

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 561 384**

51 Int. Cl.:

**H01P 1/208** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.04.2014 E 14164871 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.12.2015 EP 2797161**

54 Título: **Filtro de hiperfrecuencia con elemento dieléctrico**

30 Prioridad:

**26.04.2013 FR 1300974**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**25.02.2016**

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)  
45, rue de Villiers  
92200 Neuilly Sur Seine, FR**

72 Inventor/es:

**PACAUD, DAMIEN y  
JOLLY, NICOLAS**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 561 384 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Filtro de hiperfrecuencia con elemento dieléctrico

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere al campo de los filtros para onda de hiperfrecuencia, tradicionalmente de frecuencia comprendida entre 1 GHz y algunas decenas de GHz.

10 El procesamiento de una onda de hiperfrecuencia, por ejemplo recibida por un satélite, necesita del desarrollo de componentes específicos, que permiten la propagación, la amplificación, y el filtrado de esta onda. De hecho, la onda de hiperfrecuencia recibida por un satélite debe amplificarse antes de enviarse hacia la tierra. Esta amplificación solo es posible separando el conjunto de las frecuencias recibidas en canales, que corresponden cada uno a una banda de frecuencia dada. Entonces, la amplificación se realiza canal por canal. Después, la señal se recombina antes de enviarse hacia la antena emisora.

De esta manera, se utilizan unos filtros para la realización de multiplexor de entrada (denominado IMUX) o de salida (denominado OMUX). Un filtro solo puede excitarse mediante una banda relativamente estrecha de frecuencia alrededor de una frecuencia de resonancia.

15 El filtro según la invención comprende al menos una cavidad y un elemento dieléctrico dispuesto en el interior. Más particularmente, los filtros según la invención están adaptados para la realización de multiplexores de tipo OMUX, situados después de un amplificador de potencia. Su papel es eliminar todas las frecuencias parásitas creadas por el amplificador de potencia. Las especificaciones de estos filtros son muy rigurosas en términos de factor de calidad y de aislamiento (no modos parásitos en la banda de interés) debido a su situación entre el amplificador de potencia y la antena de emisión.

20

**Estado de la técnica**

25 De forma clásica, los filtros para onda de hiperfrecuencia comprenden, además de una o varias cavidades acopladas entre sí en las que se disponen unos resonadores dieléctricos, unos medios de acoplamiento de la energía de hiperfrecuencia (RF) por una parte para introducir energía RF a la entrada del filtro y, por otra parte, para extraer energía RF a la salida del filtro. Además, comprenden por lo general unos medios de afinación que permiten ajustar la frecuencia de los principales modos de resonancia del filtro.

30 Unos filtros conocidos por la técnica anterior se describen, por ejemplo, en la patente de los Estados Unidos US5880650. En este filtro, un elemento dieléctrico está constituido por una placa plana que tiene la forma de un paralelogramo, y el máximo del campo eléctrico se sitúa en el elemento dieléctrico, que de esta manera desempeña el papel de resonador.

35 Una ventaja del filtro descrito en la patente de los Estados Unidos US5880650 es que el resonador dieléctrico está en contacto mecánico y eléctrico con las paredes de la cavidad metálica por los cuatro vértices de la placa. Los vértices son truncados o redondeados para adaptarse a la forma de las paredes laterales, planas o ligeramente curvadas en función de la forma de la cavidad. El contacto mecánico permite un posicionamiento exacto y reproducible del elemento resonante en la cavidad y la transferencia térmica entre el elemento resonador y las paredes se mejora claramente.

40 Un inconveniente de este filtro consiste en que debido a la localización del campo eléctrico en el elemento dieléctrico, las pérdidas dieléctricas son importantes. Al contrario, una cavidad resonante vacía presenta importantes pérdidas metálicas. Dependiendo el factor de calidad Q de las pérdidas metálicas y de las pérdidas dieléctricas, una cavidad vacía o una cavidad con resonador dieléctrico presentan por lo tanto cada una el inconveniente de pérdidas importantes, es decir un factor de calidad no óptimo.

El documento de los Estados Unidos US6433652 que describe un filtro multimodo que tiene un resonador dieléctrico se considera como que es el estado de la técnica más próximo.

45 Además, el filtro descrito en la patente de los Estados Unidos US5880650 se ha optimizado para un funcionamiento en banda C (de 3 a 5 GHz). Para que funcione a frecuencia más alta (por ejemplo en banda Ku de 10 a 13 GHz), conviene dividir las dimensiones por tres aproximadamente, lo que conduce a un filtro de escasa dimensión, lo que es ventajoso. Sin embargo, la subida de frecuencia conduce a una degradación del factor de calidad Q.

50 Otro tipo de filtro se describe en la patente de los Estados Unidos US8031036. Este filtro comprende una cavidad metálica cilíndrica y en el interior un elemento dieléctrico igualmente cilíndrico que comprende una brida, fijado a las paredes de la cavidad sobre el conjunto de su circunferencia mediante la brida a través, por ejemplo, de un anillo o de muelles. En este filtro el campo eléctrico se concentra en el resonador dieléctrico con los inconvenientes anteriormente citados. Además, el volumen del cilindro resonador es importante, conduciendo a un filtro pesado, lo que constituye un inconveniente notable para unos componentes que tienen por objeto integrarse en un satélite.

Un objetivo de la presente invención es remediar los inconvenientes anteriormente citados.

**Descripción de la invención**

- La presente invención tiene como objeto un filtro de hiperfrecuencia que presenta al menos un modo resonante que comprende al menos una cavidad al menos parcialmente cerrada con la ayuda de paredes conductoras y que presenta una superficie exterior cilíndrica definida por una curva directriz descrita por una generatriz y que presenta un punto de simetría, un eje que pasa por un punto de simetría y paralelo a dicha generatriz que se denomina eje longitudinal de la cavidad y al menos un elemento dieléctrico dispuesto en dicha cavidad y que comprende:
- una primera porción que presenta un espesor según dicho eje longitudinal y una sección según un plano perpendicular a dicho eje longitudinal cuyos vértices se reparten según un polígono, y cuyos al menos dos vértices están en cortocircuito entre sí mediante las paredes conductoras de la cavidad, por medio de un contacto eléctrico o de hiperfrecuencia entre los vértices y las paredes,
  - al menos una porción piramidal que comprende un ápice y una base que coincide con una sección de extremo de la primera porción.
- Ventajosamente, la curva directriz se elige de entre un cuadrado, un rectángulo, un hexágono, un círculo, una elipse.
- Ventajosamente, la base comprende unos vértices repartidos según un polígono regular.
- Ventajosamente, todos los vértices de la sección están en cortocircuito entre sí mediante las paredes conductoras de la cavidad, por medio de un contacto eléctrico o de hiperfrecuencia entre los vértices y las paredes.
- Ventajosamente, el filtro según la invención comprende una porción piramidal superior y una porción piramidal inferior que comprenden respectivamente una base superior que coincide con una sección de extremo superior y una base inferior que coincide con una sección de extremo inferior de la primera porción.
- Ventajosamente, la porción piramidal superior y la porción piramidal inferior son idénticas.
- Ventajosamente, el ápice se dispone sobre el eje longitudinal. Ventajosamente, el baricentro de dicho polígono se dispone sobre el eje longitudinal.
- Ventajosamente, un ángulo entre la base y una cara de la porción piramidal es inferior o igual a 45.
- Ventajosamente, la porción piramidal está truncada según un plano perpendicular al eje longitudinal.
- Ventajosamente, la porción piramidal truncada presenta un vaciamiento realizado sobre una cara superior de la porción piramidal truncada. Ventajosamente, se realiza al menos un vaciamiento en un sitio cualquiera del perímetro del elemento dieléctrico.
- Ventajosamente, el filtro según la invención se dimensiona de manera que una frecuencia de resonancia de un modo resonante está comprendida entre 3 GHz y 30 GHz.
- Ventajosamente, un campo electromagnético que corresponde a un modo resonante comprende un número par  $2n$  de zonas para las que el campo electromagnético presenta un máximo, disponiéndose las zonas en número igual  $n$  a ambos lados de la primera porción del elemento dieléctrico, eligiéndose  $n$  de entre 1, 2 o 3.
- Ventajosamente, cada una de las zonas se reparte parcialmente en el interior y parcialmente en el exterior de la porción piramidal dispuesta por el mismo lado que la zona.
- Ventajosamente, el filtro según la invención comprende al menos una cavidad de entrada y una cavidad de salida y comprende unos medios de acoplamiento de entrada de una onda de hiperfrecuencia que proviene de una fuente externa con dicha cavidad de entrada, y unos medios de acoplamiento de salida entre dicha cavidad de salida y una guía de onda externa, y comprende unos medios de acoplamiento intermedios de las cavidades entre sí.
- Otras características, objetivos y ventajas de la presente invención se mostrarán tras la lectura de la descripción detallada que va a seguir y a la vista de los dibujos adjuntos dados a título de ejemplos no limitativos y en los que:
- la figura 1 ilustra esquemáticamente un filtro según la invención.
  - la figura 2 describe un ejemplo de estructura piramidal del elemento dieléctrico.
  - la figura 3 ilustra un modo de realización preferente de porción piramidal.
  - la figura 4 ilustra una variante de elemento dieléctrico que comprende una porción piramidal truncada.
  - la figura 5 ilustra una variante de elemento dieléctrico que comprende unos vaciamientos.
  - la figura 6 ilustra la distribución de las líneas de campo para un modo de realización del filtro según la invención.
  - la figura 7 ilustra la distribución de las líneas de campo para otro modo de realización del filtro según la invención.
  - la figura 8 ilustra esquemáticamente una variante de realización del elemento dieléctrico del filtro según la invención.
  - la figura 9 ilustra la distribución de las líneas de campo para un filtro según la invención que presenta un elemento dieléctrico como se describe en la figura 8.

