

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 856 220**

51 Int. Cl.:

H01Q 21/00 (2006.01)
H01Q 9/04 (2006.01)
H01Q 21/06 (2006.01)
H01Q 3/24 (2006.01)
H01Q 3/28 (2006.01)
H01Q 21/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.01.2015** **PCT/US2015/012077**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.08.2015** **WO15126550**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.01.2015** **E 15751946 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.12.2020** **EP 3108538**

54 Título: **Polarización dinámica y control de acoplamiento para una antena holográfica alimentada de forma cilíndrica, orientable**

30 Prioridad:

19.02.2014 US 201461941801 P
21.11.2014 US 201414550178

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.09.2021

73 Titular/es:

KYMETA CORPORATION (100.0%)
12277 134th Court NE Suite 100
Redmond, Washington 98052, US

72 Inventor/es:

BILY, ADAM;
KUNDTZ, NATHAN y
JOHNSON, MIKALA

74 Agente/Representante:

LLAGOSTERA SOTO, María Del Carmen

ES 2 856 220 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

Polarización dinámica y control de acoplamiento para una antena holográfica alimentada de forma cilíndrica, orientable

CAMPO DE LA INVENCION

- 5 Las formas de realización de la presente invención se refieren al campo de las antenas; más en particular, las formas de realización de la presente invención se refieren a una antena que se alimenta cilíndricamente.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

- 10 Los productos Thinkom logran una polarización circular dual en la banda Ka utilizando enfoques basados en PCB, generalmente utilizando un acoplamiento transversal inclinado variable, o enfoque "VICTS" con dos tipos de rotación mecánica. El primer tipo rota un conjunto con respecto a otro y el segundo tipo rota ambos en azimut. Las principales limitaciones son el intervalo de escaneo (elevación entre 20 y 70 grados, no es posible la radiación transversal) y el rendimiento del haz (a veces limitado a solo Rx).

- 15 Ando et al., "Radial line slot antenna for 12 GHz DBS satellite reception" (Antena de ranura de línea radial para recepción de satélite DBS de 12 GHz), y Yuan et al., "Design and Experiments of a Novel Radial Line Slot Antenna for High-Power Microwave Applications" (Diseño y experimentos de una nueva antena de ranura de línea radial para aplicaciones de microondas de alta potencia), analizan varias antenas. La limitación de las antenas descritas en estos dos documentos es que el haz se forma solo en un ángulo estático. Las estructuras de alimentación descritas en la documentación están dobladas y son de doble capa, en que la primera capa acepta la alimentación de las clavijas e irradia la señal hacia los bordes, dobla la señal hacia la capa superior y a continuación la capa superior transmite desde la periferia al centro las ranuras fijas de excitación a lo largo de la trayectoria. Las ranuras se orientan habitualmente en pares ortogonales, proporcionando una polarización circular fija en transmisión y lo contrario en modo de recepción. Finalmente, un absorbedor elimina cualquier energía restante.

- 25 "Scalar and Tensor Holographic Artificial Impedance Surfaces" (Superficies de impedancia artificial holográfica escalar y tensorial), autores Fong, Colburn, Ottusch, Visser, Sievenpiper. Si bien Sievenpiper ha demostrado cómo se lograría una antena de escaneo dinámico, la fidelidad de polarización mantenida durante el escaneo es cuestionable. Esto se debe a que el control de polarización requerido depende de la impedancia tensorial requerida en cada elemento radiante. Esto se logra más fácilmente mediante la rotación de elementos. Pero a medida que la antena escanea, la polarización en cada elemento cambia y, por lo tanto, la rotación requerida también cambia. Dado que estos elementos son fijos y no se pueden rotar dinámicamente, no hay forma de escanear y mantener el control de polarización.

- 30 Los enfoques estándar de la industria para lograr antenas de escaneo de haz que tengan control de polarización habitualmente utilizan antenas parabólicas que giran mecánicamente o algún tipo de movimiento mecánico en combinación con la dirección de haz electrónico. La clase de opciones más cara es una antena de conjunto en fase completa. Las antenas parabólicas pueden recibir múltiples polarizaciones simultáneamente, pero requieren un cardán para escanear. Más recientemente, la combinación del movimiento mecánico en un eje con el escaneo electrónico en un eje ortogonal ha dado como resultado estructuras con una relación de aspecto alta que requieren menos volumen, pero sacrifican el rendimiento del haz o el control dinámico de polarización, como por ejemplo el sistema Thinkom.

