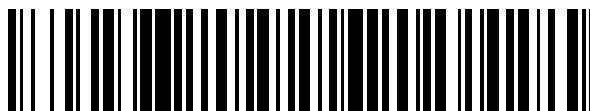


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 626 262**

51 Int. Cl.:

H01Q 3/26 (2006.01)

H01Q 21/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.11.2006 PCT/GB2006/050389**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **31.05.2007 WO07060478**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.11.2006 E 06808753 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.03.2017 EP 1952481**

54 Título: **Conformación de haz para agrupación de antenas de banda ancha**

30 Prioridad:

23.11.2005 GB 0526661

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

24.07.2017

73 Titular/es:

**BAE SYSTEMS PLC (100.0%)
6 CARLTON GARDENS
LONDON SW1Y 5AD, GB**

72 Inventor/es:

**PIROLLO, BRUNO, PETER y
GUY, RONALD, FRANK, EDWARD**

74 Agente/Representante:

ELZABURU SLP, .

ES 2 626 262 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

Conformación de haz para agrupación de antenas de banda ancha

Esta invención se refiere a agrupaciones de antenas y en particular a un aparato y método para controlar la forma de haz en una agrupación de antenas para proporcionar cobertura uniforme a través del campo de visión de la antena sobre un amplio rango de frecuencias de operación. Un rango de frecuencias de operación preferido es de 6-18GHz, pero la presente invención se puede aplicar a agrupaciones de antenas diseñadas para operar con señales de microondas y de longitud de onda milimétrica en el rango de frecuencias de 500MHz a 300GHz.

En una aplicación típica de una agrupación de antenas conocida, se forma un conjunto de haces para abarcar un campo de visión que se extiende hasta $\pm 45^\circ$ en azimut, con cada uno de los haces apuntando en ángulos de exploración fijos. Para asegurar que los haces abarquen el campo, se pueden establecer límites ajustados en los niveles de cruce admisibles entre haces adyacentes de manera que no haya huecos significativos en la cobertura del campo. Nominalmente, se requeriría que los haces se crucen en o por encima de los puntos de -3dB en sus patrones de radiación de campo lejano a una frecuencia de operación prevista. Sin embargo, se sabe que la anchura de los haces para una agrupación de antenas es inversamente proporcional a la frecuencia de la radiación. Por lo tanto, en la aplicación particular considerada, donde los picos del haz están en ángulos de exploración fijos, los puntos de cruce de haces adyacentes varían considerablemente según la frecuencia de operación de modo que, a frecuencias más altas, es probable que se desarrollen huecos en la cobertura del campo previsto. Esto limita el rango de frecuencias sobre el cual se puede usar un diseño conocido de agrupaciones de antenas de fase compartida.

Es conocido el hecho de intentar superar este problema de estrechamiento de anchuras de haz variando la amplitud de las señales a través de los elementos de una agrupación de antenas según la frecuencia de operación. En un enfoque conocido, se ha sugerido que sean conectados filtros de "apodización" a cada elemento de una agrupación para controlar la amplitud de las señales respectivas. Los filtros de apodización proporcionan baja atenuación a las frecuencias más bajas y alta atenuación a las frecuencias más altas. La característica de filtro ideal para cada elemento de la agrupación es dependiente de la posición del elemento dentro de la agrupación. Para elementos en el centro de la agrupación los filtros deberían tener una característica de filtro que varíe sólo ligeramente con la frecuencia mientras que, para elementos hacia el borde de la agrupación, los filtros deberían tener una característica de filtro que varíe enormemente con la frecuencia. De esta manera, a las frecuencias más bajas, los filtros proporcionarían una iluminación aproximadamente uniforme a través de la agrupación, conduciendo a un haz relativamente estrecho para esta frecuencia de operación. A las frecuencias más altas, los filtros producirían una iluminación muy concentrada a través de una mayor atenuación de señales para los elementos hacia los bordes de la agrupación, conduciendo a un haz relativamente ancho para esta frecuencia de operación y compensando así el estrechamiento natural de haz a esas frecuencias más altas. Sintetizando la distribución ideal de la amplitud de señal a cada frecuencia, se puede definir una característica del filtro de apodización detallada para cada elemento dentro de la agrupación. Si se pueden lograr estas características del filtro, entonces se pueden lograr anchuras de haz aproximadamente constantes con lóbulos laterales relativamente bajos sobre la banda de frecuencia de operación deseada, asegurando así una cobertura uniforme del campo de visión. Sin embargo, en la práctica, no se podría encontrar un diseño de filtro para lograr estas características. Aunque se podría lograr una aproximación a la respuesta de atenuación, no se podría controlar adecuadamente la respuesta de fase.

El documento US-A5124712 describe un radar de banda estrecha en el que la conformación de haz se logra por medio de amplificadores de ganancia variable o atenuadores variables y/o desplazadores de fase.

Desde un primer aspecto, la presente invención reside en un aparato para controlar la forma de los haces en el patrón de radiación de campo lejano de una agrupación de antenas de múltiples haces que tiene una pluralidad de elementos de antena, teniendo la agrupación de antenas un rango de frecuencias de operación de banda ancha, estando caracterizado el aparato por medios para aplicar un perfil de potencia independiente de la frecuencia no lineal predeterminado fijo a las señales con respecto a los elementos de la antena y medios para aplicar, en combinación con el perfil de potencia fijo, un perfil de retardo de tiempo independiente de la frecuencia no lineal predeterminado fijo a las señales, en donde los perfiles de potencia y de retardo de tiempo predeterminados fijos se seleccionan de manera que cuando se aplican en combinación con las señales, la forma de cada uno de los múltiples haces resultantes permanece sustancialmente constante a medida que se varía la frecuencia de las señales dentro del rango de frecuencias de operación de banda ancha de la antena.

Los inventores en el presente caso han encontrado que aplicando un perfil de potencia de señal (amplitud) y retardo no lineal fijo, en combinación, a través de la apertura de una agrupación de antenas, donde las formas de perfil están optimizadas para un diseño particular de agrupación de antenas, se puede lograr una forma sustancialmente constante de patrón de radiación, es decir, una anchura de haz sustancialmente constante al menos a nivel de los puntos de solapamiento entre haces adyacentes, en la medida en que se puedan mantener solapamientos entre haces adyacentes en sus puntos de -3dB o por encima a través de un amplio rango de frecuencias de operación. Siendo fijas, las distribuciones se implementan mucho más fácilmente para una agrupación de antenas particular en comparación con los intentos previos de usar una distribución dependiente de la frecuencia de la potencia de señal sola.

Mientras que es conocido que los patrones de radiación se pueden conformar ajustando la amplitud de las señales o ajustando la fase de las señales a través de la apertura de una agrupación de antenas con el propósito de lograr un campo de cobertura requerido a una frecuencia de operación particular, los inventores de la presente invención han encontrado que mediante una elección cuidadosa del perfil de amplitud y del perfil de retardo de tiempo a través de la apertura de la agrupación, se puede mantener una forma requerida de patrón de radiación sobre un amplio rango de frecuencias, permitiendo que una agrupación de antenas sea usada como una antena de banda ancha.

En una realización preferida de la presente invención, el perfil de potencia y el perfil de retardo son sustancialmente de forma parabólica. En particular, para el perfil de potencia, se aplica una atenuación mayor a la potencia de las señales con respecto a los elementos de antena dispuestos en uno o más bordes de la agrupación de antenas en comparación con la atenuación aplicada a la potencia de las señales con respecto a elementos dispuestos en una región central de la agrupación de antenas. Para el perfil de retardo, se aplica un retardo de tiempo mayor a las señales con respecto a los elementos de antena dispuestos en uno o más bordes de la agrupación de antenas en comparación con el retardo de tiempo aplicado a las señales con respecto a los elementos dispuestos en una región central de la agrupación de antenas.

Los perfiles de potencia y retardo preferidos se pueden implementar convenientemente en el dominio óptico. El perfil de potencia se puede implementar aplicando un perfil de potencia correspondiente a señales portadoras de láser respectivas moduladas con las señales de radiofrecuencia (RF) con respecto a los elementos de la antena. El perfil de retardo se puede implementar aplicando el perfil de retardo usando diferentes longitudes de fibra óptica en la trayectoria de señal óptica asociada con cada elemento de antena. Estas implementaciones se pueden lograr convenientemente en asociación con una red de formación de haz óptico.