- la figura 10 ilustra un primer ejemplo de modo de realización de un filtro según la invención.
- la figura 11 ilustra un segundo ejemplo de modo de realización de un filtro según la invención.
- la figura 12 ilustra un tercer ejemplo de modo de realización de un filtro según la invención.
- la figura 13 ilustra un ejemplo de respuesta frecuencial sobre una banda ancha de un filtro según la invención.
- 5 - la figura 14 ilustra un ejemplo de respuesta frecuencial en las inmediaciones de la frecuencia de resonancia de un filtro según la invención.

**Descripción detallada de la invención**

Un objetivo de la invención es realizar un filtro para onda de hiperfrecuencia que presenta unas prestaciones muy buenas a la vez en factor de calidad Q y en aislamiento.

10 Por aislamiento se entiende la capacidad del filtro para no transmitir modos no deseados que no sean los modos de resonancia seleccionados del filtro. El rango de frecuencia alrededor de la frecuencia de resonancia para el que no se transmite ningún modo parásito se denomina según la terminología anglosajona "spurious free range". Por supuesto, se busca obtener un rango lo más amplio posible.

15 Por ejemplo, para una aplicación OMUX en banda Ku (10 a 13 GHz), se busca tradicionalmente un rango de alrededor de 500 MHz a ambos lados de la frecuencia de resonancia, un factor de calidad en vacío al menos igual a 18.000 y una resistencia de potencia de al menos 300 W por canal.

20 La figura 1a describe una vista en perspectiva de un filtro 10 de hiperfrecuencia (RF) según la invención. Este filtro presenta al menos un modo de resonancia y comprende una cavidad 11 al menos parcialmente cerrada con la ayuda de paredes 12 conductoras, tradicionalmente metálicas. La cavidad 11 presenta una superficie exterior cilíndrica definida por una curva C directriz descrita por una recta denominada generatriz del cilindro. La curva directriz de la cavidad del filtro según la invención presenta un punto Si de simetría, lo que facilita la fabricación y la simulación.

25 Según un modo preferente, por facilidades de fabricación, la curva C directriz es un cuadrado, un rectángulo, un hexágono, un círculo o una elipse. El eje z longitudinal de la cavidad cilíndrica hueca se define como el eje paralelo a una recta generatriz y que pasa por los puntos de simetría.

30 El filtro 10 según la invención comprende igualmente al menos un elemento 13 dieléctrico dispuesto en la cavidad 11. El elemento 13 dieléctrico comprende una primera porción 131 que presenta un espesor e según el eje z y una sección según un plano perpendicular a z cuyos p vértices V1, V2,... Vp se reparten según un polígono P. Para facilitar la comprensión y de manera no limitativa, el polígono representado en la figura 1 es un cuadrado, pero cualquier polígono P es compatible con la invención.

Según una variante preferente, el polígono es regular (triángulo, cuadrado, pentágono, hexágono...) o rectangular, para permitir una realización industrial de escaso coste del filtro y una optimización más cómoda debido a presencia de ejes de simetría.

35 Según un modo de realización preferente, el polígono es un cuadrado para limitar los contactos entre el elemento 13 dieléctrico y la cavidad 11, lo que permite privilegiar ciertos modos y garantizar la calidad de los contactos.

40 Asimismo, en la figura 1 y de manera no limitativa, los lados que conectan los vértices entre sí son unos segmentos de recta, pero cualquier otra forma es compatible con el filtro 10 según la invención, cuyas variantes se describen más adelante. El contacto del elemento 13 dieléctrico con la pared conductora se efectúa a través de la primera porción 131, según el mismo principio que el descrito en la patente de los Estados Unidos US5880650, es decir que al menos dos vértices del polígono están en cortocircuito entre sí mediante las paredes 12, por medio de un contacto eléctrico o de hiperfrecuencia entre estos vértices y la pared.

De esta manera, el modo de fijación del elemento 13 dieléctrico a las paredes 12 presenta las mismas ventajas que las descritas en la patente de los Estados Unidos US5880650, como:

- 45 - Ensamblaje del filtro simplificado mediante un posicionamiento exacto y absoluto del elemento dieléctrico sin recurrir a unos elementos de mantenimiento.
- Transferencia térmica entre el elemento y las paredes claramente mejorada.

El modo de fijación del elemento dieléctrico a las paredes es igualmente compatible con las mismas variantes, por ejemplo:

- 50 - truncamiento o redondeo de los vértices, como se describe en la figura 1, para adaptarse a la forma de las paredes laterales, planas o redondeadas en función de la forma de la curva C directriz de la cavidad cilíndrica,
- truncamiento de los vértices según unas dimensiones ligeramente inferiores a las dimensiones transversales de la cavidad para dejar un pequeño espacio, que puede estar vacío o relleno de un material dieléctrico o conductor y/o elástico,
- utilización de pilares de mantenimiento,

- truncamiento de los vértices según unas dimensiones ligeramente superiores a las dimensiones transversales de la cavidad y realización de muescas,

etc...

5 No es necesario que todos los vértices del polígono P estén en cortocircuito entre sí, es suficiente que los vértices en cortocircuito mediante las paredes 12 estén en número suficiente para asegurar un posicionamiento correcto del elemento dieléctrico en la cavidad.

Según una variante preferente, para una mejor precisión del posicionamiento, todos los vértices  $V_1 \dots V_p$  del polígono P están en cortocircuito entre sí mediante las paredes conductoras.

10 El elemento 13 dieléctrico comprende igualmente al menos una porción 132, 133 piramidal como se ilustra en las figuras 1a (vista en perspectiva), 1b (vista de perfil) y 1c (vista desde arriba). La porción piramidal comprende un ápice  $A_{sup}$ ,  $A_{inf}$ , vértice de la pirámide, y una base  $B_{sup}$ ,  $B_{inf}$ , que coincide con una sección 134, 135 de extremo de la primera porción 131. Se entiende por sección de extremo la sección 134 superior y la sección 135 inferior de la primera porción 131 de espesor e.

15 La forma particular del elemento dieléctrico asociada a un dimensionado optimizado (cavidad y elemento dieléctrico) permite obtener un filtro con prestaciones mejoradas con respecto a las de los filtros del estado de la técnica.

Según una variante, el elemento 13 dieléctrico comprende una sola porción 132 piramidal inferior o 133 superior.

Según una variante preferente, el elemento 13 dieléctrico comprende dos porciones piramidales a ambos lados de la primera porción 131, coincidiendo la base  $B_{sup}$  superior con la sección 134 de extremo superior y coincidiendo la base  $B_{inf}$  inferior con la sección 135 de extremo inferior de la primera porción 131.

20 Con el fin de simplificar los cálculos de optimización del elemento dieléctrico en la cavidad, según un modo preferente, las porciones piramidales superior e inferior son idénticas. Según un modo preferente, el filtro según la invención comprende un plano xy de simetría. La existencia de una simetría sobre la forma del elemento dieléctrico permite obtener un mejor aislamiento, debido a la simetría de los modos que se desprende de ello. Una distorsión de los modos hace el comportamiento del filtro no óptimo

25 Preferentemente, el filtro según la invención funciona según un modo TE (transversal eléctrico)

La figura 2 ilustra esquemáticamente un ejemplo de estructura piramidal cuya base está constituida por vértices dispuestos sobre un polígono P de baricentro  $B_a$ , y de ápice  $A_{sup}$ . En este ejemplo, el baricentro  $B_a$  y el ápice  $A_{sup}$  no se disponen sobre el eje z longitudinal de la cavidad cilíndrica.

30 Con el fin de simplificar los cálculos de optimización, según una variante preferente ilustrada en las figuras 1a, 1b y 1c, los ápice  $A_{sup}$  y  $A_{inf}$  de las porciones piramidales se disponen sobre el eje z longitudinal de la cavidad 11.

Con el fin de posicionar y fijar más fácilmente el elemento 13 dieléctrico en la cavidad 11, según una variante preferente, el baricentro  $B_a$  del polígono P que sirve de base para la porción piramidal se dispone sobre el eje z longitudinal de la cavidad 11, como se ilustra en las figuras 1a, 1b, 1c.

35 Preferentemente, el elemento 13 dieléctrico se realiza en un solo bloque, lo que presenta la ventaja de facilitar la realización industrial del elemento 13, obtenido mediante moldeo, mecanizado o amoladura o mediante fabricación aditiva (estereolitografía).

La figura 3 ilustra un modo de realización preferente de porción piramidal, cuya base es un polígono regular (3a: cuadrado, 3b: pentágono) cuyo ápice A presenta una proyección ortogonal sobre la base, que define una altura a, que pasa por el baricentro  $B_a$  del polígono.

40 Ejemplos de este caso particular de porción piramidal son el tetraedro regular, la pirámide cuadrada (figura 3a), la pirámide pentagonal (figura 3b), la pirámide hexagonal...

Se denomina ángulo  $\alpha$  el ángulo entre la base de la pirámide y una cara de la pirámide. Según un modo de realización preferente, el ángulo  $\alpha$  (o todos los ángulos  $\alpha$  cuando no son iguales) es inferior o igual a  $45^\circ$ .

45 La figura 4 representa una variante de elemento 13 dieléctrico en el interior de una cavidad 11 cilíndrica de curva C generatriz según un círculo (cilindro circular). La figura 4a ilustra una vista en perspectiva, la figura 4b una vista de perfil.

Según esta variante, la porción piramidal está truncada, por ejemplo según un plano T perpendicular al eje z longitudinal. Entonces, el ápice es virtual.