- 40 Los enfoques anteriores utilizan una estructura de alimentación de guía de ondas y dispersor para alimentar las antenas. Sin embargo, los diseños de guías de onda tienen un cambio de impedancia cerca de la parte transversal (una separación de banda creada por estructuras periódicas de 1 longitud de onda); requieren la vinculación con CTE diferentes; tienen una pérdida óhmica asociada de la estructura de alimentación; y / o tienen miles de vías para extenderse al plano de tierra.

- 45 Se conocen antenas ejemplares a partir de Radu Marin: "Investigations on liquid crystal reconfigurable unit cells for mm-wave reflectarrays" (Investigaciones sobre celdas unitarias reconfigurables de cristal líquido para conjuntos reflectantes de onda mm", 1 de enero de 2008, JP H02 164108 A, JP 3 247155 B2 y JP H08 8640A.

RESUMEN DE LA INVENCION

- 50 De acuerdo con la presente invención, se proporciona una antena definida en la reivindicación 1. En el presente documento se describe un aparato para una antena alimentada de forma cilíndrica y un método para utilizar la misma. En una forma de realización, la antena comprende una alimentación de antena para introducir una onda de alimentación cilíndrica y un conjunto ranurado sintonizable acoplado a la alimentación de antena.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La presente invención se entenderá más completamente a partir de la descripción detallada que se proporciona a continuación y de los dibujos adjuntos de diversas formas de realización de la invención, que, sin embargo, no deben tomarse para limitar la invención a las formas de realización específicas, sino que son solo para explicación y comprensión.

5

La **Figura 1** ilustra una vista superior de una forma de realización de una alimentación coaxial que se utiliza para proporcionar una alimentación de ondas cilíndrica.

Las **Figuras 2A y 2B** ilustran vistas laterales de formas de realización de una estructura de antena alimentada cilíndricamente.

10

La **Figura 3** ilustra una vista superior de una forma de realización de una antena de conexión acoplada a una ranura, o difusor.

La **Figura 4** ilustra una vista lateral de una antena de conexión alimentada por ranura que es parte de un sistema de antena alimentada cíclicamente.

La **Figura 5** ilustra un ejemplo de un material dieléctrico en el que se lanza una onda de alimentación.

15

La **Figura 6** ilustra una forma de realización de una placa de iris que muestra ranuras y su orientación.

La **Figura 7** ilustra la manera en que se determina la orientación de una combinación de iris / conexión.

La **Figura 8** ilustra iris agrupados en dos conjuntos, con el primer conjunto girado a -45 grados con respecto al vector de alimentación de potencia y el segundo conjunto girado +45 grados con relación al vector de alimentación de potencia.

20

La **Figura 9** ilustra una forma de realización de una placa de conexión.

La **Figura 10** ilustra un ejemplo de elementos con conexiones en la Figura 9 que se determina que están apagados en la frecuencia de operación.

La **Figura 11** ilustra un ejemplo de elementos con conexiones en la Figura 9 que se determina que están encendidos en la frecuencia de operación.

25

La **Figura 12** ilustra los resultados del modelado de onda completa que muestran una respuesta de campo eléctrico a un patrón de control / modulación de encendido y apagado con respecto a los elementos de las Figuras 10 y 11.

La **Figura 13** ilustra la formación de haces utilizando una forma de realización de una antena alimentada de forma cilíndrica.

30

Las **Figuras 14A y 14B** ilustran conexiones y ranuras colocados en un patrón de panel.

Las **Figuras 15A-C** ilustran las conexiones y las ranuras asociadas colocadas en anillos para crear un diseño radial, un patrón de control asociado y la respuesta de antena resultante.

Las **Figuras 16A y 16B** ilustran la polarización circular a la derecha y la polarización circular a la izquierda, respectivamente.

35

La **Figura 17** ilustra una parte de una antena alimentada de forma cilíndrica que incluye una capa de vidrio que contiene las conexiones.

La **Figura 18** ilustra un ahusamiento lineal de un dieléctrico.

La **Figura 19A** ilustra un ejemplo de una onda de referencia.

La **Figura 19B** ilustra una onda de objeto generada.

40

La **Figura 19C** es un ejemplo del patrón de modulación sinusoidal resultante.

