

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 394 819**

(21) Número de solicitud: 201100440

(51) Int. Cl.:

H01P 1/16 (2006.01)

H01P 5/08 (2006.01)

(12)

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

(22) Fecha de presentación:

15.04.2011

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

05.02.2013

Fecha de la concesión:

04.06.2013

(45) Fecha de publicación de la concesión:

14.06.2013

(73) Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (70.0%)
Pabellón de Gobierno, Avda de los Castros s/n
39005 Santander (Cantabria) ES y
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTIFICAS (30.0%)**

(72) Inventor/es:

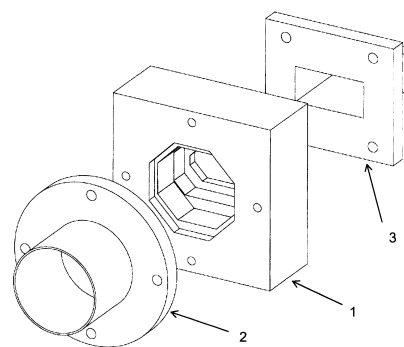
**MEDIAVILLA SÁNCHEZ, Angel;
TAZÓN PUENTE, Antonio y
VASAL'LO SANZ, Juan**

(54) Título: **ESTRUCTURA TRANSDUCTORA DE MODOS DE GUÍA DE ONDA BASADA EN SECCIONES OCTOGONALES**

(57) Resumen:

Estructura transductora de modos (1) para la conversión de señales electromagnéticas entre una guía de onda de entrada (3, 5) y una guía de onda de salida (2, 4), teniendo dichas guías de onda de entrada y salida igual o distinta geometría. La estructura transductora de modos (1) comprende una pluralidad de secciones de guía octogonales (OT1, OT2, OT3, OT4) concatenadas donde dichas secciones de guía octogonales (OT1, OT2, OT3, OT4) comparten los mismos ejes de simetría entre sí y con dicha guía de onda de entrada (3, 5) y con dicha guía de onda de salida (2, 4), y donde los parámetros geométricos de dichas secciones de guía octogonales (OT1, OT2, OT3, OT4) están diseñados y ajustados para acondicionar progresivamente los modos de propagación electromagnéticos entre dicha guía de onda de entrada (3, 5) y dicha guía de onda de salida (2, 4). Proporciona un ancho de banda superior al de otras técnicas anteriores. Además, la simetría eléctrica y magnética que proporciona la estructura octogonal elimina de forma efectiva la excitación de los modos superiores. Es aplicable en sistemas de transmisión y recepción de señales electromagnéticas a las frecuencias de microondas, milimétricas y sub-milimétricas.

FIGURA 1



ES 2 394 819 B2

DESCRIPCIÓN

ESTRUCTURA TRANSDUCTORA DE MODOS DE GUÍA DE ONDA BASADA EN SECCIONES OCTOGONALES**CAMPO DE LA INVENCION**

5

La presente invención pertenece al sector de los transductores de modo para señales electromagnéticas que se propagan en estructuras metálicas cerradas de guía de onda, siendo la polarización de la señal que las atraviesa lineal o circular. Está relacionada con las estructuras capaces de transformar de forma eficiente la energía asociada a los modos fundamentales de propagación electromagnética entre guías de onda rectangulares, cuadradas y circulares, con ausencia explícita de excitación de modos superiores en la banda de interés. Más precisamente, está relacionada con los siguientes sectores de la tecnología de microondas, y frecuencias milimétricas y sub-milimétricas: transiciones entre guías de onda, alimentadores de antenas de telecomunicaciones, sistemas Radar e instrumentación en sistemas de medida.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

20

En el rango de aplicaciones que se extiende desde las frecuencias de microondas hasta frecuencias sub-milimétricas, las transiciones entre guías de onda metálicas de sección diferente se utilizan de forma exhaustiva en aplicaciones de transmisión de energía, alimentadores de antenas e instrumentos de medida capaces de manipular señales con polarización lineal o circular. De particular interés resultan las transiciones entre secciones estándar de guía de onda como son las secciones rectangulares, circulares y cuadradas, ya que la mayoría de las arquitecturas para sistemas de Telecomunicación, Radar e Instrumentación microonda, milimétrica y sub-milimétrica están basadas en una de estas categorías.

25

30

Dado que los componentes de los campos eléctrico y magnético en ambos extremos de

la transición corresponden a modos de propagación que son fundamentalmente diferentes, la conversión de la energía electromagnética no mantiene una eficiencia del 100% debido principalmente a dos efectos: la reflexión por desadaptación de la potencia transmitida (lo que limita el ancho de banda de operación) y la posible transferencia de energía hacia modos superiores no deseados (lo que incrementa de forma notable las pérdidas).

Durante las últimas décadas se ha hecho un esfuerzo importante por parte de la comunidad científica para maximizar la eficiencia de tales transductores de modo, si bien es cierto que ninguno de los logros ha alcanzado anchos de banda cercanos a la octava (66%) con una longitud total inferior a una longitud de onda en el espacio libre, λ_0 , calculada a la frecuencia central de operación.

No obstante, la topología de los denominados en la técnica como transductores de modo, está suficientemente referenciada de forma general en muchos libros de texto relativos a la ingeniería de microondas. Ejemplos de estos textos son “Waveguide Components for Antenna Feed Systems: Theory and CAD” de J. Uher, J. Bornemann y U. Rosenberg, editado por Artech House en 1993 y “Passive Circuits” de P. A. Rizzi editado por Prentice Hall en 1988. Tal como se cita en estas referencias, tanto la geometría rectangular como la circular y cuadrada son ampliamente utilizadas para la transmisión y manipulación de energía electromagnética a frecuencias de microondas y superiores.

La forma más natural, y por lo tanto más tradicional, de concebir un paso óptimo entre cualquiera de estos tres tipos de secciones es utilizando una evolución gradual de la sección. Ejemplos conocidos y bien documentados de estas aproximaciones son “A Circular to Rectangular Waveguide Transition Maintaining a Constant Cutoff Wavelength” de J.R. Pyle en Australian Defence Scientific Service, Technical note pad 94, September 1964 y “Design of Broadband Transition Using the Constant Impedance Structure Approach” de P. Fuerholz y A. Murk en Progress in Electromagnetic Research Letters, Vol.7, pp.69-78, 2009. Aunque es cierto que este tipo de estructuras

puede conseguir anchos de banda elevados con pérdidas en transmisión muy reducidas, la propia naturaleza de la transición gradual obliga a tamaños axiales de diseño del orden de varias longitudes de onda λ_0 lo que limita su uso en muchos sistemas.

5 Una alternativa puede ser el uso de un pequeño número de saltos utilizando secciones intermedias de naturaleza truncada o no. Como ejemplos podemos citar entre otros “Wide-Band Rectangular to Circular Waveguide Mode Impedance Transformer” de S. Stuchly y A. Kraszewsky en IEEE Trans. on MTT, Vol.13, No.3, pp. 379-380, May 1965 y “Transition Rectangular to Circular Waveguide by means of Rectangular
10 Guides” de J.L. Fontecha y C. Cagigal en Proc. on International Conference on Computation in Electromagnetics, pp. 378-381, 1991. Estas estructuras pueden proporcionar hasta un 40% de ancho de banda con un tamaño axial bastante inferior a la transición gradual.

