



(11)

EP 2 887 451 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
16.03.2016 Bulletin 2016/11

(51) Int Cl.:
H01P 1/208^(2006.01) H01P 7/06^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **14197311.5**

(22) Date de dépôt: **11.12.2014**

(54) **Filtre hyperfréquence passe-bande accordable par rotation d'un élément diélectrique**

Hyperfrequenz-Bandpassfilter, der durch Drehung eines dielektrischen Elements abstimmbar ist

Tunable microwave bandpass filter by rotation of a dielectric element

(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**

(30) Priorité: **20.12.2013 FR 1303029**

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

(73) Titulaires:
• **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)

(72) Inventeurs:
• **Jolly, Nicolas**
87110 Bosmie L'aiguille (FR)
• **Perigaud, Aurélien**
87350 Panazol (FR)

- **Tantot, Olivier**
87000 Limoges (FR)
- **Delhote, Nicolas**
87100 Limoges (FR)
- **Bila, Stéphane**
87430 Verneuil-sur-Vienne (FR)
- **Verdeyme, Serge**
87700 Aix-sur-Vienne (FR)
- **Pacaud, Damien**
31870 Beaumont-sur-Lèze (FR)
- **Estagerie, Laetitia**
31170 Tournefeuille (FR)

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

(56) Documents cités:
EP-A1- 1 575 118 EP-A1- 2 448 060
EP-A1- 2 690 702 DE-A1- 4 241 027

EP 2 887 451 B1

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

Description

DOMAINE DE L'INVENTION

5 [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

10 [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.

20 [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.

25 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.

[0004] Par ailleurs, la technologie des filtres à base d'éléments diélectriques est connue. Elle permet de réaliser des filtres passe bande non accordables.

30 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.

40 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'approximer via des modèles mathématiques (fonctions de Chebychev, de Bessel, ...). Ces fonctions sont généralement fondées sur des rapports de polynômes.

45 [0005] Pour un filtre réalisant une fonction de filtrage de type Chebychev ou Chebychev généralisé, la bande passante du filtre est déterminée à équioréponse 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).

50 [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.

55 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 modifiée à l'aide de vis métalliques, mais ce procédé effectué de manière empirique, est très couteux 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.

[0007] La symétrie circulaire ou carrée des résonateurs simplifie la conception du filtre.

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 certains nombres 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 Px et Py 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 Px et Py, 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 Px et Py.

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

Les modes duaux permettent ainsi de réaliser deux résonances électromagnétiques dans un élément résonant unique. Plusieurs modes possédant ces distributions de champ particulières peuvent être utilisés. Par exemple les modes duaux TE_{11n} (H_{11 n}) 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 (environ un facteur 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).

[0009] Un exemple d'un filtre passe bande accordable en fréquence est divulgué par EP1575118.

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 selon un axe Z présentant une hauteur H, une position z selon l'axe Z étant repérée par une abscisse z comprise entre 0 et H, et étant au moins partiellement fermée aux deux extrémités et,

*au moins un élément diélectrique disposé à l'intérieur de la cavité,

- ledit résonateur résonant selon un mode pour lequel deux polarisations perpendiculaires présentent respectivement des répartitions du champ électromagnétique dans la cavité se déduisant l'une de l'autre par une rotation de 90°,

- ledit mode présentant dans ladite cavité N maximas et N+1 minimas de champ électrique sensiblement situés dans un plan perpendiculaire à l'axe Z, les deux extrémités du cylindre respectivement aux abscisses $z=0$ et $z=H$ correspondant à des minimas de champ électrique, un minima et un maxima successifs étant espacés d'une distance de séparation $H/2N$,

caractérisé en ce qu'il comprend :

- des moyens de rotation adaptés pour mettre en rotation ledit élément selon un axe R sensiblement perpendiculaire à l'axe Z, entre au moins une première et une deuxième positions,
- ledit élément comprenant au moins une première extrémité de sorte que :

* dans une première position ledit élément est sensiblement disposé dans un plan perpendiculaire à l'axe Z et le centre de ladite première extrémité est disposé à une hauteur dans la cavité correspondant sensiblement à un minima du champ électrique,

* dans une deuxième position ledit élément est sensiblement parallèle à Z et ladite première extrémité est disposée dans un plan correspondant à un maxima de champ électrique à $\pm 30\%$ près.

[0012] Préférentiellement, l'élément diélectrique présente une partie centrale de forme allongée et une première extrémité présentant une section supérieure à une section de la partie centrale.

Préférentiellement, l'élément dans la deuxième position présente une forme de sorte que le volume traversé par une polarisation est sensiblement identique au volume traversé par la polarisation orthogonale. Préférentiellement, l'élément dans la deuxième position présente une forme telle qu'elle est invariante par rotation de 90° autour de l'axe Z.

Selon un mode de réalisation, la forme de l'élément comprend deux plans de symétrie orthogonaux, un plan de symétrie coïncidant avec un plan comprenant un axe de polarisation et l'axe Z, lorsque l'élément est dans la deuxième position.

Selon un mode de réalisation, l'élément comprend une deuxième extrémité de sorte que :

* dans la première position le centre de la deuxième extrémité est disposé à une hauteur dans la cavité correspondant sensiblement à un minima du champ électrique,

* dans la deuxième position la deuxième extrémité est disposée dans un plan correspondant à un maxima de champ électrique à $\pm 30\%$ près.

Préférentiellement, la paroi sensiblement cylindrique présente une courbe directrice choisie parmi un cercle, un carré. Préférentiellement, l'angle de rotation selon l'axe R entre la première position et la deuxième position est sensiblement égal à 90° .

Préférentiellement, l'axe de rotation R est concourant avec l'axe Z. Préférentiellement, l'axe de rotation est situé à une abscisse z correspondant à un minima de champ électrique.

Selon un mode de réalisation, les moyens de rotation comprennent une tige selon l'axe R solidaire de l'élément et comprenant un matériau diélectrique. Préférentiellement, $N=2$.

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

En variante, le filtre selon l'invention comprend en outre des moyens de liaison adaptés pour égaliser les rotations respectives des moyens de rotation des résonateurs.

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

Selon un mode de réalisation, le filtre selon l'invention comprend en outre des éléments diélectriques additionnels disposés à l'intérieur des moyens de couplage et solidaires des moyens de liaison.

[0013] Selon un autre aspect, l'invention a pour objet un circuit hyperfréquence comprenant au moins un filtre selon l'invention.

[0014] 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 illustre des propriétés remarquable de cavités de filtre selon l'invention.
- La figure 3a illustre la variation de champ électrique dans la cavité pour le mode H_{111} et la figure 3b pour le mode H_{112} .
- La figure 4 décrit un exemple du filtre selon l'invention, la figure 4a en position P1 et la figure 4b en position P2.
- La figure 5 décrit un premier mode de réalisation de filtre selon l'invention.
- La figure 6 illustre un exemple de forme d'extrémité de l'élément diélectrique du filtre selon l'invention.
- La figure 7 illustre un autre exemple de forme d'extrémité de l'élément diélectrique du filtre selon l'invention.

- La figure 8 illustre un autre exemple de forme d'extrémité de l'élément diélectrique du filtre selon l'invention.
- la figure 9 illustre un deuxième exemple du filtre selon l'invention, la figure 9a en position P1 et la figure 9b en position P2.
- La figure 10 décrit une variante d'un filtre selon l'invention, la figure 11a en position P1 et la figure 11b en position P2.
- La figure 11 illustre une vue de dessus du champ électrique schématisant la variation du champ électrique en coupe au voisinage d'un maximum, la figure 11a pour la polarisation P_x et la figure 11b pour la polarisation P_y .
- La figure 12 représente les valeurs du champ électrique dans la cavité, la figure 12a avec le diélectrique en position P1 et la figure 12b avec le diélectrique en position P2.
- La figure 13 illustre un filtre selon l'invention vu en perspective.
- La figure 14 illustre un filtre selon l'invention comprenant une pluralité de résonateurs et vu en perspective.
- La figure 15 illustre un exemple de comportement fréquentiel d'un filtre selon l'invention, la figure 15a en position P1 et la figure 15b en position P2.
- La figure 16 illustre une variante de filtre selon l'invention.

DESCRIPTION DETAILLÉE DE L'INVENTION

[0015] L'invention consiste à réaliser un filtre passe bande accordable en fréquence centrale de type « mode dual » à partir d'une rotation d'au moins un élément diélectrique dans un résonateur R composant le filtre.

[0016] Le filtre fonctionne sur un mode dual (« dual mode filter »), ce qui signifie que le résonateur résonne sur deux polarisations perpendiculaires dénommées P_x et P_y qui présentent respectivement des répartitions du champ électromagnétique dans la cavité 20 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 est rompue pour coupler les deux polarisations (voir plus loin).

Chaque résonateur R comprend une cavité 20 présentant une paroi conductrice 21, typiquement métallique, sensiblement cylindrique le long d'un axe Z, et au moins un élément diélectrique disposé à l'intérieur de la cavité. La paroi cylindrique présente préférentiellement une courbe directrice égale à un cercle ou un carré.

[0017] Nous allons tout d'abord décrire certaines propriétés de cavités selon l'invention illustrées sur la figure 2, en faisant abstraction de l'élément diélectrique disposé à l'intérieur, non représenté sur la figure 2. La figure 2 décrit trois exemples de cavités selon une coupe transversale du filtre selon l'invention dans un plan comprenant l'axe Z.

La cavité 20 présente une hauteur H, et une position selon l'axe Z est repérée par une abscisse z comprise entre 0 et H. La cavité 20 est au moins partiellement fermée aux deux extrémités. Lors d'un couplage par le fond, les extrémités de la cavité comprennent des éléments de couplage d'entrée et de sortie.

La répartition du champ électrique selon l'axe Z d'un mode dual selon l'invention résonnant dans la cavité 20 présente des propriétés particulières. Il se dénomme mode H_{11N} et présente N maxima de champ électriques 22, symbolisés par un trait en pointillé long sur la figure 2, et N+1 minima de champ électrique 23 symbolisés par un trait pointillé court sur la figure 2. Ces maxima et minima sont sensiblement situés dans un plan perpendiculaire à l'axe Z. Les deux extrémités du cylindre, respectivement aux abscisses $z=0$ et $z=H$, constituées de matière électriquement conductrice, par exemple métallique, correspondent nécessairement à des minima de champ électrique. De plus, un minimum et un maximum successifs sont espacés d'une distance de séparation $H/2N$.

La figure 2a illustre la répartition des minima et des maxima de champs pour une cavité résonnant selon le mode $N=1$ (H_{111}), qui présente donc 1 maximum et 2 minima de champ, ici les deux extrémités uniquement. Le maximum est situé à une abscisse $z = H/2$. Un minimum et un maximum successifs sont espacés d'une distance de séparation $H/2$.

La figure 2b illustre la répartition des minima et des maxima de champs pour une cavité résonnant selon le mode $N=2$ (H_{112}), qui présente donc 2 maxima et 3 minima de champ. En dehors des extrémités, le troisième minima est situé à une abscisse $H/2$, et les 2 maxima respectivement à des abscisses $H/4$, $3H/4$. Un minimum et un maximum successifs sont espacés d'une distance de séparation $H/4$.