En una realización preferida de la presente invención, el aparato según este primer aspecto incluye una red de formación de haz óptico operable para aplicar el perfil de retardo a las señales ópticas que pasan a través de la red.

Aunque un rango de frecuencias de operación preferido es de 6 a 18GHz, el aparato según las realizaciones preferidas de la presente invención se puede optimizar para su uso con otros rangos de frecuencias en las bandas de microondas y de longitud de onda milimétrica.

Desde un segundo aspecto, la presente invención reside en un método para controlar la forma de los haces en el patrón de radiación de campo lejano de una agrupación de antenas de múltiples haces que tiene una pluralidad de elementos de antena, teniendo la agrupación de antenas un rango de frecuencias de operación de banda ancha, estando caracterizado el método por los pasos de aplicación de un perfil de potencia independiente de la frecuencia no lineal predeterminado fijo en combinación con un perfil de retardo de tiempo independiente de la frecuencia no lineal predeterminado fijo a señales con respecto a los elementos de la antena, en donde los perfiles de potencia y de retardo de tiempo predeterminados fijos se seleccionan de manera que cuando se aplican en combinación con las señales, la forma de cada uno de los múltiples haces resultantes permanece sustancialmente constante a medida que se varía la frecuencia de las señales dentro del rango de frecuencias de operación de banda ancha de la antena.

Desde un tercer aspecto, la presente invención reside en una red de formación de haz para una agrupación de antenas de múltiples haces que tiene una pluralidad de elementos de antena y un rango de frecuencias de operación de banda ancha, estando caracterizada la red de formación de haz por medios para aplicar un perfil de potencia independiente de la frecuencia no lineal predeterminado fijo a las señales con respecto a los elementos de la antena, y medios para aplicar, además de cualquier retardo de tiempo de formación de haz, un perfil de retardo de tiempo independiente de la frecuencia no lineal predeterminado fijo a las señales, en donde los perfiles de potencia y retardo de tiempo predeterminados fijos se seleccionan de manera que cuando se aplican en combinación con las señales, la forma de cada uno de los múltiples haces resultantes permanece sustancialmente constante a medida que se varía la frecuencia de las señales dentro del rango de frecuencias de operación de banda ancha de la antena.

El aparato y método del primer, segundo y tercer aspectos de la presente invención, se pueden usar tanto con haces fijos como de exploración, donde la formación de haz y la aplicación de los perfiles se lleva a cabo o bien en el dominio óptico o bien en el dominio de RF o una combinación de los dos.

La presente invención también se extiende a sistemas de radar que incluyen aparatos según el primer y tercer aspectos de la presente invención y a cualquier plataforma, estacionaria o móvil, sobre la que esté montado el aparato.

Donde se usan en la presente memoria descriptiva de patente las palabras comprenden, comprende o que comprende, tienen que ser interpretadas en su sentido no exclusivo, es decir, que significan, respectivamente, incluyen, incluye o que incluye, pero no limitadas a ello.

Las realizaciones preferidas de la presente invención se describirán ahora a modo de ejemplo solamente y con referencia a los dibujos anexos, de los cuales:

la Figura 1 es una representación de una agrupación de antenas conocida con una red de formación de haz óptico;

la Figura 2 muestra una distribución de potencia de señal preferida a través de la apertura de una agrupación de antenas según una realización preferida de la presente invención;

la Figura 3 muestra una distribución preferida de retardo de señal a través de la apertura de una agrupación de antenas según una realización preferida de la presente invención;

5 la Figura 4 es una representación de una agrupación de antenas y una red de formación de haz óptico según una realización preferida de la presente invención;

la Figura 5 muestra la disposición de una red de formación de haz óptico de fibra en placa según una realización preferida de la presente invención;

10 la Figura 6 muestra una sección a través de parte de una implementación de fibra en placa típica de una red de formación de haz óptico según las realizaciones preferidas de la presente invención;

la Figura 7 muestra un patrón de radiación de campo lejano predicho a 6GHz para una agrupación de antenas y una red de formación de haz óptico según las realizaciones preferidas de la presente invención;

la Figura 8 muestra un patrón de radiación de campo lejano predicho a 9GHz para una agrupación de antenas y una red de formación de haz óptico según las realizaciones preferidas de la presente invención;

15 la Figura 9 muestra un patrón de radiación de campo lejano predicho a 12 GHz para una agrupación de antenas y una red de formación de haz óptico según las realizaciones preferidas de la presente invención; y

la Figura 10 muestra un patrón de radiación de campo lejano predicho a 18GHz para una agrupación de antenas y una red de formación de haz óptico según las realizaciones preferidas de la presente invención;

20 Las realizaciones preferidas de la presente invención se describirán en el contexto de una agrupación de antenas que comprende dieciséis elementos de recepción equidistantes y un formador de haz óptico dispuesto para proporcionar cuatro haces que apuntan en direcciones fijas, abarcando un campo de visión de $\pm 45^\circ$ en azimut, para uso en el rango de frecuencias de 6 a 18GHz con haces adyacentes solapados en sus puntos de -3 dB, asegurando una cobertura completa del campo de visión. Preferiblemente, los segundos puntos de cruce de los haces están a un nivel al menos 20dB por debajo de los picos de haz y los lóbulos laterales permanecen a un nivel por debajo de esos segundos puntos de cruce. Una agrupación convencional no sería capaz de lograr este grado de cobertura (o niveles de lóbulos laterales) debido a que el estrechamiento de haces con una frecuencia creciente dejaría huecos en la cobertura entre picos de haces.

25 Estará claro que las realizaciones preferidas de la presente invención se pueden adaptar fácilmente para proporcionar un transmisor en oposición a un receptor de múltiples haces y para operar con diferentes números de elementos de antena, diferentes frecuencias y diferentes números de haces.

30 Un ejemplo de una agrupación de antenas y una red de formación de haz óptico conocidas se describirá ahora con referencia a la Figura 1.

35 Con referencia a la Figura 1, se representa una agrupación de antenas de dieciséis elementos 100 de antena, estando cada elemento 100 de antena conectado a un amplificador 105 de bajo nivel de ruido (LNA) para amplificar señales recibidas en el elemento 100 de antena respectivo. Cada una de las señales amplificadas se alimenta a un modulador óptico 110 diferente operable para modular luz de un láser 115 con esas señales. La luz modulada de cada uno de los moduladores 110 ópticos es transportada por una fibra óptica 120 diferente a una red 125 de formación de haz óptico, operable para resolver y emitir cuatro haces diferentes a partir de las dieciséis señales recibidas. Para cada haz, dieciséis salidas ópticas emergen de la red de formación de haz para introducir a un receptor 130 de múltiples entradas operable para combinar las dieciséis salidas en una única salida de radiofrecuencia (RF) para el haz respectivo.

40 Como se ha mencionado durante la parte introductoria de la descripción, anteriormente, es una propiedad de los tipos de agrupaciones de antenas y formador de haz conocidos que la anchura de los haces tienda a reducirse con una frecuencia creciente, conduciendo a huecos en la cobertura del campo. Sin embargo, los inventores en el presente caso han encontrado que si se puede aplicar a las señales recibidas un cierto perfil de amplitud y de retardo fijos mediante los elementos 100 de la antena, entonces el estrechamiento de los haces se puede eliminar sustancialmente sobre el rango de frecuencias de operación de la antena, 6 a 18GHz en el presente ejemplo, manteniendo así una cobertura uniforme del campo a todas las frecuencias dentro del rango. Se describirán ahora con referencia a las Figuras 2 y 3 perfiles de amplitud y de retardo preferidos encontrados adecuados para su uso con la agrupación de antenas de la Figura 1.

45 Con referencia a la Figura 2 inicialmente, se muestra un gráfico que representa un perfil de potencia de señal (amplitud) preferido a través de los elementos 100 de la agrupación de antenas. El gráfico indica que, preferiblemente, la potencia de señal se reduce gradualmente para cada elemento 100 de antena sucesivo lejos de los elementos centrales de la agrupación, extendiéndose a un nivel de aproximadamente $-11,5$ dB para los

elementos exteriores. Este perfil de potencia de señal preferido se puede aplicar o bien en el dominio de RF o bien en el dominio óptico.

5 Con referencia a la Figura 3, se muestra un gráfico que representa un perfil de retardo de señal preferido a través de los elementos 100 de la agrupación de antenas. El gráfico indica que, preferiblemente, el retardo de señal se aumenta gradualmente para cada elemento 100 de antena sucesivo lejos de los elementos centrales de la agrupación. Este perfil de retardo de señal preferido se puede aplicar o bien en el dominio de RF o bien en el dominio óptico.