50 El truncamiento se define mediante una distancia  $D_{tr}$  que corresponde a la fracción k de la altura para la que se ha suprimido la materia.

$$D_{tr} = k \times a$$

El truncamiento presenta la ventaja de limitar la sensibilidad de las prestaciones del filtro al valor del ángulo  $\alpha$ .

5 Preferentemente,  $k$  está comprendida entre 0,1 y 0,5. Para los valores de  $k$  más escasos, la ventaja del truncamiento no es significativa. Para unos valores de  $k$  más elevados, el factor de calidad  $Q$  disminuye sensiblemente.

La figura 5 representa otra variante de elemento 13 dieléctrico en el interior de una cavidad 11 cilíndrica de curva  $C$  generatriz según un círculo. La figura 5a ilustra una vista en perspectiva, la figura 5b una vista desde arriba y la figura 5c una vista de perfil. En el ejemplo de la figura 5, el polígono es un cuadrado: los 4 vértices  $V1$ ,  $V2$ ,  $V3$  y  $V4$  se reparten según un cuadrado.

10 En el ejemplo ilustrado en la figura 5, el perímetro 51 del elemento dieléctrico es redondeado (bisel 55) en las inmediaciones de los vértices para adaptarse a la forma de la pared cilíndrica.

15 Según esta variante ilustrada en la figura 5, el perímetro 51 del elemento 13 dieléctrico no coincide con los lados del cuadrado según el que se reparten los vértices. De esta manera, se realiza al menos un vaciamiento 52 en un sitio cualquiera del perímetro 51 del elemento 13 dieléctrico. Preferentemente, todos los lados del polígono presentan un vaciamiento 52 para asegurar una simetría del campo electromagnético.

Se trata de quitar material dieléctrico en unas zonas donde el campo eléctrico es de escasa intensidad. Una ventaja consiste en obtener un volumen de dieléctrico más escaso. Otra ventaja consiste en la obtención de un mejor aislamiento controlando la frecuencia de los otros modos (parásitos) que dependen más fuertemente de esta parte de dieléctrico. Preferentemente, el vaciamiento se realiza para no añadir aristas a ángulo recto.

20 El filtro de la figura 5 presenta un elemento dieléctrico que combina vaciamiento y truncamiento. Estas dos variantes son independientes.

En el diseño de un filtro de hiperfrecuencia según la invención, dependiendo las frecuencias de resonancia principalmente:

- 25 - de las dimensiones (espesor, y dimensiones transversales de la primera porción, altura de porción piramidal) y de la forma (base cuadrada, pentagonal, hexagonal) del elemento dieléctrico,
- de las dimensiones y de la forma de la cavidad resonante en la que se dispone el elemento dieléctrico,
- del material dieléctrico utilizado para la realización de este último.

30 Por lo tanto, los valores de estas variables dependen de la banda de hiperfrecuencia en la que opera el filtro. Según una variante preferente, el filtro según la invención se dimensiona para funcionar en las bandas  $C$ ,  $X$  y  $Ku$  y  $Ka$ , es decir que comprenden una frecuencia de resonancia comprendida en el intervalo [3 GHz; 30 GHz].

Un ejemplo de dimensionado para una frecuencia de resonancia de 12 GHz es:

Cavidad metálica:

- cilindro circular de diámetro comprendido entre 20 y 25 mm y de longitud comprendida entre 20 y 25 mm.

Elemento dieléctrico:

- 35 - base cuadrada que se adapta a la forma de la cavidad para los 4 vértices,
- espesor  $e$  de la primera porción comprendido entre 2 y 4 mm,
- ángulo  $\alpha$  de la pirámide: entre  $8^\circ$  y  $11^\circ$ ,
- permitividad dieléctrica: 9,5 et 10.

40 Para estas dimensiones, se han calculado un factor de calidad en vacío comprendido entre 18.000 y 19.000 y un aislamiento total de rango comprendido entre 1 GHz y 1,5 GHz alrededor de la frecuencia de resonancia con un dieléctrico compensado de temperatura.

La presencia de un vaciamiento mejora el rango de aislamiento, la presencia de un truncamiento disminuye la sensibilidad de la frecuencia de resonancia al valor del ángulo de la pirámide, relajando de esta manera las limitaciones de fabricación del elemento dieléctrico.

45 Desde un punto de vista electromagnético, se distinguen de forma clásica dos tipos de filtros según la manera en que se utiliza el elemento dieléctrico.

En un primer tipo, el elemento dieléctrico se utiliza como resonador, lo que significa que el campo eléctrico se concentra en el interior de este. De esta manera, los "modos de resonador" (también llamados modos dieléctricos) son unos modos cuya energía eléctrica se concentra principalmente en el material dieléctrico (tradicionalmente un 90

a un 95 %). Sus pérdidas son esencialmente dieléctricas y dependen de las características del material (tangente de pérdidas).

Al contrario, en un segundo tipo llamado “modos de cavidad”, la cavidad resonante se llama “cargada” por el elemento dieléctrico que modifica la permitividad dieléctrica del medio. Las pérdidas son esencialmente metálicas.

5 Un modo de funcionamiento mejorado del filtro según la invención se llama “híbrido”, y consiste en cargar la cavidad con un dieléctrico para concentrar ahí parcialmente la energía eléctrica, para reducir las pérdidas metálicas limitando al mismo tiempo las pérdidas dieléctricas. De esta manera, el funcionamiento electromagnético del filtro según la invención combina los dos tipos de funcionamiento clásico, lo que permite, en parte gracias a la forma específica del elemento dieléctrico, minimizar las pérdidas (factor de calidad elevado) manteniendo al mismo tiempo un buen aislamiento.

10 En funcionamiento “híbrido”, el modo resonante presenta un número par  $2n$  de zonas para las que el campo eléctrico presenta un máximo, disponiéndose las zonas en número igual a ambos lados de la primera porción 131 del elemento 13 dieléctrico.

15 En la práctica, solo los valores  $n=1$ ,  $n=2$ ,  $n=3$  y  $n=4$  presentan un interés práctico. De hecho, cuanto más se sube en orden, más máximos hay, y más allá de 4 máximos por cada lado, el aislamiento se vuelve insuficiente.

A dimensiones constantes, cuanto mayor es  $n$ , mayor es la frecuencia de resonancia del modo correspondiente. Por lo tanto, hay que aumentar las dimensiones para llevar esta frecuencia de resonancia a la frecuencia del filtro.

20 Cuando se realiza un filtro por canal, una opción es utilizar para cada canal un filtro de estructura idéntica y que funciona sobre el mismo modo, pero de dimensiones homotéticas, para obtener unas frecuencias de resonancias proporcionales y determinadas.

En un modo mejorado del filtro según la invención ilustrado en las figuras 6 y 7, cada una de las zonas para las que el campo eléctrico presenta un máximo se reparte parcialmente en el interior y parcialmente en el exterior de la porción piramidal dispuesta por el mismo lado que la zona en cuestión. Según el estado de la técnica “placa”, las placas se posicionan sobre los máximos de campos para concentrar ahí la energía eléctrica.

25 Para un filtro según la invención, de naturaleza híbrida, se posiciona la primera porción del dieléctrico (base común de las pirámides) sobre un mínimo de campo (entre los 2 máximos de campo). Teniendo el dieléctrico siempre tendencia a concentrar la energía eléctrica, ajustando las dimensiones de la pirámide se concentra parcialmente esta energía, en parte en el interior, en parte en el exterior del dieléctrico, de forma óptima.

30 Una ventaja de utilizar un modo “híbrido” donde el máximo de campo se localiza parcialmente fuera del dieléctrico y parcialmente en el interior consiste en la obtención de pérdidas dieléctricas inferiores a las obtenidas para un modo clásico de tipo resonador y de pérdidas metálicas inferiores a las obtenidas para un modo clásico de tipo cavidad cargada.

35 La figura 6 ilustra un filtro 10 según la invención que funciona en modo “híbrido”, cuyo elemento dieléctrico comprende dos pirámides cuadradas, truncadas y vaciadas en una cavidad 11 cilíndrica circular como se ilustra en la figura 5, efectuándose el contacto entre elemento 13 y pared 12 mediante los cuatro vértices del cuadrado, así como el reparto de las líneas de campo del modo resonante en la cavidad. En la figura 6, se ilustra igualmente el reparto de las líneas de campo que permite poner de manifiesto la posición de los máximos de campo, por ejemplo para una polarización. La figura 6a representa una vista de perfil y la figura 6b una vista en perspectiva.

40 En la figura 6a se constata que hay dos zonas que concentran el campo eléctrico, cada una dispuesta a ambos lados de la primera porción del elemento dieléctrico (caso  $n=1$ ). Las zonas 61 y 62 corresponden a los sitios para los que el campo eléctrico presenta un máximo. Cada zona 61, 62 se reparte parcialmente en el elemento dieléctrico y parcialmente en el exterior de este. Concentrando la energía eléctrica en el centro de la cavidad, parcialmente en el dieléctrico, se reducen sensiblemente las pérdidas metálicas, limitando al mismo tiempo las pérdidas dieléctricas.

45 La figura 7 ilustra el mismo filtro que el de la figura 6 en el que se ha favorecido un modo resonante que presenta ocho zonas, cuatro (71 y 72; 73 y 74) en corte que concentran el campo eléctrico a ambos lados de la primera porción del elemento dieléctrico (caso  $n=4$ ). La figura 6a representa una vista de perfil y la figura 6b una vista en perspectiva del elemento 13 dieléctrico y del reparto de las líneas de campo.

