



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 112 771**

⑫ Número de solicitud: 9501922

⑬ Int. Cl.⁶: H01Q 13/02

⑭

PATENTE DE INVENCION

B1

⑮ Fecha de presentación: **25.09.95**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **01.04.98**

Fecha de concesión: **22.10.98**

⑰ Fecha de anuncio de la concesión: **16.12.98**

⑱ Fecha de publicación del folleto de patente:
16.12.98

⑲ Titular/es: **Universidad Pública de Navarra y en su nombre D. Antonio Pérez Prados, Rector. Campus Arrosadía, s/n Ed. "El Rectorado" 31006 Pamplona, Navarra, ES**

⑳ Inventor/es: **Río Bocio, Carlos del; Gonzalo García, Ramón; Sorolla Aiza, Mario y Thumm, Manfred**

㉑ Agente: **No consta**

㉒ Título: **Antenas de bocina conversoras de modos en guía de onda a estructuras gaussianas.**

㉓ Resumen:

El componente presentado se engloba dentro de sistemas electromagnéticos de guiado de energía a frecuencias de ondas milimétricas y microondas, y adapta cualquier estructura de campos electromagnéticos presentes en el interior de una guía de onda con una estructura gaussiana del espacio libre. Este componente se caracteriza por expandir la guía de onda de la misma manera que lo haría una estructura gaussiana. Es un componente pasivo y reversible, lo que significa que es capaz de reconvertir la estructura gaussiana en la distribución de partida del interior de la guía de ondas, siempre y cuando reproduzcamos las mismas condiciones de generación de la estructura gaussiana.

ES 2 112 771 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el artº 37.3.8 LP.

Venta de fascículos: Oficina Española de Patentes y Marcas. C/Panamá, 1 - 28036 Madrid

DESCRIPCION

Antenas de bocina conversoras de modos en guía de onda a estructuras gaussianas.

Sector de la técnica al que se refiere la invención:

Sistemas electromagnéticos de guiado de energía a frecuencias de ondas milimétricas y microondas.

Estado de la técnica anterior:

Para poder transportar de una manera eficiente la energía desde el generador hasta carga final donde debe ser aplicada, por el hecho de trabajar a frecuencias de ondas milimétricas o microondas, necesitamos utilizar sistemas basados en guías de onda. Estas guías de onda son estructuras que pueden ser cerradas (utilizando un conductor metálico de diferentes formas) o ser una estructura abierta (guías de onda cuasi-ópticas).

En la mayoría de las aplicaciones se pueden utilizar los dos tipos de guías de onda mencionados. El componente aquí presentado soluciona el paso de una estructura de guía de onda cerrada a una abierta, y viceversa.

Debido al coste de los generadores utilizados, deberemos tener un especial cuidado en el diseño de los componentes que conforman la línea de transmisión con tal de no producir reflexiones que pudieran dañar irreversiblemente al generador. Así también, debido a la baja eficiencia de los generadores hasta hoy en día disponibles, en aplicaciones de alta Potencia resulta de vital importancia que la línea de transmisión sea lo más eficiente posible con tal de minimizar costes del sistema global.

Por otro lado, durante los últimos años, se ha podido comprobar la utilidad y flexibilidad de las guías de onda cuasi-ópticas ("Gyrottron Oscillators: Their principles and practice", Editado por C.J. Edgcombe, De. Taylor & Francis Ltd 1993, capítulo 13, pp 365-401.), diseñadas para guiar la energía con una estructura gaussiana de los campos, mediante reflexiones múltiples en reflectores.

Los generadores mayormente utilizados generan la potencia dentro de una estructura cerrada de guía de onda, por lo que si pretendemos utilizar una guía de onda cuasi-óptica por las ventajas que ello supone, deberemos transformar las formas de los campos electromagnéticos obtenidos por el generador, en una estructura gaussiana, capaz de ser utilizada para transportar la energía a través la línea cuasi-óptica.