Un proceso preferido para determinar un perfil de potencia (200) de señal y retardo (300) adecuados para un diseño particular de agrupación de antenas se describirá ahora de manera esquemática.

10 (1) El primer paso es generar un patrón de radiación de campo lejano requerido a la frecuencia de operación más baja prevista. Esto se hace sintetizando una distribución de potencia a través de la apertura de la antena que produce la anchura de haz y el nivel de lóbulo lateral requeridos a esta frecuencia – la frecuencia de síntesis – usando, por ejemplo, el método de proyección sucesiva como se describe por G. T. Poulton en "Antenna Power Pattern Synthesis using Method of Successive Projection", Electronics Letters vol. 22, N° 29, páginas 1.042-1.043, 15 septiembre de 1986.

(2) Usando el diagrama de campo lejano del paso (1) como plantilla, un método de síntesis de retardo, por ejemplo, como se describe por L. J. Chu en "Microwave Beam-Shaping Antennas", Massachusetts Institute of Technology, Technical Report N° 40, 3 de junio de 1947, se usa para generar una distribución de retardo a través de la apertura de la antena. Esta distribución de retardo tiene la misma distribución de potencia que la producida en el paso (1). A medida que se usan los retardos, el patrón de radiación de campo lejano permanece aproximadamente constante sobre el rango de frecuencias completo.

(3) En la práctica, como la técnica de síntesis de retardo antes referenciada usa un enfoque óptico geométrico, el patrón de radiación cambia de hecho ligeramente con la frecuencia. Se pueden requerir, por lo tanto, varias iteraciones de los procedimientos de síntesis en los pasos (1) y (2). Por ejemplo, una primera operación del proceso puede optimizar la distribución de potencia a una frecuencia de síntesis igual a la frecuencia de operación más baja, pero para la que el patrón de radiación se deteriora a frecuencias más altas. En este caso, las iteraciones del proceso permiten que la distribución de potencia sea sintetizada para producir la anchura de haz y el nivel del lóbulo lateral deseados a una frecuencia más alta. Aumentando la frecuencia de síntesis, se puede obtener un mejor compromiso de anchura de haz y nivel del lóbulo lateral logrados sobre la banda de frecuencia de operación deseada.

La distribución de retardo resultante se puede describir aproximadamente como parabólica, aplicándose el mayor retardo en los bordes de la agrupación de antenas. Las distribuciones de potencia y retardo se mantienen fijas. A frecuencias más altas, el retardo representa una mayor distribución de fase parabólica comparada con la de la frecuencia de síntesis. Esto tiene el efecto de ensanchar el haz, y, por lo tanto, contrarrestar el estrechamiento natural del haz que ocurre con las agrupaciones de antenas que usan distribuciones conocidas de potencia o retardo a través de la apertura de la antena. De esta manera, la elección cuidadosa de la distribución de potencia, distribución de retardo, y frecuencia de síntesis, permite que la anchura de haz permanezca sustancialmente sin cambios sobre un ancho de banda instantáneo 3:1.

40 La tabla siguiente proporciona, en forma tabular, las mediciones de potencia (amplitud) y retardo preferidas mostradas en la Figura 2 y la Figura 3 respectivamente. Como las distribuciones son simétricas, solamente se muestran en la tabla los valores para los elementos 1-8. Los retardos se expresan en términos de longitud de la trayectoria en espacio libre.

Número de Elemento	Amplitud (dB)	Longitud del Trayectoria (mm)
1	-11,48	9,62
2	-9,56	7,61
3	-6,93	5,68
4	-4,51	3,93
5	-2,61	2,43
6	-1,25	1,24
7	-0,41	0,42
8	0	0

A continuación se describirá un aparato dispuesto para implementar los perfiles 200 y 300 de potencia y retardo de la Figura 2 y la Figura 3 respectivamente con referencia a la Figura 4 según una realización preferida de la presente invención. Se dan los mismos números de referencia a los rasgos en común con el aparato de la Figura 1.

Con referencia a la Figura 4, se representa una agrupación de antenas de un diseño similar al de la Figura 1. Se ha conectado un controlador 400 de salida láser a cada uno de los láseres 115 para controlar la potencia de salida de luz del láser. Cada controlador 400 está configurado para asegurar que su láser 115 respectivo emite luz a un nivel de potencia relativa diferente, como se define en el perfil 200 de potencia de la Figura 2, según el elemento 100 de antena respectivo. De esta forma, el perfil 200 de potencia se puede implementar en el dominio óptico en lugar de en el dominio de RF. Los inventores en el presente caso han mostrado que la implementación en el dominio óptico proporciona una mejora de la relación señal a ruido de 2dB sobre una implementación equivalente en el dominio de RF, por ejemplo, atenuando la señal RF respectiva en cada uno de los receptores 130 de múltiples entradas.

El aparato de la Figura 4 también ha sido provisto con una red 405 de perfil de retardo óptico que comprende secciones de fibra óptica de diferentes longitudes, estando cada sección de fibra conectada en la trayectoria óptica entre el modulador óptico 110 de un elemento 100 de antena respectivo y una red 410 de formación de haz óptico. Cada sección de fibra óptica en la red 405 de perfil de retardo añade una longitud adecuada de fibra óptica a la trayectoria óptica total para un elemento 100 de antena particular de forma que implemente un retardo de tiempo equivalente al representado por la longitud de trayectoria de espacio libre indicada para ese elemento 100 de antena en el perfil 300 de retardo de la Figura 3. Sin embargo, aunque se muestra en la realización de la Figura 4 una red 405 de perfil de retardo óptico separada, se puede implementar en cualquier lugar una distribución adecuada de longitudes de fibra óptica dentro de las trayectorias ópticas de cada elemento 100 de antena, por ejemplo, en las secciones 120 de interconexión de fibra óptica que enlazan los moduladores ópticos 110, que se puede situar cerca de los elementos 100 de antena, y la red 410 de formación de haz óptico que puede estar situada "centralmente", potencialmente a alguna distancia de los elementos 100 de antena. Alternativamente, las diferentes longitudes de fibra óptica de la red 405 de perfil de retardo se pueden incorporar dentro de la propia red 410 de formación de haz óptico.

Una implementación preferida de una red 410 de formación de haz óptico de cuatro haces y un método para su fabricación se describirá ahora con referencia a la Figura 5 y a la Figura 6, según una realización preferida de la presente invención. Convenientemente, la red 410 de formación de haz óptico preferida se implementa en forma de dos placas separadas, una para uso con los elementos 1 a 8 de la agrupación de antenas y la otra para uso con los elementos 9 a 16. En cada placa, las fibras ópticas y otros componentes están encapsulados dentro de una estructura estratificada de materiales laminares de un tipo y usando técnicas conocidas a partir de la tecnología de placas de circuito impreso (PCB). Por tanto, el formador 410 de haz está implementado según lo que se conoce como diseño de "fibra en placa". En aplicaciones preferidas de la presente invención, la red 410 de formación de haz óptico puede necesitar ser implementada como un dispositivo robusto, no solamente para proteger las fibras ópticas delicadas y otros componentes asociados con la red 410, sino también para compensar otras condiciones ambientales tales como vibración que podría conducir a componentes inducidos microfónicamente en señales analógicas que se transportan por la red 410. Con una elección adecuada de materiales, un diseño de fibra en placa ayuda a satisfacer esos requisitos.

