(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 797 161 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
09.12.2015 Bulletin 2015/50

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

(21) Numéro de dépôt: **14164871.7**

(22) Date de dépôt: **16.04.2014**

(54) **Filtre hyperfréquence avec élément diélectrique**

Hyperfrequenzfilter mit dielektrischem Element

Microwave filter with 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: **26.04.2013 FR 1300974**

(43) Date de publication de la demande:
29.10.2014 Bulletin 2014/44

(73) Titulaire: **Thales**
92200 Neuilly Sur Seine (FR)

(72) Inventeurs:
- **Pacaud, Damien**
  31870 Beaumont-sur-Leze (FR)
- **Jolly, Nicolas**
  87110 Bosmie l'Aiguille (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:
US-B1- 6 433 652

- **MADRANGEAS V: "ANALYSIS AND REALIZATION OF L-BAND DIELECTRIC RESONATOR MICROWAVE FILTERS", IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 40, 1 janvier 1992 (1992-01-01), pages 120-127, XP000244297, ISSN: 0018-9480, DOI: 10.1109/22.108331**
- **JI-FUH LIANG ET AL: "Mixed modes dielectric resonator loaded cavity filters", MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST, 1994., IEEE MTT-S INTERNATIONAL SAN DIEGO, CA, USA 23-27 MAY 1994, NEW YORK, NY, USA,IEEE, no. xp10586687A, 23 mai 1994 (1994-05-23), pages 731-734, XP010586687, DOI: 10.1109/MWSYM. 1994.335529 ISBN: 978-0-7803-1778-9**

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).

EP 2 797 161 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Description

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention concerne le domaine des filtres pour onde hyperfréquence, typiquement de fréquence comprise entre 1 GHZ et quelques dizaines de GHz.

[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. En effet, l'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. Puis le signal est recombiné avant d'être envoyé vers l'antenne émettrice.

[0003] Des filtres sont ainsi utilisés pour la réalisation de multiplexeur d'entrée (dénommé IMUX) ou de sortie (dénommé OMUX). Un filtre ne peut être excité que par une bande relativement étroite de fréquence autour d'une fréquence de résonance.

[0004] Le filtre selon l'invention comprend au moins une cavité et un élément diélectrique disposé à l'intérieur. Plus particulièrement les filtres selon l'invention sont adaptés pour la réalisation de multiplexeurs de type OMUX, situés après un amplificateur de puissance. Son rôle est d'éliminer toutes les fréquences parasites crées par l'amplificateur de puissance. Les spécifications de ces filtres sont très sévères en termes de facteur de qualité et d'isolation (pas de modes parasites dans la bande d'intérêt) du fait de leur situation entre l'amplificateur de puissance et l'antenne d'émission.

ETAT DE LA TECHNIQUE

[0005] Classiquement les filtres pour onde hyperfréquence comprennent, outre une ou plusieurs cavités couplées entre elles dans lesquelles sont disposés des résonateurs diélectriques, des moyens de couplage de l'énergie hyperfréquence (RF) d'une part pour introduire de l'énergie RF à l'entrée du filtre et, d'autre part, pour extraire de l'énergie RF à la sortie du filtre. De plus ils comprennent généralement des moyens d'accord permettant d'ajuster la fréquence des principaux modes de résonance du filtre.

[0006] Des filtres connus de l'art antérieur sont décrits par exemple dans le brevet US5880650. Dans ce filtre, un élément diélectrique est constitué d'une plaque plane ayant la forme d'un parallélogramme, et le maximum du champ électrique est situé dans l'élément diélectrique, qui joue ainsi le rôle de résonateur.

[0007] Un avantage du filtre décrit dans le brevet US5880650 est que le résonateur diélectrique est en contact mécanique et électrique avec les parois de la cavité métallique par les quatre sommets de la plaque. Les sommets sont tronqués ou arrondis de manière à épouser la forme des parois latérales, planes ou légèrement incurvées en fonction de la forme de la cavité. Le contact mécanique permet un positionnement exact et reproductible de l'élément résonant dans la cavité et le transfert thermique entre l'élément résonateur et les parois est nettement amélioré.

[0008] Un inconvénient de ce filtre consiste en ce que du fait de la localisation du champ électrique dans l'élément diélectrique, les pertes diélectriques sont importantes. A l'inverse une cavité résonante vide présente d'importantes pertes métalliques. Le facteur de qualité Q dépendant des pertes métalliques et des pertes diélectriques, une cavité vide ou une cavité à résonateur diélectrique présentent donc chacune l'inconvénient de pertes importantes c'est-à-dire un facteur de qualité non optimal.

[0009] Le document US6433652 décrivant un filtre multimode ayant un résonateur diélectrique est considéré comme étant l'état de la technique le plus proche.

[0010] De plus le filtre décrit dans le brevet US5880650 été optimisé pour un fonctionnement en bande C (de 3 à 5 GHz). Pour qu'il fonctionne à plus haute fréquence (par exemple en bande Ku de 10 à 13 GHZ), il convient de diviser les dimensions par trois environ, ce qui conduit à un filtre de faible dimension, ce qui est un avantage. Cependant la montée en fréquence conduit à une dégradation du facteur de qualité Q.

[0011] Un autre type de filtre est décrit dans le brevet US8031036. Ce filtre comprend une cavité métallique cylindrique et à l'intérieur un élément diélectrique également cylindrique comprenant une collerette, fixé aux parois de la cavité sur l'ensemble de sa circonférence par la collerette au travers par exemple d'une bague ou de ressorts. Dans ce filtre le champ électrique est concentré dans le résonateur diélectrique avec les inconvénients précités. De plus le volume du cylindre résonateur est important, conduisant à un filtre lourd, ce qui constitue un inconvénient notable pour des composants destinés à être embarqués sur un satellite.

[0012] Un but de la présente invention est de remédier aux inconvénients précités.

DESCRIPTION DE L'INVENTION

[0013] La présente invention a pour objet un filtre hyperfréquence présentant au moins un mode résonnant comprenant au moins une cavité au moins partiellement fermée à l'aide de parois conductrices et présentant une surface extérieure cylindrique définie par une courbe directrice décrite par une génératrice et présentant un point de symétrie, un axe passant par un point de symétrie et parallèle à ladite génératrice étant dénommé axe longitudinal de la cavité et au moins un élément diélectrique disposé dans ladite cavité et comprenant :

- une première portion présentant une épaisseur selon ledit axe longitudinal et une section selon un plan

perpendiculaire audit axe longitudinal dont les sommets sont répartis selon un polygone, et dont au moins deux sommets sont court-circuités entre eux par les parois conductrices de la cavité, via un contact électrique ou hyperfréquence entre les sommets et les parois,

- au moins une portion pyramidale comprenant un apex et une base coïncidant avec une section extrémale de la première portion.

[0014] Avantageusement, la courbe directrice est choisie parmi un carré, un rectangle, un hexagone, un cercle, une ellipse.

[0015] Avantageusement, la base comprend des sommets répartis selon un polygone régulier.

[0016] Avantageusement tous les sommets de la section sont court-circuités entre eux par les parois conductrices de la cavité, via un contact électrique ou hyperfréquence entre les sommets et les parois.

[0017] Avantageusement le filtre selon l'invention comprend une portion pyramidale supérieure et une portion pyramidale inférieure comprenant respectivement une base supérieure coïncidant avec une section extrémale supérieure et une base inférieure coïncidant avec une section extrémale inférieure de la première portion.

[0018] Avantageusement la portion pyramidale supérieure et la portion pyramidale inférieure sont identiques.

[0019] Avantageusement, l'apex est disposé sur l'axe longitudinal. Avantageusement le barycentre dudit polygone est disposé sur l'axe longitudinal.

[0020] Avantageusement un angle entre la base et une face de la portion pyramidale est inférieur ou égal à 45.

[0021] Avantageusement la portion pyramidale est tronquée selon un plan perpendiculaire à l'axe longitudinal.

[0022] Avantageusement la portion pyramidale tronquée présente un évidement réalisé sur une face supérieure de la portion pyramidale tronquée. Avantageusement au moins un évidement est réalisé à un endroit quelconque du pourtour de l'élément diélectrique.

[0023] Avantageusement, le filtre selon l'invention est dimensionné de sorte qu'une fréquence de résonnance d'un mode résonant est comprise entre 3 GHz et 30 GHz.

[0024] Avantageusement un champ électromagnétique correspondant à un mode résonant comprend un nombre pair 2n de zones pour lesquelles le champ électromagnétique présente un maximum, les zones étant disposées en nombre égal n de part et d'autre de la première portion de l'élément diélectrique, n étant choisi parmi 1, 2 ou 3.

[0025] Avantageusement, chacune des zones est répartie partiellement à l'intérieur et partiellement à l'extérieur de la portion pyramidale disposée du même côté que la zone.

[0026] Avantageusement, le filtres selon l'invention comprend au moins une cavité d'entrée et une cavité de sortie et comprend des moyens de couplage d'entrée d'une onde hyperfréquence provenant d'une source externe avec ladite cavité d'entrée, et des moyens de couplage de sortie entre ladite cavité de sortie et un guide d'onde externe, et comprend des moyens de couplage intermédiaires des cavités entre elles.

[0027] 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 schématiquement un filtre selon l'invention.
- la figure 2 décrit un exemple de structure pyramidale de l'élément diélectrique.
- la figure 3 illustre un mode de réalisation préféré de portion pyramidale.
- la figure 4 illustre une variante d'élément diélectrique comprenant une portion pyramidale tronquée
- la figure 5 illustre une variante d'élément diélectrique comprenant des évidements.
- la figure 6 illustre la distribution des lignes de champ pour un mode de réalisation du filtre selon l'invention.
- la figure 7 illustre la distribution des lignes de champ pour un autre mode de réalisation du filtre selon l'invention.
- la figure 8 illustre schématiquement une variante de réalisation de l'élément diélectrique du filtre selon l'invention.
- la figure 9 illustre la distribution des lignes de champ pour un filtre selon l'invention présentant un élément diélectrique tel que décrit figure 8.
- la figure 10 illustre un premier exemple de mode de réalisation d'un filtre selon l'invention.
- la figure 11 illustre un deuxième exemple de mode de réalisation d'un filtre selon l'invention.
- la figure 12 illustre un troisième exemple de mode de réalisation d'un filtre selon l'invention.
- la figure 13 illustre un exemple de réponse fréquentielle sur une large bande d'un filtre selon l'invention
- la figure 14 illustre un exemple de réponse fréquentielle au voisinage de la fréquence de résonance d'un filtre selon l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

[0028] Un but de l'invention est de réaliser un filtre pour onde hyperfréquence présentant de très bonnes performances à la fois en facteur de qualité Q et en isolation.

[0029] Par isolation en entend la capacité du filtre à ne pas transmettre des modes non désirés autres que les modes de résonance sélectionnés du filtre. La plage de fréquence autour de la fréquence de résonance pour laquelle aucun mode parasite n'est transmis se dénomme selon la terminologie anglo-saxonne « spurious free range ». On cherche bien entendu à obtenir une plage la plus large possible.