15 Otras ideas innovadoras con el fin de minimizar de forma drástica la dimensión axial pueden encontrarse en “Analysis and Design of Flange-Integrated Rectangular-To-Circular Waveguide Transformers for Splashplate Antenna Feeds” de U. Rosemberg, J. Bornemann y K. Rambabu en 32nd European Microwave Conference Proc., pp. 1-4, september 2002 y “A Simple Circular-to-Rectangular Waveguide Transition” de E. L.
20 Holzman en IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol.15, No.1, January 2005. Aunque estas estructuras pueden ser tan cortas como un $0.75\lambda_0$, su ancho de banda de operación queda limitado a un máximo del 20%.

También se pueden encontrar estructuras compactas transductoras de modo para
25 aplicaciones con polarización circular. Descripciones de tales estructuras pueden encontrarse en “Power Splitting Transition for Circularly Polarized Feed Networks” de U. Rosemberg y M. Schneider en IEEE Microwave and Guided Wave Letters, Vol.10, No.8, august 2000, “Initial Design and Optimization of Broad-Band and Dual-Band Square-to-Circular Waveguide Transitions” de J. Bornemann y M. Mokhtaari en Proc.
30 on APMC Conference, Vol.2, 2005 y “Analysis and Design of Broad-Band Square to Circular Waveguide Transitions” de V. Yadav, U. Singh y AK Sinha en Int. Journal of

Microwave and Optical Technology, Vol.5, No.3, pp. 148-151, may 2010. Estos diseños, basados en saltos intermedios de sección rectangular, rectangular truncada o circular, son capaces de operar en un 40% de ancho de banda con dimensiones axiales tan pequeñas como $0.75 \lambda_0$, pero necesitan para su construcción al menos dos operaciones de mecanizado lo que limita sustancialmente su aplicabilidad y flexibilidad.

Finalmente, la solicitud de patente japonesa JP2007318526 describe una guía de onda de sección octogonal diseñada para recibir una señal linealmente polarizada procedente de un satélite geoestacionario.

RESUMEN DE LA INVENCION

La presente invención trata de resolver los inconvenientes mencionados anteriormente mediante una estructura transductora de modo que comprende una pluralidad de guías de onda intermedias de sección octogonal. Estas guías de onda de sección octogonal pueden ser de geometría regular o no, en función de la aplicación. La estructura transductora de la invención está diseñada para trabajar en cualquier franja frecuencial de las siguientes: frecuencias de microondas, milimétricas y/o sub-milimétricas. Preferentemente, la estructura transductora comprende un número reducido (≤ 4) de guías de onda intermedias de sección octogonal.

Concretamente, en un primer aspecto de la presente invención, se proporciona una estructura transductora de modos para la conversión de señales electromagnéticas entre una guía de onda de entrada y una guía de onda de salida que pueden tener igual o distinta geometría. La estructura transductora de modos comprende una pluralidad de secciones de guía octogonales concatenadas y situadas entre las guías de onda de entrada y salida. Las secciones de guía octogonales comparten los mismos ejes de simetría entre sí y con las guías de onda de entrada y salida. Los parámetros geométricos de las secciones de guía octogonales están diseñados y ajustados para

acondicionar progresivamente los modos de propagación electromagnéticos entre las guías de onda de entrada y salida.

5 Preferentemente, el acondicionamiento progresivo de los modos de propagación electromagnéticos entre la guía de onda de entrada y la de salida proporciona simetría eléctrica y magnética a lo largo de ella, impidiendo la excitación de modos superiores en la banda de interés.

10 Preferentemente, el número de secciones de guía octogonales que la componen es un número menor o igual que 4, consiguiéndose que la transferencia de energía sea eficiente en un ancho de banda fraccional superior al 65% (una octava), con una longitud total de la estructura inferior al 75% de la longitud de onda de la señal electromagnética en el espacio libre, calculada a la frecuencia central de la banda de interés.

15 En una realización particular, la guía de onda de entrada es una guía de onda de sección rectangular y la guía de onda de salida es una guía de onda de sección circular.

20 En una realización alternativa, la guía de onda de entrada es una guía de onda de sección rectangular y la guía de onda de salida es una guía de onda de sección cuadrada.

25 En el caso anterior, la guía de onda de sección cuadrada tiene o bien los ejes girados 45° respecto a los de la guía de sección rectangular o bien los ejes sin girar respecto a los de la guía de sección rectangular.

En otra realización alternativa, la guía de onda de entrada es una guía de onda de sección cuadrada y la guía de onda de salida es una guía de onda de sección circular.

En otra realización alternativa, la guía de onda de entrada es una guía de onda de sección cuadrada y la guía de onda de salida es otra guía de onda de sección cuadrada, estando los ejes de dichas guías de onda de entrada y salida girados 45° entre sí.

5 Preferentemente, la estructura transductora de modos está diseñada para trabajar en frecuencias de las bandas de microondas, frecuencias milimétricas o frecuencias sub-milimétricas.

10 Las guías de onda octogonales intermedias de la invención comparten sus ejes de simetría y forman sustancialmente un conjunto compacto de secciones que actúan bien como transformadores cuarto de onda o bien como secciones adicionales adaptadoras que, acopladas sucesivamente, permiten el acondicionamiento diferencial del campo electromagnético entre ellas y entre las guías estándar de entrada/salida y ellas.

15 La ventaja de esta nueva concepción de transductor de modo reside en sus posibilidades de aplicación, ya que el uso de secciones octogonales intermedias adecuadas proporciona un ancho de banda mayor, respecto al proporcionado por el estado actual de la técnica, con unas dimensiones drásticamente reducidas. Por otra parte, la simetría eléctrica y magnética de las estructuras octogonales de la presente invención, elimina la
20 excitación de modos superiores, no deseados para el buen funcionamiento de un transductor de modo.

Este concepto de transductor de modo es útil en los sistemas de transmisión y recepción de señales electromagnéticas a frecuencias de microondas, milimétricas y
25 sub-milimétricas, ya que permite el diseño de alimentadores de antena extraordinariamente cortos, con ausencia intrínseca de excitación de modos superiores en la banda de trabajo, a la vez que se reducen los costes de fabricación.

Otras ventajas de la invención se harán evidentes en la descripción siguiente.

30

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, y para complementar esta descripción, se acompaña como parte integrante de la misma, un juego de dibujos, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo. En estos dibujos:

La figura 1 muestra una vista en 3D de una estructura transductora de modos 1 entre guías de ondas electromagnéticas de sección circular 2 y sección rectangular 3, de acuerdo con una posible realización de la presente invención.

La figura 2 muestra una vista general de una sección de guía de onda octogonal junto con los parámetros geométricos que la definen, de acuerdo con una posible realización de la presente invención.

La figura 3 muestra la proyección en 2D de la geometría de la estructura transductora de modos entre una guía de onda de sección rectangular 3 y otra de sección circular 2, de acuerdo con una posible realización de la presente invención.

La figura 4 muestra una proyección en 2D de la geometría de la estructura transductora de modos entre una guía de ondas de sección rectangular 3 y otra de sección cuadrada con ejes girados 45° 4 respecto a los de la guía de onda de sección rectangular 3, de acuerdo con una posible realización de la presente invención.