Con referencia a la Figura 5, se proporciona una vista en planta de una sección a través de una del par de placas 500 similares que implementan la red 410 de formación de haz óptico de fibra en placa preferida. Las fibras ópticas 505, 525 que forman la red 410 están encapsuladas dentro de un único plano a través de la placa 500, excepto en aquellas regiones donde se requiere que se solapen las fibras 525. De esta manera, la representación mostrada en la Figura 5 es una vista en planta de una sección tomada a través de la placa 500 dentro de ese único plano que muestra la disposición de las fibras ópticas 505, 525. Las señales ópticas generadas por ocho de los dieciséis moduladores ópticos 110 entran en la placa 500 de red de formación de haz a través de una sección 510 de cola de entrada flexible que contiene ocho fibras ópticas 505, y equipadas con un casquillo 515 de conector óptico MT8. Al entrar en la placa 500, cada una de las ocho fibras ópticas 505 sigue trayectorias curvas de manera diferente para conectar con uno de ocho divisores ópticos 520 de cuatro vías, proporcionando cada divisor 520 cuatro fibras 525 de salida a una fibra 505 de entrada, para que una fibra 525 de salida sea formada para cada haz por la red 410. Cada una de las cuatro fibras 525 de salida de los divisores ópticos 520 sigue entonces una trayectoria curvada de manera diferente a través de la placa a una de cuatro colas 530 de salida flexibles, para que sea formada una cola 530 de salida para cada uno de los cuatro haces. Una fibra 525 que sale de cada divisor 520, y, por lo tanto, una fibra en la trayectoria óptica desde cada elemento 100 de antena, entra en cada una de las colas 530 de salida flexibles de modo que ocho fibras se juntan en cada cola 530 de salida. Un casquillo 535 de conector óptico MT8 estándar está unido al extremo de cada cola 530 de salida flexible.

Las trayectorias curvadas seguidas por las fibras ópticas 505 y 525 se forman cuidadosamente en el material de la placa de modo que la longitud total de la trayectoria óptica para cada uno de los ocho conjuntos de fibras 505, 525 con relación a un haz particular, desde el punto de entrada en el conector 515 al punto de salida en el conector 535 de cola de salida respectivo, es la misma. Sin embargo, la longitud total de la trayectoria para las fibras 505, 525 con relación a cada uno de los cuatro haces es diferente, según el retardo relativo requerido para formar cada haz.

Con referencia a la Figura 6, se proporciona una vista en perspectiva de una sección, tomada perpendicularmente al plano en el que están dispuestas las fibras ópticas, a través de parte de una red 500 de formación de haz óptico de fibra en placa para ilustrar los rasgos estructurales principales de la placa 500. La placa 500 se monta usando un número de capas de material diferente según las características físicas requeridas de la placa. En esta realización preferida, haciendo uso de materiales conocidos a partir de la tecnología PCB, las fibras ópticas 605, 610, 615 están alojadas dentro de un patrón de surcos cortados en una primera lámina flexible de material 600 de poliimida, preferiblemente de más de dos veces el espesor de una fibra óptica (típicamente 0,76 mm). Tener más de dos veces el espesor de una fibra permite que una sección de doble profundidad del surco 620 sea cortada en el material 600, donde se requiere que una fibra, 610 por ejemplo, pase por debajo de otra fibra 615. Una capa 625 de recubrimiento adicional de material de poliimida flexible se une para cubrir las fibras ópticas introducidas en surcos en la primera capa 600. Para proporcionar rigidez mecánica sobre una proporción sustancial del área de la placa, una capa 630, 632 de un material compuesto de vidrio y epoxi se une a las caras expuestas de las capas 600, 625 de poliimida flexibles, respectivamente. Además de proporcionar rigidez, las capas 630, 632 de material compuesto de vidrio epoxi proporcionan profundidad adicional a la placa que permite que las cavidades 635 sean cortadas en la placa para acomodar dispositivos tales como divisores ópticos 638, como se requiere para la red 410 de formación de haz preferida de la presente invención.

Preferiblemente, una cola 640 de conector flexible está formada a partir de una sección de capas 600, 625 de poliimida unidas que no está unida a una capa 630, 632 de material compuesto de vidrio y epoxi, conservando así su flexibilidad. Un casquillo 645 de conector óptico estándar está unida al extremo de la cola 640 de conector flexible para proporcionar una conexión óptica a las fibras ópticas insertadas dentro de la cola 640. Esta técnica se usa para proporcionar las colas 510, 530 de entrada y salida flexibles respectivamente de la red 410 de fibra en placa preferida descritas anteriormente con referencia a la Figura 5. Opcionalmente, se pueden proporcionar capas 650 delgadas de enmascaramiento de cobre entre cada una de las capas de material como ayuda a la fabricación de la placa, proporcionando una barrera cuando se usan técnicas de corte por láser, por ejemplo, para asegurar la profundidad de corte correcta para las fibras ópticas 605, 610, 615 u otros componentes que han de ser encapsulados dentro de la placa. Se pueden usar técnicas de ataque químico estándar para grabar las secciones del enmascaramiento 650 de cobre donde se requiera para aumentar la profundidad de corte.

Con el fin de enfatizar ciertos rasgos ventajosos de la placa 500 de red de formación de haz óptico de fibra en placa preferida, se describirá a continuación con más detalle un proceso para fabricar tal placa, en particular la placa 500 descrita anteriormente con referencia a la Figura 5 y haciendo uso de los rasgos estructurales descritos anteriormente con referencia a la Figura 6, con referencia a esas mismas figuras. Sin embargo, estará claro que tal proceso no está limitado a la fabricación de redes de formación de haz del tipo descrito anteriormente y puede incluir otros componentes eléctricos y ópticos además de los requeridos para formar el diseño de red particular que se ha implementado como en la Figura 5.

(1) En primer lugar, se forma una lámina base uniendo una lámina de material 600 de poliimida flexible de un área suficiente para incluir las colas 510, 530 de entrada y salida flexibles requeridas y del espesor requerido, preferiblemente más de dos veces el espesor de las fibras ópticas 505, 525 que han de ser encapsuladas, a una lámina 630 de tamaño similar de un material compuesto de vidrio y epoxi usando un adhesivo epoxi u otra técnica de unión conocida. Una lámina de cubierta de la misma área que la lámina base se forma entonces de una manera similar a la lámina base usando una capa 625 delgada (0,125 mm) de material de poliimida que se une a una capa 632 de material compuesto de vidrio epoxi. Sin embargo, en aquellas regiones de la lámina base y de la lámina de cubierta en las que han de ser formadas las colas 510, 530 de entrada y salida flexibles, no debe haber unión entre las capas 600, 625 de poliimida y las capas 630, 632 de material compuesto de vidrio y epoxi de modo que las capas 630, 632 de material compuesto de vidrio epoxi se puedan cortar eventualmente para dejar las colas 510, 530 flexibles.

(2) Entonces se usa un equipo de mecanizado de control numérico por ordenador (CNC) para mecanizar directamente la superficie de poliimida de la lámina base para formar con precisión un patrón predeterminado de surcos de la misma profundidad, pero muy ligeramente menos anchos que el espesor nominal de las fibras ópticas 505, 525 que han de ser encapsuladas, con secciones cortas de dos veces la profundidad de una fibra óptica donde se requiere que se solapen las fibras 525. Preferiblemente, los surcos se cortan usando un láser CNC YAG de 355 nm de tres ejes. Las colas 510, 530 de entrada y salida flexibles también se forman usando el láser cortando secciones de la capa de poliimida para formar colas de la longitud correcta para cada haz. Preferiblemente, el diseño de los extremos de las colas 510, 530 flexibles coincide con precisión con el casquillo 515, 535 de conector óptico previsto que se unirá eventualmente. Convenientemente, se cortan escalones de referencia en los extremos de cada sección 510, 530 de cola en las láminas base y de cubierta para asegurar que el casquillo 515, 535 de conector óptico se puede unir con precisión en la posición correcta para mantener la longitud de trayectoria óptica de extremo a extremo prevista a través de la red 410.

(3) Se forman cavidades de una profundidad adecuada para alojar los divisores ópticos 520 u otros componentes tanto en la lámina base como en las posiciones correspondientes en la lámina de cubierta. Las cavidades se mecanizan convencionalmente. Convenientemente, se puede aplicar ahora una cinta de unión adhesiva de temperatura ambiente, tal como Tessa 4965, a la superficie de poliimida de la capa de cubierta y cortar de las cavidades.