Las antenas que aquí se presentan, permiten una adaptación óptima de cualquier estructura de campos en el interior de cualquier tipo de guía de onda, en una estructura con las características de propagación propias de las estructuras gaussianas, susceptibles de utilizarse en líneas de transmisión basadas en guías de onda cuasi-ópticas. Estas estructuras gaussianas son soluciones del espacio libre, que mantienen el patrón de radiación al propagarse, son invariantes a la transformada de Fourier.

Si pensamos en la línea de transmisión cuasi-óptica más simple (consistente en un solo reflector), teniendo en cuenta que las antenas propuestas son un componente pasivo es reversible, podemos implementar codos, utilizando dos ante-

nas iguales, colocando el reflector a la misma distancia y formando un mismo ángulo con los ejes de ambas antenas (Sporleder, F. "A compact 90° corner with expanded diameter and elliptic mirror for circular waveguide" Proc. Int. Conf. on Millimetric Waveguide Systems. Noviembre 1976, pp 68-71). Para este fin, en la referencia (Shapiro, M.A. y Vlasov, S.N. "Study of combined transmission line for high power wave generated by a gyrotron in the millimetre wavelength range" Int. J. Electronics, 1992, Vol. 72, no 5 y 6, pp 1127-1133) se utilizan unos perfiles parabólicos para las antenas, que pese a obtener unas eficiencias muy parecidas, no son tan generalizables, como los que aquí se presentan.

Hasta hoy en día, el diseño de las antenas adaptadoras de modos gaussianos se diseñaban buscando una determinada mezcla de modos de guía (estructuras de campos que son soluciones de las ecuaciones de Maxwell) (Rebuffi, L., Thumm, M. y Henle, W. "A beam rectifier antenna system". Proc. XIV Int. Conf. on Infrared and Millimetre waves, 1989), que genere una estructura gaussiana, para lo que se utilizaban antenas de bocina lineales (Clarke, R.H. y Brown, J. "Diffraction theory and antennas" Editado por ELLIS HORWOOD LIMITED en 1980. Capítulo 7, pp 181-223), debido a que resulta relativamente sencillo controlar la mezcla de modos que se genera. Esto implica que tenemos una longitud óptima para la antena.

Con el tipo de antenas de bocina no lineales aquí presentadas, no es necesario preocuparse por obtener una mezcla de modos determinada, ya que las mezclas de modos se ajustan automáticamente a lo largo de la antena, de tal manera que no existe una longitud óptima, como es el caso de las antenas hasta ahora conocidas, sino que podemos terminar la antena donde queramos, que siempre habremos mejorado algo al características gaussianas de la distribución de campos de la entrada, es decir, la eficiencia de conversión siempre corresponde con una función creciente al aumentar la longitud de la antena.

Explicación de la invención:

En principio, podemos entender esta antena como un componente que adapta óptimamente una guía de onda (de cualquier forma) con el espacio libre, es decir, toda la potencia que entra en la antena en forma de modo propio de guía de onda, se convierte, de una manera natural, en una estructura de un modo gaussiano propio del espacio libre. Este concepto se extiende de una manera obvia, por la linealidad del sistema, para mezclas de modos propios, ya sea del interior de la guía de onda cerrada, como del exterior.

Lógicamente tendremos algunas limitaciones, ya los modos gaussianos de propagación en el espacio libre tienen una limitación de paraxialidad, es decir, la energía debe contenerse dentro de un cono, construido con el vértice en el origen de fase y abriéndose de manera concéntrica con el eje de propagación.

Esta limitación de paraxialidad, nos forzará a que las distribuciones de campos electromagnéticos en el interior de la guía de ondas que queramos "gaussianizar" tengan unos valores pequeños de los campos en las zonas cercanas a la estructura

metálica de la guía. De no ser así, necesitaremos una longitud mayor de antena para terminar formando una estructura gaussiana con una eficiencia de conversión aceptable.

Así, será necesario un estudio de la forma de los campos en el interior de la guía de onda, para poder evaluar la longitud mínima que tendrá que tener nuestra antena para adaptar eficientemente la distribución de entrada en una estructura gaussiana. Si además, existe algún parecido entre la distribución de los campos en el interior de la guía y algún modo gaussiano propio del espacio libre, conseguiremos una reducción mayor de la longitud del componente.