[0030] Par exemple pour une application OMUX en bande Ku (10 à 13 GHz), on cherche typiquement une

plage de l'ordre de 500 MHz de part et d'autre de la fréquence de résonance, un facteur de qualité à vide au moins égal à 18000 et une tenue en puissance d'au moins 300 W par canal.

[0031] La figure 1a décrit une vue en perspective d'un filtre hyperfréquence (RF) 10 selon l'invention. Ce filtre présente au moins un mode de résonance et comprend une cavité 11 au moins partiellement fermée à l'aide de parois conductrices 12, typiquement métalliques. La cavité 11 présente une surface extérieure cylindrique définie par une courbe directrice C décrite par une droite dénommée génératrice du cylindre. La courbe directrice de la cavité du filtre selon l'invention présente un point de symétrie Sy, ce qui facilite la fabrication et la simulation.

[0032] Selon un mode préféré, pour des facilités de fabrication, la courbe directrice C est un carré, un rectangle, un hexagone, un cercle ou une ellipse. L'axe longitudinal z de la cavité cylindrique creuse est défini comme l'axe parallèle à une droite génératrice et passant par les points de symétrie.

[0033] Le filtre 10 selon l'invention comprend également au moins un élément diélectrique 13 disposé dans la cavité 11. L'élément diélectrique 13 comprend une première portion 131 présentant une épaisseur e selon l'axe z et une section selon un plan perpendiculaire à z dont les p sommets S1, S2, ... Sp sont répartis selon un polygone P. Pour faciliter la compréhension et de manière non limitative, le polygone représenté sur la figure 1 est un carré, mais tout polygone P est compatible avec l'invention.

[0034] Selon une variante préférée, le polygone est régulier (triangle, carré, pentagone, hexagone...) ou rectangulaire, pour permettre une réalisation industrielle de faible coût du filtre et une optimisation plus aisée du fait de présence d'axes de symétrie.

[0035] Selon un mode de réalisation préféré, le polygone est un carré de manière à limiter les contacts entre l'élément diélectrique 13 et la cavité 11, ce qui permet de privilégier certains modes et de garantir la qualité des contacts.

[0036] De même sur la figure 1 et de manière non limitative les côtés qui joignent les sommets entre eux sont des segments de droite, mais toute autre forme est compatible du filtre 10 selon l'invention, dont des variantes sont décrites plus loin. Le contact de l'élément diélectrique 13 avec la paroi conductrice s'effectue au travers de la première portion 131, selon le même principe que celui décrit dans le brevet US5880650, c'est-à-dire qu'au moins deux sommets du polygone sont court-circuités entre eux par les parois 12, via un contact électrique ou hyperfréquence entre ces sommets et la paroi.

[0037] Le mode de fixation de l'élément diélectrique 13 aux parois 12 présente ainsi les mêmes avantages que ceux décrits dans le brevet US5880650, tels que :

- Assemblage du filtre simplifié par un positionnement exact et absolu de l'élément diélectrique sans recourir à des éléments de maintien.
- Transfert thermique entre l'élément et les parois nettement amélioré ;

[0038] Le mode de fixation de l'élément diélectrique aux parois est également compatible des mêmes variantes, par exemple :

- Troncature ou arrondi des sommets, tel que décrit figure 1, pour épouser la forme des parois latérales, planes ou arrondies en fonction de la forme de la courbe directrice C de la cavité cylindrique,
- troncature des sommets selon des dimensions légèrement inférieures aux dimensions transversales de la cavité de manière à laisser un petit espace, qui peut être vide ou rempli d'un matériau diélectrique ou conducteur et/ou élastique,
- utilisation de piliers de maintien,
- troncature des sommets selon des dimensions légèrement supérieures aux dimensions transversales de la cavité et réalisation d'encoches,

[0039] etc ....

[0040] Il n'est pas nécessaire que tous les sommets du polygone P soient court-circuités entre eux, il suffit que les sommets court-circuités par les parois 12 soient en nombre suffisant pour assurer un positionnement correct de l'élément diélectrique dans la cavité.

[0041] Selon une variante préférée, pour une meilleure précision du positionnement, tous les sommets S1...Sp du polygone P sont court-circuités entre eux par les parois conductrices.

[0042] L'élément diélectrique 13 comprend également au moins une portion pyramidale 132, 133 tel qu'illustré sur les figures 1a (vue en perspective), 1 b (vue de profil) et 1c (vue de dessus). La portion pyramidale comprend un apex Asup, Ainf, sommet de la pyramide, et une base Bsup,Binf, qui coïncide avec une section extrémale 134, 135 de la première portion 131. On entend par section extrémale la section supérieure 134 et la section inférieure 135 de la première portion 131 d'épaisseur e.

[0043] La forme particulière de l'élément diélectrique associée à un dimensionnement optimisé (cavité et élément diélectrique) permet d'obtenir un filtre aux performances améliorées par rapport à celles des filtres de l'état de la technique.

[0044] Selon une variante, l'élément diélectrique 13 comprend une seule portion pyramidale, inférieure 132 ou supérieure 133.

[0045] Selon une variante préférée, l'élément diélectrique 13 comprend deux portions pyramidales de part et d'autre de la première portion 131, la base supérieure Bsup coïncidant avec la section extrémale supérieure 134 et la base inférieure Binf coïncidant avec la section extrémale inférieure 135 de la première portion 131.

[0046] Afin de simplifier les calculs d'optimisation de l'élément diélectrique dans la cavité, selon un mode préféré les portions pyramidales supérieure et inférieure

sont identiques. Selon un mode préféré le filtre selon l'invention comprend un plan de symétrie xy. L'existence d'une symétrie sur la forme de l'élément diélectrique permet d'obtenir une meilleure isolation, du fait de la symétrie des modes qui en découle. Une distorsion des modes rend le comportement du filtre non optimal.

[0047] Préférentiellement le filtres elon l'invention fonctionne selon un mode TE (transverse électrique).

[0048] La figure 2 illustre schématiquement un exemple de structure pyramidale dont la base est constituée de sommets disposés sur un polygone P de barycentre Ba, et d'apex Asup. Sur cet exemple le barycentre Ba et l'apex Asup ne sont pas disposés sur l'axe longitudinal z de la cavité cylindrique.

[0049] Afin de simplifier les calculs d'optimisation, selon une variante préférée illustrée figures 1a,1b et 1c les apex Asup et Ainf des portions pyramidales sont disposés sur l'axe longitudinal z de la cavité 11.

[0050] Afin de positionner et fixer plus facilement l'élément diélectrique 13 dans la cavité 11, selon une variante préférée le barycentre Ba du polygone P servant de base à la portion pyramidale est disposé sur l'axe longitudinal z de la cavité 11, comme illustré figures 1 a,1 b, 1 c.

[0051] Préférentiellement l'élément diélectrique 13 est réalisé d'un seul bloc, ce qui présente l'avantage de faciliter la réalisation industrielle de l'élément 13, obtenu par moulage, usinage ou meulage ou par fabrication additive (stéréolithographie).

[0052] La figure 3 illustre un mode de réalisation préféré de portion pyramidale, dont la base est un polygone régulier (3a : carré, 3b: pentagone) dont l'apex A présente une projection orthogonale sur la base, définissant une hauteur h, qui passe par le barycentre Ba du polygone.

[0053] Des exemples de ce cas particulier de portion pyramidale sont le tétraèdre régulier, la pyramide carrée (figure 3a), la pyramide pentagonale (figure 3b), la pyramide hexagonale ....

[0054] On dénomme angle α l'angle entre la base de la pyramide et une face de la pyramide. Selon un mode de réalisation préféré l'angle α (ou tous les angles α lorsqu'ils ne sont pas égaux) est inférieur ou égal à 45°.

[0055] La figure 4 représente une variante d'élément diélectrique 13 à l'intérieur d'une cavité cylindrique 11 de courbe génératrice C selon un cercle (cylindre circulaire). La figure 4a illustre une vue en perspective, la figure 4b une vue de profil.

[0056] Selon cette variante, la portion pyramidale est tronquée, par exemple selon un plan T perpendiculaire à l'axe longitudinal z. L'apex est alors virtuel.

[0057] La troncature est définie par une distance Dtr correspondant à la fraction k de la hauteur pour laquelle la matière a été supprimée.

$$Dtr = k \times h$$

[0058] La troncature présente l'avantage de limiter la sensibilité des performances du filtre à la valeur de l'angle α.

[0059] Préférentiellement k est compris entre 0.1 et 0.5. Pour les valeurs de k plus faibles, l'avantage de la troncature n'est pas significatif. Pour des valeurs de k plus élevées, le facteur de qualité Q diminue sensiblement.

[0060] La figure 5 représente une autre variante d'élément diélectrique 13 à l'intérieur d'une cavité cylindrique 11 de courbe génératrice C selon un cercle. La figure 5a illustre une vue en perspective, la figure 5b une vue de dessus et la figure 5c une vue de profil. Dans l'exemple de la figure 5 le polygone est un carré : les 4 sommets S1, S2, S3 et S4 sont répartis selon un carré.

[0061] Sur l'exemple illustré sur la figure 5 le pourtour 51 de l'élément diélectrique est arrondi (chanfrein 55) au voisinage des sommets pour épouser la forme de la paroi cylindrique.

[0062] Selon cette variante illustrée figure 5 le pourtour 51 de l'élément diélectrique 13 ne coïncide pas avec les côtés du carré selon lequel sont répartis les sommets. Ainsi, au moins un évidement 52 est réalisé à un endroit quelconque du pourtour 51 de l'élément diélectrique 13. Préférentiellement tous les côtés du polygone présentent un évidement 52 pour assurer une symétrie du champ électromagnétique.

[0063] Il s'agit d'enlever du matériau diélectrique dans des zones où le champ électrique est de faible intensité. Un avantage consiste à obtenir un volume de diélectrique plus faible. Un autre avantage consiste en l'obtention d'une meilleure isolation en contrôlant la fréquence des autres modes (parasites) qui dépendent plus fortement de cette partie de diélectrique. Préférentiellement l'évidement est réalisé de manière à ne pas ajouter d'arrêtes à angle droit.

[0064] Le filtre de la figure 5 présente un élément diélectrique qui combine évidement et troncature. Ces deux variantes sont indépendantes.

[0065] Dans la conception d'un filtre hyperfréquence selon l'invention, les fréquences de résonance dépendant principalement :

- des dimensions (épaisseur, et dimensions transversales de la première portion, hauteur de portion pyramidale) et de la forme (base carrée, pentagonale, hexagonale) de l'élément diélectrique,
- des dimensions et de la forme de la cavité résonante dans laquelle l'élément diélectrique est disposé,
- du matériau diélectrique utilisé pour la réalisation de ce dernier.