- 5 (4) Convenientemente, la lámina base, con su patrón de surcos y cavidades, forma un banco óptico para montar los diversos componentes ópticos/eléctricos. Si se requiere, se pueden proporcionar pistas de cobre convencionales para proporcionar conexiones eléctricas a componentes insertados en las cavidades. Las fibras ópticas 505, 525 y los divisores ópticos 520 se ponen entonces en los surcos y cavidades respectivamente. Convenientemente, habiendo mecanizado la anchura de los surcos para que sea ligeramente menor que el diámetro nominal del revestimiento de la fibra, las fibras 505, 525 serán retenidas temporalmente por fricción a través de deformación del revestimiento de la fibra durante la duración del montaje.
- 10 (5) Una vez que todas las fibras ópticas y componentes de la red 410 de formación de haz han sido colocadas en sus surcos y cavidades respectivamente en la lámina base, la lámina de cubierta se alinea cuidadosamente y se une a la lámina base - superficie de poliimida a superficie de poliimida - para encapsular la red 410. En particular, se deben alinear con precisión los escalones de referencia en los extremos de cada sección 510, 530 de cola flexible. El proceso usado para unir la lámina de cubierta a la lámina base se debe seleccionar para asegurar que no se dañen las fibras y otros componentes ópticos. Preferiblemente se selecciona un adhesivo para la unión que se pueda usar a temperatura ambiente y no requiera una presión de unión significativa.
- 15 (6) Una vez que la lámina superior está unida a la lámina base, se pueden cortar las regiones de material de cubierta de composición de vidrio y epoxi, pero no se unen a, las secciones de material de poliimida que forma las colas 510, 530 de entrada y salida flexibles. De manera similar, cualesquiera regiones no usadas de la placa 500 que no tienen componentes dentro se pueden serrar para reducir el tamaño total de la placa 500. Con las colas 510, 530 flexibles ahora expuestas, se pueden unir los casquillos 515, 535 de conector óptico MT8 estándar a los extremos de las colas 510, 530 flexibles. Estos conectores 515, 535 deberían hacer tope en el escalón de referencia formado en el extremo de cada cola 510, 530 para mantener el control de la longitud de trayectoria óptica respectiva. El diseño de cola flexible está optimizado para la interconexión con el casquillo 515, 535. Si se requiere, se puede usar un pulido secundario del casquillo 515, 535 de conector para ajustar finamente el retardo de tiempo de la red 410, una vez que la longitud de la trayectoria óptica de la red 410 se ha medido con precisión.
- 20 (7) Para demostrar el rendimiento beneficioso de banda ancha de una agrupación de antenas y un aparato de formación y perfilado de haz asociado según las realizaciones preferidas de la presente invención, se incluyen algunos patrones de radiación como las Figuras 7, 8, 9 y 10 que muestran la distribución de potencia de campo lejano de la radiación esperada para cada uno de los cuatro haces a cuatro frecuencias de operación diferentes - 6GHz, 9GHz, 12GHz y 18GHz.
- 25 (8) Con referencia a las Figuras 7, 8, 9 y 10, se puede ver que una cobertura de un campo de visión de $\pm 45^\circ$ en acimut es alcanzable con cuatro haces a través de un rango de frecuencias de 6-18 GHz sin que aparezcan huecos significativos (es decir, por debajo de -3 dB) en la cobertura entre haces. También se ha encontrado a través de pruebas sobre el efecto de la vibración en el aparato, particularmente la vibración de una implementación 500 de fibra en placa de una red 410 de formación de haz según las realizaciones preferidas de la presente invención, que los efectos microfónicos inducidos se reducen sustancialmente en las señales analógicas transportadas por las fibras ópticas en comparación con las redes de formación de haz óptico de la técnica anterior. La implementación de fibra en placa preferida es por lo tanto particularmente adecuada para montar en vehículos terrestres, marítimos o aéreos conocidos que sufren altos niveles de vibración.
- 30 (9) Como beneficio adicional, se ha encontrado que una red 410 de formación de haz óptico implementada según las realizaciones preferidas de la presente invención no introduce ninguna pérdida de transmisión óptica adicional más allá de lo esperado de los componentes ópticos individuales y las interfaces de conector. Se supone que en un diseño particular de disposición de fibra óptica en una red 500 de formación de haz óptico de fibra en placa según las realizaciones preferidas de la presente invención que cualesquiera radios de curvatura en las fibras ópticas 505, 525 son mayores que el radio de curvatura mínimo especificado por el fabricante de esas fibras.
- 35 (10) Aunque se han descrito realizaciones preferidas de la presente invención en el contexto de una agrupación de antenas de 16 elementos y de cuatro haces, el aparato y los métodos descritos se pueden aplicar fácilmente a agrupaciones de antenas con números mayores o menores de elementos de antena y/o de haces.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato, para controlar la forma de los haces en el patrón de radiación de campo lejano de una agrupación de antenas de múltiples haces que tiene una pluralidad de elementos (100) de antena, teniendo la agrupación de antenas un rango de frecuencias de operación de banda ancha, estando caracterizado el aparato por medios (400) para aplicar un perfil de potencia independiente de la frecuencia no lineal predeterminado fijo a las señales con respecto a los elementos (100) de la antena y medios (405) para aplicar, en combinación con el perfil de potencia fijo, un perfil de retardo de tiempo independiente de la frecuencia no lineal predeterminado fijo a dichas señales, en donde los perfiles de potencia y de retardo de tiempo predeterminados fijos se seleccionan de manera que cuando se aplican en combinación a dichas señales, la forma de cada uno de los múltiples haces resultantes permanece sustancialmente constante a medida que se varía la frecuencia de dichas señales dentro del rango de frecuencias de operación de banda ancha de la antena.
2. El aparato según la Reivindicación 1, en donde el perfil de potencia predeterminado fijo y el perfil de retardo de tiempo predeterminado fijo son sustancialmente de forma parabólica.
3. El aparato según la Reivindicación 1 o la Reivindicación 2, en donde dichos medios (400) para aplicar un perfil de potencia independiente de la frecuencia no lineal predeterminado fijo comprende medios dispuestos para aplicar una mayor atenuación a la potencia de señales con respecto a elementos (100) de antena hacia el borde de la agrupación de antenas en comparación con la atenuación aplicada a la potencia de señales con respecto a elementos (100) hacia el centro de la agrupación de antenas.
4. El aparato según la Reivindicación 1, 2 o 3, en donde dichos medios (405) para aplicar un perfil de retardo de tiempo independiente de la frecuencia no lineal predeterminado fijo comprende medios dispuestos para aplicar un mayor retardo de tiempo a señales con respecto a elementos (100) de antena hacia el borde de la agrupación de antenas en comparación con el retardo de tiempo aplicado a señales con respecto a elementos (100) hacia el centro de la agrupación de antenas.
5. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dichas señales son señales ópticas y dichos medios (400) para aplicar el perfil de potencia independiente de la frecuencia fijo comprenden medios para ajustar la potencia de una señal portadora óptica con respecto a cada uno de los elementos (100) de antena según el perfil de potencia fijo.
6. El aparato según la Reivindicación 5, en donde dichos medios (405) para aplicar el perfil de retardo de tiempo independiente de la frecuencia fijo comprenden medios para encaminar una señal portadora óptica modulada con respecto a cada uno de la pluralidad de elementos (100) de antena sobre los caminos ópticos fijos respectivos de diferentes longitudes según el perfil de retardo de tiempo independiente de la frecuencia predeterminado fijo.
7. El aparato según la Reivindicación 6, comprendiendo además una red (410) de formación de haz óptico operable, además, para aplicar el perfil de retardo de tiempo fijo a señales ópticas que pasan a través de la red.
8. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el rango de frecuencias de operación de banda ancha de la antena se extiende desde 6 a 18 GHz.
9. Un método, para controlar la forma de los haces en el patrón de radiación de campo lejano de una agrupación de antenas de múltiples haces que tiene una pluralidad de elementos (100) de antena, teniendo la agrupación de antenas un rango de frecuencias de operación de banda ancha, estando caracterizado el método por los pasos de aplicación (400, 405) de un perfil de potencia independiente de la frecuencia no lineal predeterminado fijo en combinación un perfil de retardo de tiempo independiente de la frecuencia no lineal predeterminado fijo a las señales con respecto a elementos (100) de la antena, en donde los perfiles de potencia y de retardo de tiempo predeterminados fijos se seleccionan de manera que cuando se aplican en combinación con dichas señales, la forma de cada uno de los múltiples haces resultantes permanece sustancialmente constante a medida que se varía la frecuencia de dichas señales dentro del rango de frecuencias de operación de banda ancha de la antena.
10. El método según la Reivindicación 9, en donde los perfiles de potencia y de retardo de tiempo fijos son sustancialmente de forma parabólica.
11. Un método según la Reivindicación 9 o la Reivindicación 10, que comprende aplicar una mayor atenuación a la potencia de señales con respecto a elementos (100) de antena hacia el borde de la agrupación de antenas en comparación con la atenuación aplicada a las señales con respecto a los elementos (100) hacia el centro de la agrupación de antenas.
12. Un método según la Reivindicación 9, 10 u 11, que comprende aplicar un mayor retardo a señales con respecto a elementos (100) de antena hacia el borde de la agrupación de antenas en comparación con el retardo aplicado a señales con respecto a elementos (100) hacia el centro de la agrupación de antenas.