Para obtener un modo resonante con ocho máximos, conviene por ejemplo buscar una frecuencia de resonancia sobre este modo, sin modificar las dimensiones de la cavidad y del dieléctrico 13.

50 Por ejemplo, la frecuencia de resonancia del modo  $n=4$  es de 14,5 GHz cuando la frecuencia de resonancia del modo  $n=1$  es de 12 GHz, permaneciendo iguales las demás condiciones.

Otra variante de la forma del elemento dieléctrico se ilustra en la figura 8. La pirámide truncada presenta un vaciamiento 80 realizado sobre una cara superior de la porción piramidal truncada.

El vaciamiento es de cualquier forma, por ejemplo un agujero pasante, o una pirámide invertida y se posiciona en una zona que presenta un escaso campo eléctrico. Esta variante es interesante para el caso  $n=4$  (véase figura 7) en el que el campo eléctrico en el centro de la parte truncada es escaso. La realización de este vaciamiento según unas dimensiones óptimas permite controlar las frecuencias de los modos parásitos.

- 5 La figura 9 ilustra el reparto de las líneas de campo del modo resonante en la cavidad, con una pirámide truncada, cuya parte plana truncada está vaciada, para un modo  $n=4$ . El vaciamiento trastorna poco el reparto de los máximos del campo eléctrico, parcialmente en el interior y parcialmente en el exterior de la porción piramidal.

10 Un primer ejemplo de modo de realización de un filtro 10 según la invención se ilustra esquemáticamente en la figura 10. El filtro comprende al menos una cavidad 101 de entrada y una cavidad 102 de salida, unos medios 103 de acoplamiento de entrada de una onda de hiperfrecuencia que proviene de una fuente externa con la cavidad 101 de entrada y unos medios 104 de acoplamiento de salida entre la cavidad 102 de salida y una guía de onda externa y comprende unos medios 105 de acoplamiento intermedios de las cavidades entre sí. Unas paredes 106 y 107 transversales metálicas cierran al menos parcialmente las cavidades de entrada y de salida.

15 El filtro puede comprender igualmente una o varias cavidades intermedias acopladas entre sí, como se describe en la figura 1 del documento de los Estados Unidos US5880650. Todas estas cavidades se definen por ejemplo eléctricamente en el interior de un tramo de guía de onda cilíndrico mediando una pluralidad de paredes 106, 105, 107 transversales al eje longitudinal del cilindro, que cierran las cavidades al menos parcialmente en los dos extremos de cada cavidad. Los materiales de construcción de la guía de onda y de las paredes transversales son los utilizados de modo habitual por el experto en la materia para una realización de este tipo. Los medios de  
20 acoplamiento de entrada y de salida son igualmente los utilizados de manera habitual por el experto en la materia.

Los medios de acoplamiento intermedios son de forma clásica diferentes formas de hendiduras o de iris, o unas sondas capacitivas, unos iris inductivos o una combinación de los dos.

El filtro según la invención puede comprender igualmente unos medios de afinación de la frecuencia de resonancia conocidos por el experto en la materia.

- 25 En la figura 10, se dispone un elemento dieléctrico según la invención en el interior de una cavidad, pero el filtro según la invención puede comprender igualmente varios elementos dieléctricos piramidales por cavidad, eventualmente combinados con unos elementos dieléctricos de tipo placa como se describen en la patente de los Estados Unidos US5880650.

30 Por ejemplo, con un solo elemento dieléctrico por cavidad, el elemento se posiciona preferentemente en medio de la cavidad. Con dos elementos dieléctricos por cavidad, se posiciona un elemento a ambos lados del medio de la cavidad.

En la figura 11 se describe otro ejemplo de modo de realización de un filtro según la invención, para el que los medios 103, 104 de acoplamiento de entrada y de salida se posicionan sobre las paredes 106, 107 transversales, según una configuración llamada "en línea".

- 35 La figura 12 ilustra un tercer ejemplo de modo de realización de un filtro según la invención que comprende una cavidad de entrada y una cavidad de salida. Según este ejemplo, no hay tramo único de guía de onda, sino dos partes cilíndricas de ejes longitudinales paralelos, estando cada cavidad al menos parcialmente cerrada mediante unas paredes 106, 107 transversales para la cavidad de entrada y 108, 109 para la cavidad de salida. Los medios de acoplamiento de entrada y de salida se disponen sobre la pared cilíndrica de la cavidad correspondiente.

40 Con un filtro según las configuraciones ilustradas en las figuras 10 o 12, es posible implantar un sistema de compensación de temperatura externo, como se describe en la patente de los Estados Unidos US2006097827, sobre las cubiertas 106, 107, 108 y 109. De esta manera, pueden utilizarse unos dieléctricos no compensados de temperatura, lo que permite aumentar sensiblemente el factor de calidad en vacío (tradicionalmente 25.000).

45 Las figuras 13 y 14 ilustran la respuesta frecuencial de un filtro 10 según la invención como se ilustra en la figura 10 y dimensionado para una frecuencia de resonancia de 12 GHz. El parámetro S es un parámetro que informa sobre las prestaciones del filtro en términos de reflexión y de transmisión. La curva S11 corresponde a la reflexión y S12, o S21 a la transmisión.

50 La afinación del filtro permite obtener un máximo de transmisión (mínimo de reflexión) para una banda de frecuencia dada. La banda pasante del filtro se determina a equidistancia del S11 (o S22), por ejemplo a 15 dB o 20 dB de reducción de la reflexión con respecto a su nivel fuera de banda.

La figura 13 ilustra la respuesta banda ancha y se constata un buen aislamiento con respecto a los modos parásitos. La figura 14 corresponde a un zoom alrededor de la frecuencia de resonancia e ilustra la respuesta en el interior de la banda pasante. El filtro comprende 4 polos y se centra alrededor de 11,950 GHz, y la banda pasante es de 40 MHz.



## REIVINDICACIONES

1. Filtro (10) de hiperfrecuencia que presenta al menos un modo resonante y que comprende:
  - al menos una cavidad (11) al menos parcialmente cerrada con la ayuda de paredes (12) conductoras, estando el filtro **caracterizado porque** presenta: una superficie exterior cilíndrica definida por una curva (C) directriz descrita por una generatriz y que presenta un punto (Si) de simetría, un eje que pasa por un punto de simetría y paralelo a dicha generatriz que se denomina eje (z) longitudinal de dicha cavidad (11) y,
  - al menos un elemento (13) dieléctrico dispuesto en dicha cavidad y que comprende:
    - una primera porción (131) que presenta un espesor (e) según dicho eje (z) longitudinal y una sección según un plano perpendicular a dicho eje (z) longitudinal cuyos vértices (s1, s2, s3, s4) se reparten según un polígono (P), y cuyos al menos dos vértices están en cortocircuito entre sí mediante dichas paredes (12) conductoras de dicha cavidad, por medio de un contacto eléctrico o de hiperfrecuencia entre dichos vértices y dichas paredes,
    - al menos una porción (132, 133) piramidal que comprende un ápice (Asup, Ainf) y una base (Bsup, Binf) que coincide con una sección (134, 135) de extremo de dicha primera porción (131).
2. Filtro según la reivindicación 1 en el que dicha curva (C) directriz se elige de entre un cuadrado, un rectángulo, un hexágono, un círculo, una elipse.
3. Filtro según una de las reivindicaciones anteriores en el que dicha base comprende unos vértices (v) repartidos según un polígono (P) regular.
4. Filtro según una de las reivindicaciones anteriores en el que todos dichos vértices de dicha sección están en cortocircuito entre sí mediante dichas paredes (12) conductoras de dicha cavidad, por medio de un contacto eléctrico o de hiperfrecuencia entre dichos vértices y dichas paredes.
5. Filtro según una de las reivindicaciones anterior que comprende una porción (132) piramidal superior y una porción (133) piramidal inferior que comprenden respectivamente una base (Bsup) superior que coincide con una sección (134) de extremo superior y una base (Binf) inferior que coincide con una sección (135) de extremo inferior de dicha primera porción (131).
6. Filtro según la reivindicación 5 en el que dicha porción (134) piramidal superior y dicha porción (135) piramidal inferior son idénticas.
7. Filtro según una de las reivindicaciones anteriores en el que dicho ápice (Ainf, Asup) se dispone sobre dicho eje (z) longitudinal.
8. Filtro según una de las reivindicaciones anteriores en el que el baricentro (O) de dicho polígono (P) se dispone sobre dicho eje (z) longitudinal.
9. Filtro según una de las reivindicaciones anteriores en el que un ángulo ( $\alpha$ ) entre dicha base y una cara de dicha porción piramidal es inferior o igual a  $45^\circ$ .
10. Filtro según una de las reivindicaciones anteriores en el que dicha porción piramidal está truncada según un plano (T) perpendicular a dicho eje (z) longitudinal.
11. Filtro según una de las reivindicaciones anteriores en el que dicha porción piramidal truncada presenta un vaciamiento realizado sobre una cara superior de dicha porción piramidal truncada.
12. Filtro según una de las reivindicaciones anteriores en el que se realiza al menos un vaciamiento (52) en un sitio cualquiera del perímetro (51) del elemento (13) dieléctrico.
13. Filtro según una de las reivindicaciones anteriores dimensionado de manera que una frecuencia de resonancia de un modo resonante está comprendida entre 3 GHz y 30 GHz.
14. Filtro según una de las reivindicaciones anteriores en el que un campo electromagnético que corresponde a un modo resonante comprende un número par  $2n$  de zonas (61, 62, 71, 72, 73, 74) para las que dicho campo electromagnético presenta un máximo, disponiéndose dichas zonas en un número igual  $n$  a ambos lados de dicha primera porción (131) de dicho elemento (13) dieléctrico, eligiéndose  $n$  de entre 1, 2, 3 o 4.
15. Filtro según la reivindicación 14 en el que cada una de dichas zonas está repartida parcialmente en el interior y parcialmente en el exterior de dicha porción piramidal dispuesta por el mismo lado que dicha zona.
16. Filtro según una de las reivindicaciones anteriores que comprende al menos una cavidad (101) de entrada y una cavidad (102) de salida, y que comprende unos medios (103) de acoplamiento de entrada de una onda de hiperfrecuencia que proviene de una fuente externa con dicha cavidad (101) de entrada y unos medios (104) de acoplamiento de salida entre dicha cavidad (102) de salida y una guía de onda externa, y que comprende unos medios (105) de acoplamiento intermedios de dichas cavidades entre sí.