La figura 5 muestra una proyección en 2D de la geometría de la estructura transductora de modos entre una guía de ondas de sección cuadrada 5 y otra de sección circular 2, de acuerdo con una posible realización de la presente invención.

La figura 6 muestra una proyección en 2D de la geometría de la estructura transductora de modos entre dos guías de onda de sección cuadrada 5 4 rotadas 45° entre sí, de acuerdo con una posible realización de la presente invención.

La figura 7 muestra una fotografía de un prototipo de estructura transductora de modos, para una transición electromagnética en banda C entre una guía de ondas de sección rectangular y otra de sección circular.

5

La figura 8 muestra una medida de las pérdidas de retorno 6 y pérdidas de inserción 7, respecto a la frecuencia en GHz, del prototipo que muestra la figura.7. Las pérdidas de retorno 6 están en dB y referidas al eje situado a la izquierda de la figura, mientras que las pérdidas de inserción 7 también están en dB, pero referidas al eje situado a la derecha de la figura.

10

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

15

En este texto, el término “comprende” y sus variantes no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos.

20

Además, los términos “aproximadamente”, “sustancialmente”, “alrededor de”, “unos”, etc. deben entenderse como indicando valores próximos a los que dichos términos acompañen, ya que por errores de cálculo o de medida, resulte imposible conseguir esos valores con total exactitud.

25

Las siguientes realizaciones preferidas se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativos de la presente invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención.

30

El transductor propuesto tiene por objetivo el cambio del modo de propagación de una onda electromagnética entre dos guías de onda con diferente geometría, mediante el uso

de una concatenación adecuada de tramos de guía de onda octogonal. Tanto las guías de onda de diferente geometría como la estructura transductora de modos son metálicas. Las guías de onda son capaces de propagar energía electromagnética, mediante el acoplo entre ellas de secciones octogonales de guía de onda. Las secciones acopladas constituyen un conjunto que funciona como la unión de un transformador de cuarto de onda y un acondicionador de campos electromagnéticos. Además, la simetría eléctrica y magnética que proporciona la estructura octogonal elimina de forma efectiva la excitación de los modos superiores. Se consigue que la estructura trabaje con bajas pérdidas de energía por retorno e inserción.

La figura 1 muestra una posible estructura transductora de modos basada en la concatenación de secciones octogonales 1 según la invención. Las secciones acopladas constituyen un conjunto que funciona como la unión de un transformador de cuarto de onda y un acondicionador de campos electromagnéticos. Esta estructura transductora de modos 1 está situada entre dos guías de onda electromagnéticas 2 3 con diferente geometría: en este caso, una guía de onda de sección circular 2 y una guía de onda de sección rectangular 3.

La figura 2 muestra una vista general de una posible sección de guía de onda octogonal junto con los parámetros geométricos que la definen, según la presente invención. En efecto, el concepto de guía de onda octogonal ilustrado en la figura 2 no ha sido utilizado exhaustivamente por la comunidad científico-técnica debido, tal vez, al escaso conocimiento de sus características esenciales, como son su frecuencia de corte característica y la distribución del campo electromagnético asociado a los modos de propagación.

La sección octogonal ilustrada en la figura 2 se ha diseñado de forma que todos los ángulos internos entre cada par de segmentos o lados consecutivos de la sección son iguales y valen 135° . No obstante, la estructura transductora de la invención puede estar formada por secciones octogonales cuyos ángulos internos sean diferentes entre sí o iguales entre sí pero con un valor diferente de 135° . Se ha elegido en esta realización un

ángulo de 135° porque los inventores han observado que con este ángulo se consigue una estructura transductora de una octava de ancho de banda de trabajo, pero otros ángulos también permiten un ancho de banda de trabajo adecuado.

5 Estas dos características esenciales de la sección de guía de onda octogonal dependen de los valores que puedan tomar arbitrariamente los tres parámetros geométricos fundamentales: anchura extremo a extremo de la sección o simplemente anchura de la sección H_h (o altura horizontal H_h), altura extremo a extremo de la sección o simplemente altura de la sección H_v (o altura vertical H_v) y anchura del segmento o
10 lado superior de la sección C, indicados en la figura 2. La anchura del segmento superior C es igual a la anchura del segmento inferior en una configuración simétrica. La figura 2 muestra también la longitud de la sección L de guía de onda octogonal ilustrada.

15 El resto de parámetros geométricos de la sección octogonal en el caso de cualquier geometría (también ilustrados en la figura 2), regular o no, verifican las siguientes relaciones de constitución para el caso en que los ángulos internos entre cada par de segmentos consecutivos sean iguales y valgan 135°:

20
$$A = [H_h - C] \cdot \sqrt{2}/2 \quad B = [H_v - H_h] + C$$

De esta forma, un octógono regular cumple que:

25
$$H_h = H_v, \quad C = H_h \cdot \sqrt{2}/[2 + \sqrt{2}]$$

Es conocido que una guía octogonal perfectamente regular tiene una longitud de onda de corte para el modo fundamental de propagación TE_{11} igual a 4.246 veces el valor de C, y que su estructura de campo electromagnético es muy similar al de una guía de onda de sección circular. Sin embargo, no existen expresiones cerradas y conocidas
30 para la frecuencia de corte de secciones octogonales irregulares ($H_v < H_h$) que puedan permitir el diseño de transductores óptimos entre secciones estándar rectangulares,

circulares y cuadradas.

Se constata también, que a medida que el cociente H_v/H_h disminuye, la estructura de la figura 2 tiende a una guía de onda de sección rectangular. Por el contrario, a medida que el cociente C/H_h aumenta, la estructura de la figura 2 se aproxima a una guía de onda cuadrada. Finalmente, a medida que el parámetro independiente C tiende a cero, la estructura de la figura 2 tiende hacia una guía de onda de sección también cuadrada, pero con los ejes rotados 45° con respecto al original. Esta última propiedad permite en algunas aplicaciones, desdoblar una polarización lineal incidente en dos polarizaciones lineales ortogonales, y generar polarización circular añadiendo un desfase adicional de 90° a una de ellas.

Por consiguiente, en un planteamiento general el transductor de modos de la invención permite la transición entre diferentes tipos de guía de onda, a saber:

- entre guía de sección rectangular y guía de sección circular;
- entre guía de sección rectangular y guía de sección cuadrada—girada o no 45° respecto de la rectangular;
- entre guía de sección circular y guía de sección cuadrada; y
- entre dos guía de sección cuadrada iguales o no y giradas 45° entre sí.

Esta lista anterior no es limitativa, sino que los cuatro casos se enumeran a modo de ejemplo. No obstante, se trata de los cuatro casos que representan las aplicaciones reales más frecuentes.

A continuación se detallan los cuatro casos planteados en el párrafo anterior:

Caso de la transición entre guías de onda de sección rectangular y sección circular

La figura 3 muestra una proyección 2D de la estructura transductora de la figura 1 para

una transición electromagnética entre una guía de sección rectangular 3 y otra de sección circular 2, correspondiente a la presente invención.

Los ejes de simetría de las guías rectangular 3 y circular 2 son iguales y coinciden con los ejes de simetría de las diferentes secciones octogonales intermedias. Se busca con este planteamiento técnico que se mantenga la simetría de los campos E y H en las secciones de guía octogonal que componen la estructura transductora, eliminando así la excitación de modos superiores de propagación, no deseados en estas estructuras transductoras de modos.