El principio de funcionamiento es ensanchar la estructura de la guía de onda de la misma manera que lo haría un modo gaussiano teniendo como origen de fases el origen de la expansión. Así, la sección de la guía de ondas se verá incrementada al avanzar en la dirección de propagación de la misma manera que lo haría un haz gaussiano,

$$r(z) = r_0 (1 + ((2z) / (k\bar{\omega}_0^2))^2)^{1/2} \quad (1)$$

siendo $r(z)$ la función de expansión de la estructura de la guía de onda en todos los posibles cortes longitudinales significativos del componente, r_0 será el valor inicial generalmente forzado por la guía incidente para tener continuidad en ese punto, $\bar{\omega}_0$ es el valor de la cintura de haz que queremos generar y k es el módulo del vector de onda, definido como:

$$k = 2\pi f / c \quad (2)$$

siendo f la frecuencia de trabajo y c la velocidad de la luz en el medio correspondiente.

Cualquier modo de las posibles bases gaussianas generadoras de cualquier estructura de campos paraxial en el espacio libre, viene fijado, para una misma familia ortogonal, por un mismo valor de cintura de haz, $\bar{\omega}_0$. Es decir, el modo fundamental de una determinada familia, se expande de la misma manera que cualquier modo de orden superior de esa misma familia, con la única diferencia, que la potencia en este último se dispersará más que la del modo fundamental.

En la referencia (Wencker, G. "Rekursionsformeln und entwicklungen der strukturfunktionen gaußscher strahlen" A.E.U. Band 23, 1969, pp 521-523) se describen dos posibles bases gaussianas generadoras del espacio libre paraxial, cada una de ellas definidas en un sistema de representación diferente. En este artículo se puede observar que basta con definir un valor de $\bar{\omega}_0$ para tener completamente definida toda la familia de modos gaussianos ortogonales. Estas dos familias de modos gaussianos no son la única posibilidad, ya que podemos encontrar otras familias con carácter gaussiano que sean ortogonales y capaces de generar cualquier distribución paraxial de campos en el espacio libre.

Al expandir la estructura de la guía de onda como se indica en la ecuación (1), estamos produciendo, dentro de la guía de onda, unos acopios de modos tales que van a permitir mantener la estructura básica de los campos, produciendo una expansión de esta a lo largo de la antena,

cambiando automáticamente la mezcla de modos de guía de onda necesarios para generar esta expansión. De esta manera, llega un momento en el que hemos conseguido definir correctamente la nueva forma de propagación, por lo que podemos prescindir de la antena, ya que dentro de ella tenemos perfectamente definida la expansión de una estructura gaussiana, capaz de propagarse por sí sola en el espacio libre.

Ejemplo de aplicación

Para ver un caso concreto de aplicación de este tipo de antenas, nos centraremos en el caso de guía de onda circular partiendo de un modo propio de guía circular como puede ser el TE_{01} .

Para realizar un estudio completo, necesitaremos definirnos una base en el espacio libre que nos permita una representación lo más sencilla posible de la estructura gaussiana resultante. Esto significa que la estructura gaussiana resultante deberá tener una distribución de campos muy parecida al modo TE_{01} que es la excitación utilizada. El modo TE_{01} , es un modo propio de una guía de onda circular lisa con un nulo de radiación en el centro de la guía y simetría de revolución (figura 1, representación de la potencia del modo TE_{01} en un plano transversal), por lo que la estructura gaussiana que obtendremos al final de la antena tendrá también un nulo en el eje y simetría de revolución.