13. El método según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en donde dichas señales son señales ópticas y dicho perfil de potencia fijo se aplica ajustando la potencia de una señal de portadora láser con respecto a cada elemento (100) de la antena según dicho perfil de potencia fijo.
- 5 14. El método según la reivindicación 13, en donde dicho perfil de retardo de tiempo fijo se aplica encaminando una señal de portadora óptica modulada con respecto a cada uno de la pluralidad de elementos (100) de antena sobre los caminos ópticos fijos respectivos de diferentes longitudes según el perfil de retardo de tiempo fijo.
15. El método según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, en donde el rango de frecuencias de banda ancha de la antena se extiende desde 6 GHz a 18 GHz.
- 10 16. Una red de formación de haz para una agrupación de antenas de múltiples haces que tiene una pluralidad de elementos (100) de antena y un rango de frecuencias de operación de banda ancha, estando caracterizada la red de formación de haz por medios (400) para aplicar un perfil de potencia independiente de la frecuencia no lineal predeterminado fijo a señales con respecto a los elementos de la antena, y medios para aplicar, además de cualesquiera retardos de tiempo de formación de haz, un perfil de retardo de tiempo independiente de la frecuencia no lineal predeterminado fijo a dichas señales, en donde los perfiles de potencia y retardo de tiempo predeterminados fijos se seleccionan de manera que cuando se aplican en combinación con dichas señales, la forma de cada uno de los múltiples haces resultantes permanece sustancialmente constante a medida que se varía la frecuencia de dichas señales dentro del rango de frecuencias de operación de banda ancha de la antena.
- 15