La **Figura 20** ilustra una forma de realización de antena alternativa en la que cada uno de los lados incluye una fase para hacer que una onda en movimiento se transmita desde una capa inferior a una capa superior.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA PRESENTE INVENCION

Las formas de realización de la invención incluyen una arquitectura de diseño de antena que alimenta la antena desde un punto central con una excitación (onda de alimentación) que se extiende de manera cilíndrica o concéntrica hacia afuera desde el punto de alimentación. La antena funciona colocando múltiples antenas de sub-apertura alimentadas cilíndricamente (por ejemplo, antenas de conexión) con la onda de alimentación. En una forma de realización alternativa, la antena se alimenta desde el perímetro hacia adentro, en lugar de desde el centro hacia afuera. Esto puede resultar útil, ya que contrarresta la disminución de la excitación de amplitud causada por la dispersión de energía de la apertura. La dispersión se produce de manera similar en ambas orientaciones, pero la conicidad natural causada por el enfoque de la energía en la onda de alimentación cuando viaja desde el perímetro hacia adentro contrarresta la conicidad decreciente causada por la dispersión deseada.

Las formas de realización de la invención incluyen una antena holográfica basada en duplicar la densidad habitualmente requerida para lograr la holografía y llenar la abertura con dos tipos de conjuntos de elementos ortogonales. En una forma de realización, un conjunto de elementos está orientado linealmente a +45 grados con relación a la onda de alimentación, y el segundo conjunto de elementos está orientado a -45 grados con relación a la onda de alimentación. Ambos tipos están iluminados por la misma onda de alimentación, que, en una forma, es un modo de placa paralela lanzada por una alimentación de clavija coaxial.

En la siguiente descripción, se exponen numerosos detalles para proporcionar una explicación más completa de la presente invención. Sin embargo, resultará evidente para un experto en la técnica que la presente invención se puede poner en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, las estructuras y dispositivos bien conocidos se muestran en forma de diagrama de bloques, en lugar de en detalle, con el fin de evitar oscurecer la presente invención.

Algunas partes de las descripciones detalladas que siguen se presentan en términos de algoritmos y representaciones simbólicas de operaciones en bits de datos dentro de la memoria de una computadora. Estas descripciones y representaciones algorítmicas son los medios utilizados por los expertos en las técnicas de procesamiento de datos para transmitir de manera más eficaz el contenido de su trabajo a otros expertos en la técnica. Aquí, y en general, se concibe un algoritmo como una secuencia autoconsistente de pasos que conducen a un resultado deseado. Los pasos son los que requieren manipulaciones físicas de cantidades físicas. Por lo general, aunque no necesariamente, estas cantidades toman la forma de señales eléctricas o magnéticas que se pueden almacenar, transferir, combinar, comparar y manipular de otra manera. En ocasiones ha resultado conveniente, principalmente por razones de uso común, referirse a estas señales como bits, valores, elementos, símbolos, caracteres, términos, números o similares.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que todos estos y otros términos similares deben asociarse con las cantidades físicas apropiadas y son simplemente etiquetas convenientes aplicadas a estas cantidades. A menos que se indique específicamente lo contrario tal como resulta evidente en la siguiente descripción, se aprecia que a lo largo de la descripción, las definiciones que utilizan términos como "procesar" o "computar" o "calcular" o "determinar" o "mostrar" o similares, se refieren a la acción y procesos de un sistema informático, o dispositivo informático electrónico similar, que manipula y transforma datos representados como cantidades físicas (electrónicas) dentro de los registros y memorias del sistema informático en otros datos representados de manera similar como cantidades físicas dentro de las memorias o registros del sistema informático u otros tales dispositivos de almacenamiento, transmisión o visualización de información.

Descripción General de un Ejemplo del Sistema de Antena

Se describen formas de realización de un sistema de antena de metamaterial para estaciones terrestres de satélites de comunicaciones. En una forma de realización, el sistema de antena es un componente o subsistema de una estación terrestre / satélite (ES) que opera en una plataforma móvil (por ejemplo, aeronáutica, marítima, terrestre, etc.) que opera utilizando frecuencias de banda Ka o frecuencias de banda Ku para comunicaciones civiles comerciales por satélite. Debe tenerse en cuenta que las formas de realización del sistema de antena también se pueden utilizar en estaciones terrestres que no están en plataformas móviles (por ejemplo, estaciones terrestres fijas o transportables).

En una forma de realización, el sistema de antena utiliza tecnología de metamaterial de dispersión de superficie para formar y dirigir haces de transmisión y recepción a través de antenas separadas. En una forma de realización, los sistemas de antenas son sistemas analógicos, en contraste con los sistemas de antenas que emplean procesamiento de señales digitales para formar y dirigir eléctricamente haces (como por ejemplo antenas de red en fase).