Utilizando la familia gaussiana de la referencia (Wencker, G. "Rekursionsformeln und entwicklungen der strukturfunktionen gaußscher strahlen" A.E.U. Band 23, 1969, pp 521-523) en coordenadas cilíndricas, podemos definir una nueva familia con simetría de revolución combinando dos familias definidas de la siguiente manera,

$$\Psi_m(r, z) = \Psi_m^{1,0}(r, \varphi, z) x + \Psi_m^{1,0}(r, \varphi, z) y \quad (3)$$

siendo x e y los vectores unitarios en dos direcciones perpendiculares entre sí y con el eje de propagación (figura 2, combinación de modos gaussianos definidos en (Wencker, G. "Rekursionsformeln und entwicklungen der strukturfunktionen gaußscher strahlen" A.E.U. Band 23, 1969, pp 521-523) para obtener el modo gaussiano cónico fundamental, representación de la potencia en un plano transversal).

Como se puede observar de las figuras 1 y 2, la forma de la potencia en el modo TE_{01} , y el modo gaussiano cónico fundamental así definido, tienen un parecido bastante grande. En concreto, para un valor de $\bar{\omega}_0 = 0.565a$, siendo a el radio de la guía de onda de partida, obtenemos un factor de correlación entre las dos estructuras del 96.7%.

Si construimos la antena de bocina convertidora, expandiendo la guía de onda de la forma definida en la ecuación (1), tomando como valor de $\bar{\omega}_{0g} = 0.51a$, independientemente de la frecuencia a la que trabajemos (f) y del radio de la guía de onda (a) obtendremos una eficiencia de conversión superior al 99.9% a un gaussiano con un valor $\bar{\omega}_0 = 0.6a$, para unas longitudes de antena mayores de z_{0g} , siendo esta la distancia de Rayleigh correspondiente a la estructura gaussiana, estando definido como,

$$Z_{0g} = k\bar{\omega}_0^2 / 2. \quad (4)$$

En la figura 3, tenemos representado el patrón de radiación obtenido si cortamos la antena a una distancia z_{0g} , y a una distancia doble de la anterior, comparando estos resultados con el patrón de radiación del gaussiano cónico deseado. Como se puede observar, el parecido es grande en la zona central de la gráfica, que contiene la práctica totalidad de la potencia. También es importante reseñar que pese a tener un radio de salida diferente en los dos casos, el patrón de radiación obtenido se mantiene, característica definitoria del carácter gaussiano de la estructura conseguida con la antena.

Se puede observar que existe unas pequeñas diferencias entre el valor de $\bar{\omega}_0$ que optimiza el TE₀₁, (0.565a), el utilizado para expandir la guía (0.51a) y el finalmente obtenido (0.6a). Esta variación se debe a que en la primera parte de la antena estamos suponiendo un comportamiento de expansión gaussiano a algo que no lo es, por lo que se produce un desfase entre el coeficiente excitado y el que realmente se quiere excitar. No obstante, existe una relación fija entre los coeficientes utilizados en las fórmulas y los realmente obtenidos (Tabla 1), se puede demostrar que la transformación óptima es para un haz gaussiano de parámetro $\bar{\omega}_0=0.6a$.

$\bar{\omega}_0$ Deseados	$\bar{\omega}_0$ Obtenidos
0.49	0.595
0.50	0.595
0.51	0.6
0.52	0.605
0.53	0.605

Tabla 1: Relación entre los valores de $\bar{\omega}_0$ deseados (utilizados en las fórmulas) y los obtenidos.

En realidad, en el interior de la antena, existe una zona de transición, en la cual se “gaussianiza” el modo de entrada, y a partir de donde podemos cortar la antena y obtener una distribución gaussiana de los campos con eficiencias superiores al 99.9%. Dependiendo de la correlación entre el modo de guía de onda y la estructura gaussiana, esta zona de transición será más o menos ancha. En cualquier caso, siempre se cumplirá que en cualquier sección transversal del componente, el coeficiente de correlación de la mezcla de modos de guía obtenida con una estructura gaussiana es mayor al aumentar la longitud del componente.

En la tabla 2, podemos observar la evolución del gaussiano generado, definido por el valor del $\bar{\omega}_0$ y la eficiencia de conversión, en diferentes puntos del componente. Podemos ver claramente, que para distancias mayores de z_{0g} , mantenemos

prácticamente el mismo haz gaussiano.