Las secciones que componen la estructura transductora de modos entre las guías de onda rectangular 3 y circular 2, objeto de esta invención, presentan las siguientes particularidades y diferencias:

1) La guía de onda rectangular 3 (mostrada con línea de puntos en la figura 3) pasa directamente a una primera sección de guía octogonal irregular (OT1 en la figura 3), donde la dimensión H_h (anchura extremo a extremo de la sección OT1 o simplemente anchura de la sección o altura horizontal) es sustancialmente igual a la anchura de la guía rectangular 3, mientras que la dimensión H_v (altura extremo a extremo de la sección OT1 o simplemente altura de la sección o altura vertical) es sustancialmente igual a la altura de la guía rectangular 3. Los parámetros C y L de la sección OT1 se ajustan para permitir el acondicionamiento de los modos electromagnéticos entre ambas guías.

2) La sección OT1 se continúa con una segunda sección octogonal irregular (OT2 en la figura 3), con valores de H_h y H_v sustancialmente superiores a los correspondientes a la sección OT1. El valor H_h se hace sustancialmente igual al diámetro de la guía de onda circular 2 de salida, los valores de H_v y C se ajustan para igualar sustancialmente la frecuencia de corte de esta sección OT2 con la de la guía circular de salida 2, mientras que su longitud L se ajusta para optimizar el cambio de impedancia.

3) La sección OT2 se continúa con una tercera sección octogonal irregular (OT3 en la figura 3), cuyo valor de H_h es sustancialmente igual al de la sección anterior OT2, mientras que los parámetros H_v y C se ajustan de forma que los vértices superiores e inferiores de OT3 toquen la circunferencia de la guía circular 2 de salida (mostrada con línea de puntos en la figura 3) y conformen así una estructura electromagnética con frecuencia de corte sustancialmente igual a la frecuencia de corte de la guía circular 2 de salida. La longitud de OT3 se ajusta para optimizar el salto de impedancia.

4) La sección OT3, igualmente, se continúa con una cuarta sección octogonal regular (OT4 en la figura 3), con parámetros $H_h = H_v$ de dimensión mayor que OT3 y frecuencia de corte sustancialmente igual a la frecuencia de corte de la guía de onda circular 2 de salida. La dimensión $H_h = H_v$ de OT4 se ajusta para contener en su superficie a la guía circular 2 de salida, mientras que su longitud L se ajusta para permitir el acondicionamiento de los modos electromagnéticos entre ambas guías.

Con esta disposición de sucesivas secciones, la longitud total del transductor de modos entre una guía de sección rectangular 3 y otra de sección circular 2 es inferior a $0.75 \lambda_0$, siendo λ_0 la longitud de onda de la señal electromagnética en el espacio libre calculada a la frecuencia central de la banda de frecuencias de utilización del transductor de modos, banda que resulta ser mejor que el 66%.

Caso de la transición entre una guía de onda de sección rectangular y otra de sección cuadrada, con los ejes girados 45° respecto a los de la guía rectangular o con los ejes sin girar respecto a los de la guía rectangular

La figura 4 muestra una proyección en 2D de una estructura transductora alternativa según la presente invención, para una transición de energía electromagnética entre una guía de sección rectangular 3 y otra de sección cuadrada 4 rotada 45° . Se ilustra una

guía de sección cuadrada con rotación de 45° con respecto a la guía de sección rectangular, pero el resultado es el mismo si la guía de sección cuadrada no está girada con respecto a la de sección rectangular.

5 Los ejes de simetría de las guías rectangular 3 y cuadrada 4 son iguales y coinciden con los ejes de simetría de las diferentes secciones octogonales intermedias que conforman el transductor de modos. Este transductor hace que la polarización lineal incidente en la puerta rectangular 3 se transforme en dos polarizaciones lineales ortogonales de igual amplitud propagándose en la guía cuadrada 4 de salida rotada 45° . La simetría eléctrica y magnética de las secciones octogonales del transductor elimina la excitación de modos superiores.

10 La transición entre las guías de onda rectangular 3 y cuadrada 4 (con los ejes girados 45°) se lleva a cabo por medio de la concatenación de las siguientes secciones de guía de onda octogonal:

1) La guía de onda rectangular 3, mostrada con línea de puntos en la figura 4, pasa directamente a una primera sección octogonal irregular (OT1 en la figura 4), donde la dimensión H_h es sustancialmente igual a la anchura de la guía de sección rectangular 3, mientras que la dimensión H_v es sustancialmente igual a la altura de la guía de sección rectangular 3. Los parámetros C y L de la sección OT1 se ajustan para permitir el acondicionamiento de los modos electromagnéticos entre ambas secciones de guía: la rectangular 3 y la primera sección octogonal OT1.

2) La sección OT1 se continúa con una segunda sección octogonal irregular (OT2 en la figura 4), con valores H_h y H_v sustancialmente superiores a los correspondientes de la sección OT1. A diferencia del caso anterior, los parámetros H_v y C de OT2 se ajustan para igualar sustancialmente la frecuencia de corte de esta sección con la de la guía cuadrada 4 de salida, mientras que su longitud L se ajusta para permitir el acondicionamiento de los modos entre ambas secciones de guía octogonal OT1 OT2.

3) La sección OT2 se continúa con una tercera sección octogonal irregular (OT3 en la figura 4), cuyo valor de parámetro H_h es sustancialmente igual al correspondiente de la sección OT2, mientras que los parámetros H_v y C se ajustan de forma que los lados a 45° de OT3 sean tangentes a los lados a 45° de OT2, y conformen a su vez, una estructura electromagnética con frecuencia de corte sustancialmente igual a la de la guía cuadrada 4 de salida (mostrada con línea de puntos en la figura 4). La longitud de OT3 se ajusta para optimizar el salto de impedancia, ahora ya entre la guía rectangular 3 de entrada y la cuadrada 4 de salida.

Con esta disposición de tres secciones octogonales intermedias OT1 OT2 OT3, la longitud total del transformador de modo entre una guía de sección rectangular 3 y otra de sección cuadrada 4 rotada 45° , es inferior a $0.75 \lambda_0$, siendo λ_0 la longitud de onda de la señal electromagnética en el espacio libre calculada a la frecuencia central del ancho de la banda de frecuencias de utilización del transductor de modos, banda que resulta ser mejor que el 66%.

Caso de la transición entre guías de onda de sección cuadrada y sección circular

La figura 5 muestra una proyección en 2D de una estructura transductora alternativa, de acuerdo con la presente invención, para una transición de energía electromagnética entre una guía de sección cuadrada 5 y una guía de sección circular 2. Los ejes de simetría de las guías cuadrada 5 y circular 2 son iguales y coinciden con los ejes de simetría de las diferentes secciones octogonales intermedias. La simetría eléctrica y magnética de las secciones elimina la excitación de modos superiores.

Esta estructura transductora permite que una polarización lineal incidente en la puerta circular 2 se transforme en dos polarizaciones lineales ortogonales de igual amplitud propagándose en la guía cuadrada 5.