En una forma de realización, el sistema de antena está compuesto por tres subsistemas funcionales: (1) una estructura de propagación de ondas que consta de una arquitectura de alimentación de ondas cilíndrica; (2) un conjunto de células unitarias de metamaterial de dispersión de ondas; y (3) una estructura de control para ordenar la formación de un campo de radiación ajustable (haz) a partir de los elementos de dispersión de metamateriales utilizando principios holográficos.

Ejemplos de Estructuras de Propagación de Ondas

La Figura 1 ilustra una vista superior de una forma de realización de una alimentación coaxial que se utiliza para proporcionar una alimentación de onda cilíndrica. Con referencia a la Figura 1, la alimentación coaxial incluye un conductor central y un conductor externo. En una forma de realización, la arquitectura de alimentación de onda cilíndrica alimenta la antena desde un punto central con una excitación que se extiende hacia afuera de manera cilíndrica desde el punto de alimentación. Es decir, una antena alimentada cilíndricamente crea una onda de alimentación concéntrica que viaja hacia afuera. Aun así, la forma de la antena de alimentación cilíndrica alrededor de la alimentación cilíndrica puede ser circular, cuadrada o de cualquier forma. En otra forma de realización, una antena alimentada de forma cilíndrica crea una onda de alimentación que se desplaza hacia el interior. En tal caso, la onda de alimentación proviene en la mayor parte de los casos de una estructura circular.

La Figura 2A ilustra una vista lateral de una forma de realización de una estructura de antena alimentada de forma cilíndrica. La antena produce una onda que viaja hacia el interior utilizando una estructura de alimentación de doble capa (es decir, dos capas de una estructura de alimentación). En una forma de realización, la antena incluye una forma exterior circular, aunque esto no es necesario. Es decir, se pueden utilizar estructuras no circulares que se desplacen hacia el interior. En una forma de realización, la estructura de antena de la Figura 2A incluye la alimentación coaxial de la Figura 1.

Con referencia a la Figura 2A, se utiliza una clavija coaxial 201 para excitar el campo en el nivel inferior de la antena. En una forma de realización, la clavija coaxial 201 es una clavija coaxial de 50 Ω que se encuentra fácilmente disponible. La clavija coaxial 201 está acoplada (por ejemplo, atornillada) a la parte inferior de la estructura de la antena, que es el plano de tierra 202 conductor.

Separado del plano de tierra 202 conductor se encuentra el conductor intersticial 203, que es un conductor interno. En una forma de realización, el plano de tierra 202 conductor y el conductor intersticial 203 son paralelos entre sí. En una forma de realización, la distancia entre el plano de tierra 202 y el conductor intersticial 203 es de 0,1 a 0,15 ". En otra forma de realización, esta distancia puede ser de $\lambda / 2$, donde λ es la longitud de onda de la onda que se transmite a la frecuencia de funcionamiento.

El plano de tierra 202 está separado del conductor intersticial 203 mediante un separador 204. En una forma de realización, el separador 204 es un separador de espuma o similar al aire. En una forma de realización, el separador 204 comprende un separador de plástico.

Encima del conductor intersticial 203 se encuentra la capa dieléctrica 205. En una forma de realización, la capa dieléctrica 205 es de plástico. La Figura 5 ilustra un ejemplo de un material dieléctrico en el que se lanza una onda de alimentación. El propósito de la capa dieléctrica 205 es ralentizar la onda que se transmite en relación con la velocidad del espacio libre. En una forma de realización, la capa dieléctrica 205 ralentiza la onda que se transmite en un 30% con respecto al espacio libre. En una forma de realización, el intervalo de índices de refracción que son adecuados para la formación de haces es de 1,2 a 1,8, en que el espacio libre tiene por definición un índice de refracción igual a 1. Para conseguir este efecto se pueden utilizar otros materiales separadores dieléctricos, como por ejemplo plástico. Debe tenerse en cuenta que se pueden utilizar materiales distintos al plástico siempre que logren el efecto de desaceleración de ondas deseado. Alternativamente, se puede usar un material con estructuras distribuidas como dieléctrico 205, como por ejemplo estructuras metálicas periódicas de sub-longitud de onda que se pueden mecanizar o definir litográficamente, por ejemplo.

Un conjunto de RF 206 se encuentra encima del dieléctrico 205. En una forma de realización, la distancia entre el conductor intersticial 203 y el conjunto de RF 206 es de 0,1 a 0,15 pulgadas. En otra forma de realización, esta distancia puede ser $\lambda_{eff} / 2$, en que λ_{eff} es la longitud de onda efectiva en el medio a la frecuencia de diseño.