[0066] Les valeurs de ces variables dépendent donc de la bande hyperfréquence dans laquelle opère le filtre. Selon une variante préférée, le filtre selon l'invention est dimensionné pour fonctionner dans les bandes C, X et Ku et Ka, c'est-à-dire comprenant une fréquence de résonance comprise dans l'intervalle [3 GHz; 30 GHz].

[0067] Un exemple de dimensionnement pour une fré-

quence de résonance de 12 GHz est :

Cavité métallique :

- cylindrique circulaire de diamètre compris entre 20 et 25 mm et de longueur comprise entre 20 et 25 mm.

Elément diélectrique :

- base carrée épousant la forme de la cavité pour les 4 sommets,
- épaisseur e de la première portion comprise entre 2 et 4 mm
- angle α de la pyramide : entre 8° et 11 °
- permittivité diélectrique : 9.5 et 10.

[0068] Pour ces dimensions, un facteur de qualité à vide compris entre 18000 et 19000 et une isolation totale de plage comprise entre 1 GHz et 1.5 GHz autour de la fréquence de résonance ont été calculés avec un diélectrique compensé en température.

[0069] La présence d'un évidement améliore la plage d'isolation, la présence d'une troncature diminue la sensibilité de la fréquence de résonance à la valeur de l'angle de la pyramide, relâchant ainsi les contraintes de fabrication de l'élément diélectrique.

[0070] D'un point de vue électromagnétique, on distingue classiquement deux types de filtres selon la manière dont l'élément diélectrique est utilisé.

[0071] Dans un premier type l'élément diélectrique est utilisé comme résonateur, ce qui signifie que le champ électrique est concentré à l'intérieur de celui-ci. Les "modes de résonateur" (encore appelés modes diélectriques) sont ainsi des modes dont l'énergie électrique se concentre principalement dans le matériau diélectrique (typiquement 90 à 95 %). Leurs pertes sont essentiellement diélectriques et dépendent des caractéristiques du matériau (tangente de pertes).

[0072] A l'opposé, dans un second type dit « modes de cavité », la cavité résonante est dite « chargée » par l'élément diélectrique qui modifie la permittivité diélectrique du milieu. Les pertes sont essentiellement métalliques.

[0073] Un mode de fonctionnement amélioré du filtre selon l'invention est dit « hybride », et consiste à charger la cavité avec un diélectrique pour y concentrer partiellement l'énergie électrique, de manière à réduire les pertes métalliques tout en limitant les pertes diélectriques. Le fonctionnement électromagnétique du filtre selon l'invention combine ainsi les deux types de fonctionnement classique, ce qui permet, en partie grâce à la forme spécifique de l'élément diélectrique, de minimiser les pertes (facteur de qualité élevé) tout en maintenant une bonne isolation.

[0074] En fonctionnement « hybride » le mode résonant présente un nombre pair 2n de zones pour lesquelles le champ électrique présente un maximum, les zones étant disposées en nombre égal de part et d'autre de la première portion 131 de l'élément diélectrique 13.

[0075] En pratique, seules les valeurs n=1, n=2, n=3 et n=4 présentent un intérêt pratique. En effet, plus on monte en ordre, plus il y a de maximas, et au delà de 4 maximas de chaque côté, l'isolation devient insuffisante.

[0076] A dimensions constantes, plus n est grand, plus la fréquence de résonance du mode correspondant est grande. Il faut donc augmenter les dimensions pour ramener cette fréquence de résonance à la fréquence du filtre.

[0077] Lorsque l'on réalise un filtre par canal, une option est d'utiliser pour chaque canal un filtre de structure identique et fonctionnant sur le même mode, mais de dimensions homothétiques, pour obtenir des fréquences de résonnances proportionnelles et déterminées.

[0078] Dans un mode amélioré du filtre selon l'invention illustré figures 6 et 7, chacune des zones pour lesquelles le champ électrique présente un maximum est répartie partiellement à l'intérieur et partiellement à l'extérieur de la portion pyramidale disposée du même côté que la zone en question. Selon l'état de la technique « plaque », les plaques sont positionnées sur les maximas de champs pour y concentrer l'énergie électrique.

[0079] Pour un filtre selon l'invention, de nature hybride, on positionne la première portion du diélectrique (base commune des pyramides) sur un minimum de champ (entre les 2 maximas de champ). Le diélectrique ayant toujours tendance à concentrer l'énergie électrique, en ajustant les dimensions de la pyramide on concentre partiellement cette énergie, en partie à l'intérieur, en partie à l'extérieur du diélectrique, de façon optimale.

[0080] Un avantage d'utiliser un mode « hybride » où le maximum de champ est localisé partiellement en dehors du diélectrique et partiellement à l'intérieur consiste en l'obtention de pertes diélectriques inférieures à celles obtenues pour un mode classique de type résonateur et de pertes métalliques inférieures à celles obtenues pour un mode classique de type cavité chargée.

[0081] La figure 6 illustre un filtre 10 selon l'invention fonctionnant en mode « hybride », dont l'élément diélectrique comprend deux pyramides carrées, tronquées et évidées dans une cavité cylindrique circulaire 11 tel qu'illustré figure 5, le contact entre élément 13 et paroi 12 s'effectuant par les quatre sommets du carré, ainsi que la répartition des lignes de champ du mode résonant dans la cavité. Sur la figure 6 est également illustré la répartition des lignes de champ permettant de mettre en évidence la position des maximas de champ, par exemple pour une polarisation. La figure 6a représente une vue de profil et al figure 6b une vue en perspective.

[0082] On constate sur la figure 6a qu'il y a deux zones qui concentrent le champ électrique, chacune disposée de part et d'autre de la première portion de l'élément diélectrique (cas n=1). Les zones 61 et 62 correspondent aux endroits pour lesquelles le champ électrique présente un maximum. Chaque zone 61, 62 est répartie partiellement dans l'élément diélectrique et partiellement à l'ex-

térieur de celui-ci. En concentrant l'énergie électrique au centre de la cavité, partiellement dans le diélectrique, on réduit sensiblement les pertes métalliques, tout en limitant les pertes diélectriques.

[0083] La figure 7 illustre le même filtre que celui de la figures 6 lequel on a favorisé un mode résonant présentant huit zones, quatre en coupe (71 et 72 ; 73 et 74) qui concentrent le champ électrique de part et d'autre de la première portion de l'élément diélectrique (cas n=4). La figure 6a représente une vue de profil et la figure 6b une vue en perspective de l'élément diélectrique 13 et de la répartition des lignes de champ.

[0084] Pour obtenir un mode résonant à huit maximas, il convient par exemple de rechercher une fréquence de résonnance sur ce mode, sans modifier les dimensions de la cavité et du diélectrique 13.

[0085] Par exemple la fréquence de résonnance du mode n=4 est de 14.5 GHz lorsque la fréquence de résonnance du mode n=1 est de 12 GHz, toutes choses restant égales par ailleurs.

[0086] Une autre variante de la forme de l'élément diélectrique est illustrée figure 8. La pyramide tronquée présente un évidement 80 réalisé sur une face supérieure de la portion pyramidale tronquée.

[0087] L'évidement est de forme quelconque, par exemple un trou débouchant, ou une pyramide inversée et est positionné dans une zone présentant un faible champ électrique. Cette variante est intéressante pour le cas n=4 (voir figure 7) dans lequel le champ électrique au centre de la partie tronquée est faible. La réalisation de cet évidement selon des dimensions optimales permet de contrôler les fréquences des modes parasites.

[0088] La figure 9 illustre la répartition des lignes de champ du mode résonant dans la cavité, avec une pyramide tronquée, dont la partie plane tronquée est évidée, pour un mode n=4. L'évidement perturbe peu la répartition des maximas du champ électrique, partiellement à l'intérieur et partiellement à l'extérieur de la portion pyramidale.

[0089] Un premier exemple de mode de réalisation d'un filtre 10 selon l'invention est illustré schématiquement figure 10. Le filtre comprend au moins une cavité d'entrée 101 et une cavité de sortie 102, des moyens de couplage d'entrée 103 d'une onde hyperfréquence provenant d'une source externe avec la cavité d'entrée 101 et des moyens de couplage de sortie 104 entre la cavité de sortie 102 et un guide d'onde externe et comprend des moyens de couplage intermédiaires 105 des cavités entre elles. Des parois transversales métalliques 106 et 107 ferment au moins partiellement les cavités d'entrée et de sortie.

[0090] Le filtre peut également comprendre une ou plusieurs cavités intermédiaires couplées entre elles, telles que décrit sur la figure 1 du document US5880650. Toutes ces cavités sont par exemple définies électriquement à l'intérieur d'un tronçon de guide d'onde cylindrique moyennant une pluralité de parois transversales à l'axe longitudinal du cylindre 106, 105, 107, qui ferment les cavités au moins partiellement aux deux extrémités de chaque cavité. Les matériaux de construction du guide d'onde et des parois transversales sont ceux utilisés couramment par l'homme de l'art pour une telle réalisation. Les moyens de couplage d'entrée et de sortie sont également ceux utilisés couramment par l'homme de l'art.

[0091] Les moyens de couplage intermédiaires sont classiquement différentes formes de fentes ou d'iris, ou des sondes capacitives, des iris inductifs ou une combinaison des deux.

[0092] Le filtre selon l'invention peut également comprendre des moyens d'accord de la fréquence de résonance connus de l'homme de l'art.

[0093] Sur la figure 10, un élément diélectrique selon l'invention est disposé à l'intérieur d'une cavité, mais le filtre selon l'invention peut également comprendre plusieurs éléments diélectriques pyramidaux par cavité, éventuellement combinés à des éléments diélectriques de type plaque tels que décrits dans le brevet US5880650.

[0094] Par exemple avec un seul élément diélectrique par cavité, l'élément est positionné préférentiellement au milieu de la cavité. Avec deux éléments diélectriques par cavité, on positionne un élément de part et d'autre du milieu de la cavité.

[0095] Un autre exemple de mode de réalisation d'un filtre selon l'invention est décrit figure 11, pour lequel les moyens de couplage d'entrée et de sortie 103, 104 sont positionné sur les parois transversales 106, 107, selon une configuration dite « en ligne ».

[0096] La figure 12 illustre un troisième exemple de mode de réalisation d'un filtre selon l'invention comprenant une cavité d'entrée et une cavité de sortie. Selon cet exemple il n'y a pas de tronçon unique de guide d'onde, mais deux parties cylindriques d'axes longitudinaux parallèles, chaque cavité étant au moins partiellement fermée par des parois transversales 106, 107 pour la cavité d'entrée et 108, 109 pour la cavité de sortie. Les moyens de couplage d'entrée et de sortie sont disposés sur la paroi cylindrique de la cavité correspondante.

[0097] Avec un filtre selon les configurations illustrées figures 10 ou 12, il est possible d'implanter un système de compensation en température externe, tel que décrit dans le brevet US2006097827, sur les capots 106, 107, 108 et 109. On peut ainsi utiliser des diélectriques non compensés en température, ce qui permet d'augmenter sensiblement le facteur de qualité à vide (typiquement 25000).