Al igual que en los casos precedentes, la transición entre una guía de onda cuadrada 5 y otra circular 2, se lleva a cabo por medio de la concatenación de las siguientes secciones de guía de onda octogonal:

- 5 1) La guía de onda se sección cuadrada 5 (mostrada con línea de puntos en la figura 5) pasa directamente a una primera sección octogonal irregular (OT1 en la figura 5), donde la dimensión $H_h = H_v$ es sustancialmente igual a la dimensión de la guía cuadrada. Por su parte, los parámetros C y L de la sección OT1 se ajustan para permitir el acondicionamiento de los modos electromagnéticos entre ambos tramos de guía.
- 10 2) La sección OT1 se continúa con una segunda sección octogonal irregular (OT2 en la figura 5), con valores $H_h = H_v$ sustancialmente superiores a los correspondientes de la sección OT1. En este caso los parámetros $H_h = H_v$ y C de OT2 se ajustan para conseguir que los lados a 45° de OT2 sean tangentes a los lados a 45° de OT1, e
- 15 igualar sustancialmente la frecuencia de corte de esta sección con la de la guía circular 2 de salida, mientras que su longitud L se ajusta para permitir el acondicionamiento de los modos electromagnéticos entre ambos tramos de guía OT1 OT2.
- 20 3) La sección OT2 se continúa con una tercera sección octogonal regular (OT3 en la figura 5), con valores $H_h = H_v$ sustancialmente superiores a los correspondientes a la sección OT2. En este caso los parámetros $H_h = H_v$ de OT3 se ajustan para conseguir que los lados a 45° de OT3 sean tangentes a los lados a 45° de OT2, la
- 25 guía circular 2 de salida (mostrada con línea de puntos en la figura 5) esté inscrita en la superficie definida por OT3 y se igualen sustancialmente las frecuencias de corte de esta sección con la de la guía circular 2 de salida, mientras que su longitud L se ajusta para optimizar el salto de impedancia.

30 Con esta disposición de secciones, la longitud total de la estructura transductora de modos entre una guía de sección cuadrada 5 y una guía de sección circular 2 es inferior

a $0.60 \lambda_0$, siendo λ_0 la longitud de onda de la señal electromagnética en el espacio libre calculada a la frecuencia central del ancho de la banda de frecuencias de utilización del transductor de modos, banda que resulta ser mejor que el 66%. .

5

Caso de la transición entre dos guías de onda de sección cuadrada iguales o no pero giradas 45° entre sí

10

La figura 6 muestra una proyección en 2D de una estructura transductora de modos alternativa de acuerdo con la presente invención, para una transición de energía electromagnética entre dos guías de onda de sección cuadrada 5 4 y rotadas 45° entre sí. Los ejes de simetría de las dos guías cuadradas son iguales y coinciden con los ejes de simetría de las diferentes secciones octogonales intermedias. La existencia de simetría eléctrica y magnética en las secciones concatenadas del transductor elimina la

15

excitación de modos superiores.

Esta estructura transductora permite que una polarización lineal incidente en una puerta cuadrada se transforme en dos polarizaciones lineales, ortogonales y de igual amplitud, propagándose al tiempo en la segunda guía cuadrada.

20

La transición entre ambas guías de onda cuadradas 5 4, se lleva a cabo por medio de la concatenación de las siguientes secciones de guía de onda octogonal:

25

- 1) La guía de onda cuadrada 5 (mostrada con línea de puntos en la figura 6) pasa directamente a una primera sección octogonal irregular (OT1 en la figura 6), donde la dimensión $H_h = H_v$ es sustancialmente igual a la dimensión de la guía cuadrada de entrada a la estructura transductora. Por su parte, los parámetros C y L de la sección OT1 se ajustan para permitir el acondicionamiento de los modos electromagnéticos entre la guía de entrada 5 y esta primera sección octogonal OT1

30

del transductor de modos.

2) La sección OT1 se continúa con una segunda sección octogonal irregular (OT2 en la figura 6), con valores $H_h = H_v$ sustancialmente superiores a los correspondientes a la sección OT1 anterior. En este caso los parámetros $H_h = H_v$ y C de OT2 se ajustan para conseguir que los lados a 45° de OT2 sean tangentes a los lados a 45° de OT1 e igualar sustancialmente la frecuencia de corte de esta sección con la de la guía cuadrada de salida, mientras que su longitud L se ajusta, como en los casos anteriores, para permitir el acondicionamiento de los modos electromagnéticos entre las secciones de guía octogonal OT1 OT2 de este transductor.

3) La sección OT2 se continúa con una tercera sección octogonal regular (OT3 en la figura 6), con valores $H_h = H_v$ sustancialmente superiores a los correspondientes a la sección OT2. En este caso los parámetros $H_h = H_v$ de OT3 se ajustan para conseguir que los lados a 45° de OT3 sean tangentes a los lados a 45° de OT2 e igualar sustancialmente la frecuencia de corte de esta sección OT3 con la de la guía cuadrada de salida 4, mientras que su longitud L se ajusta para optimizar el salto de impedancia.

Con esta disposición de secciones, la longitud total de la estructura transductora de modos entre dos guías de onda de sección cuadrada 5 4 y rotadas 45° entre sí es inferior a $0.60 \lambda_0$, siendo λ_0 la longitud de onda de la señal electromagnética en el espacio libre calculada a la frecuencia central del ancho de la banda de frecuencias de utilización del transductor de modos, banda que resulta ser mejor que el 66% .

La estructura transductora de la invención es válida para frecuencias de trabajo de las bandas de microondas, frecuencias milimétricas y sub-milimétricas.

EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LA INVENCION

Para validar la aplicación práctica de la presente invención se construyó una estructura transductora de modos entre una guía de sección rectangular y otra de sección circular,

tal como se muestra esquemáticamente en la figura.1, para una banda de trabajo correspondiente a la banda C extendida de microondas (3.6-7.0 GHz). La estructura se realizó en aluminio, mecanizándola en una sola pieza usando técnicas convencionales de CNC – Computer Numerical Control (ver figura 7). La guía rectangular de entrada tiene por dimensiones 42.8x21.4mm mientras que la guía circular de salida tiene un diámetro de 49.6mm. La longitud total de la transición es de 40.8mm. Se utilizaron cuatro secciones de guía de onda octogonal OT1 OT2 OT3 OT4.

Los parámetros geométricos correspondientes a cada una de las secciones del ejemplo de aplicación son los siguientes:

Sección	H _h (mm)	H _v (mm)	C (mm)	L (mm)
OT1	42.8	21.4	27.08	5.35
OT2	49.76	30.7	35.75	11.5
OT3	49.76	43.86	24.25	17.9
OT4	53.54	53.54	22.17	6.09

Para la medida se han utilizado técnicas convencionales de calibración TRL (Thru/Reflect/Line) en guía de onda para dos bandas de frecuencia solapadas – en este caso WR229 y WR159 - que permiten obtener la medida sobre un ancho de banda de una octava.

La figura 8 muestra las pérdidas de retorno, menores que 30dB, así como las pérdidas de inserción, menores que 0.1dB, en ambos casos para una banda de frecuencias del 69% (entre 3.6 y 7.4 GHz), y teniendo la estructura transductora una longitud del 75% de la longitud de onda en el espacio libre a la frecuencia central de la banda (5.5 GHz). La referencia 6 indica las pérdidas de retorno en dB, medidas con un prototipo fabricado de estructura transductora formada por secciones octogonales. La referencia 7 indica las pérdidas de inserción en dB, medidas con un prototipo fabricado de estructura transductora formada por secciones octogonales.