Longitud (z_{0g})	$\bar{\omega}_0$ generado	Eficiencia
0	0.565	96.7
0.5	0.57	98
1	0.59	99.7
1.5	0.6	99.92
2	0.6	99.934
2.5	0.6	99.928
3	0.605	99.924

Tabla 2: Valores de $\bar{\omega}_0$ generados con sus respectivas eficiencias a lo largo de una antena con un parámetro $\bar{\omega}_{0g} = 0.51a$.

Aplicación:

Con una antena de este tipo, solventamos el problema de adaptar transformando una distribución de campos del interior de una guía de ondas al espacio libre en forma de una estructura gaussiana. Esto nos abre una posibilidad bastante grande en el diseño de líneas de transmisión, ya que al permitir un paso eficiente de una guía de onda cerrada a una abierta, se abren muchas posibilidades para solucionar los problemas que se nos puedan presentar.

En sistemas que permitan cierta libertad en cuanto a la forma en que la energía debe viajar, supondrá de una gran ayuda ya que simplifica de manera notable la línea de conversiones necesarias que se venía utilizando hasta ahora. Entre estos sistemas se encuentran los de proceso de materiales, ya que en este caso, se requiere una distribución uniforme de los campos, y podemos utilizar generadores más baratos con la salida en guía de onda.

Los componentes aquí presentados, también se puede utilizar como bocinas alimentadoras de antenas, ya sean en guía de onda circular, rectangular, elíptica, o de cualquier forma, ya que somos capaces de adaptar óptimamente el modo gaussiano fundamental necesario para este tipo de aplicaciones, a partir de modos que tengan cierto parecido, mejorando ostensiblemente las características de apuntamiento, ya que reforzamos mucho el carácter gaussiano, pudiendo llegar a eficiencias del 99.9%.

Así también, puede aplicarse para optimizar los patrones de radiación de las antenas de sistemas calentamiento de plasmas, radar, radioenlaces de telecomunicaciones (terrestres y por satélite), sensores atmosféricos y medio ambientales, así como en aplicaciones de radioastronomía, trabajando con cualquier tipo de estructura de guía de onda.

REIVINDICACIONES

1. Componente de sistemas electromagnéticos de guiado de energía de frecuencias de ondas milimétricas y microondas consistente en una antena de bocina no lineal que transforma una estructura de campos (modo propio) dentro de una guía de onda cerrada a una distribución gaussiana de campos (modo propio) de una guía de onda abierta o cuasióptica y viceversa, **caracterizado** por ensanchar la estructura de la guía de onda cerrada de la misma manera que lo haría la estructura gaussiana que queremos excitar, siguiendo la ecuación (1)

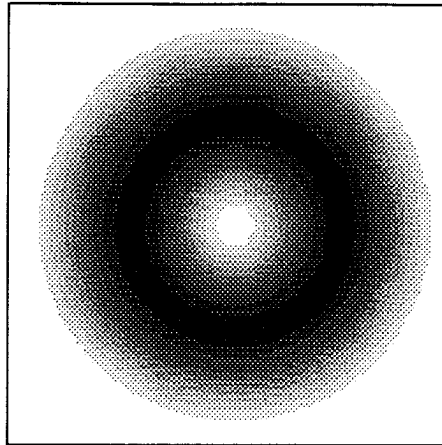
$$r(z) = r_0 (1 + (2z / (k\bar{\omega}_0^2))^2)^{1/2} \quad (1)$$

siendo $r(z)$ la función de expansión de la estructura de la guía de onda en todos los posibles cortes longitudinales significativos del componente, siendo r_0 el valor inicial generalmente forzado por la guía incidente para tener continuidad en ese punto, siendo $\bar{\omega}_0$ el valor de la cintura de haz que queremos generar y siendo k el módulo del vector de onda, definido como (2)

$$k = 2\pi f / c \quad (2)$$

en donde f es la frecuencia de trabajo y c la velocidad de la luz en el medio correspondiente.