[0098] Les figures 13 et 14 illustrent la réponse fréquentielle d'un filtre 10 selon l'invention tel qu'illustré figure 10 et dimensionné pour une fréquence de résonance de 12 GHz. Le paramètre S est un paramètre qui rend compte des performances du filtre en termes de réflexion et de transmission. La courbe S11 correspond à la réflexion et S12, ou S21 à la transmission.

[0099] L'accord du filtre permet d'obtenir un maxima de transmission (minima de réflexion) pour une bande de fréquence donnée. La bande passante du filtre est

déterminée à équi-ondulation du S11 (ou S22), par exemple à 15dB ou 20 dB de réduction de la réflexion par rapport à son niveau hors bande.

[0100] La figure 13 illustre la réponse large bande et on constate une bonne isolation par rapport aux modes parasites. La figure 14 correspond à un zoom autour de la fréquence de résonance et illustre la réponse à l'intérieur de la bande passante. Le filtre comprend 4 pôles et est centré autour de 11.950 GHz, et la bande passante est de 40 Mhz.

Revendications

1. Filtre hyperfréquence (10) présentant au moins un mode résonnant et comprenant :

   - au moins une cavité (11) au moins partiellement fermée à l'aide de parois conductrices (12), le filtre étant **caractérisé en ce qu'**il présente: une surface extérieure cylindrique définie par une courbe directrice (C) décrite par une génératrice et présentant un point de symétrie (Sy), un axe passant par un point de symétrie et parallèle à ladite génératrice étant dénommé axe longitudinal (z) de ladite cavité (11) et,
   - au moins un élément diélectrique (13) disposé dans ladite cavité et comprenant :
   - une première portion (131) présentant une épaisseur (e) selon ledit axe longitudinal (z) et une section selon un plan perpendiculaire audit axe longitudinal (z) dont les sommets (s1, s2, s3, s4) sont répartis selon un polygone (P), et dont au moins deux sommets sont court-circuités entre eux par lesdites parois conductrices (12) de ladite cavité, via un contact électrique ou hyperfréquence entre lesdits sommets et lesdites parois,
   - au moins une portion pyramidale (132,133) comprenant un apex (Asup, Ainf) et une base (Bsup, Binf) coïncidant avec une section extrémale (134,135) de ladite première portion (131).

2. Filtre selon la revendication 1 dans lequel ladite courbe directrice (C) est choisie parmi un carré, un rectangle, un hexagone, un cercle, une ellipse.

3. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel ladite base comprend des sommets (s) répartis selon un polygone (P) régulier.

4. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel tous lesdits sommets de ladite section sont court-circuités entre eux par lesdites parois conductrices (12) de ladite cavité, via un contact électrique ou hyperfréquence entre lesdits sommets et lesdites parois.

5. Filtre selon l'une des revendications précédente comprenant une portion pyramidale supérieure (132) et une portion pyramidale inférieure (133) comprenant respectivement une base supérieure (Bsup) coïncidant avec une section extrémale supérieure (134) et une base inférieure (Binf) coïncidant avec une section extrémale inférieure (135) de ladite première portion (131).

6. Filtre selon la revendication 5 dans lequel ladite portion pyramidale supérieure (134) et ladite portion pyramidale inférieure (135) sont identiques.

7. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel ledit apex (Ainf, Asup) est disposé sur ledit axe longitudinal (z).

8. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel le barycentre (O) dudit polygone (P) est disposé sur ledit axe longitudinal (z).

9. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel un angle (α) entre ladite base et une face de ladite portion pyramidale est inférieur ou égal à 45 °.

10. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel ladite portion pyramidale est tronquée selon un plan perpendiculaire (T) audit axe longitudinal (z).

11. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel ladite portion pyramidale tronquée présente un évidement réalisé sur une face supérieure de ladite portion pyramidale tronquée.

12. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel au moins un évidement (52) est réalisé à un endroit quelconque du pourtour (51) de l'élément diélectrique 13.

13. Filtre selon l'une des revendications précédentes dimensionné de sorte qu'une fréquence de résonnance d'un mode résonant est comprise entre 3 GHz et 30 GHz.

14. Filtre selon l'une des revendications précédentes dans lequel un champ électromagnétique correspondant à un mode résonant comprend un nombre pair 2n de zones (61, 62, 71, 72, 73, 74) pour lesquelles ledit champ électromagnétique présente un maximum, lesdites zones étant disposées en nombre égal n de part et d'autre de ladite première portion (131) dudit élément diélectrique (13), n étant choisi parmi 1, 2, 3 ou 4.

15. Filtre selon la revendication 14 dans lequel chacune desdites zones est répartie partiellement à l'intérieur

et partiellement à l'extérieur de ladite portion pyramidale disposée du même côté que ladite zone.

16. Filtre selon l'une des revendications précédentes comprenant au moins une cavité d'entrée (101) et une cavité de sortie (102), et comprenant des moyens de couplage d'entrée (103) d'une onde hyperfréquence provenant d'une source externe avec ladite cavité d'entrée (101) et des moyens de couplage de sortie (104) entre ladite cavité de sortie (102) et un guide d'onde externe, et comprenant des moyens de couplage intermédiaires (105) desdites cavités entre elles.

Patentansprüche

1. Mikrowellenfilter (10) mit wenigstens einer Resonanzmode, das Folgendes umfasst:

- wenigstens einen Hohlraum (11), der wenigstens teilweise durch leitende Wände (12) verschlossen ist, wobei das Filter **dadurch gekennzeichnet ist, dass** es Folgendes aufweist:

  eine zylindrische Außenfläche, die von einer Leitkurve (C) definiert wird, beschrieben von einer Mantellinie und mit einem Symmetriepunkt (Sy), wobei eine Achse, die durch einen Symmetriepunkt und parallel zu der Mantellinie verläuft, als Längsachse (z) des Hohlraums (11) bezeichnet wird; und

- wenigstens ein dielektrisches Element (13), das in dem Hohlraum angeordnet ist und Folgendes umfasst:
- einen ersten Abschnitt (131) mit einer Dicke (e) in der Längsachse (z) und einer Sektion in einer Ebene lotrecht zu der Längsachse (z), dessen Scheitelpunkte (s1, s2, s3, s4) über ein Polygon (P) verteilt sind und von denen wenigstens zwei Scheitelpunkte durch die leitenden Wände (12) des Hohlraums über einen elektrischen oder Mikrowellenkontakt zwischen den Scheitelpunkten und den Wänden miteinander kurzgeschlossen sind;
- wobei wenigstens ein pyramidenförmiger Abschnitt (132, 133) einen Apex (Asup, Ainf) und eine Basis (Bsup, Binf) hat, die mit einer Endsektion (134, 135) des ersten Abschnitts (131) zusammenfallen.

2. Filter nach Anspruch 1, bei dem die Leitkurve (C) aus einem Quadrat, einem Rechteck, einem Hexagon, einem Kreis, einer Ellipse ausgewählt ist.

3. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem die Basis Scheitelpunkte (s) umfasst, die gemäß einem regelmäßigen Polygon (P) verteilt sind.

4. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem alle Scheitelpunkte der Sektion durch die leitenden Wände (12) des Hohlraums über einen elektrischen oder Mikrowellenkontakt zwischen den Scheitelpunkten und den Wänden miteinander kurzgeschlossen sind.

5. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, umfassend einen oberen pyramidenförmigen Abschnitt (132) und einen unteren pyramidenförmigen Abschnitt (133), die jeweils eine mit einer oberen Endsektion (134) zusammenfallende obere Basis (Bsup) und eine mit einer unteren Endsektion (135) des ersten Abschnitts (131) zusammenfallende untere Basis (Binf) umfassen.

6. Filter nach Anspruch 5, bei dem der obere pyramidenförmige Abschnitt (134) und der untere pyramidenförmige Abschnitt (135) identisch sind.

7. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem der Apex (Ainf, Asup) auf der Längsachse (z) angeordnet ist.

8. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem das Baryzentrum (O) des Polygons (P) auf der Längsachse (z) angeordnet ist.

9. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem ein Winkel (α) zwischen der Basis und einer Fläche des pyramidenförmigen Abschnitts gleich oder kleiner als 45° ist.

10. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem der pyramidenförmige Abschnitt entlang einer Ebene (T) lotrecht zu der Längsachse (z) abgeschnitten ist.

11. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem der abgeschnittene pyramidenförmige Abschnitt eine Aussparung auf einer Oberseite des abgeschnittenen pyramidenförmigen Abschnitts hat.

12. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem wenigstens eine Aussparung (52) an einer beliebigen Stelle auf dem Umfang (51) des dielektrischen Elements (13) vorgesehen ist.

13. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, so dimensioniert, dass eine Resonanzfrequenz einer Resonanzmode zwischen 3 GHz und 30 GHz liegt.

14. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem ein elektromagnetisches Feld, das einer Resonanzmode entspricht, eine gerade Zahl 2n von Zo-

nen (61, 62, 71, 72, 73, 74) umfasst, für die das elektromagnetische Feld ein Maximum hat, wobei die Zonen in einer gleichen Anzahl n auf beiden Seiten des ersten Abschnitts (131) des dielektrischen Elements (13) angeordnet sind, wobei n aus 1, 2, 3 oder 4 ausgewählt ist.

15. Filter nach Anspruch 14, bei dem jede der Zonen teilweise innerhalb und teilweise außerhalb des pyramidenförmigen Abschnitts verteilt ist, der auf derselben Seite angeordnet ist wie diese Zone.

16. Filter nach einem der vorherigen Ansprüche, das wenigstens einen Eingangshohlraum (101) und einen Ausgangshohlraum (102) umfasst und Mittel (103) zum Koppeln des Eingangs einer von einer externen Quelle stammenden Mikrowelle mit dem Eingangshohlraum (101) und Mittel (104) zum Koppeln des Ausgangs zwischen dem Ausgangshohlraum (102) und einem externen Wellenleiter umfasst und Zwischenmittel (105) zum Koppeln der Hohlräume miteinander umfasst.

Claims

1. A microwave filter (10) having at least one resonant mode and comprising:

- at least one cavity (11) that is at least partially closed by conducting walls (12), said filter being **characterised in that** it has:

  a cylindrical outer surface defined by a directrix (C) described by a generatrix and having a point of symmetry (Sy), with an axis passing through a point of symmetry and parallel to said generatrix being called the longitudinal axis (z) of said cavity (11); and

- at least one dielectric element (13) disposed inside said cavity and comprising:
- a first portion (131) having a thickness (e) along said longitudinal axis (z) and a section along a plane perpendicular to said longitudinal axis (z), the vertices (s1, s2, s3, s4) of which portion are distributed as a polygon (P) and at least two vertices of which are short-circuited together by said conducting walls (12) of said cavity via an electric or microwave contact between said vertices and said walls;
- at least one pyramidal portion (132, 133) comprising an apex (Asup, Ainf) and a base (Bsup, Binf) that coincide with an end section (134, 135) of said first portion (131).