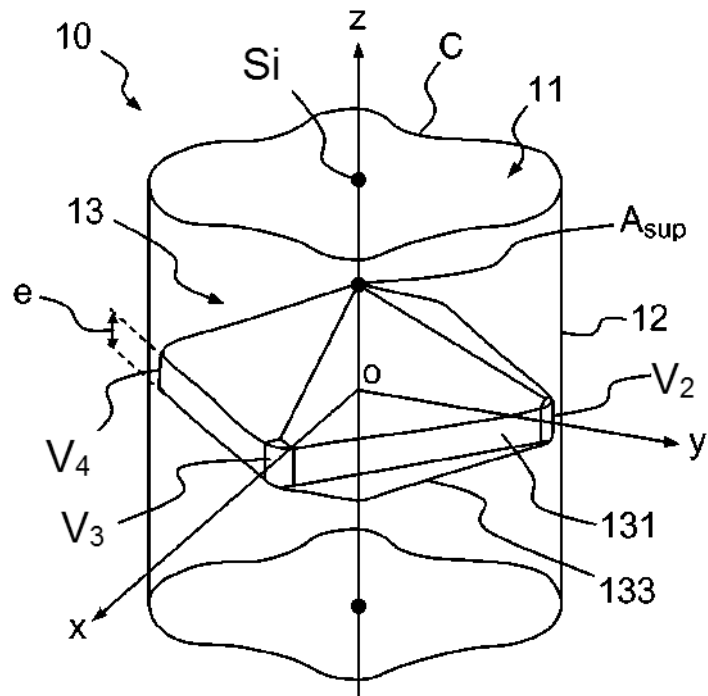


FIG.1a

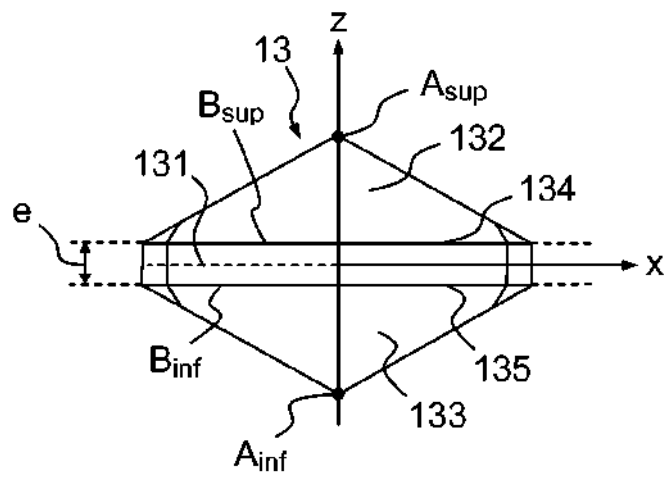


FIG.1b

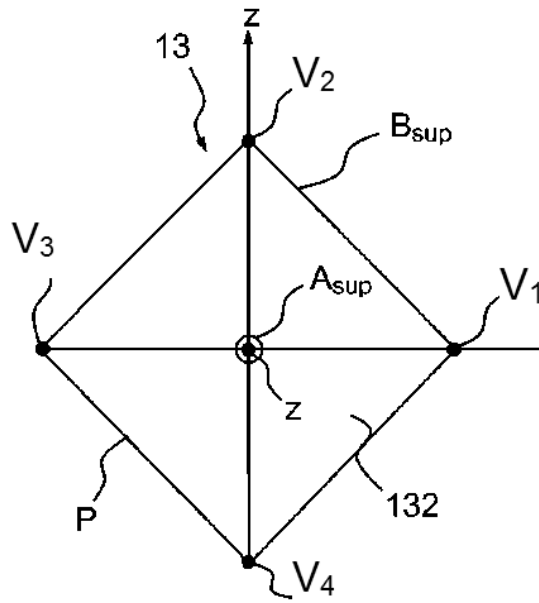


FIG. 1c

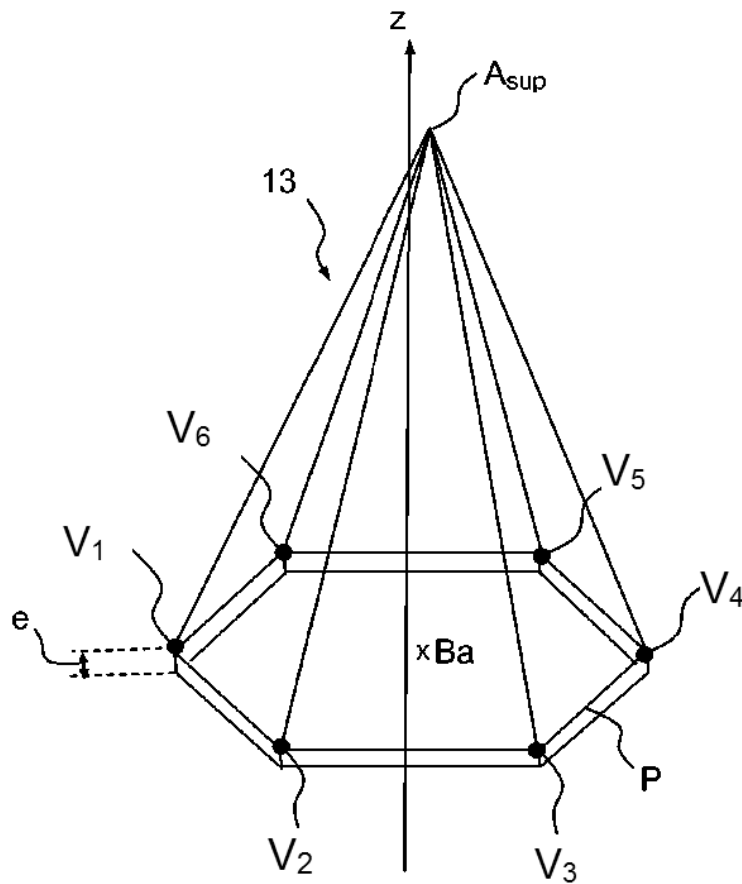


FIG. 2

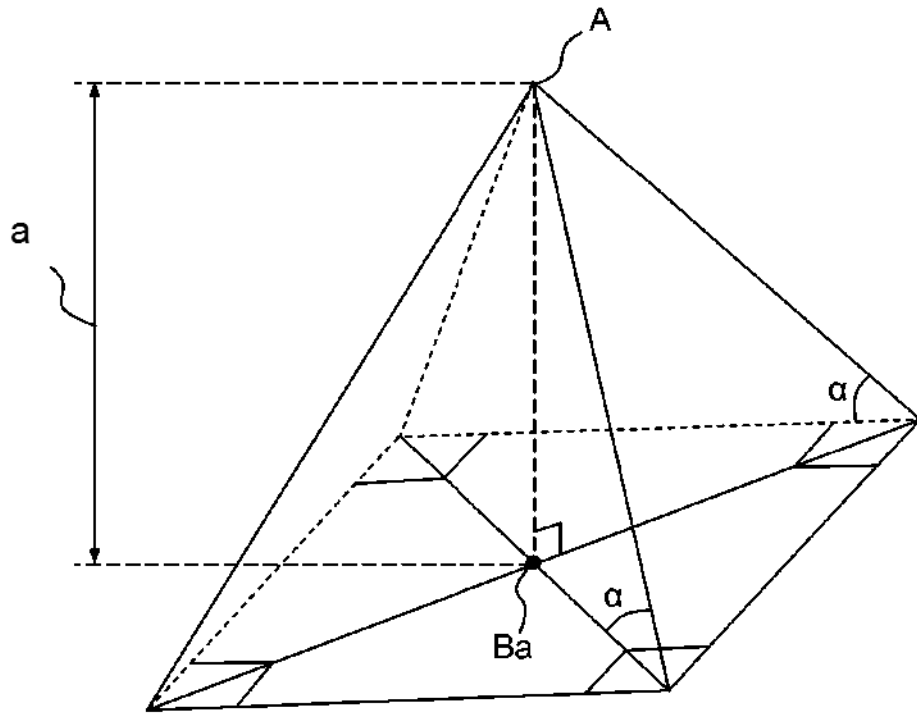


FIG. 3a