Los valores obtenidos con este ejemplo, superan ampliamente a los que existen actualmente en los catálogos de instrumental de microondas del mercado, donde los mejores valores que se ofrecen corresponden a anchos de banda del 41%, con una longitud del transductor del 208% respecto a la longitud de onda a la frecuencia mitad de la banda de funcionamiento del transductor.

REIVINDICACIONES

1. Estructura transductora de modos (1) para la conversión de señales electromagnéticas entre una guía de onda de entrada (3, 5) y una guía de onda de salida (2, 4), teniendo
5 dichas guías de onda de entrada y salida igual o distinta geometría,

donde dicha estructura transductora de modos (1) está caracterizada por que comprende una pluralidad de secciones de guía octogonales (OT1, OT2, OT3, OT4) concatenadas y situadas entre dicha guía de onda de entrada (3, 5) y dicha guía de onda de salida (2,
10 4), donde dichas secciones de guía octogonales (OT1, OT2, OT3, OT4) comparten los mismos ejes de simetría entre sí y con dicha guía de onda de entrada (3, 5) y con dicha guía de onda de salida (2, 4), y donde los parámetros geométricos de dichas secciones de guía octogonales (OT1, OT2, OT3, OT4) están diseñados y ajustados para acondicionar progresivamente los modos de propagación electromagnéticos entre dicha
15 guía de onda de entrada (3, 5) y dicha guía de onda de salida (2, 4).

2. Estructura transductora de modos (1) según la reivindicación 1, donde dicho acondicionamiento progresivo de los modos de propagación electromagnéticos entre dicha guía de onda de entrada (3, 5) y dicha guía de onda de salida (2, 4) proporciona
20 simetría eléctrica y magnética a lo largo de ella, impidiendo la excitación de modos superiores en la banda de interés.

3. Estructura transductora de modos (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, donde el número de secciones de guía octogonales (OT1, OT2, OT3, OT4) que la componen es un número menor o igual que 4, consiguiéndose que la transferencia de
25 energía sea eficiente en un ancho de banda fraccional superior al 65% (una octava), con una longitud total de la estructura (1) inferior al 75% de la longitud de onda de la señal electromagnética en el espacio libre, calculada a la frecuencia central de la banda de interés.

4. Estructura transductora de modos (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha guía de onda de entrada (3, 5) es una guía de onda de sección rectangular (3) y dicha guía de onda de salida (2, 4) es una guía de onda de sección circular (2).

5

5. Estructura transductora de modos (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde dicha guía de onda de entrada (3, 5) es una guía de onda de sección rectangular (3) y dicha guía de onda de salida (2, 4) es una guía de onda de sección cuadrada (4).

10

6. Estructura transductora de modos (1) según la reivindicación 5, donde dicha guía de onda de sección cuadrada (4) tiene o bien los ejes girados 45° respecto a los de la guía de sección rectangular (3) o bien los ejes sin girar respecto a los de la guía de sección rectangular (3).

15

7. Estructura transductora de modos (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde dicha guía de onda de entrada (3, 5) es una guía de onda de sección cuadrada (5) y dicha guía de onda de salida (2, 4) es una guía de onda de sección circular (2).

20

8. Estructura transductora de modos (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde dicha guía de onda de entrada (3, 5) es una guía de onda de sección cuadrada (5) y dicha guía de onda de salida (2, 4) es otra guía de onda de sección cuadrada (4), estando los ejes de dichas guías de onda de entrada (5) y salida (4) girados 45° entre sí.

25

9. Estructura transductora de modos (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, diseñada para trabajar en frecuencias de las bandas de microondas, frecuencias milimétricas o frecuencias sub-milimétricas.