La figure 2c illustre la répartition des minima et des maxima de champs pour une cavité résonnant selon le mode $N=3$ (H_{113}), qui présente donc 3 maxima et 4 minima de champ. En dehors des extrémités, les deux autres minima sont situés aux abscisses $H/3$ et $2H/3$, et les 3 maxima respectivement à aux abscisses $H/6$, $H/2$ et $5H/6$. Un minimum et un maximum successifs sont espacés d'une distance de séparation $H/6$.

La figure 3a décrit à titre illustratif la variation du champ électrique E selon Z dans la cavité pour le mode H_{111} et la figure 3b la variation du champ électrique E dans la cavité pour le mode H_{112} .

Pour l'invention la présence d'un élément diélectrique dans la cavité perturbe peu la position respective selon Z des minima et des maxima de champ par rapport au cas d'une cavité vide.

[0018] La figure 4 décrit un filtre 100 selon l'invention selon une coupe dans un plan YZ, pour un mode H_{112} . Dans la suite les différents modes de réalisation de l'invention sont illustrés pour un mode dual H_{112} ($N=2$) mais peuvent bien entendu être adaptés pour d'autres valeurs de N. On retrouve le résonateur R, la cavité 20, la paroi métallique 21, les

minima 23 (traits pointillés courts) et les maxima 22 (traits pointillés longs). Le filtre 100 selon l'invention comprend également au moins un élément diélectrique 40 disposé à l'intérieur de la cavité 20 présentant au moins une première extrémité E1. Le filtre 100 comprend en outre des moyens de rotation adaptés pour mettre en rotation l'élément diélectrique 40 selon un axe de rotation R sensiblement perpendiculaire à l'axe Z, entre au moins une première position P1 (illustrée figure 4a) et une deuxième position P2 (illustrée figure 4b).

[0019] Dans la première position P1 l'élément diélectrique 40 est sensiblement disposé dans un plan perpendiculaire à l'axe Z et le centre de première extrémité E1 est disposée à une hauteur dans la cavité correspondant sensiblement à un minima du champ électrique. On entend par centre de l'extrémité le barycentre de la section extrémale de l'élément diélectrique 40.

[0020] Ainsi l'ensemble, ou la plus grande partie, du volume du diélectrique 40 (typiquement au moins 80 % du volume du diélectrique) est situé dans une région où le champ électrique est faible (typiquement à +/- 40% autour du minima de champ). Le diélectrique 40 ainsi positionné perturbe peu la cavité, qui fonctionne alors selon un mode conventionnel dual de type H_{11N} .

[0021] Ainsi il convient d'interpréter l'expression « sensiblement dans un plan perpendiculaire » et l'expression « le centre de ladite première extrémité est disposé à une hauteur dans la cavité correspondant sensiblement à un minima du champ électrique » de manière large, c'est à dire une localisation à +/- 40% de la position du minima. En effet dans cette position P1 l'effet recherché est une faible perturbation du champ électrique par le diélectrique positionné dans une zone dans laquelle le champ électrique est faible.

[0022] L'élément diélectrique 40 et la cavité 20 sont adaptés de sorte que la première position P1 correspond à une géométrie de résonateur résonant en mode dual selon une première fréquence centrale f_1 .

[0023] Dans la deuxième position P2, après rotation autour de l'axe R, l'élément diélectrique 40 est sensiblement parallèle à Z et sa première extrémité E1 est disposée dans un plan correspondant à un maxima de champ électrique à +/- 30% près. La zone 41 correspondant au maximum +/- 30% est hachurée sur la figure 4b. Préférentiellement, la première extrémité E1 est située dans la zone au voisinage d'un maxima le plus proche du minima dans lequel est situé le diélectrique 40 dans la première position P1.

La zone hachurée 41 présente une largeur totale Δ selon Z de :

$$\Delta = (H/2N+30\%) - (H/2N-30\%) = 0.6 H/2N,$$

centrée autour d'un maxima 22.

[0024] Il est considéré que cette zone correspond à une région dans laquelle le champ électrique E présente une valeur suffisamment importante pour être perturbé par le diélectrique 40, qui dans la position P2 présente une partie négligeable de son volume à l'intérieur de cette zone 41.

[0025] La perturbation du champ entraîne une modification de la fréquence centrale du filtre 100. Ainsi l'élément diélectrique 40 et la cavité 20 sont adaptés de sorte que la deuxième position P2 correspond à une géométrie de résonateur résonant en mode dual selon une deuxième fréquence centrale f_2 .

La rotation du diélectrique 40 entre au moins deux positions P1 et P2 permet de modifier la fréquence centrale de résonance du filtre 100 selon l'invention, selon au moins deux valeurs f_1 et f_2 , ce qui est adapté pour des applications de type « saut de canal ».

De manière générale, la forme de l'élément diélectrique 40, la position de l'axe R et la valeur de l'angle de rotation entre les deux positions, sont optimisés pour permettre la résonance du résonateur R selon un mode dual selon au moins deux fréquences centrales f_1 et f_2 , une première fréquence f_1 correspondant à un mode cavité peu perturbé par le diélectrique 40 dans la position P1, une deuxième fréquence f_2 correspondant à un mode de cavité perturbé par le diélectrique 40 dans la position P2.

Le diélectrique dans la position P2 concentre le champ électrique, diminuant la fréquence de résonance. En effet de manière générale la fréquence de résonance d'un milieu est inversement proportionnel à la racine carrée de la permittivité (permittivité relative ϵ_r égale à 1 pour le vide ; et supérieure à 1 pour un diélectrique). En d'autres termes, l'onde Electromagnétique se propage moins vite dans un milieu fortement diélectrique : pour une même durée elle parcourt moins de distance dans un diélectrique que dans le vide pour une même fréquence. Donc plus la permittivité est élevée plus le système est petit (ou à dimensions égales, plus la fréquence est basse).

La cavité du filtre selon l'invention est composée d'air ($\epsilon_r=1,00$) et de diélectrique (ϵ_r typiquement de 10 à 40). Il existe donc une permittivité effective comprise entre les deux. Cette permittivité effective dépend du mode utilisé, et de la position du diélectrique dans la cavité. Ainsi la permittivité effective est plus basse pour le mode peu perturbé que pour le mode perturbé. En effet, dans le second cas le diélectrique est placé essentiellement dans la zone où le champ est fort (au voisinage d'un maxima de champ électrique), il impacte fortement, engendrant une hausse de la permittivité effective (donc une diminution de la fréquence).

Dans une utilisation classique d'un filtre selon un mode dual, la permittivité relative est constante. Un filtre dual agile en fréquence est classiquement réalisé en utilisant un capot mobile qui réduit le volume de la cavité, et donc fait augmenter la fréquence de résonance.

[0026] Un filtre 100 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. En effet, les pertes du filtre ont plusieurs origines :

- 1 / métalliques (parois de la cavité, d'autant plus forte que le champ fort est proche des parois)
- 2/ diélectriques (d'autant plus forte que le champ fort est localisé dans le diélectrique).

Dans l'état peu perturbé, le champ est peu concentré dans le diélectrique et est relativement proche des parois. Dans l'état perturbé, il est un peu plus concentré, typiquement autour du diélectrique. Donc dans l'état perturbé il y a plus de pertes diélectriques, mais le champ étant attiré par le diélectrique, il s'éloigne des parois, ce qui induit une diminution des pertes métalliques.

La forme du diélectrique est optimisée pour que les pertes soient les plus faibles possibles dans les deux cas. La variation est dans tous les cas très faible comparée à des solutions utilisant des éléments d'accord tels que des diodes ou des MEMS.

Typiquement un facteur $Q > 10000$ est obtenu pour un filtre selon l'invention.

[0027] 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. Certains modes de réalisation présentent l'avantage de simplifier le design et l'optimisation du filtre. Sur un premier exemple illustré sur la figure 5, l'axe de rotation R est concourant avec l'axe Z, est situé à une abscisse z correspondant à un minima de champ électrique, ici $H/2$ dans le mode préférentiel H_{112} , $N=2$ et est selon un axe X correspondant à un axe de polarisation P_x du mode dual. Selon un mode de réalisation, l'axe de rotation R est perpendiculaire à l'axe Z.

Les figures 5a et 5b correspondent à la position P1, les figures 5c et 5d correspondent à la position P2. Les figures 5c et 5d correspondent à une coupe selon le plan YZ, les figures 5b et 5d correspondent à une coupe selon le plan XZ.

Selon un mode de réalisation illustré figure 5, l'angle de rotation selon l'axe R entre la première position P1 et la deuxième position P2 est sensiblement égal à 90° .

Selon un mode de réalisation illustré figure 5, les moyens de rotation comprennent une tige 50 selon l'axe R solidaire de l'élément et comprenant un matériau diélectrique. Ce système de tige permet de reconfigurer le filtre, soit en vol (à l'aide par exemple d'un moteur pas à pas commandant la rotation de la tige et donc de l'élément diélectrique 40), soit au sol (flexibilité opérationnelle).

Selon un mode préféré également illustré figure 5 l'élément diélectrique 40 présente une partie centrale P_c de forme allongée et au moins une extrémité E1 présentant une section S_e supérieure à une section S_c de la partie centrale P_c . Cette forme particulière d'élément diélectrique permet de maximiser l'effet perturbatif du diélectrique en positionnant un maximum de volume, correspondant au volume de l'extrémité E1, dans la zone 41 en position P2.

[0028] Dans les modes H_{11N} , le champ électrique est concentré au voisinage de l'axe Z. La forme du diélectrique, afin de perturber le champ doit donc être préférentiellement optimisée pour qu'en position P2 un volume important de l'extrémité du diélectrique soit localisé au voisinage de l'axe Z.

[0029] De manière générale, pour un bon fonctionnement du filtre en mode dual, l'élément diélectrique 40 dans la deuxième position P2 présente une forme de sorte que le volume traversé par une polarisation, par exemple P_x , est sensiblement identique au volume traversé par la polarisation orthogonale P_y . Cette condition doit être respectée pour la partie du volume de l'élément diélectrique 40 située dans la zone dans laquelle le champ électrique est maximum, soit typiquement dans la zone 41, car c'est principalement dans cette zone 41 que le champ électrique est perturbé par la présence du diélectrique 40.

Cette condition est réalisée par exemple lorsque l'extrémité E1 de l'élément 40 présente dans la deuxième position une forme telle qu'elle est invariante par rotation de 90° autour de l'axe Z.

La forme carrée de l'extrémité E1 de l'élément 40 de la figure 5 présente cette propriété.

La partie centrale allongée peut le cas échéant également présenter ce type de propriété (par exemple partie allongée carrée ou circulaire).

De même une forme en L de l'extrémité E1 de l'élément 40 illustré figure 6 (vue de dessus) vérifie cette propriété d'invariance par rotation de 90° .

La condition est également réalisée lorsque la forme de l'élément 40 comprend deux plans de symétrie orthogonaux, chaque plan de symétrie coïncidant avec un plan comprenant un axe de polarisation et l'axe Z, lorsque l'élément 40 est dans la deuxième position P2:

Plans de symétrie : P_{xZ} et P_{yZ} , P_x et P_y axes de polarisation du mode dual (X et Y sur les figure 5 et 6).

La figure 7 illustre un élément diélectrique 40 dont l'extrémité présente une forme en croix (vue de dessus), qui présente à la fois les deux plans de symétrie orthogonaux ci-dessus et une invariance par rotation de 90° autour de Z dans la position P2.