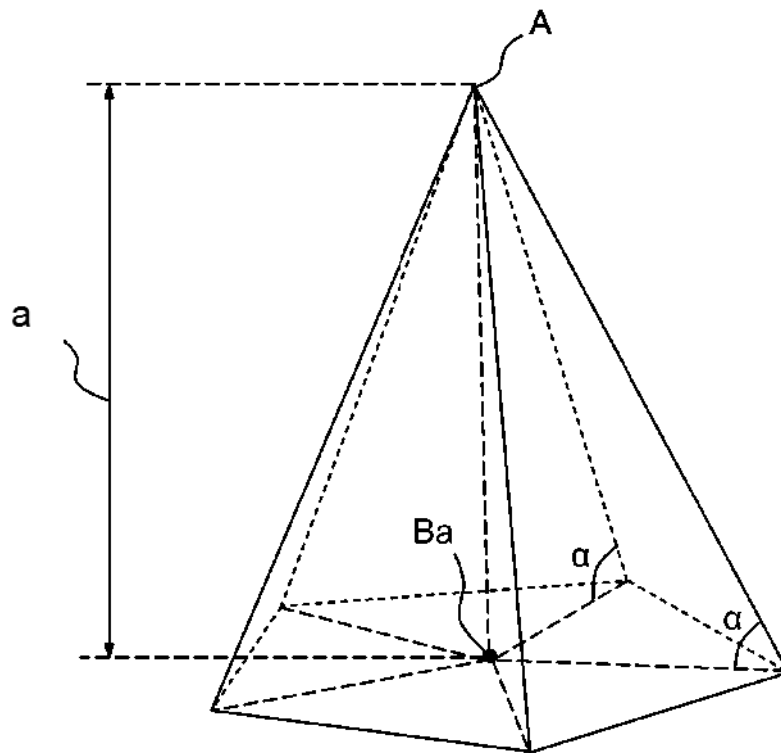


FIG. 3b

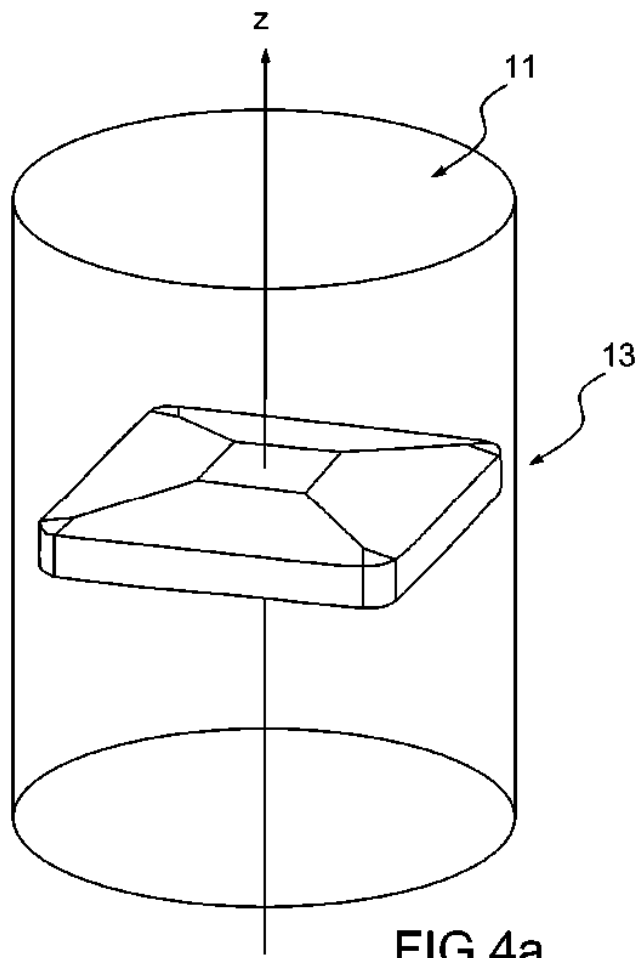


FIG. 4a

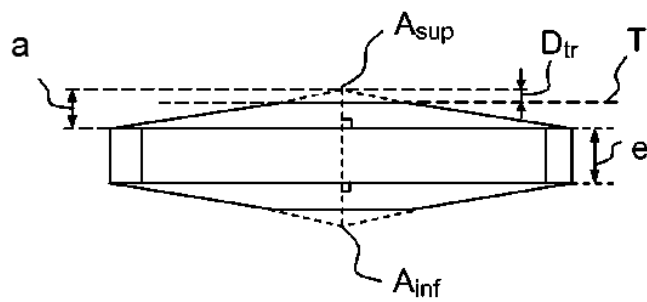
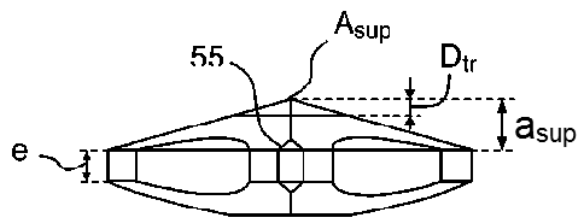
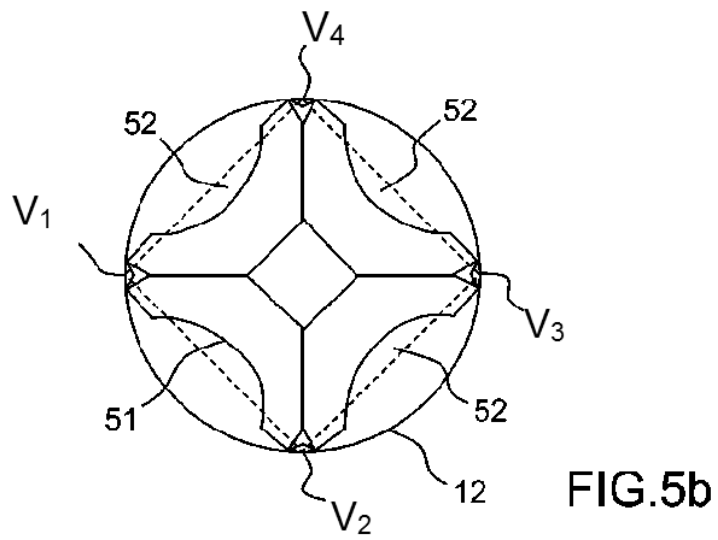
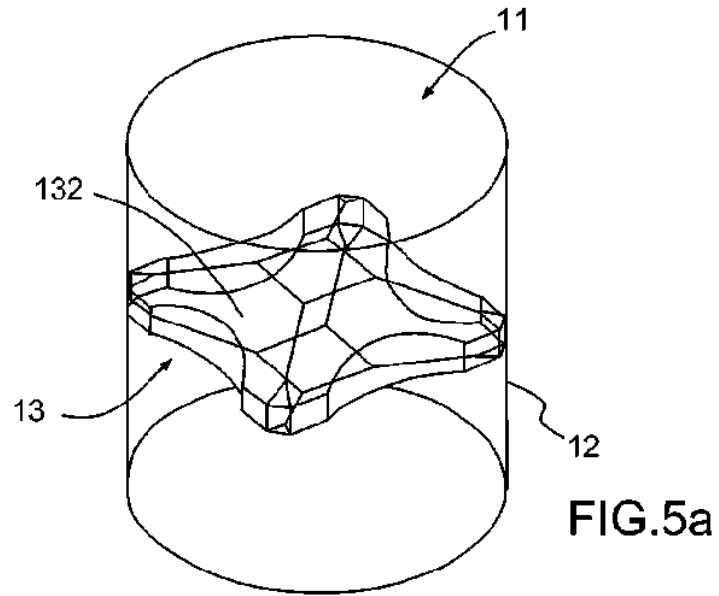