2. The filter according to claim 1, wherein said directrix (C) is selected from among a square, a rectangle, a hexagon, a circle, an ellipse.

3. The filter according to any one of the preceding claims, wherein said base comprises vertices (s) that are distributed as a regular polygon (P).

4. The filter according to any one of the preceding claims, wherein all of said vertices of said section are short-circuited together by said conducting walls (12) of said cavity via an electric or microwave contact between said vertices and said walls.

5. The filter according to any one of the preceding claims, comprising an upper pyramidal portion (132) and a lower pyramidal portion (133), respectively comprising an upper base (Bsup) that coincides with an upper end section (134) and a lower base (Binf) that coincides with a lower end section (135) of said first portion (131).

6. The filter according to claim 5, wherein said upper pyramidal portion (134) and said lower pyramidal portion (135) are identical.

7. The filter according to any one of the preceding claims, wherein said apex (Ainf, Asup) is disposed on said longitudinal axis (z).

8. The filter according to any one of the preceding claims, wherein the barycentre (O) of said polygon (P) is disposed on said longitudinal axis (z).

9. The filter according to any one of the preceding claims, wherein an angle (α) between said base and a face of said pyramidal portion is less than or equal to 45°.

10. The filter according to any one of the preceding claims, wherein said pyramidal portion is truncated along a plane (T) perpendicular to said longitudinal axis (z).

11. The filter according to any one of the preceding claims, wherein said truncated pyramidal portion has a recess that is made on an upper face of said truncated pyramidal portion.

12. The filter according to any one of the preceding claims, wherein at least one recess (52) is made at any point on the perimeter (51) of said dielectric element (13).

13. The filter according to any one of the preceding claims, dimensioned so that a resonant frequency of a resonant mode is between 3 GHz and 30 GHz.

14. The filter according to any one of the preceding claims, wherein an electromagnetic field corre-

sponding to a resonant mode comprises an even number 2n of zones (61, 62, 71, 72, 73, 74), for which said electromagnetic field has a maximum, said zones being disposed in equal numbers n on both sides of said first portion (131) of said dielectric element (13), with n being selected from among 1, 2, 3 or 4.

15. The filter according to claim 14, wherein each of said zones is distributed partially inside and partially outside said pyramidal portion that is disposed on the same side as said zone.

16. The filter according to any one of the preceding claims, comprising at least one input cavity (101) and one output cavity (102), and comprising means (103) for coupling the input of a microwave originating from an external source with said input cavity (101) and means (104) for coupling the output between said output cavity (102) and an external waveguide, and comprising intermediate means (105) for coupling said cavities together.