FIGURA 1

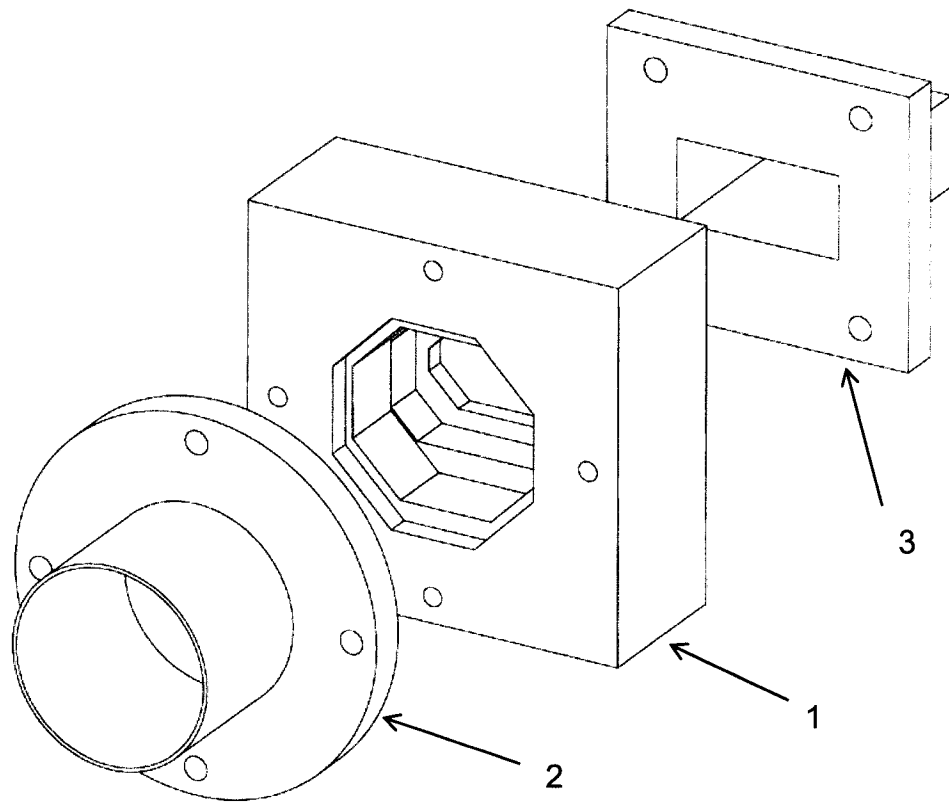


FIGURA 2

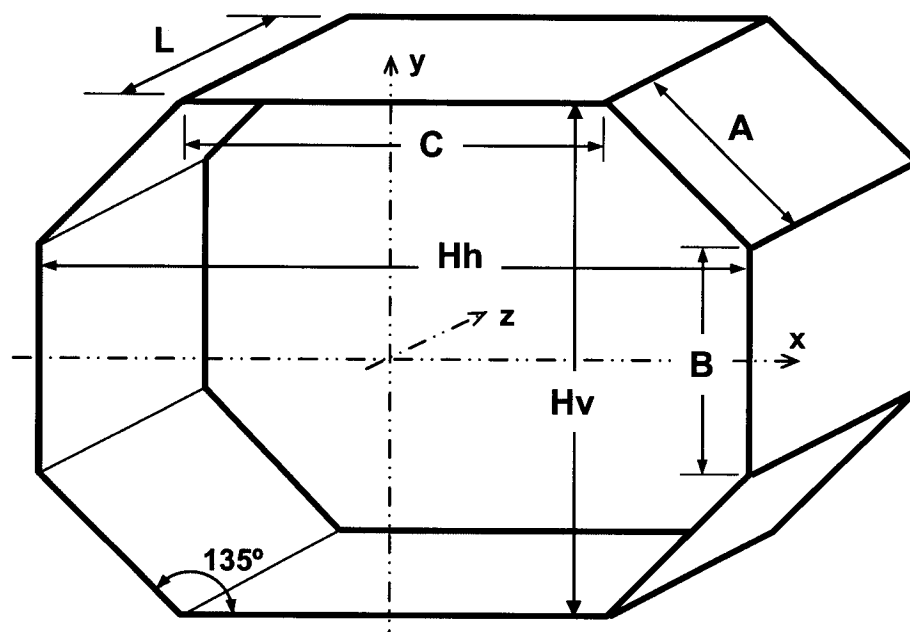


FIGURA 3

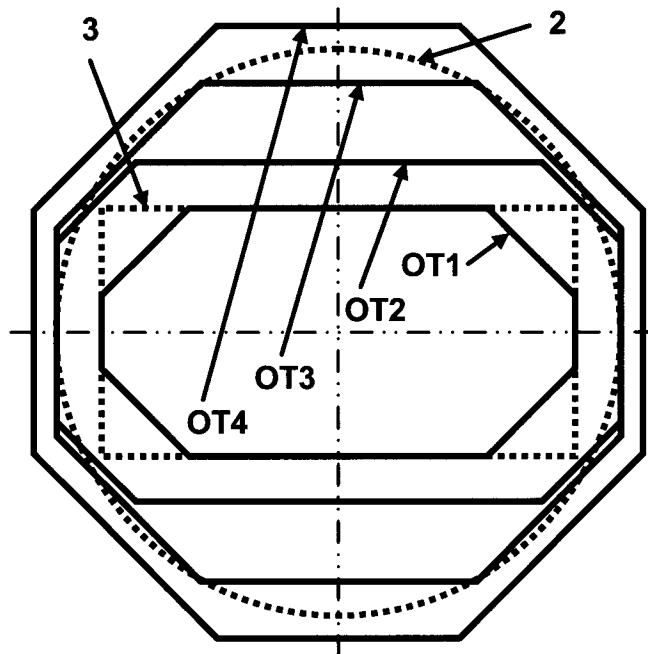


FIGURA 4

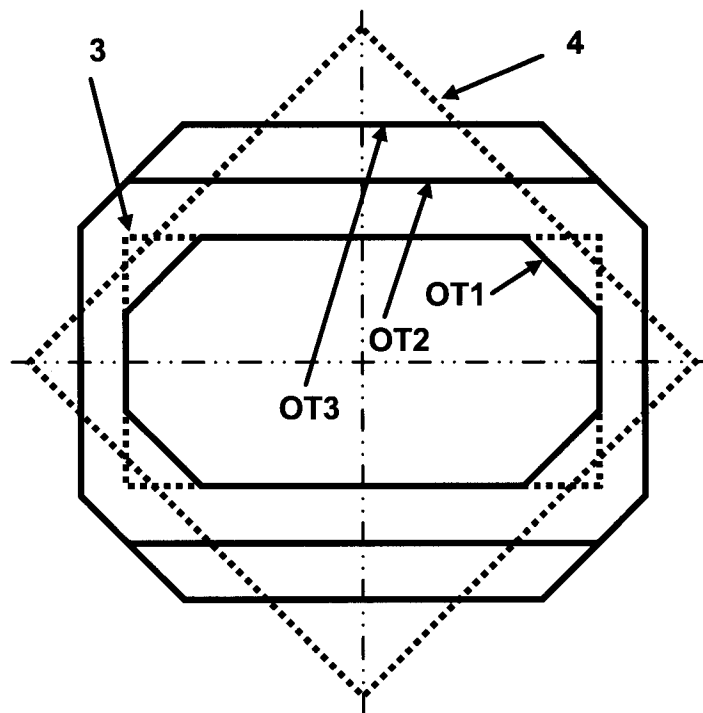


FIGURA 5

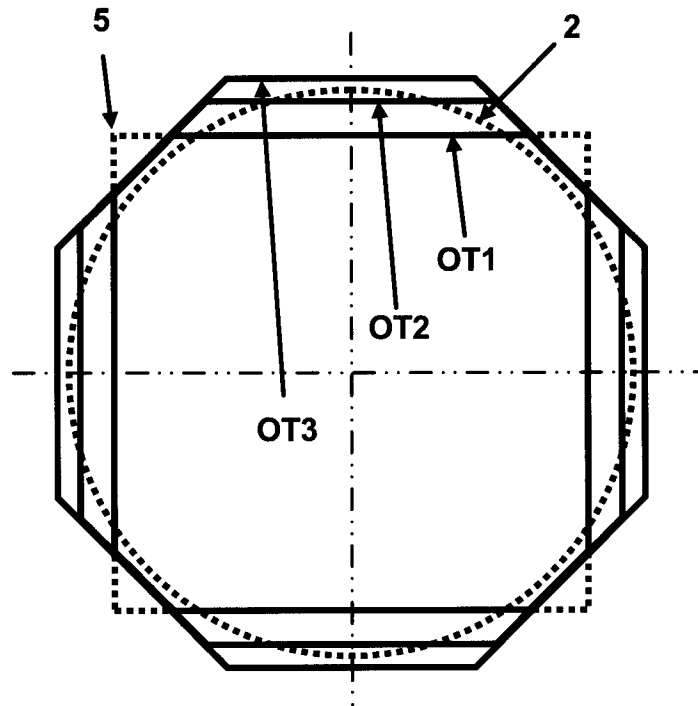


FIGURA 6

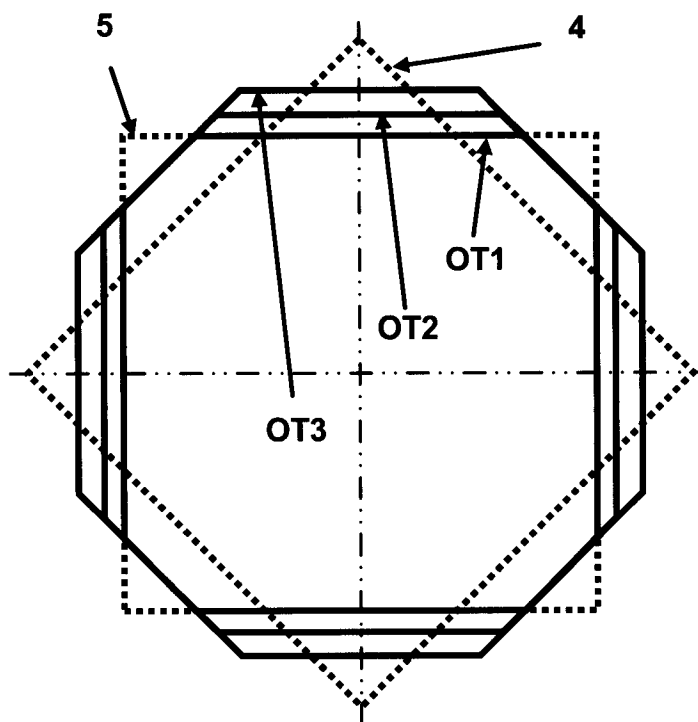


FIGURA 7

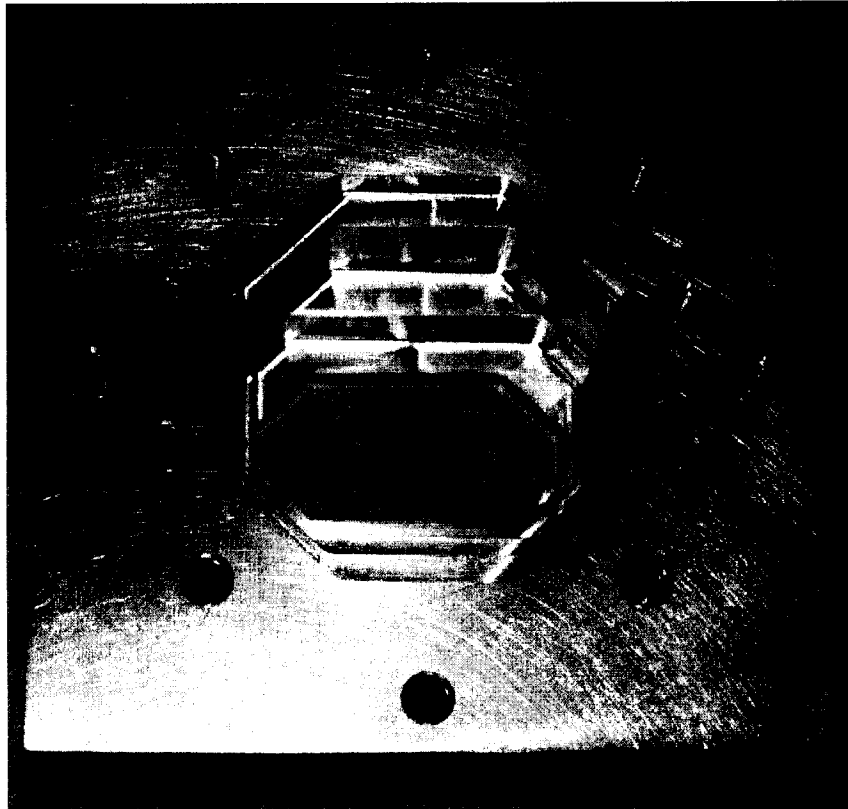
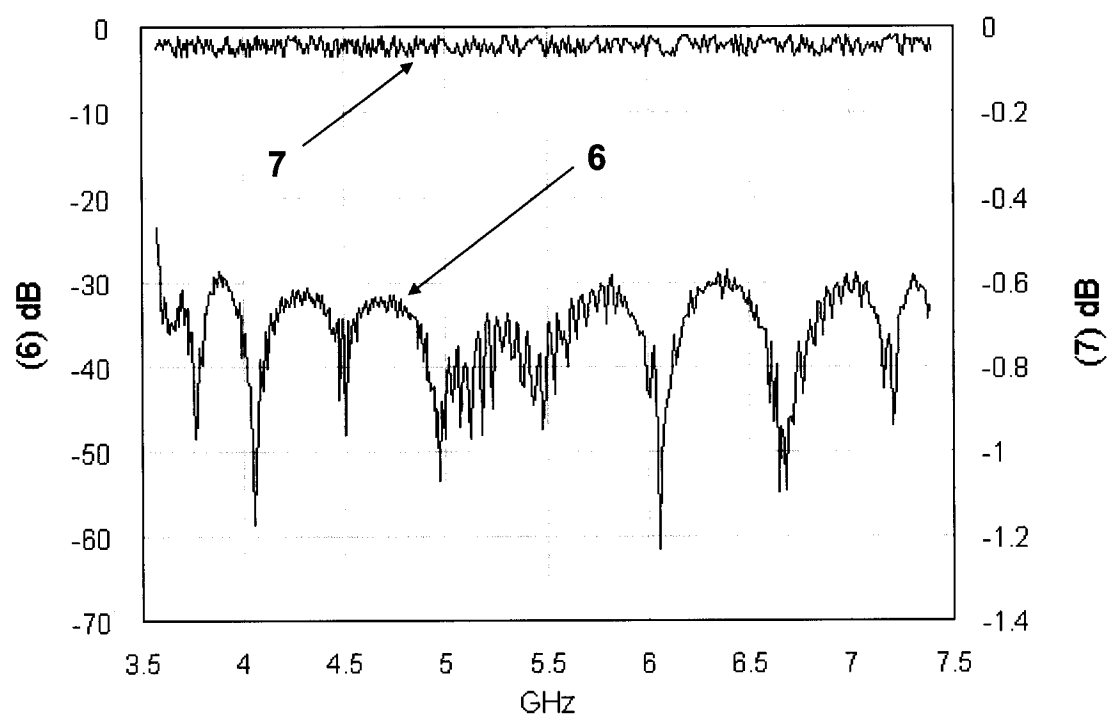


FIGURA 8





OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201100440

②② Fecha de presentación de la solicitud: 15.04.2011

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **H01P1/16** (2006.01)
H01P5/08 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	JP 60146504 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 02/08/1985, resumen; figuras. [en línea] [recuperado el 11/12/2012]. Resumen de la base de datos EPODOC. Recuperado de EPOQUE	1-9
A	JP 7007302 A (NEC CORP) 10/01/1995, resumen; figuras. [en línea] [recuperado el 11/12/2012]. Resumen de la base de datos EPODOC. Recuperado de EPOQUE	1-9
A	JP 1077201 A (UNIV KYOTO) 23/03/1989, resumen; figuras. [en línea] [recuperado el 11/12/2012]. Resumen de la base de datos EPODOC. Recuperado de EPOQUE	1-9

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
17.12.2012

Examinador
J. Botella Maldonado

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H01P

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL, XPESP, XPAIP, XPI3E, INSPEC.

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 17.12.2012

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	1-9	SI
	Reivindicaciones		NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones	1-9	SI