FIG. 4b



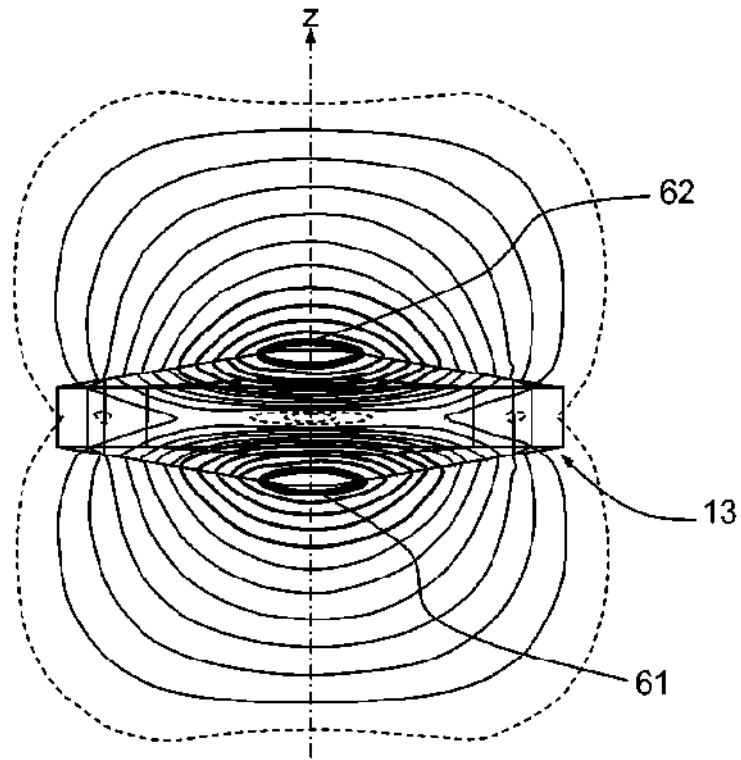


FIG.6a

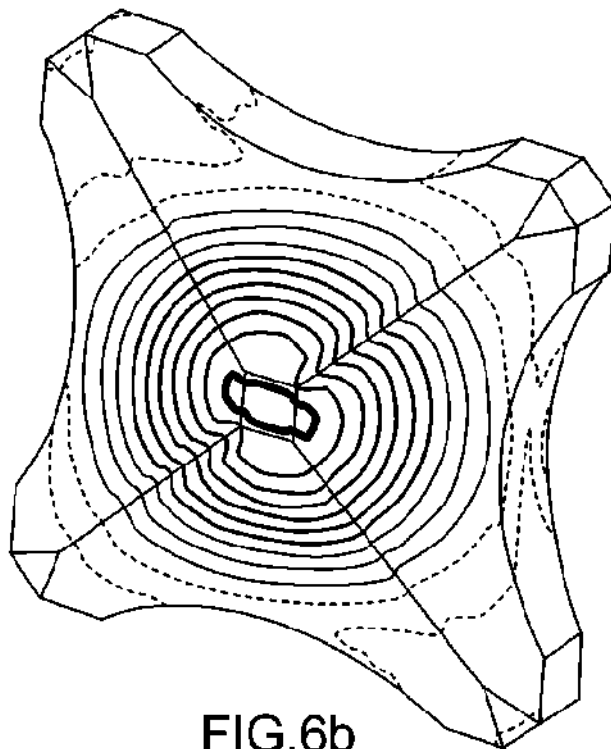


FIG.6b

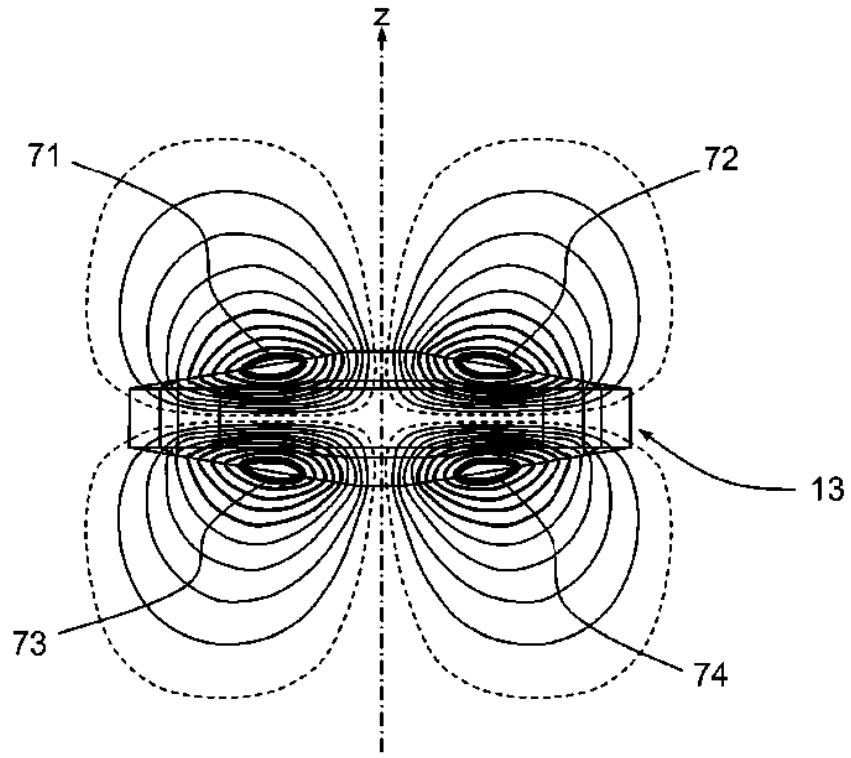


FIG.7a

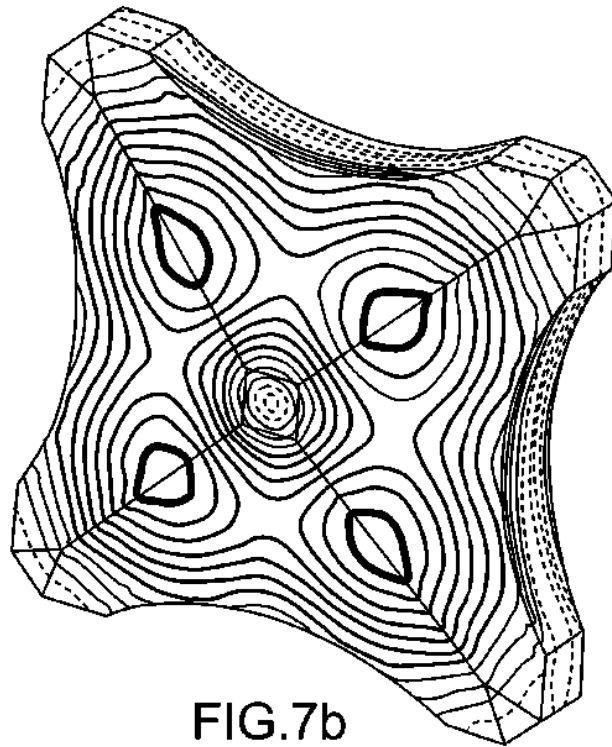


FIG.7b



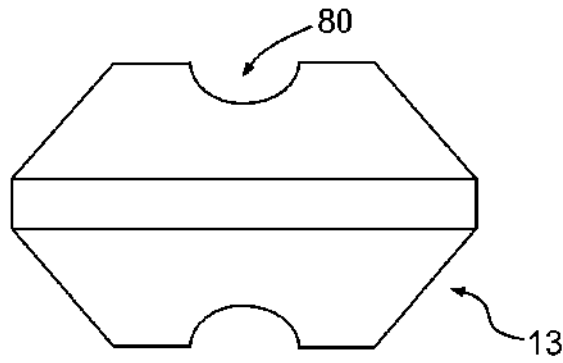


FIG. 8a

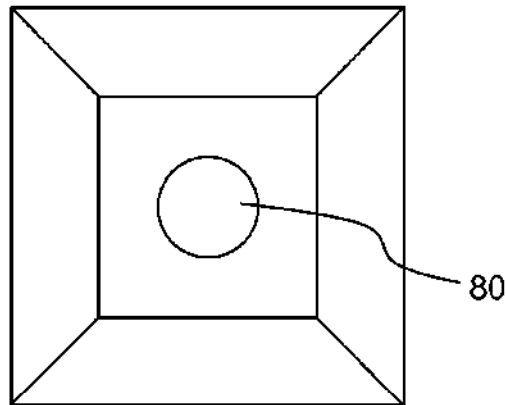


FIG. 8b

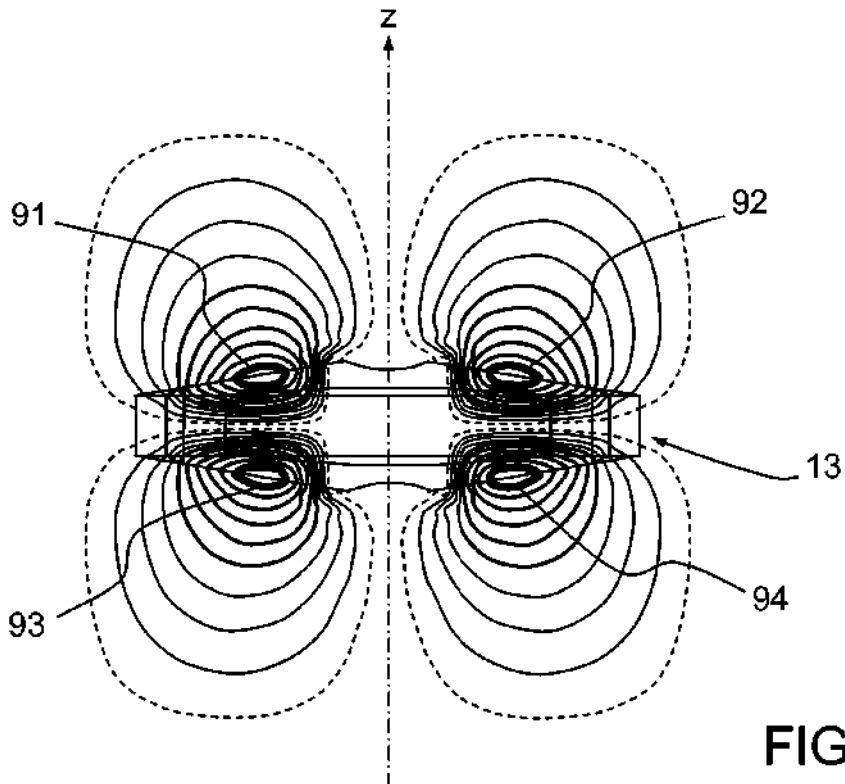
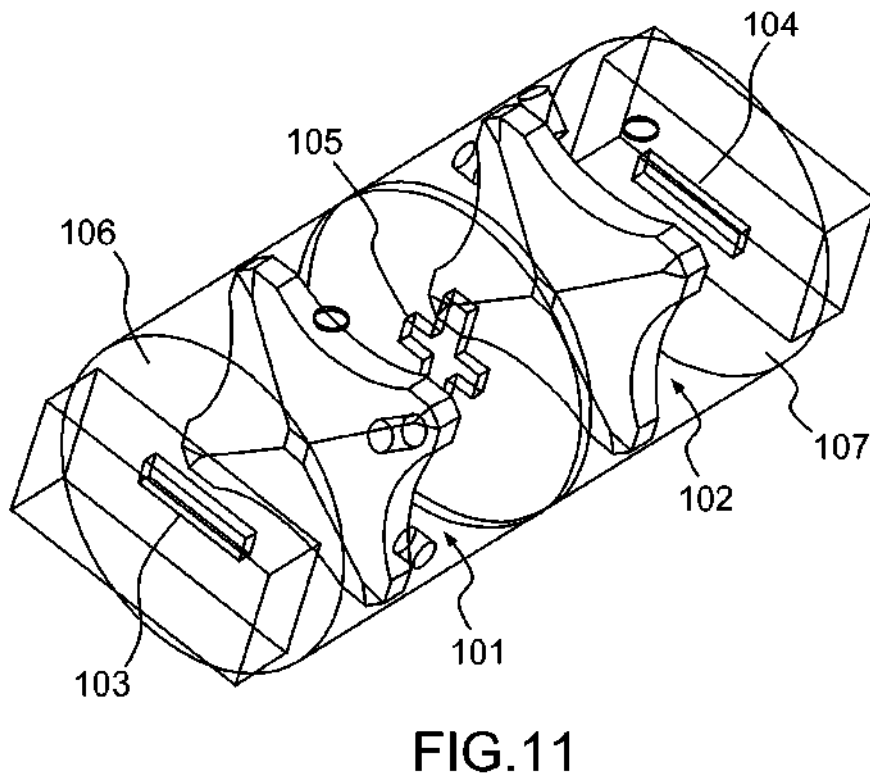
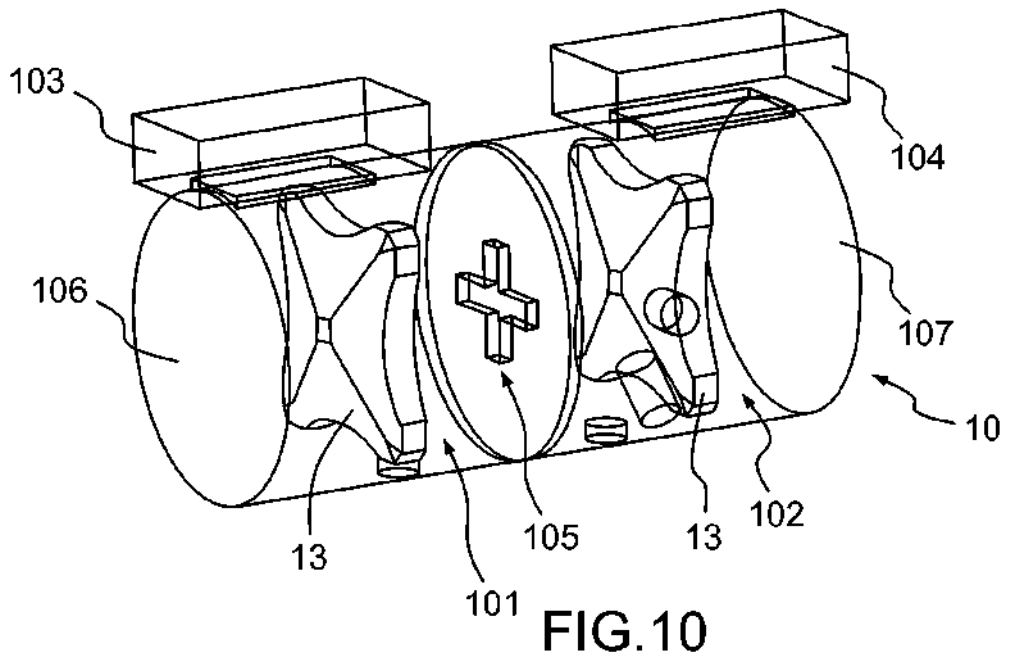


