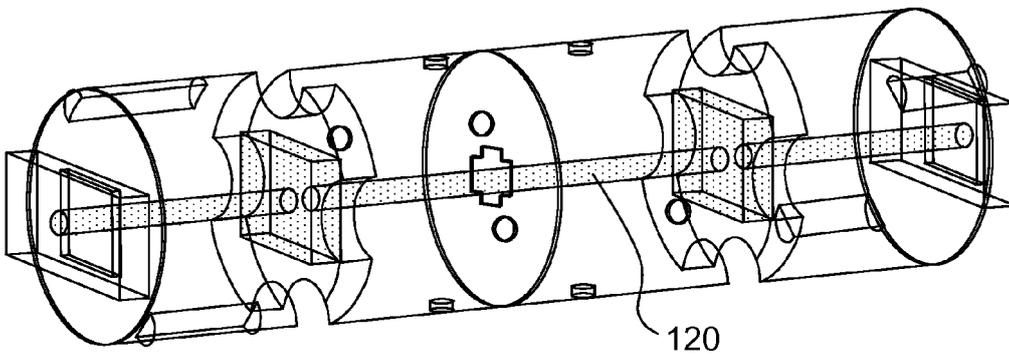


FIG. 14b



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 14 19 8053

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	US 5 796 318 A (ANDO MASAMICHI [JP] ET AL) 18 août 1998 (1998-08-18) * abrégé; figures 1,7 * * colonne 5, ligne 40 - colonne 6, ligne 25 * * colonne 8, ligne 30-67 * -----	1-17	INV. H01P1/207 H01P1/208
A	US 2007/159275 A1 (CRAIG NEIL J [US] ET AL CRAIG NEIL JAMES [US] ET AL) 12 juillet 2007 (2007-07-12) * abrégé; figures 4-6 * * page 5, alinéa 60-63 * -----	1,6, 14-17	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01P
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 21 avril 2015	Examineur Cordeiro, 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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 14 19 8053

5

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

21-04-2015

10

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5796318 A	18-08-1998	CN 1144018 A	26-02-1997
		DE 69524571 D1	24-01-2002
		DE 69524571 T2	17-10-2002
		EP 0738020 A1	16-10-1996
		FI 962929 A	22-07-1996
		JP 3232845 B2	26-11-2001
		JP H07212101 A	11-08-1995
		US 5796318 A	18-08-1998
		WO 9520248 A1	27-07-1995
		-----	-----
US 2007159275 A1	12-07-2007	AUCUN	
-----	-----	-----	-----

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM P0460

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