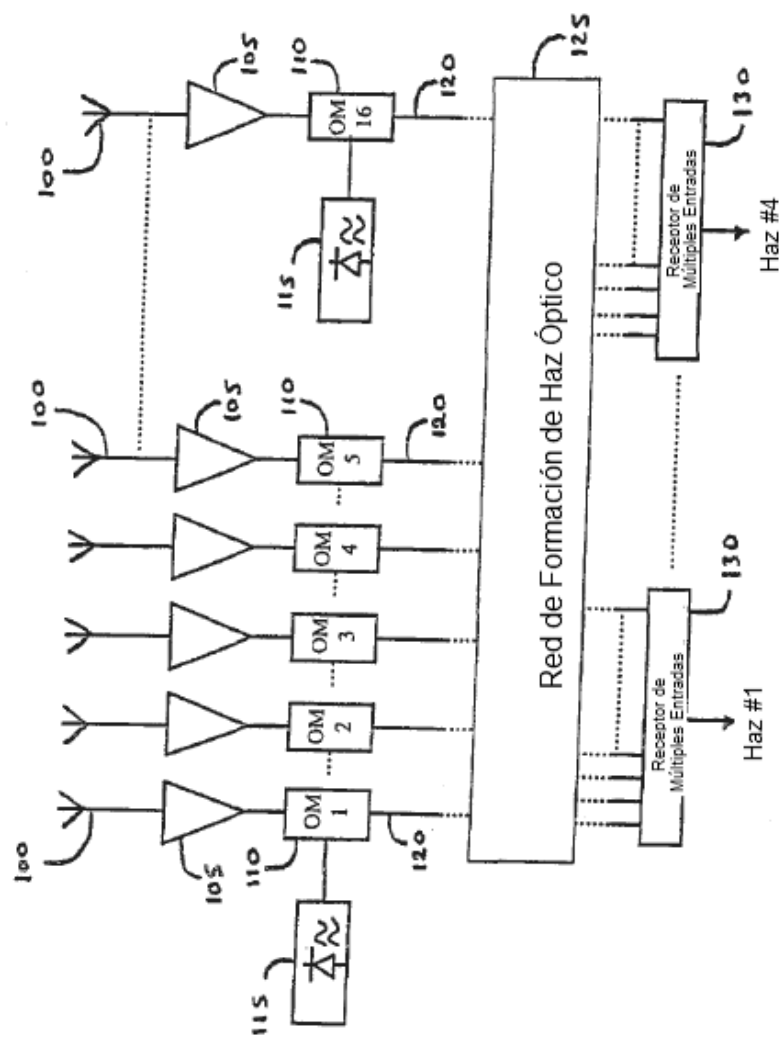


Figura 1

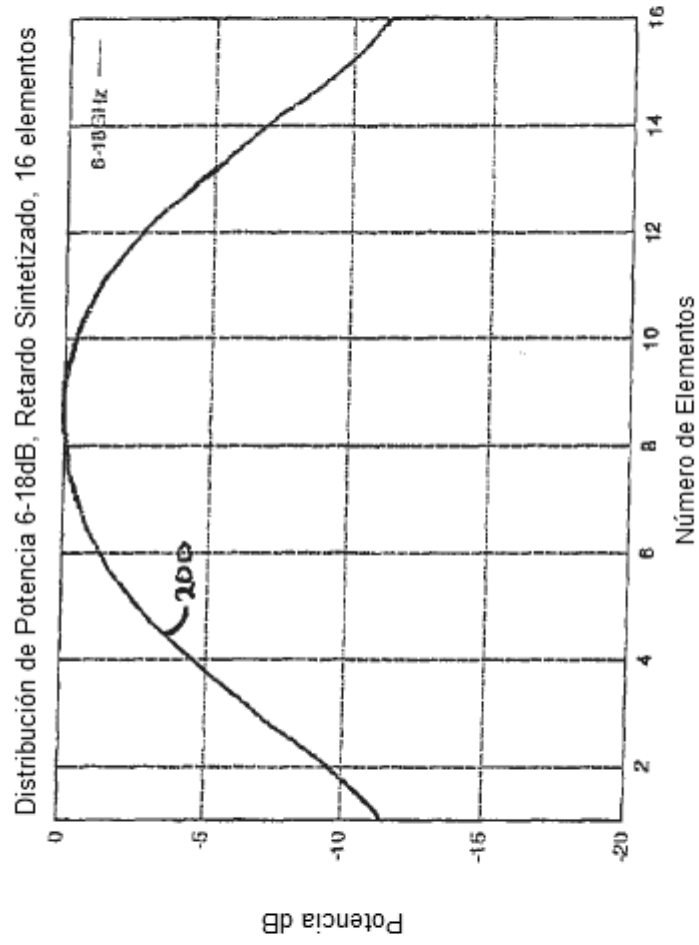


Figura 2

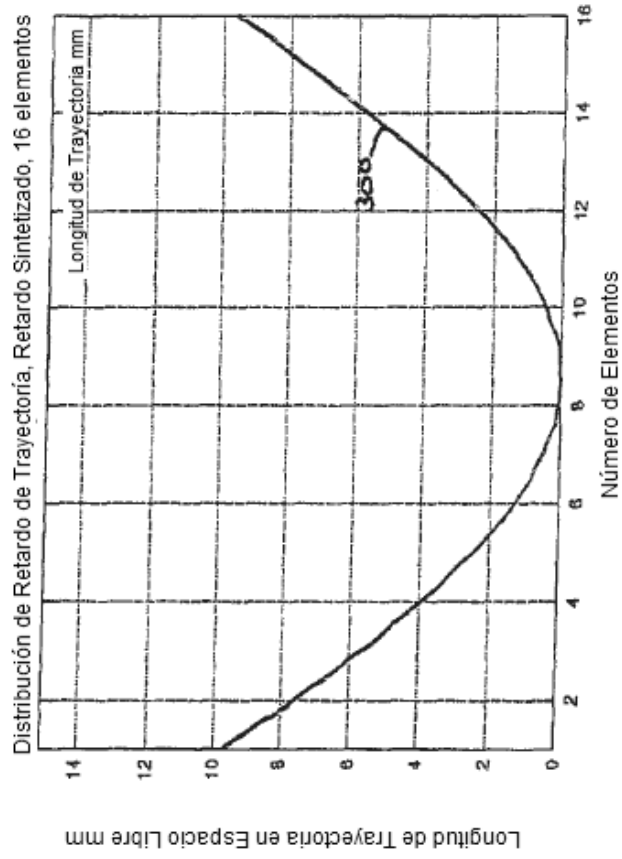


Figura 3

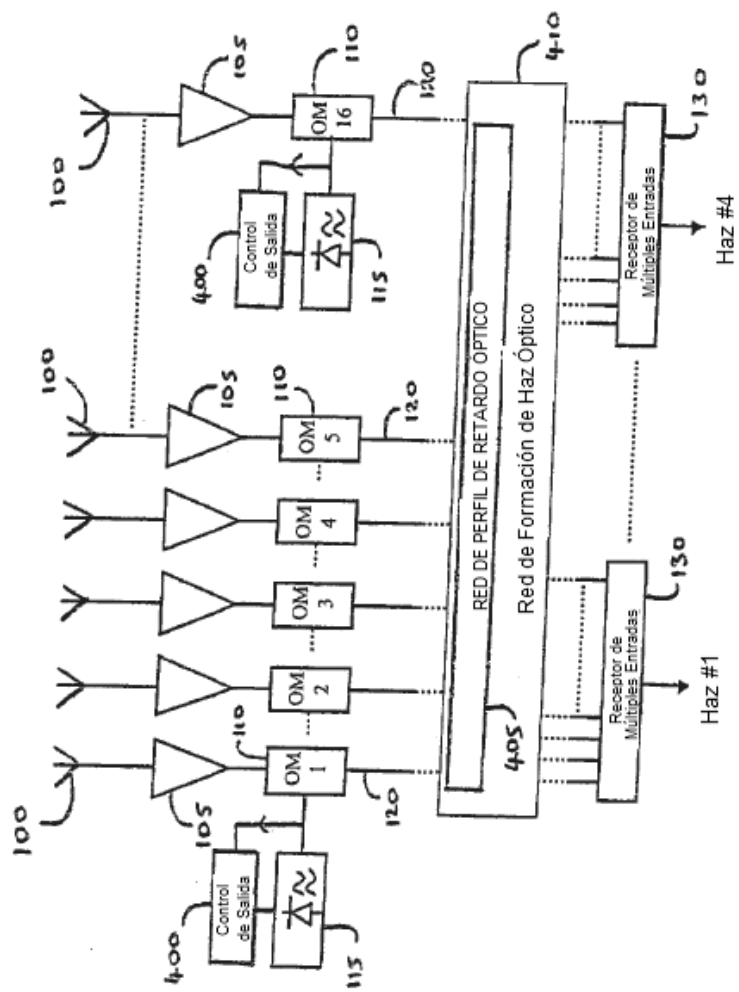


Figura 4

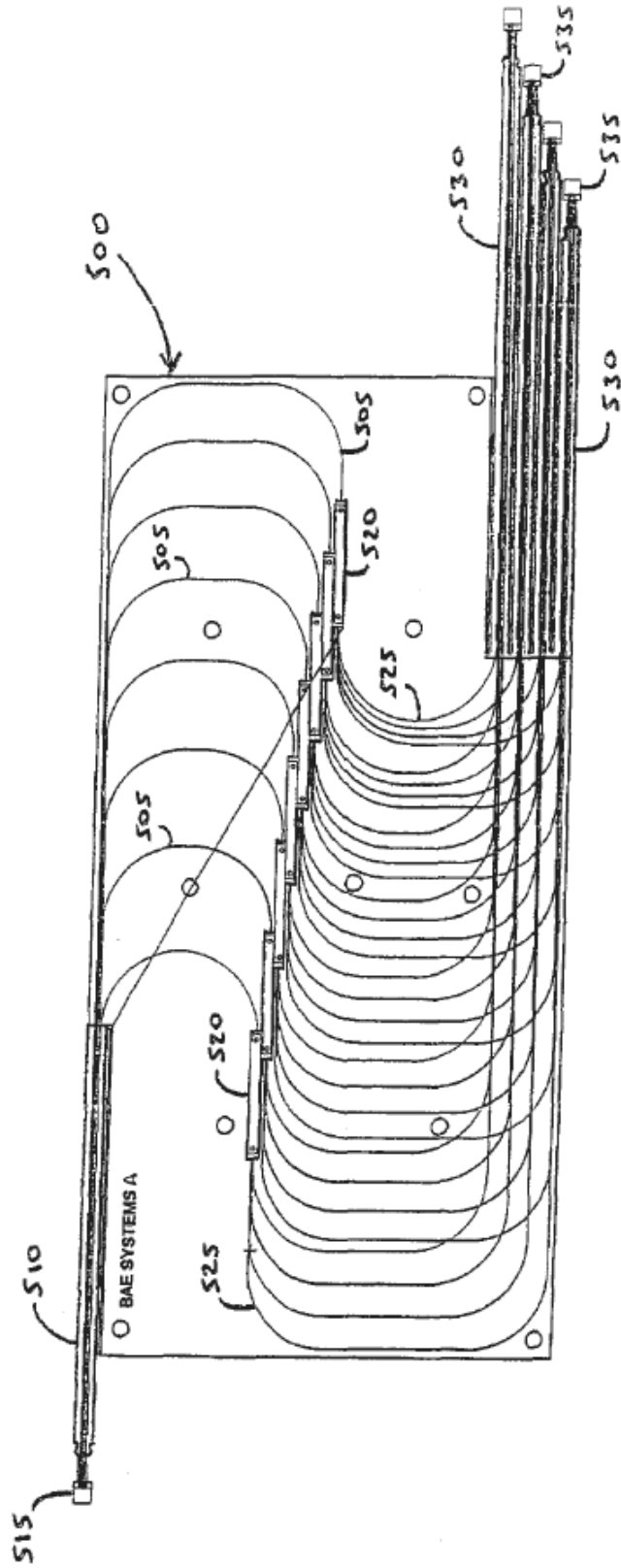


Figura 5