Pour des questions d'encombrement, il peut ne pas être possible de positionner l'axe de rotation R concourant avec l'axe Z , et l'axe R est donc décalé latéralement, tel qu'illustré figure 8. Dans ce cas, l'élément diélectrique 40 présente une partie centrale P_c également décalée. Afin d'égaliser le volume traversé par les deux polarisations P_x et P_y dans la deuxième position P2, principalement dans la zone 41 dans laquelle le champ électrique présente un maxima, l'extrémité $E1$ est centrée sur l'axe Z et peut présenter les propriétés précédentes par rapport à cet axe Z .

[0030] La condition précédente, selon laquelle le volume de diélectrique traversé, particulièrement dans la zone 41, est préférentiellement identique pour les deux polarisations, s'entend de manière globale. Une légère dissymétrie peut être introduite, par exemple en décalant et modifiant la forme carrée initiale en un rectangle, tel qu'illustré par des pointillés 80 sur la figure 8. Cette dissymétrie permet, en combinaison ou en remplacement des vis métalliques à 45° , de coupler les polarisations entre elles. Typiquement une modification des dimensions de l'ordre de 1% à 5 % est susceptible de réaliser le couplage. Cette dissymétrisation du volume de l'élément dans la zone 41 est bien entendu compatible avec toute forme d'élément diélectrique 40.

[0031] Selon un deuxième exemple illustré figure 9 (première position P1 figure 9a et deuxième position P2 figure 9b) l'élément 40 comprend une deuxième extrémité $E2$ de sorte que dans la première position P1 le centre de la deuxième extrémité $E2$ est disposée à une hauteur dans la cavité correspondant sensiblement à un minima du champ électrique, dans la deuxième position P2 ladite deuxième extrémité $E2$ est disposée dans un plan correspondant à un maxima de champ électrique à $\pm 30\%$ près.

Dans ce mode de réalisation chacune des extrémités vient perturber le champ électrique dans la position P2. Chaque extrémité est située dans une zone 41 correspondant à une hauteur en abscisse z égale au Δ défini précédemment. Ce mode de réalisation présente l'avantage de réaliser une perturbation plus importante qu'avec une seule extrémité, ce qui permet une excursion en fréquence centrale plus importante et permet de garder une structure symétrique par rapport au centre de la cavité.

[0032] Une variante de ce mode de réalisation est décrite figure 10 (figure 10a pour la position P1 et figure 10b pour la position P2). L'axe R est concourant avec Z , et l'élément diélectrique 40 présente une partie centrale allongée dont l'axe est situé dans le plan perpendiculaire à Z correspondant à un minimum de champ électrique, ici d'abscisse $z=H/2$ en position P1, et une symétrie par rapport à ce plan. L'extrémité $E1$ présente une section supérieure et est de forme par exemple carrée. Dans la position P2, on obtient ainsi un élément diélectrique perturbant fortement le champ électrique, avec une partie importante de volume du diélectrique 40 dans une zone 41, le volume du diélectrique étant de plus concentré au voisinage de Z dans une zone de concentration 90.

La figure 11 illustre une vue de dessus du champ électrique, schématisant la variation du champ en coupe au voisinage d'un maximum. La figure 11a correspond à la polarisation P_x (selon X) et la figure 11b à la polarisation P_y (selon Y). Chaque polarisation est maximale selon son axe, et au centre de la cavité, et diminue au fur et à mesure que l'on se rapproche de la paroi circulaire. La distribution du champ correspondant à une polarisation se déduit de la distribution du champ correspondant à l'autre polarisation par une rotation de 90° autour de Z .

La figure 12 représente les valeurs du champ électrique dans la cavité pour le diélectrique en position P1 (figure 12a) et en position P2 (figure 12b) pour une polarisation. Les valeurs maximum de champ sont concentrées dans la zone de concentration 90.

La figure 13 illustre un filtre 100 selon l'invention vu en perspective (figure 13a position P1 et figure 13b position P2), le nuage de point schématisant les zones de maximum de champ. Le filtre présente en outre de manière classique des moyens respectivement d'entrée 111 et de sortie 112 permettant à l'onde hyperfréquence respectivement de pénétrer et de sortir du filtre. La paroi présente une courbe directrice égale à un cercle. Le couplage est ici latéral, mais le filtre selon l'invention est bien entendu compatible avec un couplage par le fond.

[0033] En variante, le filtre 100 comprend une pluralité de résonateurs et des moyens de couplage adaptés pour coupler entre eux deux résonateurs consécutifs.

La figure 14 (figure 14a position P1, figure 14b position P2) illustre un filtre 100 comprenant deux résonateurs $R1$ et $R2$ comprenant chacun une cavité 131 et 133, et un élément diélectrique 130, 132, les résonateurs étant couplés entre eux à l'aide d'un moyen de couplage 101, ici un iris. Des moyens d'entrée 111 et de sortie 112 permettent à l'onde hyperfréquence respectivement de pénétrer et de sortir du filtre. Des vis métalliques 135 contribuent au couplage des polarisations entre elles.

Chaque résonateur comprend une paroi cylindrique et le couplage est latéral. Les éléments diélectriques successifs 130 et 132 sont alignés selon un même axe et sont solidaire d'une même tige 50. Cette géométrie présente l'avantage de permettre le contrôle de l'ensemble des rotations de la pluralité d'élément avec un même élément, la tige.

Ainsi en variante le filtre selon l'invention comprend en outre des moyens de liaison pour égaliser les rotations respectives des moyens de rotation des éléments diélectriques. Avantageusement, les moyens de liaison comprennent la tige 50

solidaire d'une pluralité d'éléments 130, 132 disposés le long de la tige 50.

Le filtre 100 de la figure 14 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.

Selon une variante, des éléments diélectriques additionnels, disposés à l'intérieur des moyens de couplage 101 entre les cavités, sont insérés. Ces éléments diélectriques additionnels sont solidaires du moyen de liaison, par exemple de la tige 50, de sorte qu'ils effectuent une rotation identique à celle des éléments diélectriques 130 et 132. Ils présentent en outre une forme adaptée de manière à garantir un couplage optimal des résonateurs entre eux pour les deux positions P1 et P2 des éléments diélectriques 130, 132. En variante, lorsque l'axe de rotation passe à l'intérieur des moyens d'entrée 111 et de sortie 112, des éléments diélectriques additionnels sont disposés à l'intérieur de ces moyens 111 et 112.

[0034] Un exemple de comportement fréquentiel du filtre de la figure 14 est illustré figure 15 (figure 15a position P1, figure 15b position P2). Le mode dual est de type H_{112} et les paramètres du filtre de cet exemple sont :

Hauteur H: 35 mm ; diamètre du cylindre 25 mm; élément diélectrique en BMT (permittivité 24.7) de forme allongée, dimension de l'extrémité carré : côté 4.8 mm x 4.9 mm et épaisseur 1.5 mm.

[0035] Les courbes 141 et 142 (trait plein) corresponde aux courbes de type S11 (réflexion du filtre) et les courbes 143 et 144 (trait pointillé) aux courbes de type S21 (transmission du filtre). Entre les deux positions P1 ($f_1 = 11350$ MHz) et P2 ($f_2 = 10750$ MHz) on constate une variation d'environ 600 MHz (6.5 % de la fréquence de résonance).

[0036] Les moyens de rotation peuvent également comprendre un moteur pas à pas pour commander la rotation des éléments diélectriques, dans le cas ou une reconfiguration du filtre doit être effectuée en vol par exemple.

[0037] La figure 16 décrit une variante de l'invention selon laquelle un guide d'onde coudé 150 est couplé aux moyens d'entrée 111 pour permettre à la fois le couplage de l'onde hyperfréquence et la sortie de la tige du filtre 100. Le guide d'onde est percé d'un trou permettant à la tige de sortir afin d'être commandée en rotation, par un moteur pas à pas par exemple.

[0038] Selon un autre aspect, l'invention a pour objet un circuit hyperfréquence comprenant au moins un filtre 100 selon l'invention.

Revendications

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

- chaque résonateur comprenant :

*une cavité (20) présentant une paroi conductrice (21) sensiblement cylindrique selon un axe Z présentant une hauteur H, une position z selon l'axe Z étant repérée par une abscisse z comprise entre 0 et H, et étant au moins partiellement fermée aux deux extrémités et,

*au moins un élément diélectrique (40) disposé à l'intérieur de la cavité,

- ledit résonateur résonant selon un mode pour lequel deux polarisations perpendiculaires (P_x , P_y) présentent respectivement des répartitions du champ électromagnétique dans la cavité se déduisant l'une de l'autre par une rotation de 90° ,

- ledit mode présentant dans ladite cavité N maximas (22) et N+1 minimas (23) de champ électrique sensiblement situés dans un plan perpendiculaire à l'axe Z, les deux extrémités du cylindre respectivement aux abscisses $z=0$ et $z=H$ correspondant à des minimas de champ électrique, un minima et un maxima successifs étant espacés d'une distance de séparation $H/2N$,

caractérisé en ce qu'il comprend :

- des moyens de rotation adaptés pour mettre en rotation ledit élément selon un axe R sensiblement perpendiculaire à l'axe Z, entre au moins une première (P1) et une deuxième (P2) positions,

- ledit élément comprenant au moins une première extrémité (E1) de sorte que :

* dans une première position (P1) ledit élément est sensiblement disposé dans un plan perpendiculaire à l'axe Z et le centre de ladite première extrémité (E1) est disposé à une hauteur dans la cavité correspondant sensiblement à un minima du champ électrique,

* dans une deuxième position (P2) ledit élément est sensiblement parallèle à Z et ladite première extrémité (E1) est disposée dans un plan correspondant à un maxima de champ électrique à +/- 30% près.

- 5 2. Filtre selon la revendication 1 dans lequel ledit élément diélectrique (40) présente une partie centrale (Pc) de forme allongée et une première extrémité (E1) présentant une section (Se) supérieure à une section (Sc) de la partie centrale.
- 10 3. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel ledit élément dans la deuxième position (P2) présente une forme de sorte que le volume traversé par une polarisation (Px, Py) est sensiblement identique au volume traversé par la polarisation orthogonale (Py, Px).
- 15 4. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel ledit élément dans la deuxième position (P2) présente une forme telle qu'elle est invariante par rotation de 90° autour de l'axe Z.
- 20 5. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel la forme de l'élément (40) comprend deux plans de symétrie orthogonaux, un plan de symétrie coïncidant avec un plan comprenant un axe de polarisation (Px, Py) et l'axe Z, lorsque l'élément (40) est dans la deuxième position (P2).
- 25 6. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel ledit élément comprend une deuxième extrémité (E2) de sorte que :
 - * dans la première position (P1) le centre de ladite deuxième extrémité (E2) est disposé à une hauteur dans la cavité correspondant sensiblement à un minima du champ électrique,
 - * dans la deuxième position (P2) ladite deuxième extrémité (E2) est disposée dans un plan correspondant à un maxima de champ électrique à +/- 30% près.
- 30 7. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel ladite paroi sensiblement cylindrique présente une courbe directrice choisie parmi un cercle, un carré.
- 35 8. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel l'angle de rotation selon l'axe R entre la première position (P1) et la deuxième position (P2) est sensiblement égal à 90°.
- 40 9. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel l'axe de rotation R est concourant avec l'axe Z.
- 45 10. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel l'axe de rotation est situé à une abscisse z correspondant à un minima de champ électrique.
- 50 11. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel lesdits moyens de rotation comprennent une tige (50) selon l'axe R solidaire de l'élément et comprenant un matériau diélectrique.
- 55 12. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel N=2.
13. Filtres 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.
14. Filtre selon la revendication 13 comprenant en outre des moyens de liaison adaptés pour égaliser les rotations respectives des moyens de rotation des résonateurs.
15. Filtre selon la revendication 14 dans lequel les moyens de liaison comprennent ladite tige (50) solidaire d'une pluralité d'éléments disposés le long de la tige.
16. Filtre selon les revendications 14 à 15 comprenant en outre des éléments diélectriques additionnels disposés à l'intérieur des moyens de couplage (101) et solidaires des moyens de liaison (50).
17. Circuit hyperfréquence comprenant au moins un filtre selon l'une des revendications précédentes.