FIG. 9



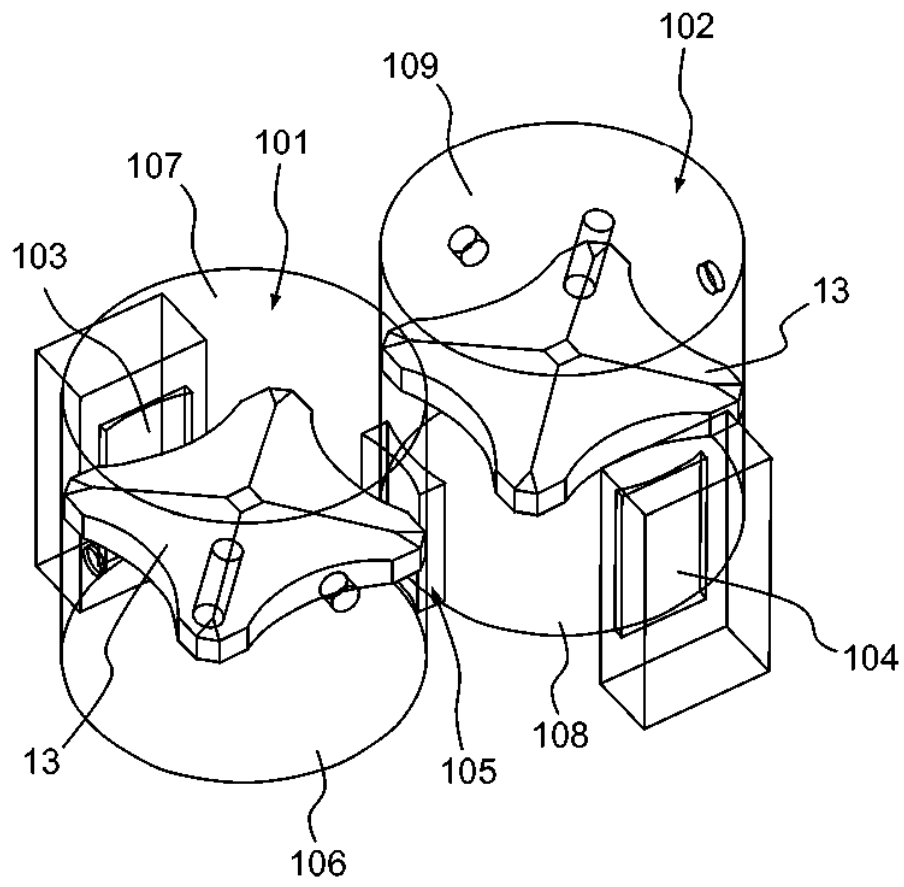


FIG.12

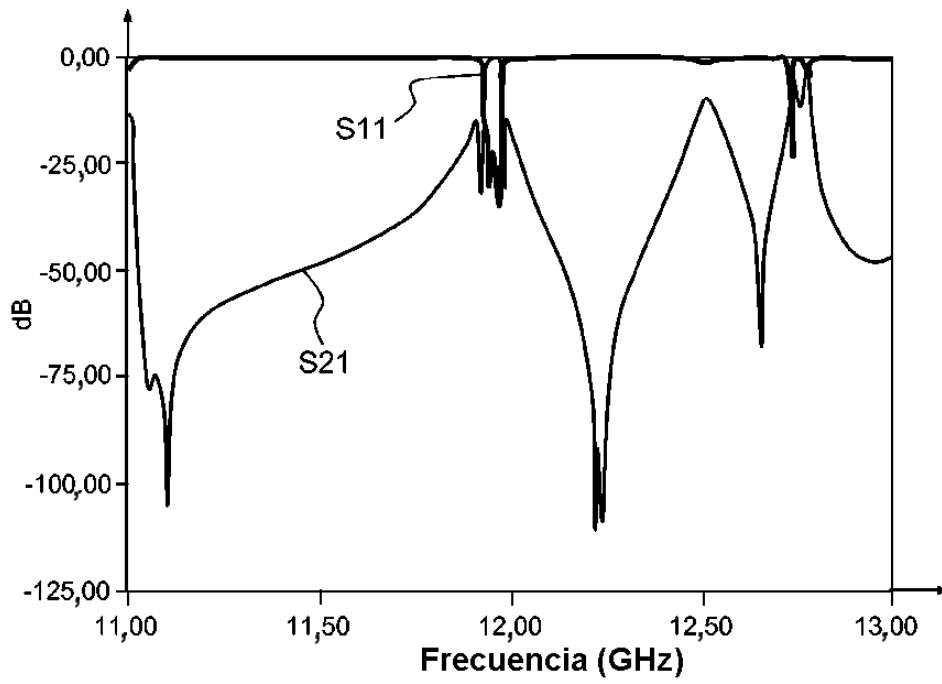


FIG.13

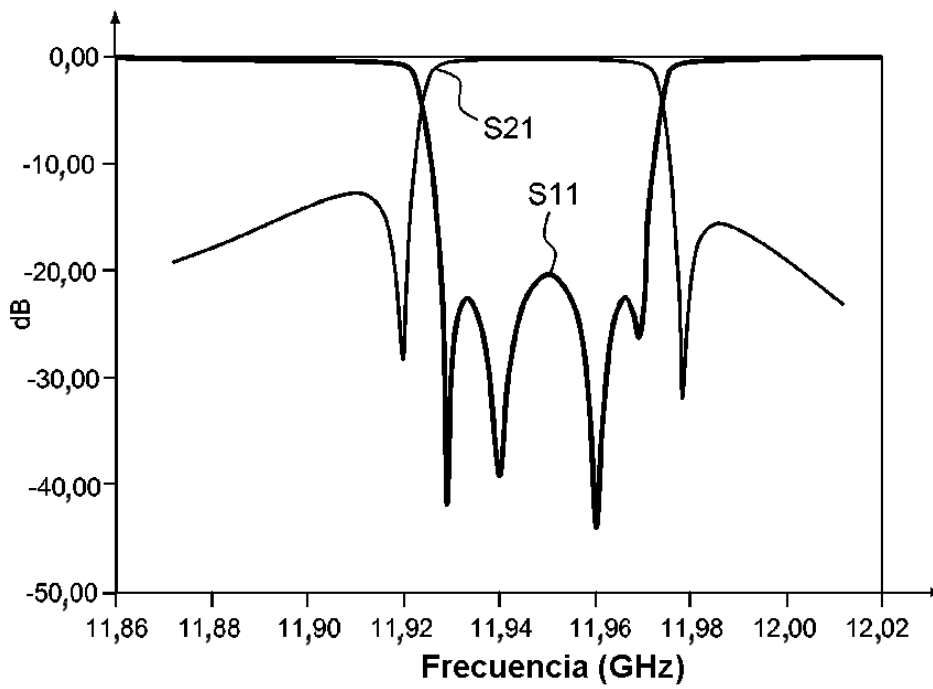


FIG.14