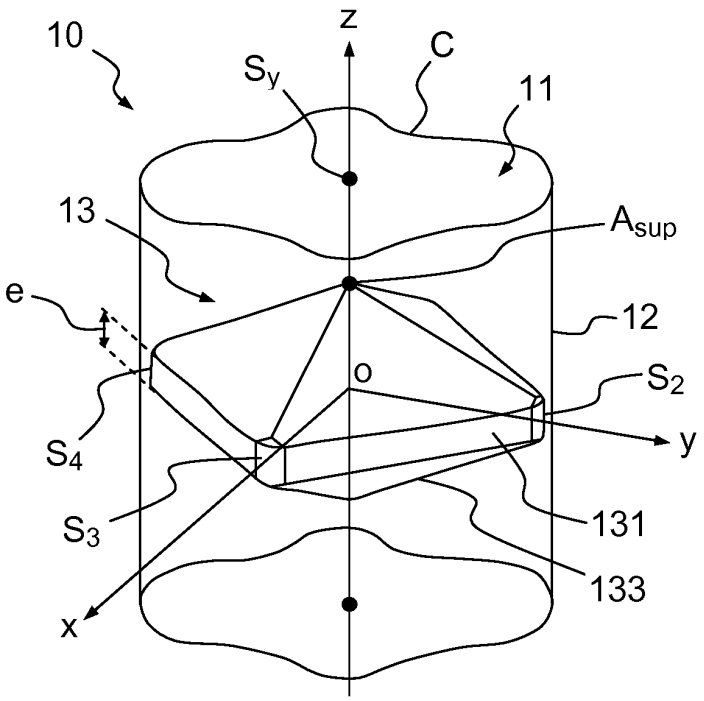

10
z
S_y
C
11
13
A_{sup}
e
12
o
S_2
y
S_4
S_3
131
133
x

FIG.1a

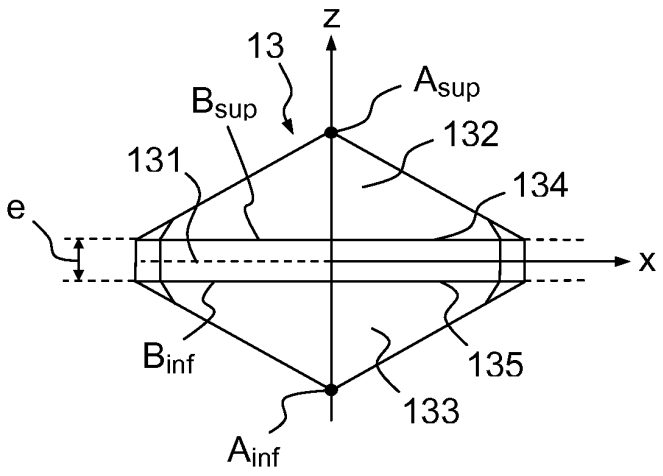

z
13
A_{sup}
B_{sup}
132
131
134
e
x
B_{inf}
135
133
A_{inf}

FIG.1b

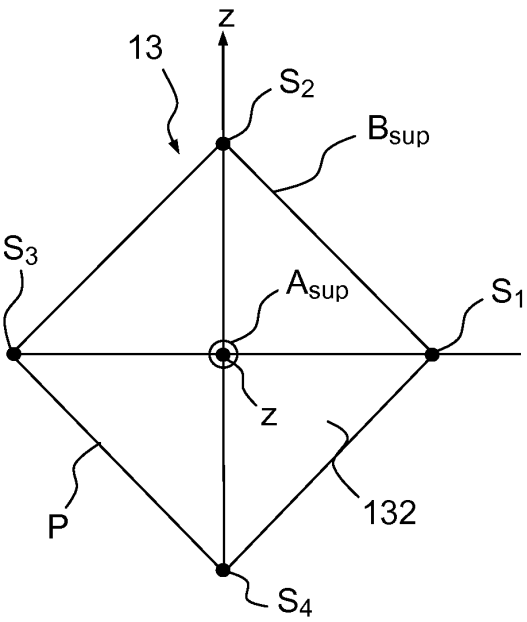


FIG.1c

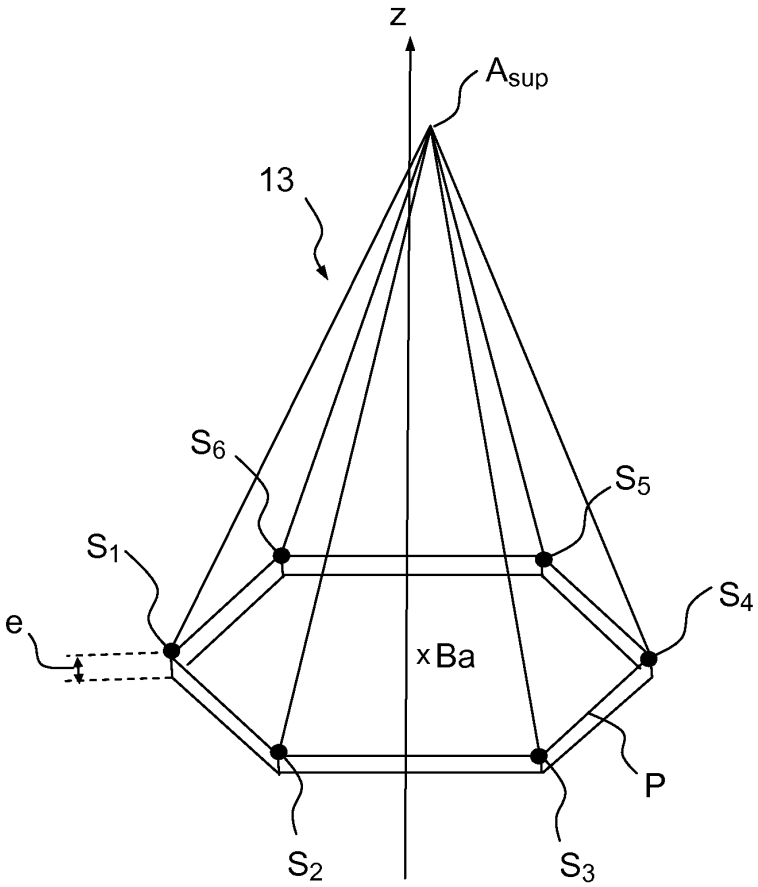


FIG.2

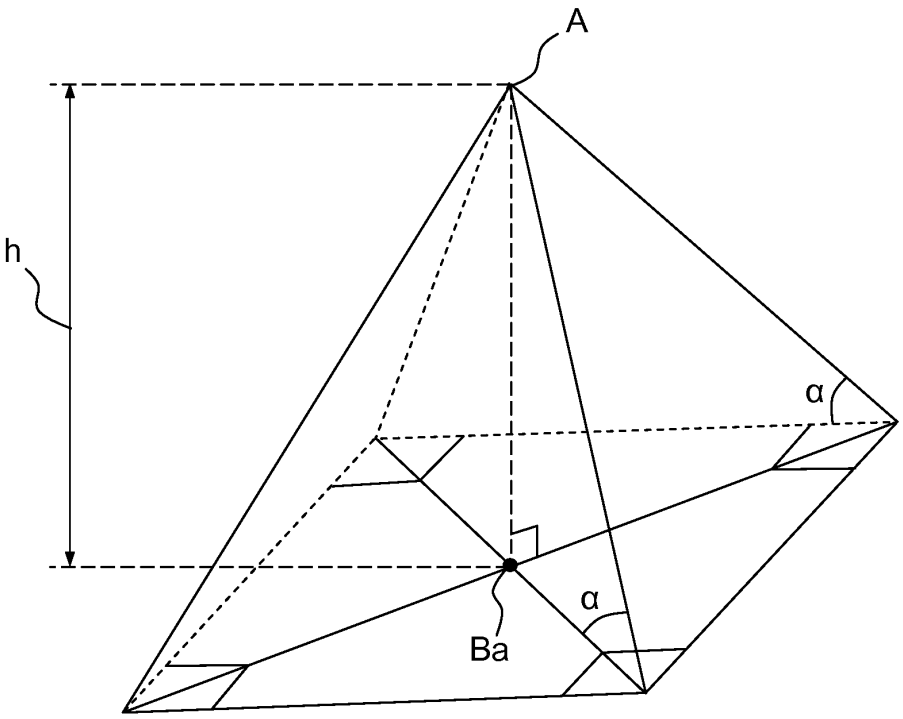


FIG.3a

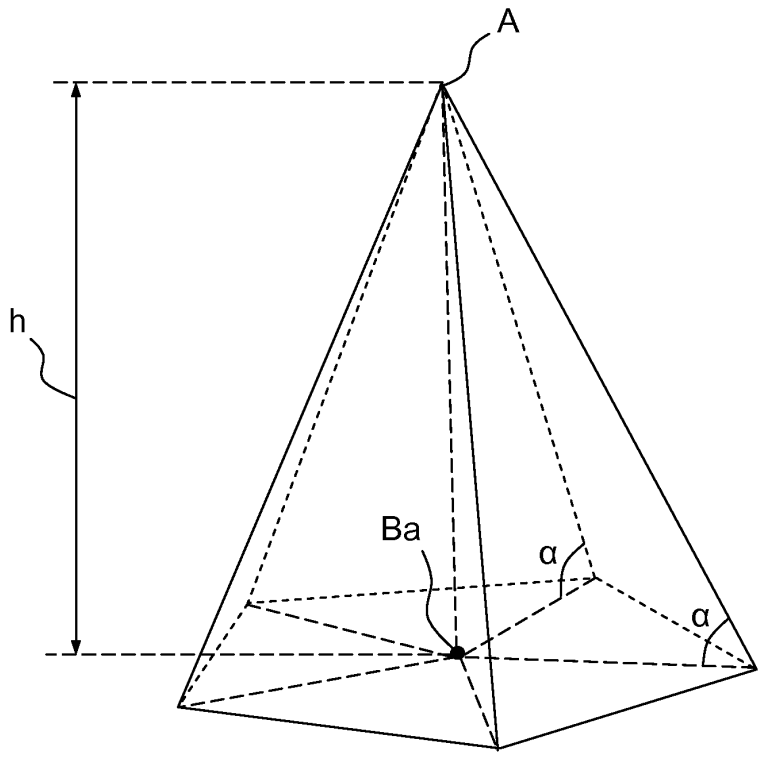


FIG.3b

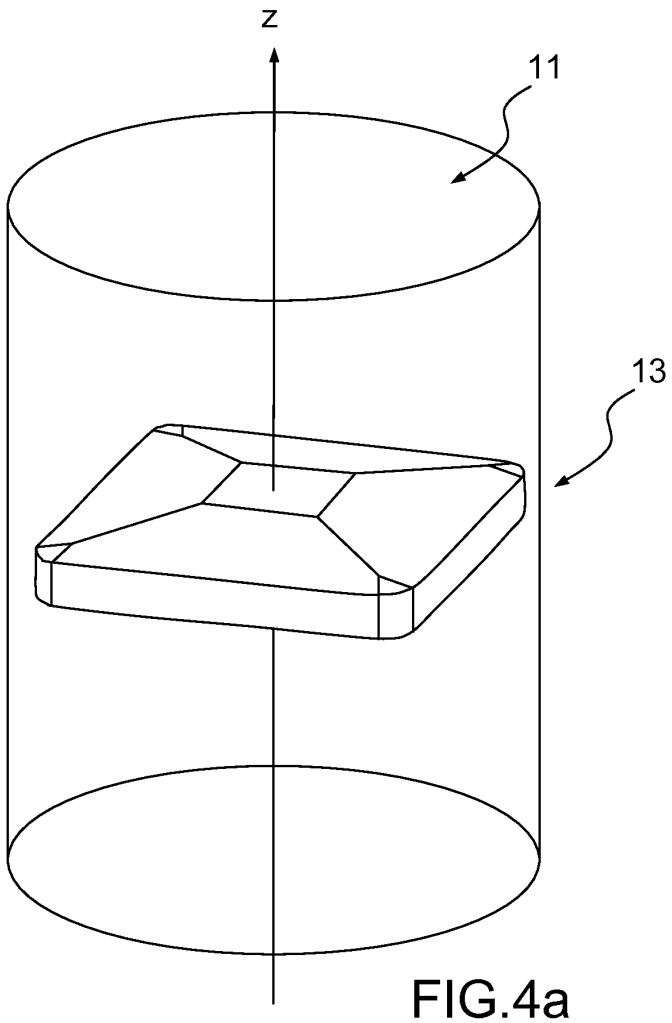


FIG.4a

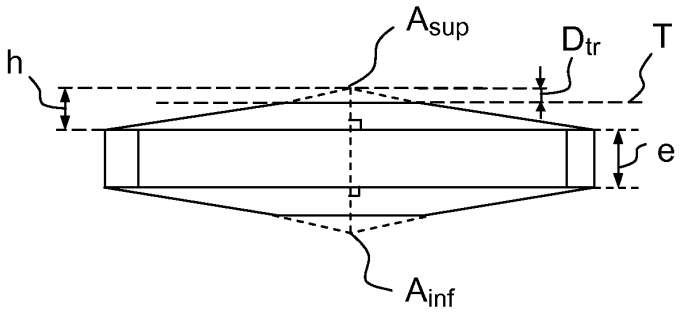


FIG.4b

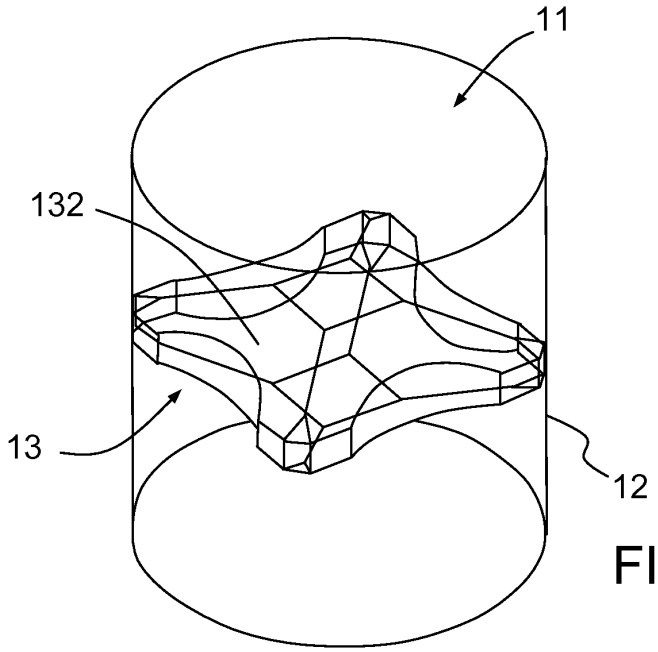