Patentansprüche

1. Frequenzabstimmbares Mikrowellenbandpassfilter (100), das wenigstens einen Resonator (R) umfasst,

- wobei jeder Resonator Folgendes umfasst:

* einen Hohlraum (20) mit einer leitenden Wand (21) im Wesentlichen zylindrisch entlang einer Achse Z, mit einer Höhe H, wobei eine Position z entlang der Achse Z auf einer Abszisse z zwischen 0 und H dargestellt ist, und der im Wesentlichen teilweise an den beiden Enden geschlossen ist; und

* wenigstens ein dielektrisches Element (40), das im Innern des Hohlraums angeordnet ist;

- wobei der Resonator in einem Modus resoniert, in dem zwei lotrechte Polarisierungen (Px, Py) jeweils Verteilungen des elektromagnetischen Felds in dem Hohlraum haben, die jeweils um eine Drehung von 90° voneinander abweichen;

- wobei der Modus in dem Hohlraum N elektrische Feldmaxima (22) und N+1 elektrische Feldminima (23) hat, die sich im Wesentlichen in einer Ebene lotrecht zur Achse Z befinden, wobei sich die beiden Enden des Zylinders jeweils auf der Abszisse z=0 und z=H entsprechend elektrischen Feldminima befinden, wobei ein darauf folgendes Minimum und ein darauf folgendes Maximum einen Trennabstand H/2N voneinander haben,

dadurch gekennzeichnet, dass es Folgendes umfasst:

- Drehmittel zum Versetzen des Elements in Drehung entlang einer Achse R im Wesentlichen lotrecht zur Achse Z zwischen wenigstens einer ersten (P1) und einer zweiten (P2) Position;

- wobei das Element wenigstens ein erstes Ende (E1) aufweist, so dass:

* in einer ersten Position (P1) das Element im Wesentlichen in einer Ebene lotrecht zur Achse Z angeordnet ist und die Mitte des ersten Endes (E1) in einer Höhe in dem Hohlraum angeordnet ist, die im Wesentlichen einem Minimum des elektrischen Feldes entspricht;

* in einer zweiten Position (P2) das Element im Wesentlichen parallel zu Z ist und das erste Ende (E1) in einer Ebene angeordnet ist, die einem elektrischen Feldmaximum zu +/- 30 % entspricht.

2. Filter nach Anspruch 1, wobei das dielektrische Element (40) einen mittleren Teil (Pc) mit einer länglichen Form hat und ein erstes Ende (E1) einen Querschnitt (Se) hat, der höher ist als ein Querschnitt (Sc) des mittleren Teils.

3. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Element in der zweiten Position (P2) eine solche Form hat, dass das von einer Polarisation (Px, Py) durchquerte Volumen im Wesentlichen identisch mit dem von der orthogonalen Polarisation (Py, Px) durchquerten Volumen ist.

4. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Element in der zweiten Position (P2) eine Form hat, die sich bei einer Drehung von 90° um die Achse Z nicht ändert.

5. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Form des Elements (40) zwei orthogonale Symmetrieebenen umfasst, wobei eine Symmetrieebene mit einer Ebene zusammenfällt, die eine Polarisationsachse (Px, Py) und die Achse Z umfasst, wenn das Element (40) in der zweiten Position (P2) ist.

6. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Element ein zweites Ende (E2) umfasst, so dass:

* in der ersten Position (P1) die Mitte des zweiten Endes (E2) sich in einer Höhe in dem Hohlraum befindet, die im Wesentlichen einem Minimum des elektrischen Feldes entspricht;

* in der zweiten Position (P2) das zweite Ende (E2) sich in einer Ebene befindet, die einem Maximum des elektrischen Feldes zu +/- 30 % entspricht.

7. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die im Wesentlichen zylindrische Wand eine Leitkurve ausgewählt aus einem Kreis, einem Quadrat hat.

8. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Rotationswinkel entlang der Achse R zwischen der ersten Position (P1) und der zweiten Position (P2) im Wesentlichen gleich 90° ist.

9. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Rotationsachse R mit der Achse Z zusammenfällt.
10. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Rotationsachse auf einer Abszisse z liegt, die einem elektrischen Feldminimum entspricht.
11. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Drehmittel einen Stab (50) entlang der Achse R einstückig mit dem Element umfassen, der ein dielektrisches Material umfasst.
12. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei $N=2$.
13. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, die mehrere Resonatoren (R1, R2) und Kopplungsmittel (101) zum Koppeln von zwei konsekutiven Resonatoren miteinander umfassen.
14. Filter nach Anspruch 13, das ferner Verbindungsmittel zum Ausgleichen der jeweiligen Rotationen der Drehmittel der Resonatoren umfasst.
15. Filter nach Anspruch 14, wobei die Verbindungsmittel den Stab (50) einstückig mit mehreren entlang dem Stab angeordneten Elementen umfasst.
16. Filter nach einem der Ansprüche 14 bis 15, das ferner zusätzliche dielektrische Elemente umfasst, die im Innern der Kopplungsmittel (101) angeordnet und mit den Verbindungsmitteln (50) einstückig sind.
17. Mikrowellenschaltung, die wenigstens ein Filter nach einem der vorherigen Ansprüche umfasst.

Claims

1. A frequency-tunable microwave band-pass filter (100), comprising at least one resonator (R),

- each resonator comprising:

* a cavity (20) having a conducting wall (21) that is substantially cylindrical along an axis Z, having a height H, with a position z along said axis Z being shown on an abscissa z between 0 and H, and being at least partly closed at two ends; and

* at least one dielectric element (40) disposed inside said cavity;

- said resonator resonating in a mode in which two perpendicular polarisations (Px, Py) respectively have distributions of the electromagnetic field in said cavity that are derived from each other via a 90° rotation;

- said mode having, in said cavity, N electric field maxima (22) and N+1 electric field minima (23) substantially located in a plane perpendicular to said axis Z, with the two ends of the cylinder respectively located on the abscissa $z=0$ and $z=H$ corresponding to electric field minima, with a successive minima and maxima being separated by a separation distance $H/2N$,

characterised in that it comprises:

- rotation means adapted to set said element into rotation along an axis R that is substantially perpendicular to said axis Z between at least one first (P1) and one second (P2) position;

- said element comprising at least one first end (E1) so that:

* in a first position (P1), said element is substantially disposed in a plane perpendicular to said axis Z and the centre of said first end (E1) is disposed at a height in said cavity that substantially corresponds to an electric field minima;

* in a second position (P2), said element is substantially parallel to Z and said first end (E1) is disposed in a plane that corresponds to an electric field maxima to the nearest +/- 30%.

2. The filter according to claim 1, wherein said dielectric element (40) has a central part (Pc) of elongated shape and a first end (E1) having a section (Se) that is higher than a section (Sc) of said central part.

3. The filter according to any one of the preceding claims, wherein the shape of said element in said second position (P2) is such that the space through which a polarisation (Px, Py) passes is substantially identical to the space through which the orthogonal polarisation (Py, Px) passes.

4. The filter according to any one of the preceding claims, wherein the shape of said element in said second position (P2) is such that it does not change over a 90° rotation about said axis Z.

5. The filter according to any one of the preceding claims, wherein the shape of said element (40) comprises two orthogonal planes of symmetry, with one plane of symmetry coinciding with a plane comprising a polarisation axis (Px, Py) and said axis Z when said element (40) is in said second position (P2).

6. The filter according to any one of the preceding claims, wherein said element comprises a second end (E2) so that:

* in said first position (P1), the centre of said second end (E2) is disposed at a height inside the cavity that substantially corresponds to an electric field minima;

* in said second position (P2), said second end (E2) is disposed in a plane that corresponds to an electric field maxima to the nearest +/- 30%.

7. The filter according to any one of the preceding claims, wherein said substantially cylindrical wall has a guide curve that is selected from among a circle, a square.

8. The filter according to any one of the preceding claims, wherein the angle of rotation along said axis R between said first position (P1) and said second position (P2) is substantially equal to 90°.

9. The filter according to any one of the preceding claims, wherein said axis of rotation R is concurrent with said axis Z.

10. The filter according to any one of the preceding claims, wherein said axis of rotation is located on an abscissa z that corresponds to an electric field minima.

11. The filter according to any one of the preceding claims, wherein said rotation means comprise a rod (50) along said axis R that is integral with said element and comprises a dielectric material.

12. The filter according to any one of the preceding claims, wherein N=2.

13. Filters according to any one of the preceding claims, comprising a plurality of resonators (R1, R2) and coupling means (101) adapted to couple two consecutive resonators together.

14. The filter according to claim 13, further comprising connection means adapted to equalise the respective rotations of said rotation means of said resonators.

15. The filter according to claim 14, wherein said connection means comprise said rod (50) integral with a plurality of elements disposed along said rod.

16. The filter according to any one of claims 14 to 15, further comprising additional dielectric elements disposed inside said coupling means (101) and integral with said connection means (50).