Dibujos:



RE

Figura 1

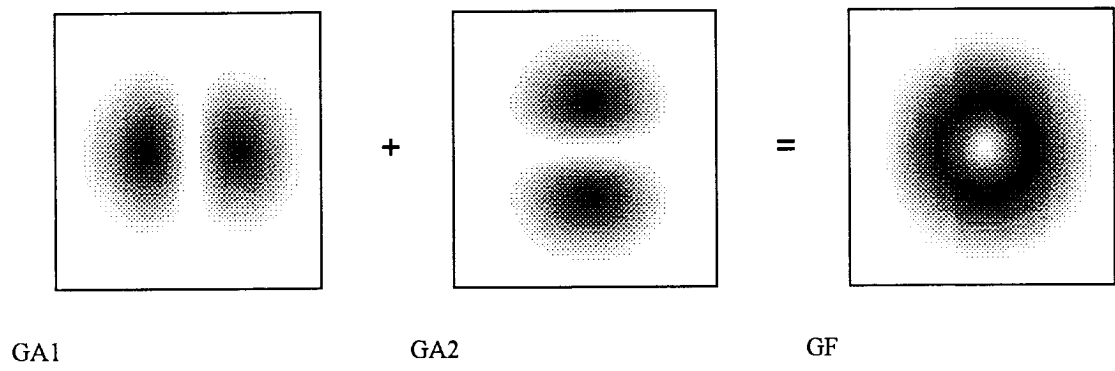


Figura 2

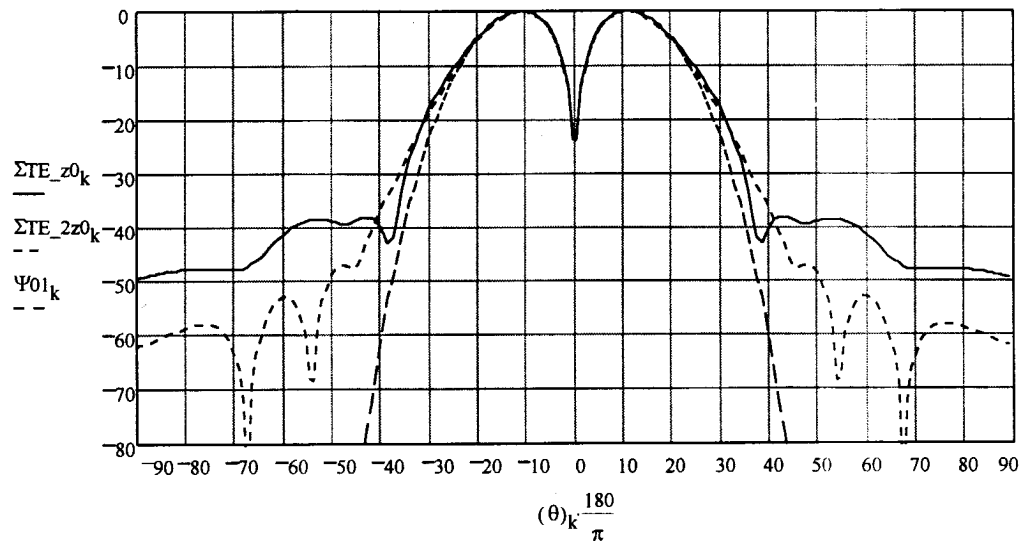


Figura 3



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

- ⑪ ES 2 112 771
⑫ N.º solicitud: 9501922
⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 25.09.95
⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.⁶: H01Q 13/02

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US-4636689-A (MOURIER) 13.01.87 * Todo el documento *	1
A	ES-2050769-T (EURATOM) 01.06.94 * Todo el documento *	1
A	US-3906508-A (FOLDES) 16.09.75	
A	FR-2706681-A (THOMSON TUBES ELEC.) 23.12.94	
A	EP-0322954-A (PHILIPS ELEC. AND ASSOC. IND. LTD.) 05.07.89 * Columna 4, línea 27 - columna 10, línea 38; figuras 3-6 *	1
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 n.º:		
Fecha de realización del informe 02.03.98	Examinador E. Rolán Cisneros	Página 1/1