FIG.5a

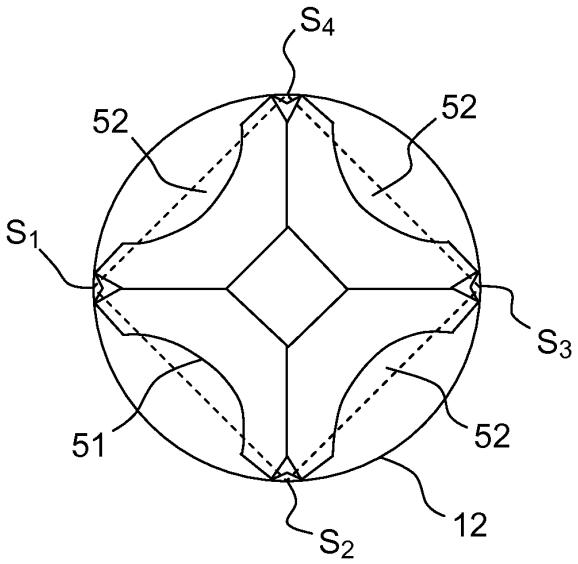


FIG.5b

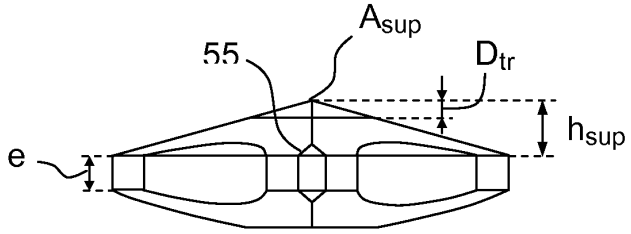


FIG.5c

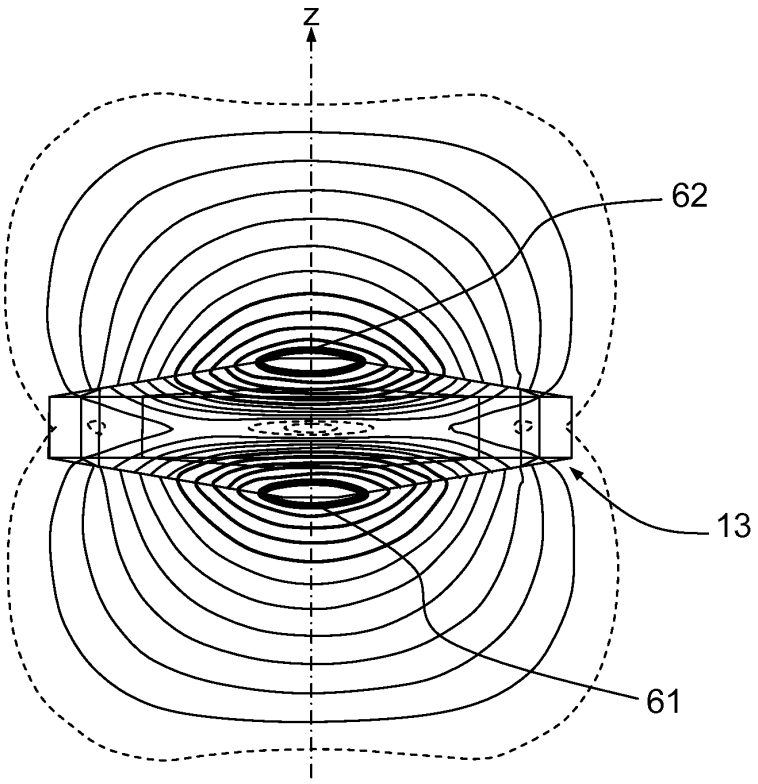


FIG.6a

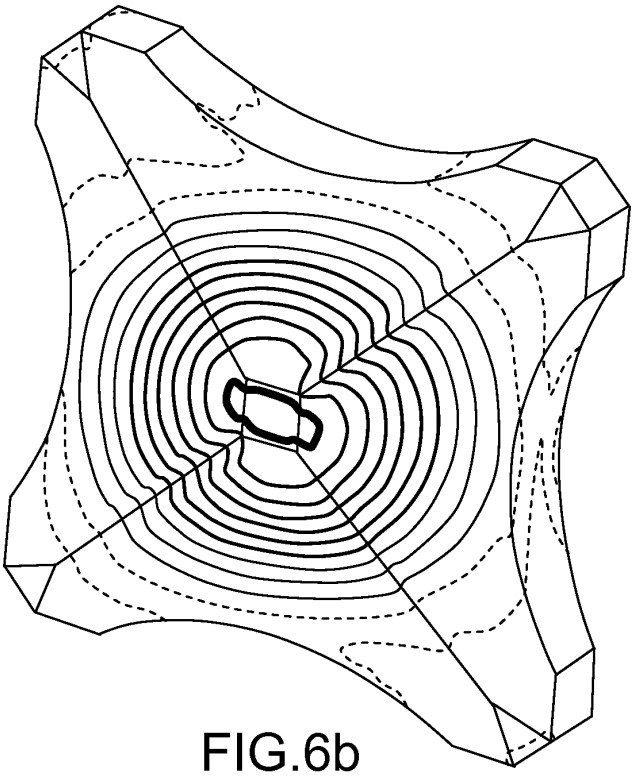


FIG.6b

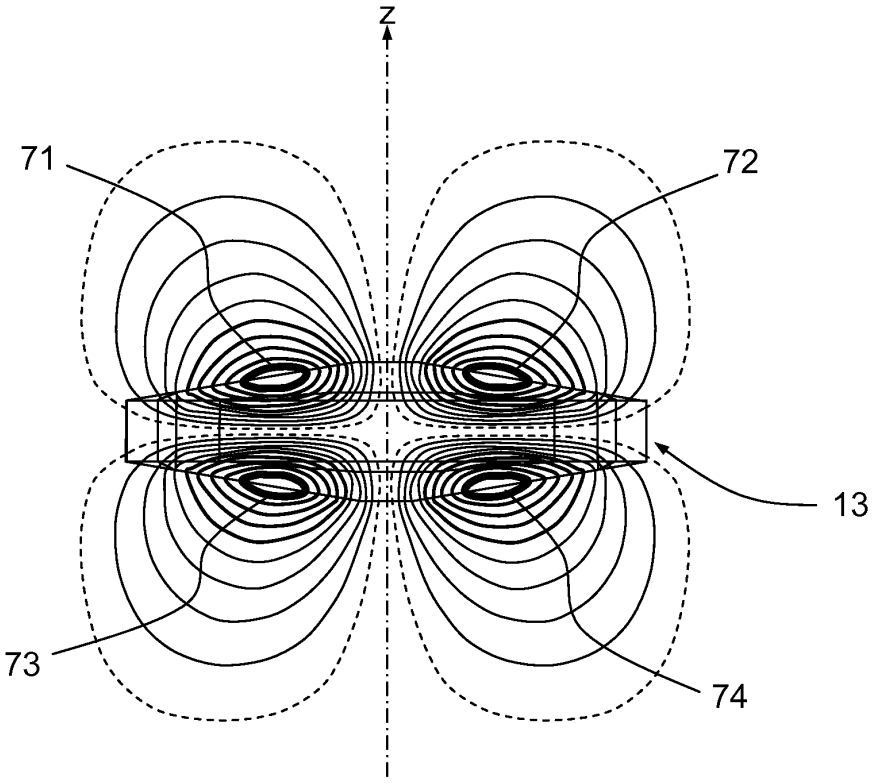


FIG.7a

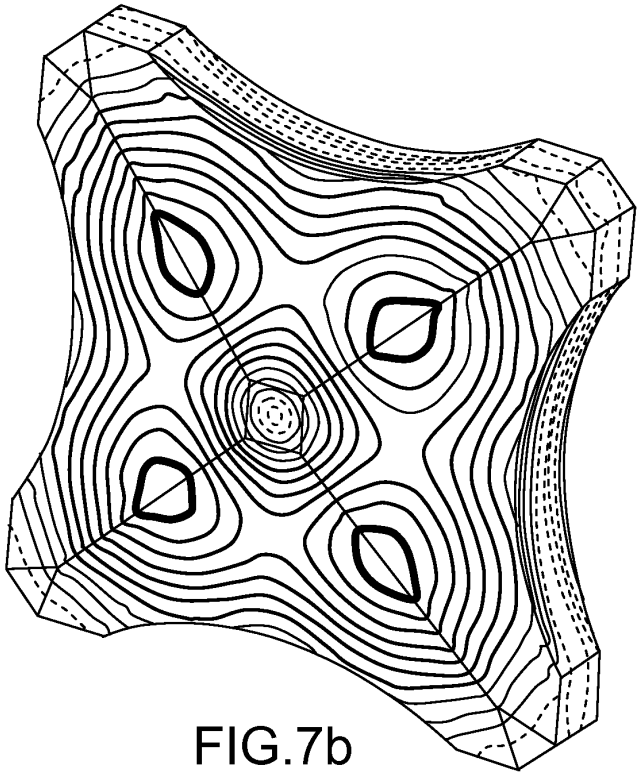


FIG.7b

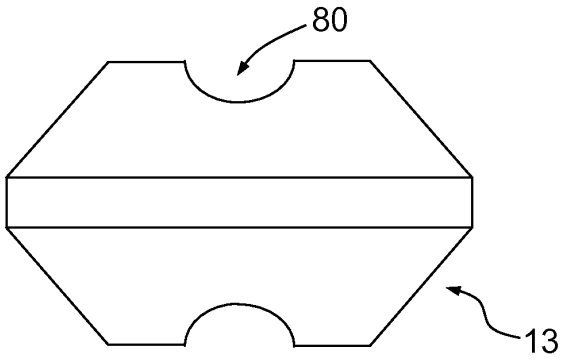


FIG.8a

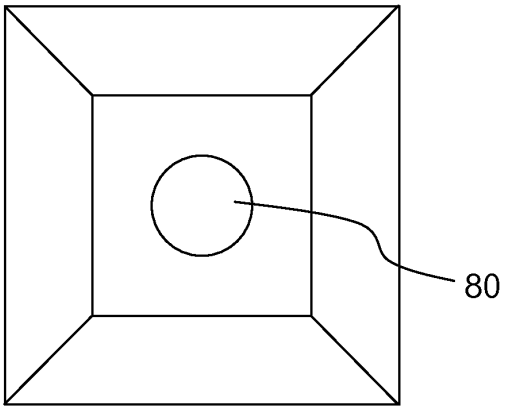


FIG.8b

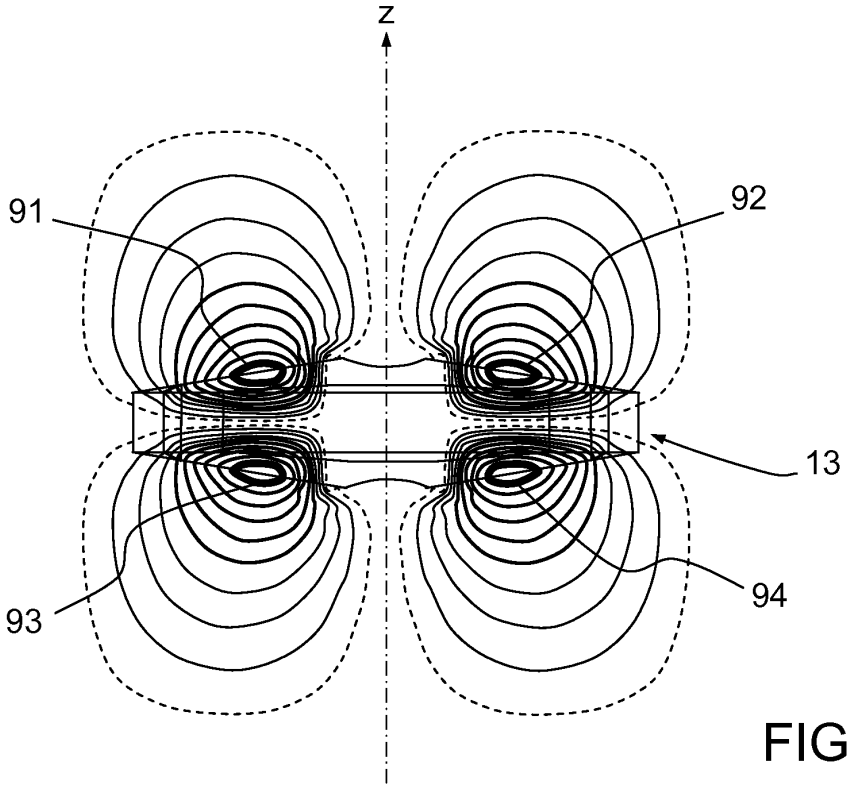


FIG.9

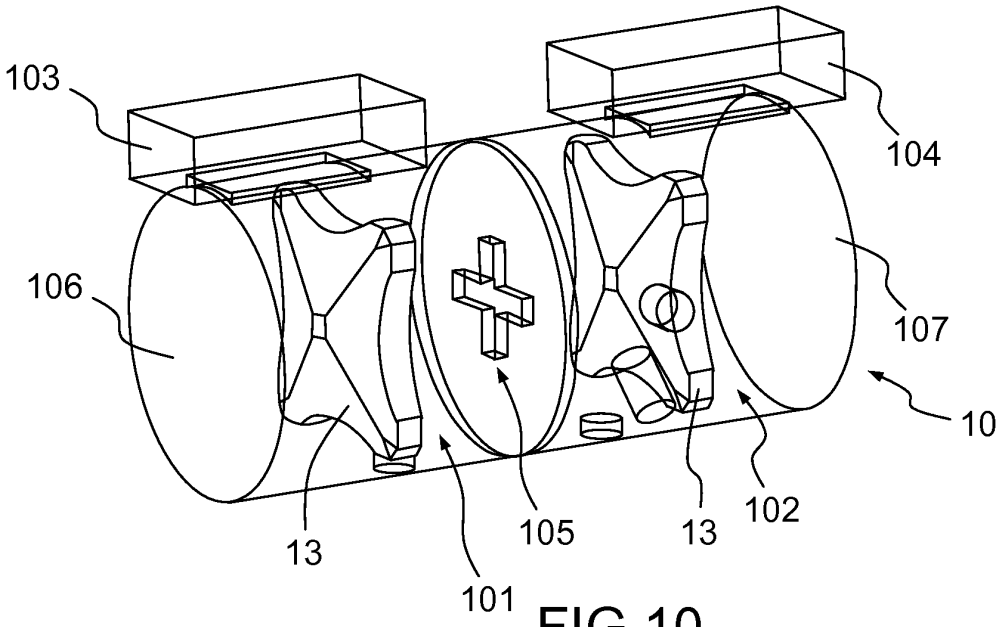


FIG.10

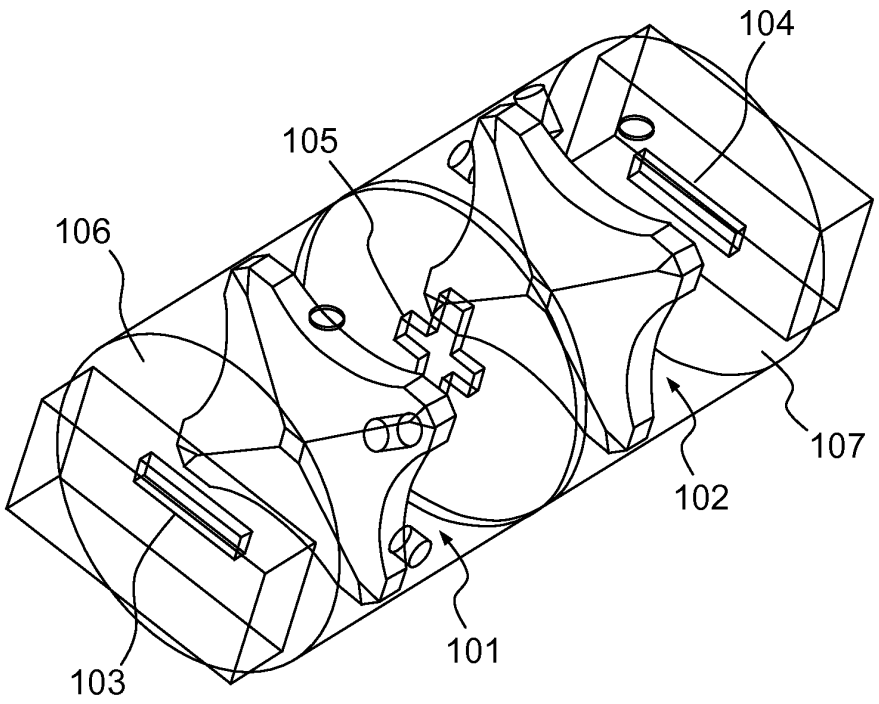


FIG.11