17. A microwave circuit, comprising at least one filter according to any one of the preceding claims.

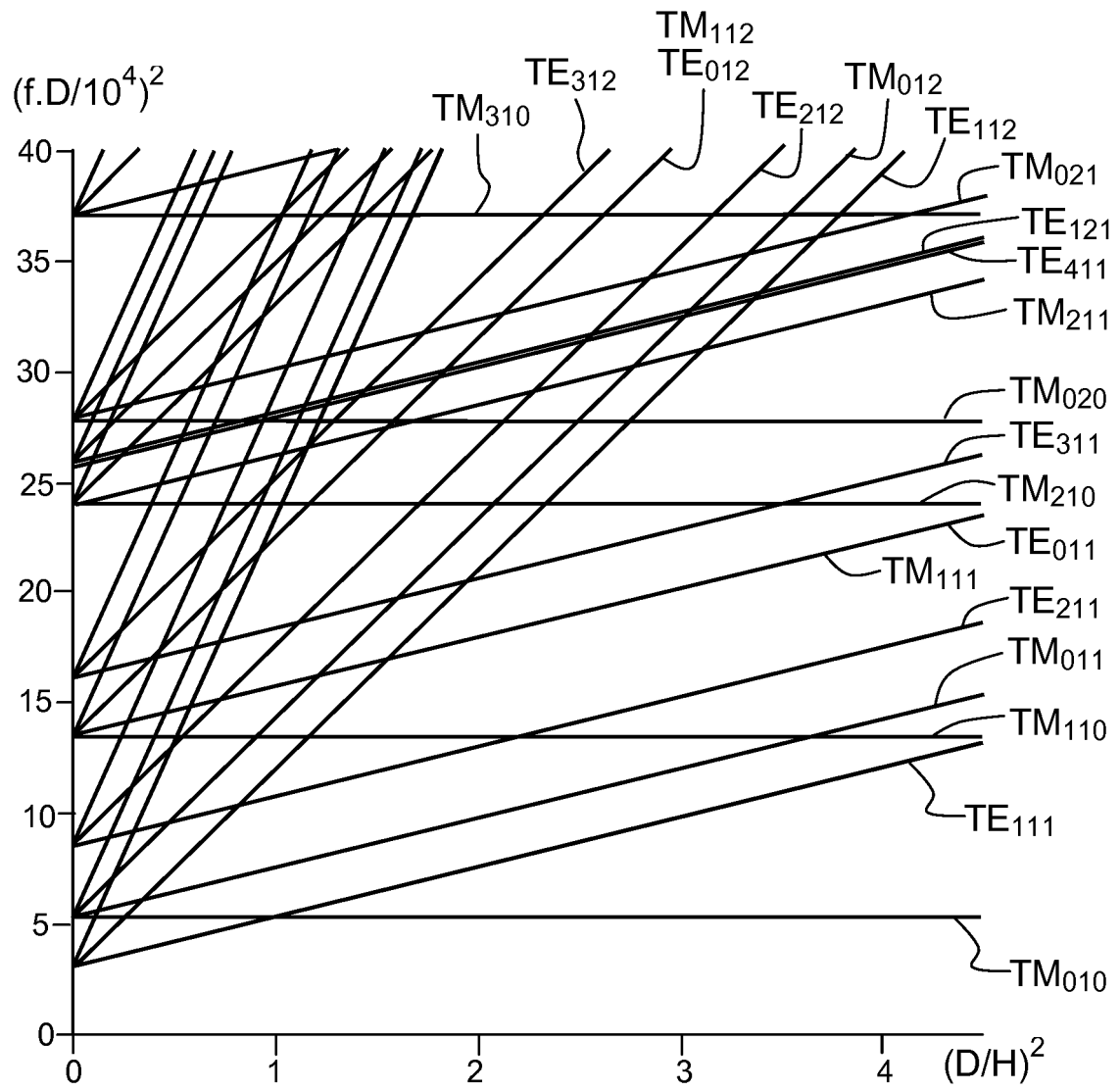
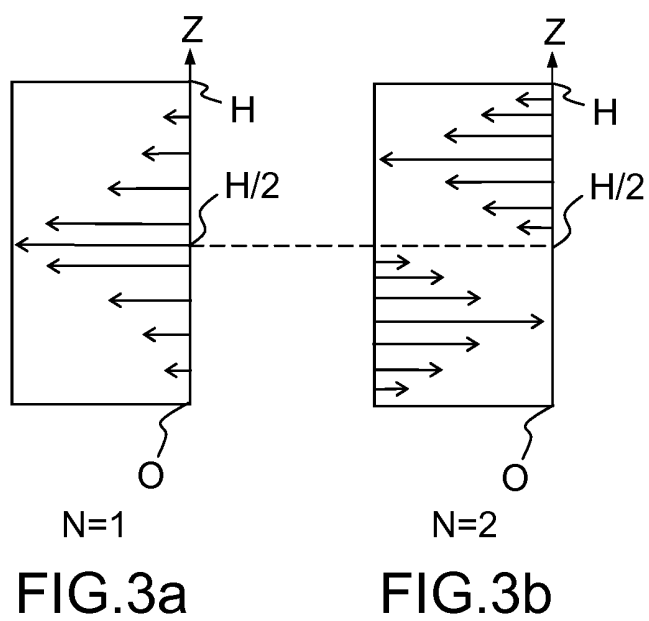
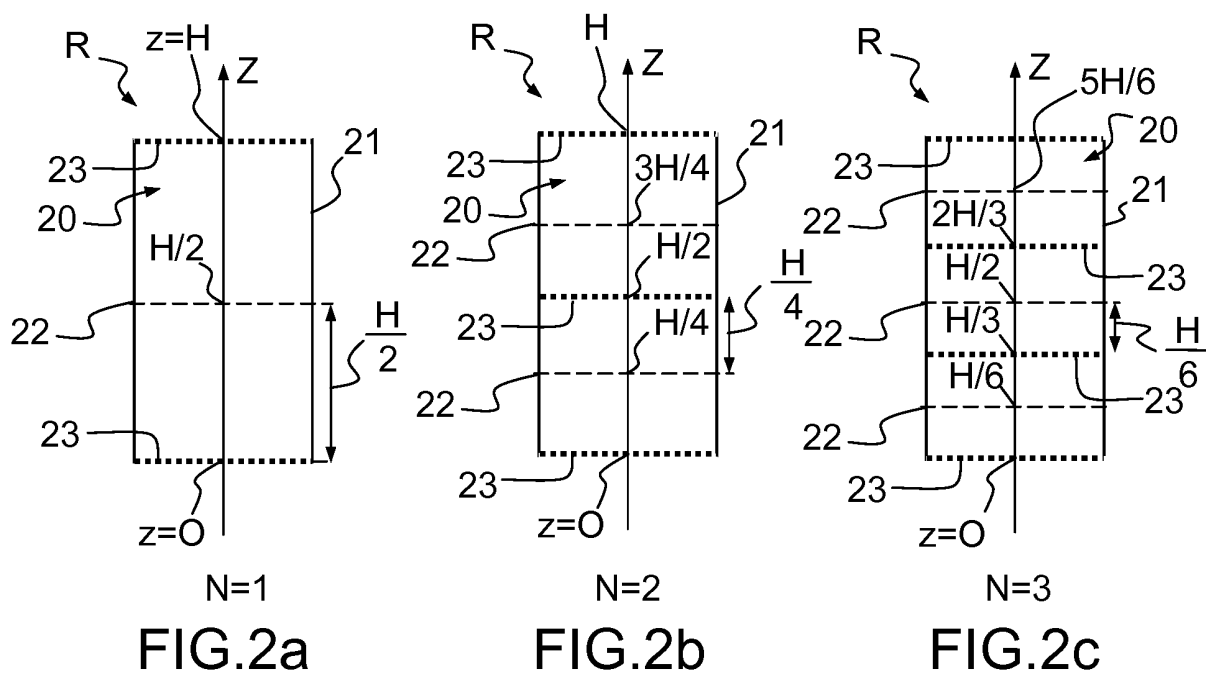