	Reivindicaciones		NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	JP 60146504 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD)	02.08.1985
D02	JP 7007302 A (NEC CORP)	10.01.1995
D03	JP 1077201 A (UNIV KYOTO)	23.03.1989

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El documento D01 presenta un transductor de modos para la conversión entre una guía de onda rectangular y una guía de onda circular. Se inserta entre ambas guías, una guía de sección elíptica seguida de una guía de onda rectangular casi cuadrada, alcanzándose un acoplo excelente y una conversión progresiva.

El documento D02 presenta un convertidor de guía de onda circular a rectangular compuesto por una guía de onda troncocónica rectangular y una guía troncocónica circular conectadas siguiendo el eje de simetría común del conjunto de guías de onda.

El documento D03 presenta un transductor de modos de una guía circular a una rectangular consistente en una guía de onda compuesta por dos cilindros de secciones parabólicas simétricas enfrentados y con los focos de las secciones parabólicas situados en el eje de simetría de las guías de onda circular y rectangular.

Ambos documentos pertenecen al estado general de la técnica y no se consideran de particular relevancia. Ninguno de estos documentos tomados solos o en combinación, revelan la invención definida por las reivindicaciones de la 1ª a la 6ª, ni hay en ellos sugerencias que dirijan al experto en la materia hacia la invención definida por las citadas reivindicaciones.

Por lo tanto, el objeto de estas reivindicaciones cumple los requisitos de novedad, actividad inventiva.