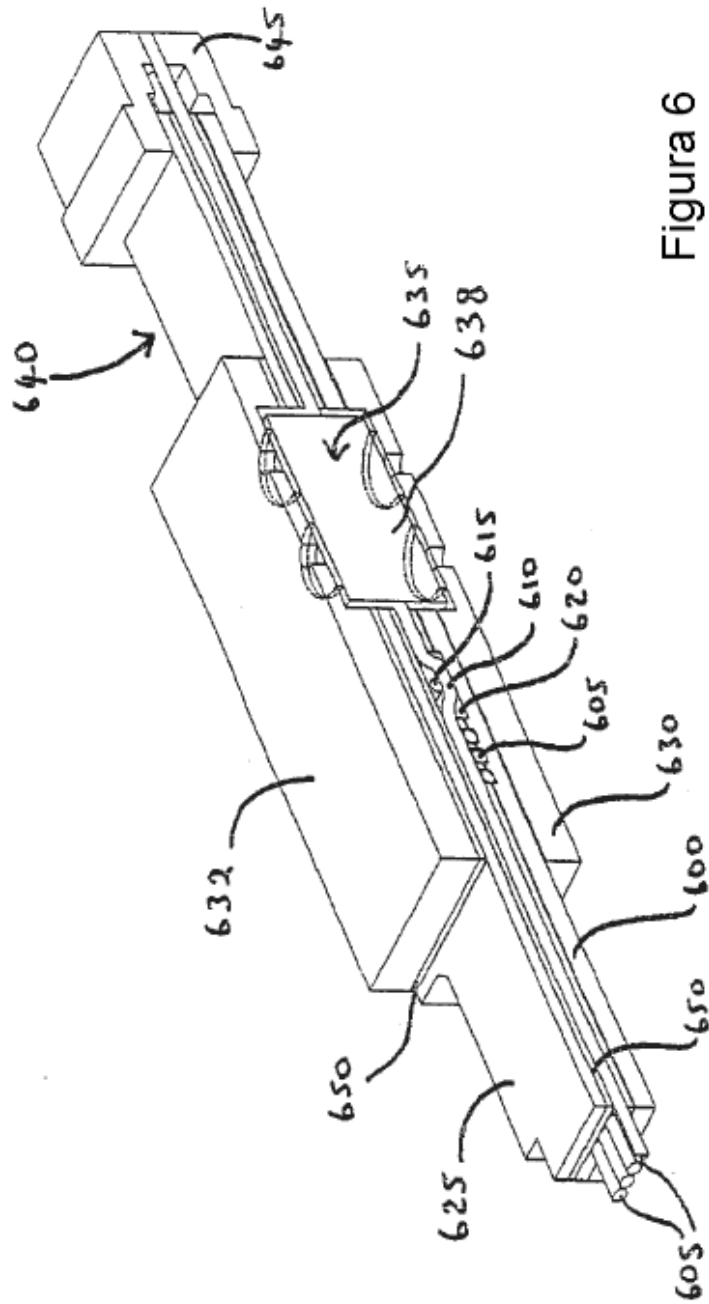


Figura 6

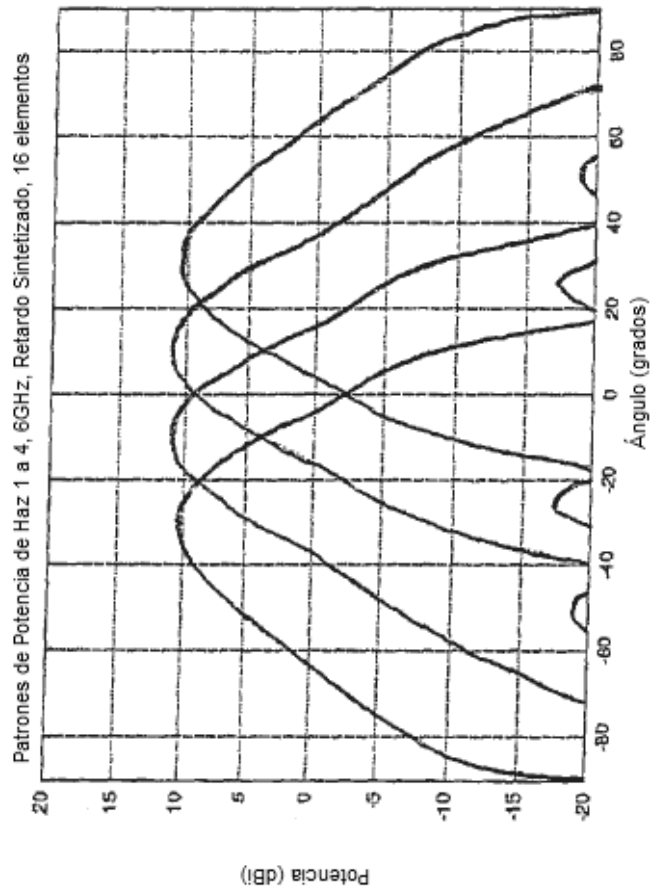


Figura 7

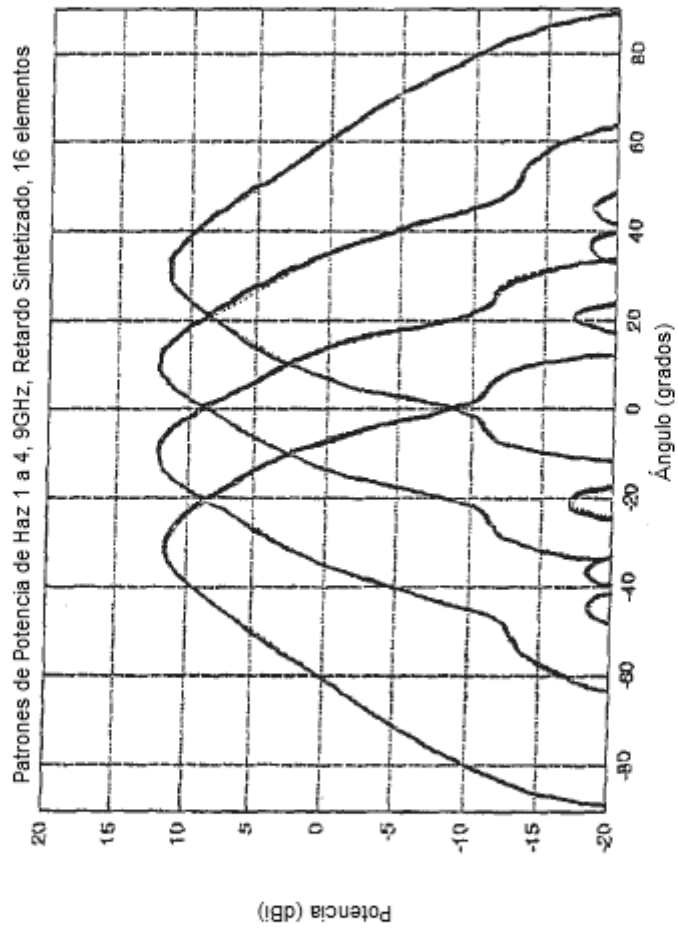


Figura 8

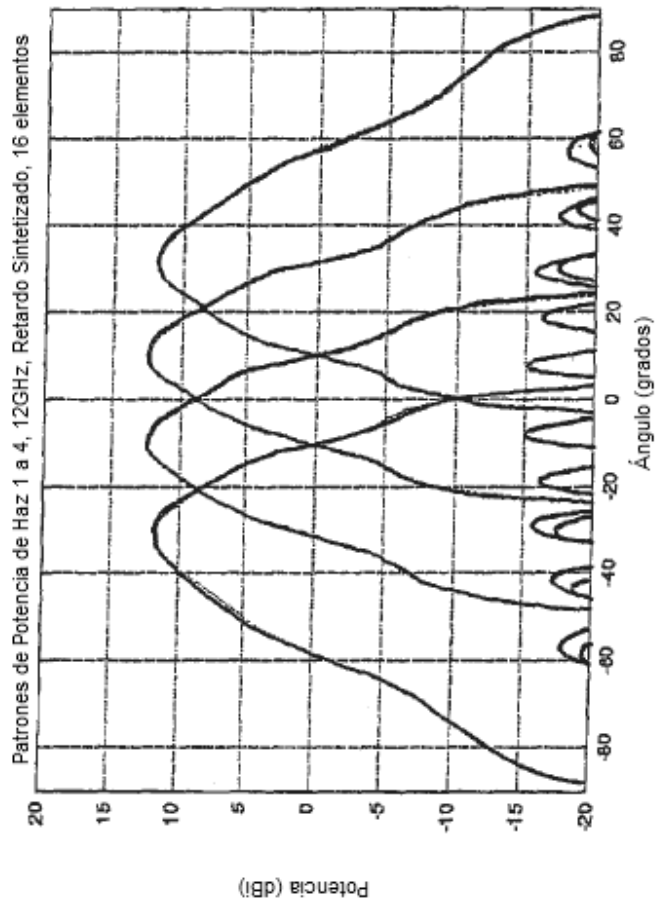


Figura 9

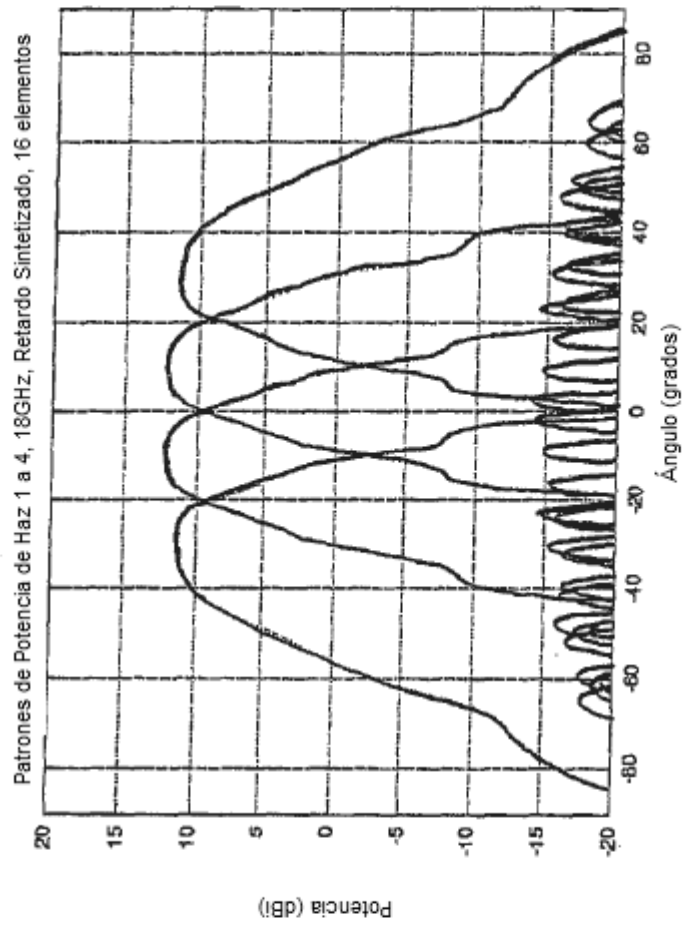


Figura 10