FIG.1



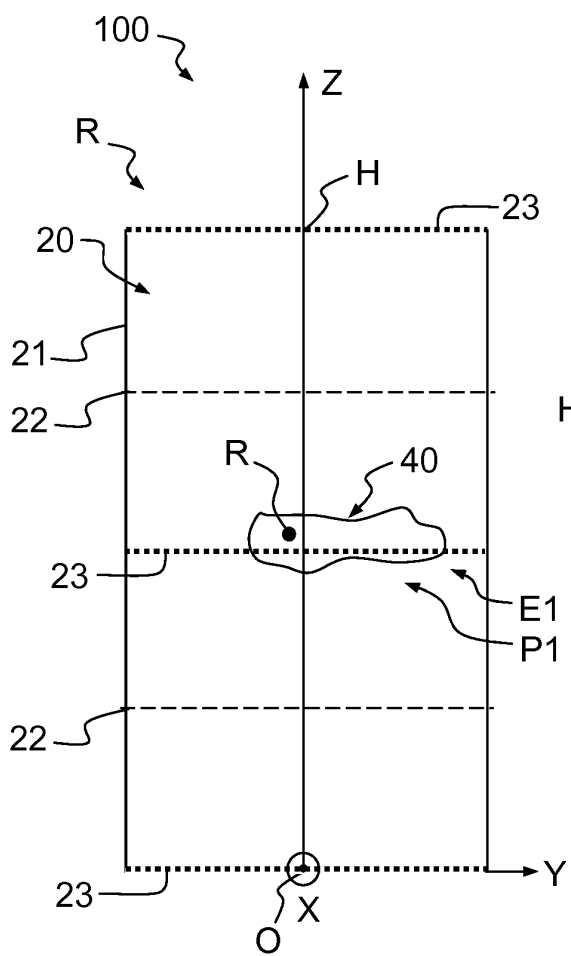


FIG.4a

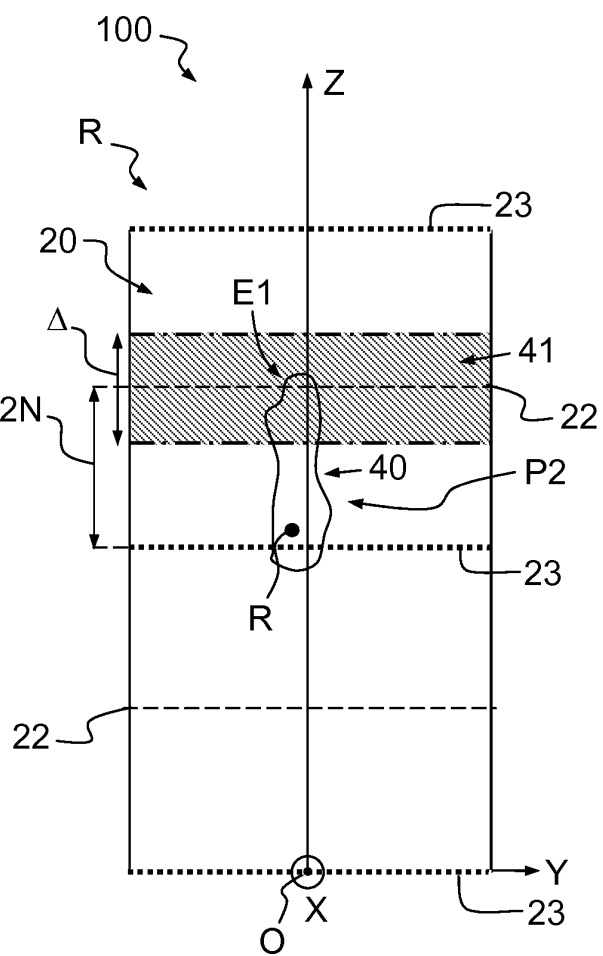


FIG4b

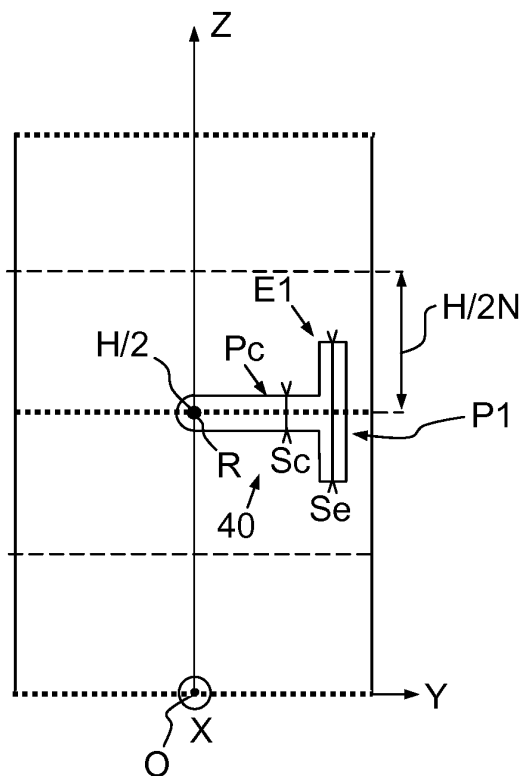


FIG. 5a

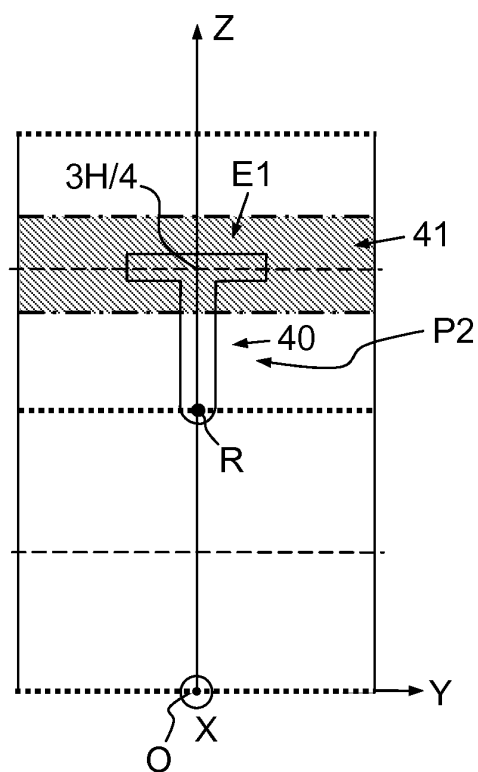


FIG. 5c

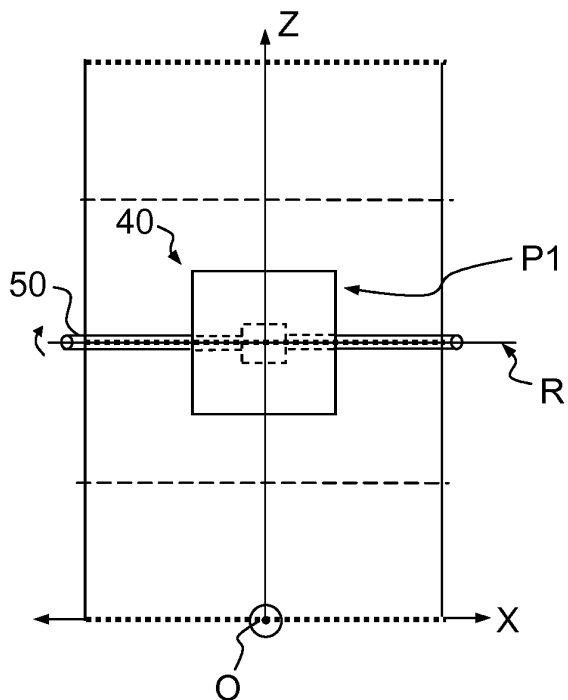


FIG. 5b

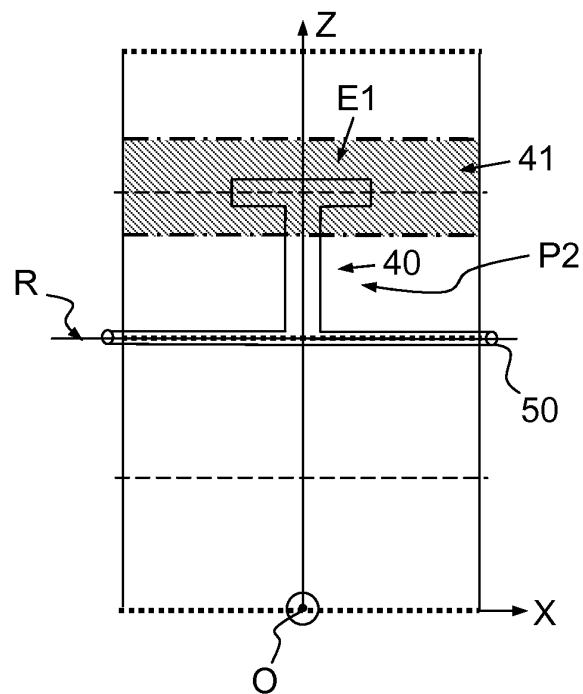


FIG. 5d

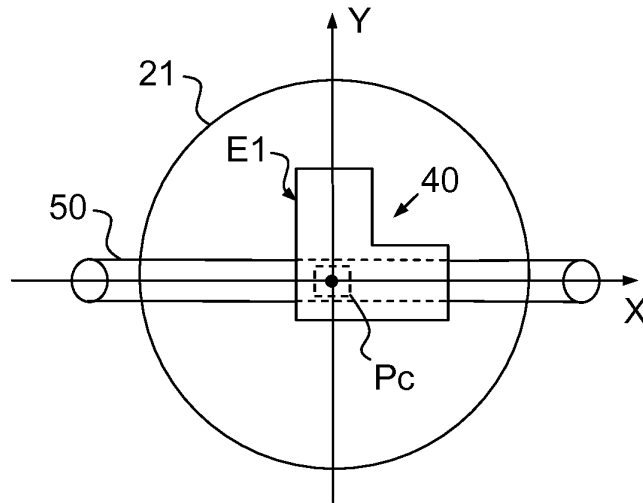


FIG. 6