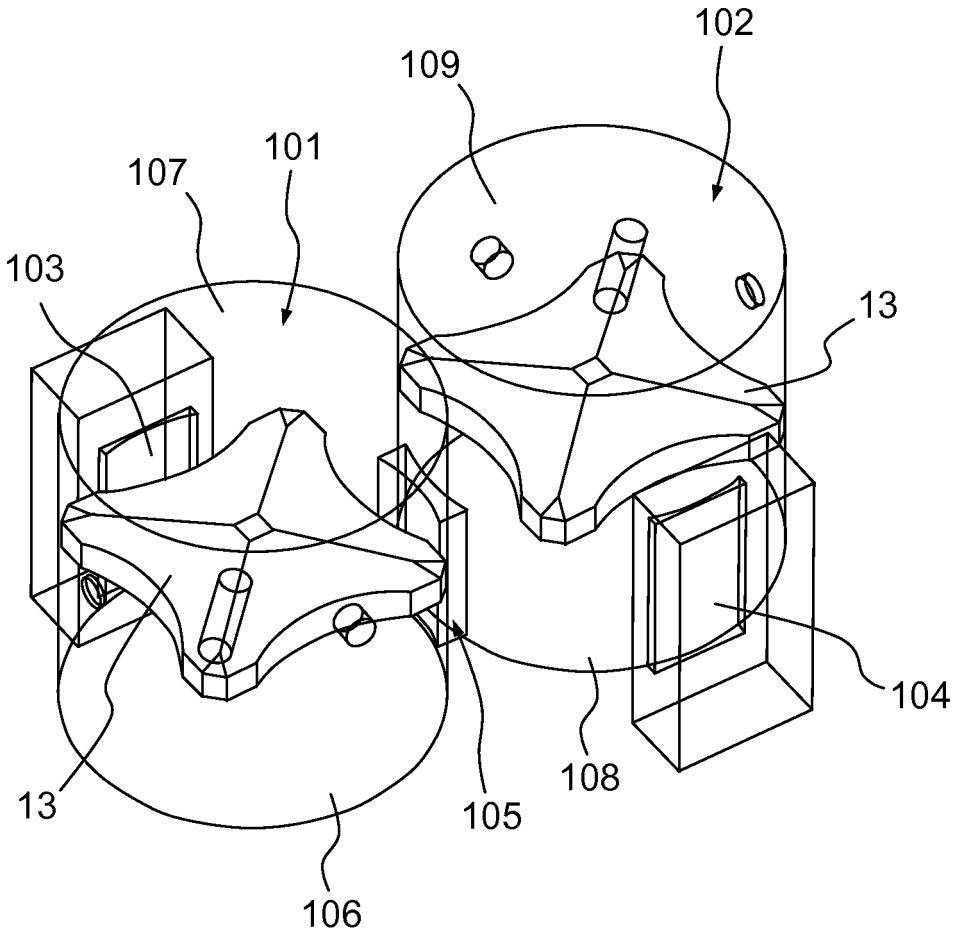


FIG.12

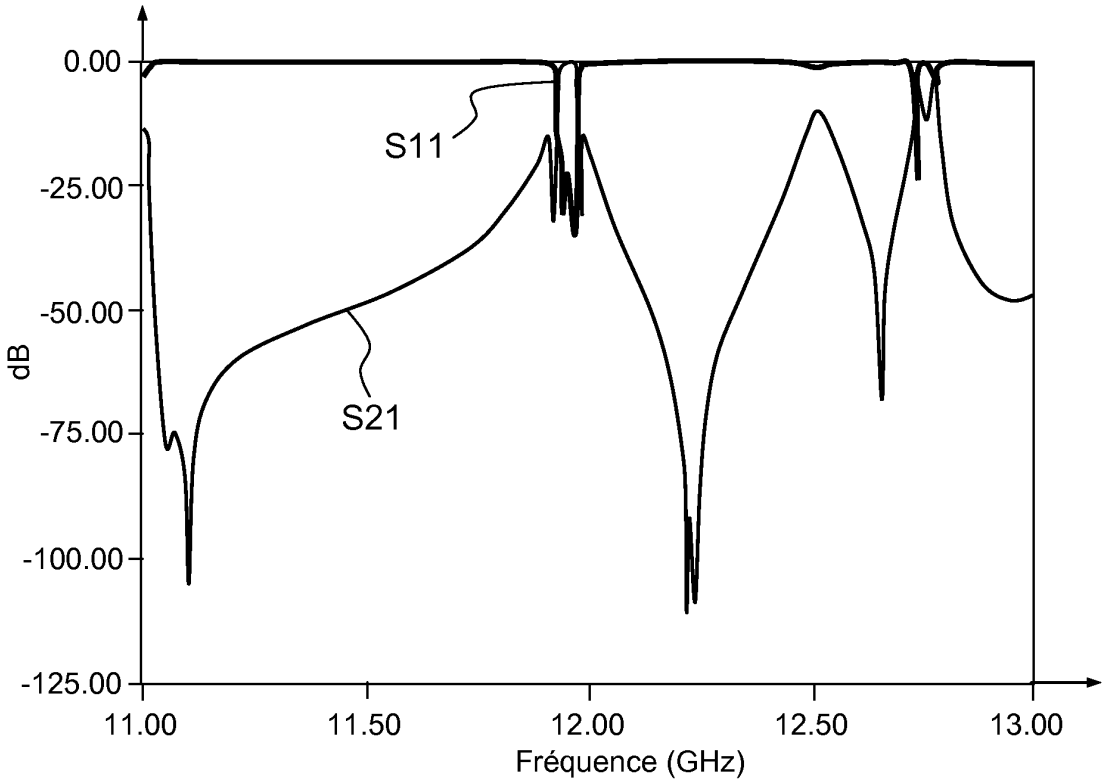

0.00
-25.00
-50.00
-75.00
-100.00
-125.00
dB
S11
S21
11.00
11.50
12.00
12.50
13.00
Fréquence (GHz)

FIG.13

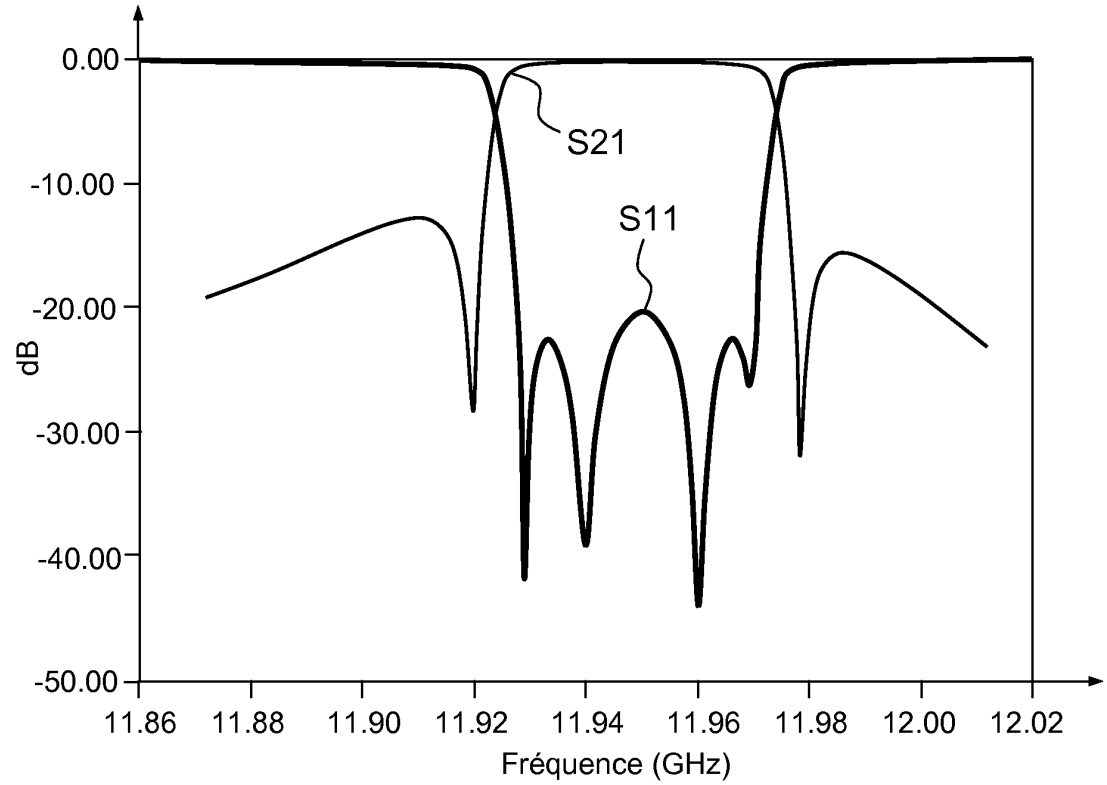

0.00
-10.00
-20.00
-30.00
-40.00
-50.00
dB
S21
S11
11.86
11.88
11.90
11.92
11.94
11.96
11.98
12.00
12.02
Fréquence (GHz)

FIG.14

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

- US 5880650 A **[0006] [0007] [0010] [0036] [0037] [0090] [0093]**
- US 6433652 B **[0009]**
- US 8031036 B **[0011]**
- US 2006097827 A **[0097]**