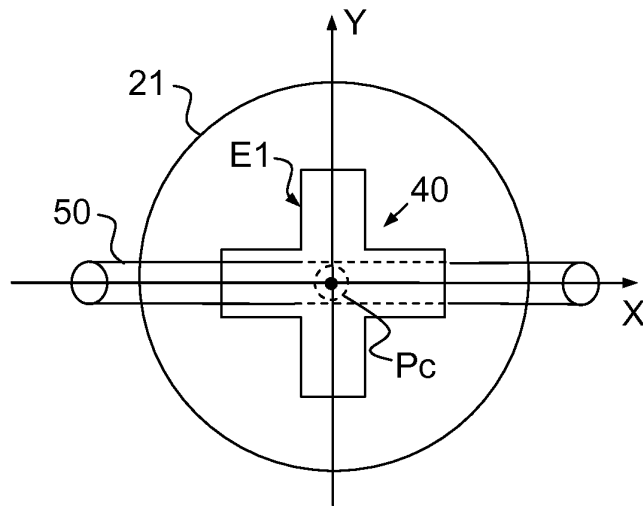


FIG. 7

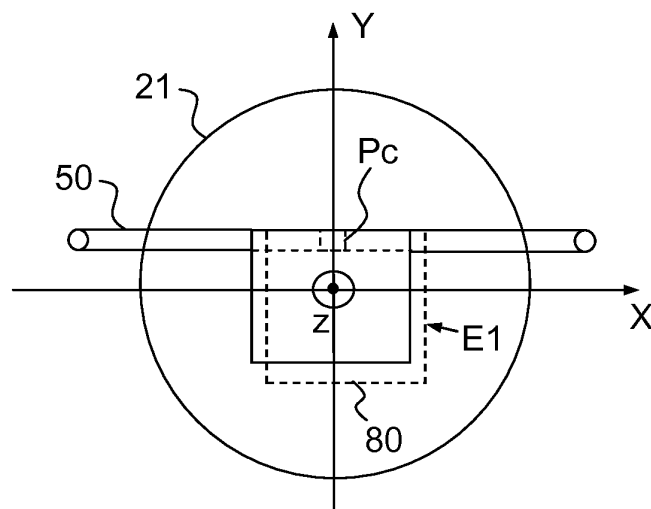


FIG. 8

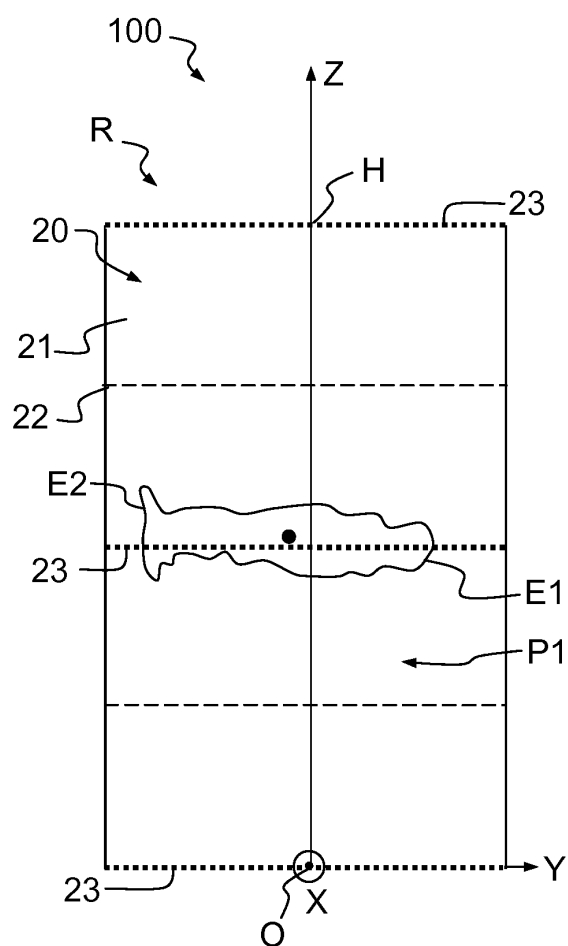


FIG. 9a

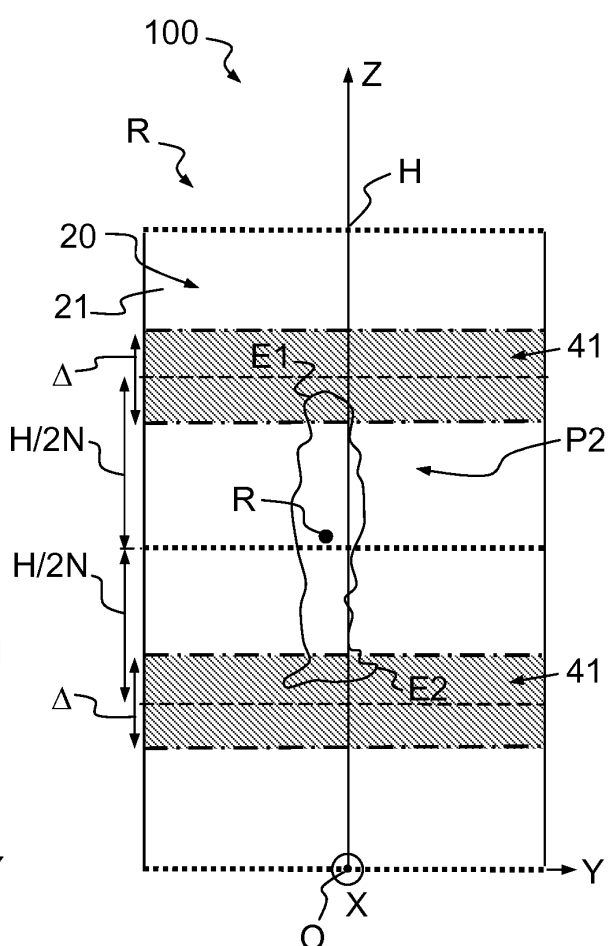


FIG. 9b

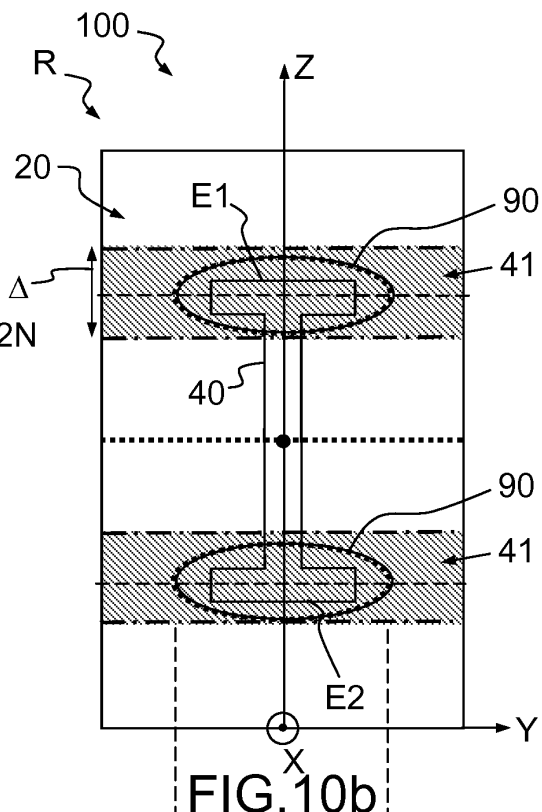
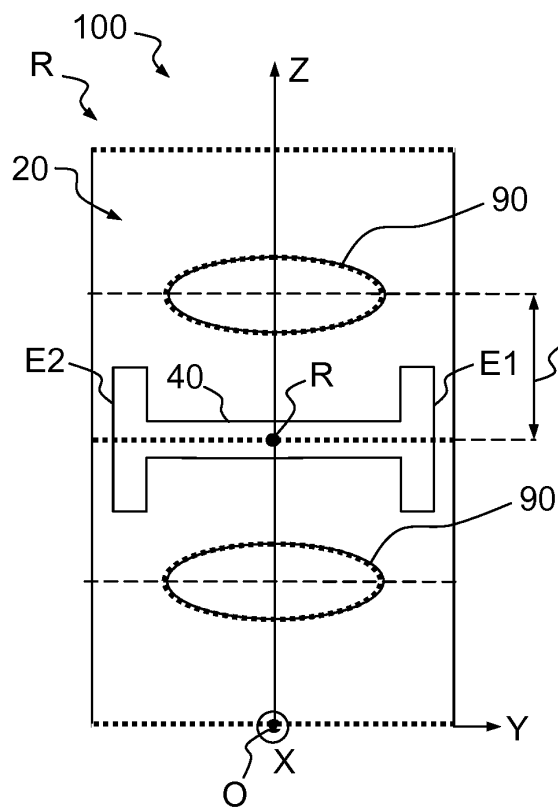


FIG. 11a

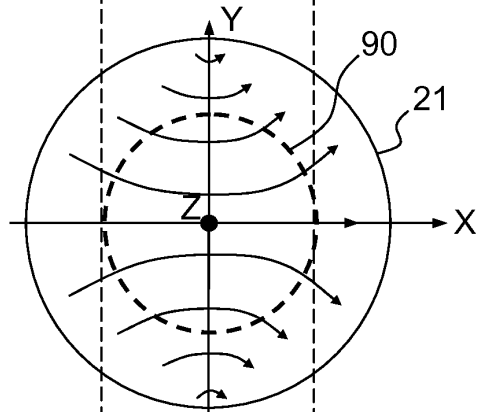
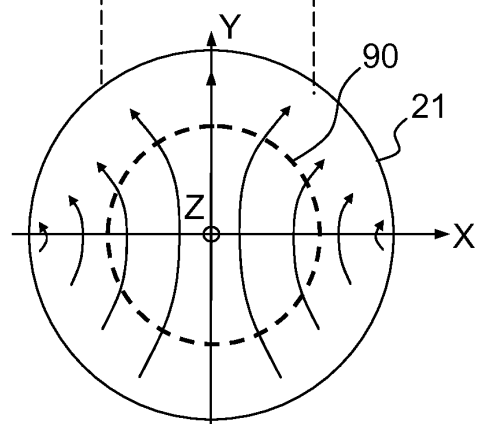


FIG. 11b



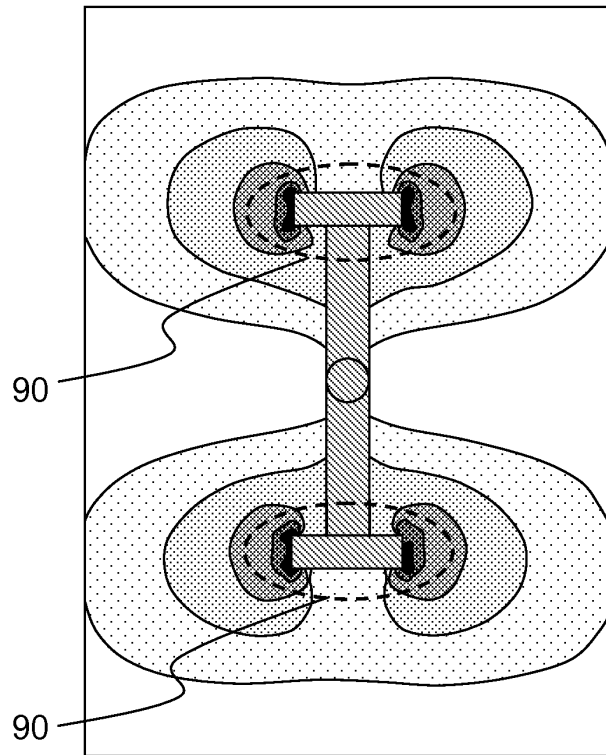


FIG.12a

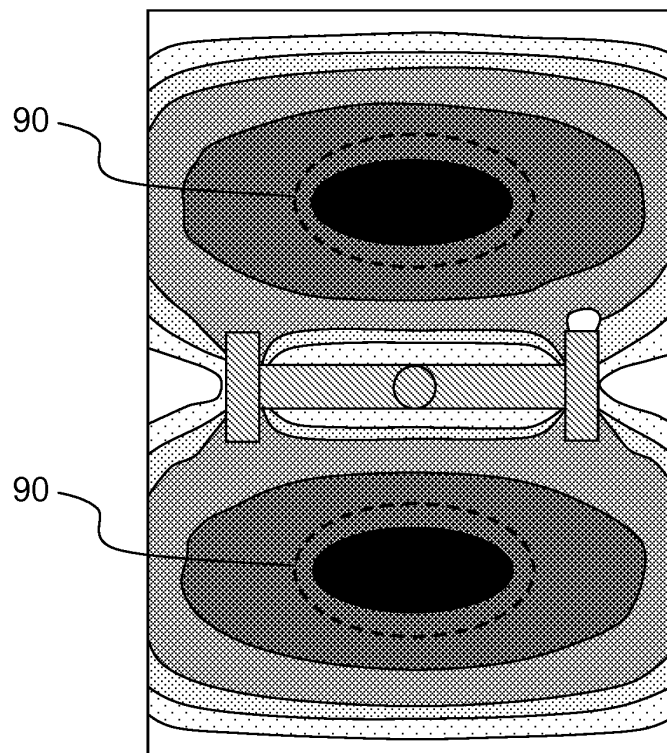


FIG.12b

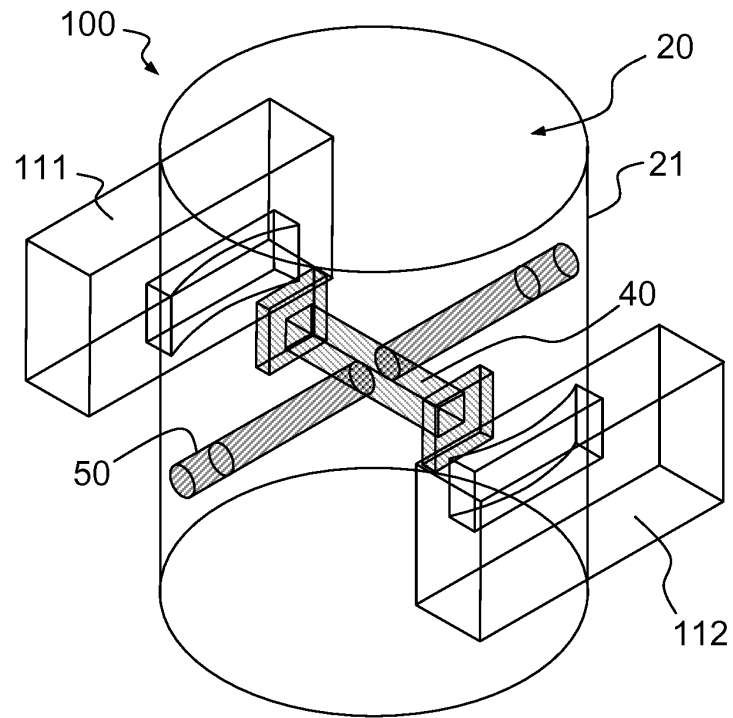


FIG.13a

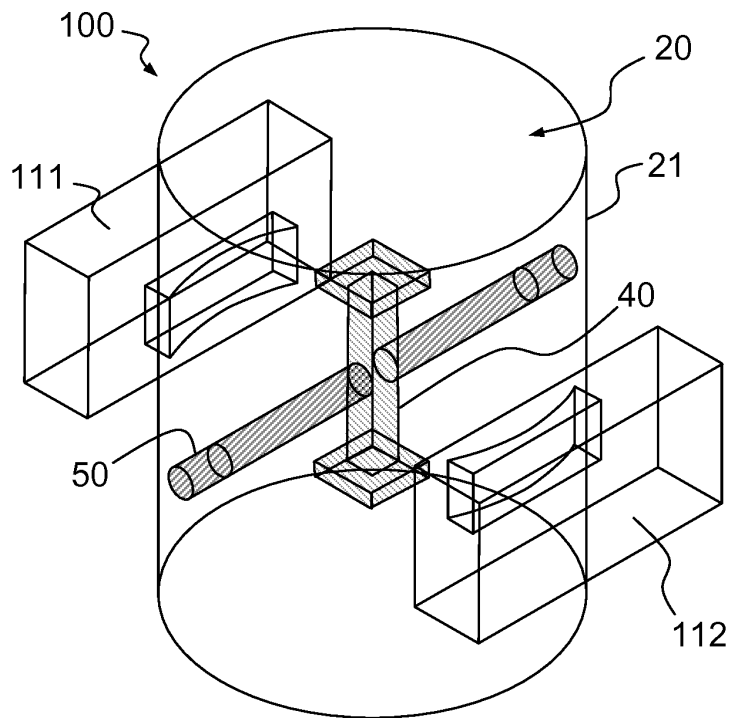


FIG.13b

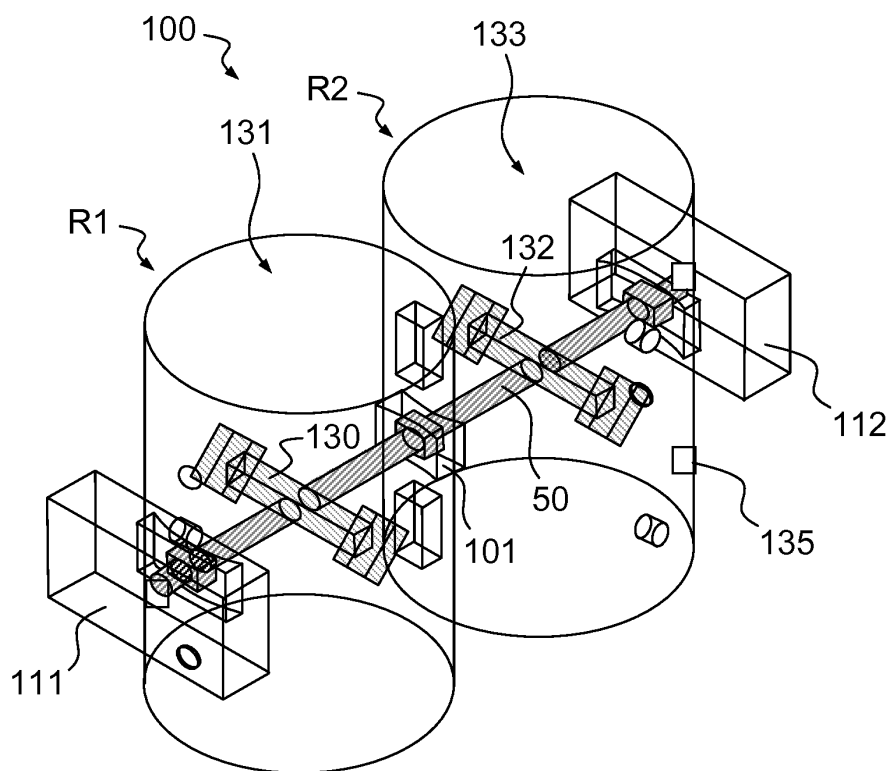


FIG. 14a

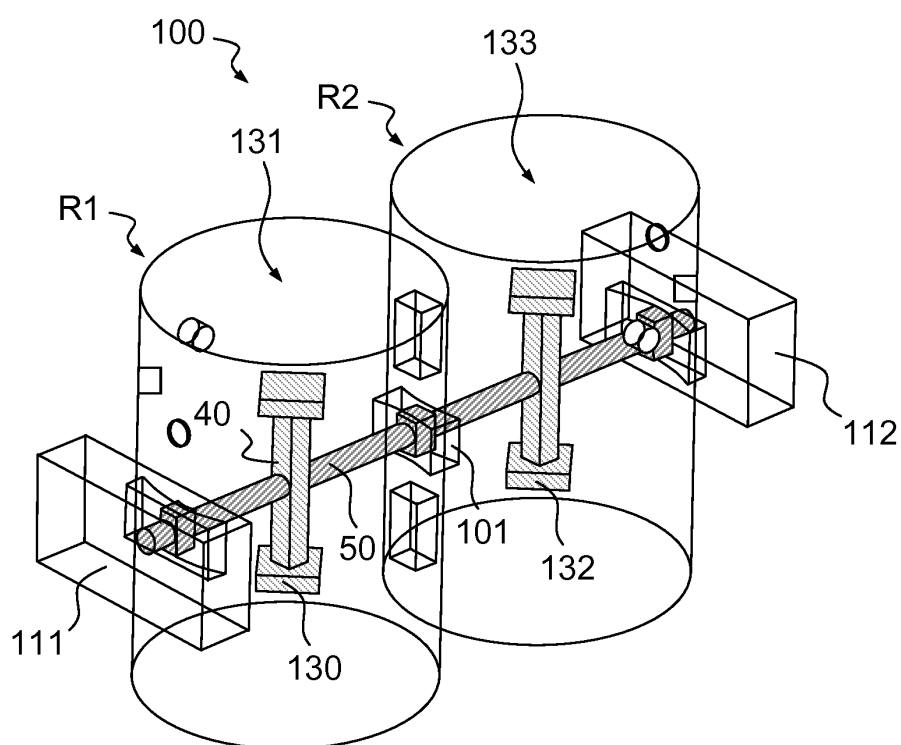


FIG. 14b

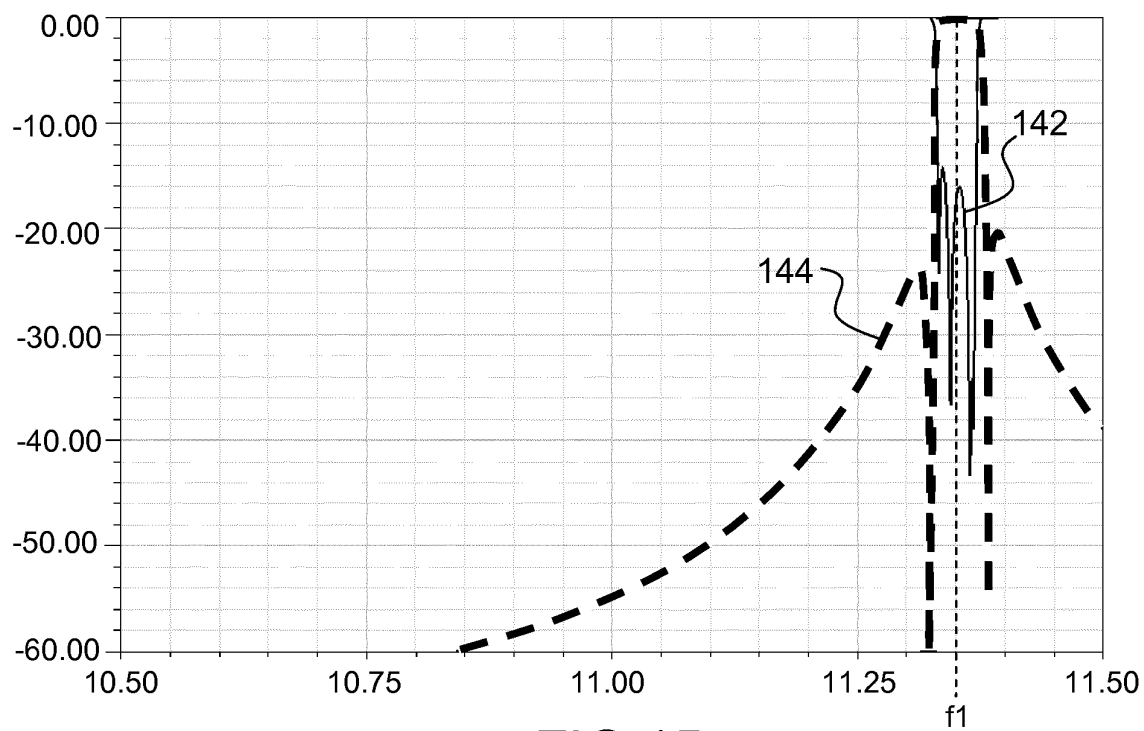


FIG.15a

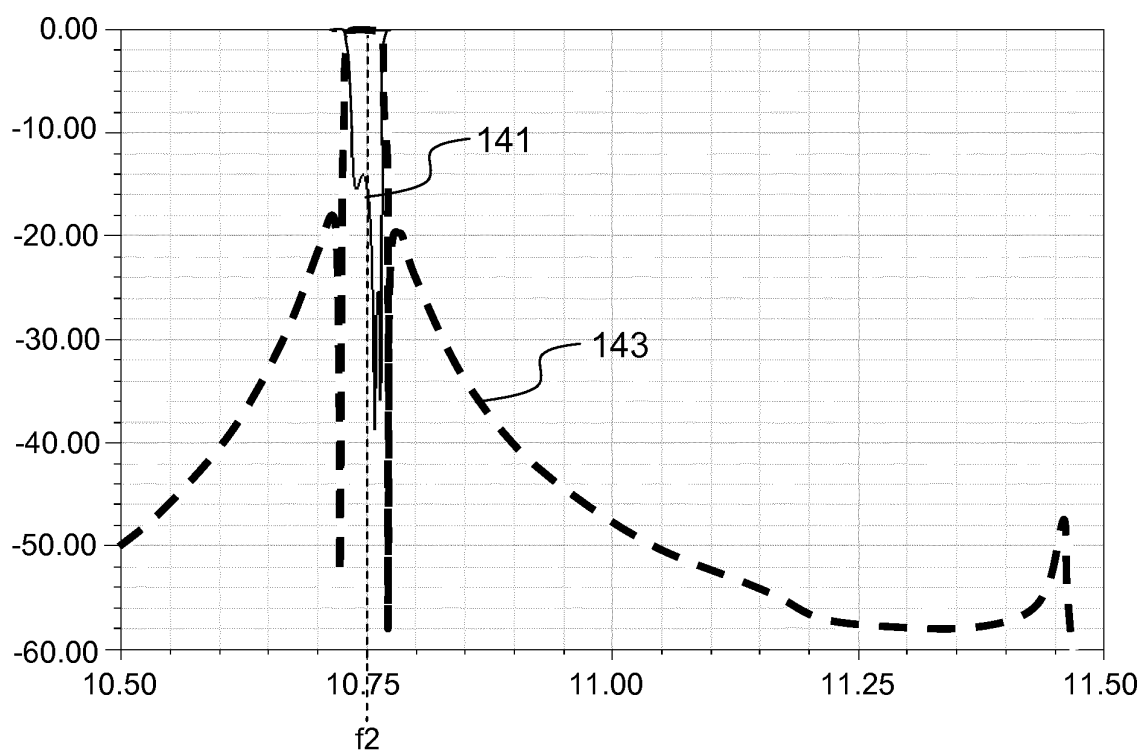


FIG.15b

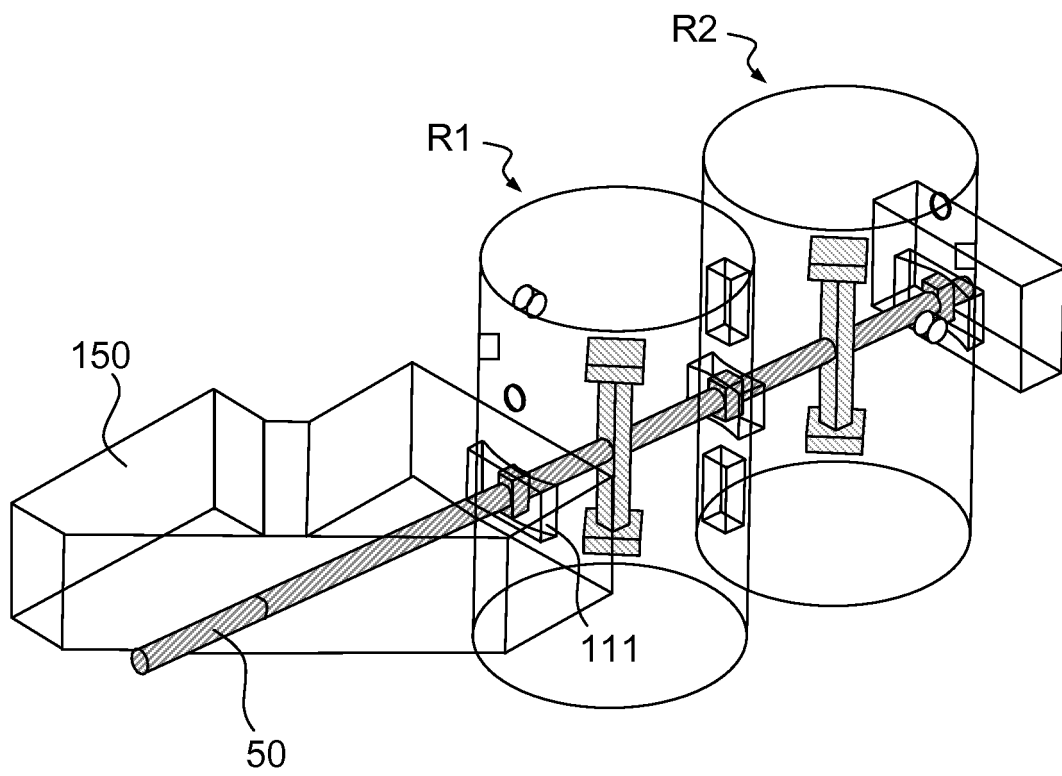


FIG.16

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- EP 1575118 A [0009]