La antena incluye los lados 207 y 208. Los lados 207 y 208 están en ángulo para hacer que una alimentación de onda progresiva desde la clavija coaxial 201 se propague desde el área debajo del conductor intersticial 203 (la capa separadora) al área sobre el conductor intersticial 203 (la capa dieléctrica) mediante reflexión. En una forma de realización, el ángulo de los lados 207 y 208 se encuentra en ángulos de 45 °. En una forma de realización alternativa, los lados 207 y 208 podrían reemplazarse por un radio continuo para lograr la reflexión. Si bien la Figura 2A muestra lados en ángulo que tienen un ángulo de 45 grados, se pueden utilizar otros ángulos que logran la transmisión de la señal desde la alimentación de nivel inferior a la alimentación de nivel superior. Es decir, dado que la longitud de onda efectiva en la alimentación inferior será generalmente diferente a la de la alimentación superior, se podría utilizar alguna desviación de los ángulos ideales de 45 ° para ayudar a la transmisión desde el nivel de alimentación inferior al superior. Por ejemplo, en otra forma de realización, los ángulos de 45 ° se reemplazan con un solo paso, tal como se muestra en la Figura 20. Con referencia a la Figura 20, los pasos 2001 y 2002 se muestran en un extremo de la antena alrededor de la capa dieléctrica 2005, el conductor intersticial 2003 y la capa separadora 2004. Los mismos dos pasos se encuentran en los otros extremos de estas capas.

En funcionamiento, cuando se alimenta una onda de alimentación desde la clavija coaxial 201, la onda se desplaza hacia afuera orientada concéntricamente desde la clavija coaxial 201 en el área entre el plano de tierra 202 y el conductor intersticial 203. Las ondas salientes concéntricas son reflejadas por los lados 207 y 208 y viajan hacia

adentro en el área entre el conductor intersticial 203 y el conjunto de RF 206. La reflexión desde el borde del perímetro circular hace que la onda permanezca en fase (es decir, es una reflexión en fase). La onda que se transmite es ralentizada por la capa dieléctrica 205. En este punto, la onda que se transmite comienza a interactuar y excitarse con elementos en el conjunto de RF 206 para obtener la dispersión deseada.

- 5 Para finalizar la onda que se transmite, se incluye una terminación 209 en la antena en el centro geométrico de la antena. En una forma de realización, la terminación 209 comprende una terminación de clavija (por ejemplo, una clavija de 50 Ω). En otra forma de realización, la terminación 209 comprende un absorbedor de RF que finaliza la energía no utilizada para evitar reflejos de esa energía no utilizada a través de la estructura de alimentación de la antena. Estos podrían utilizarse en la parte superior del conjunto de RF 206.
- 10 La Figura 2B ilustra otra forma de realización del sistema de antena con una onda saliente. Con referencia a la Figura 2B, dos planos de tierra 210 y 211 son sustancialmente paralelos entre sí con una capa dieléctrica 212 (por ejemplo, una capa de plástico, etc.) entre los planos de tierra 210 y 211. Los absorbedores de RF 213 y 214 (por ejemplo, resistencias) acoplan los dos planos de tierra 210 y 211. Una clavija coaxial 215 (por ejemplo, de 50 Ω) alimenta la antena. Un conjunto de RF 216 está encima de la capa dieléctrica 212.
- 15 En funcionamiento, una onda de alimentación se alimenta a través de la clavija coaxial 215 y se desplaza concéntricamente hacia fuera e interactúa con los elementos del conjunto de RF 216.

- 20 La alimentación cilíndrica en ambas antenas de las Figuras 2A y 2B mejora el ángulo de servicio de la antena. En lugar de un ángulo de servicio de más o menos cuarenta y cinco grados de azimut ($\pm 45^\circ$ Az) y más o menos veinticinco grados de elevación ($\pm 25^\circ$ El), en una forma de realización, el sistema de antena tiene un ángulo de servicio de setenta y cinco grados (75°) desde la vista del orificio en todas las direcciones. Al igual que sucede con cualquier antena de formación de haz compuesta por muchos radiadores individuales, la ganancia total de la antena depende de la ganancia de los elementos constituyentes, que a su vez dependen del ángulo. Cuando se utilizan elementos radiantes comunes, la ganancia total de la antena normalmente disminuye a medida que el haz apunta más lejos de la vista del orificio. A 75 grados de distancia de la vista del orificio, se espera una degradación significativa de la ganancia de aproximadamente 6 dB.
- 25

- 30 Las formas de realización de la antena que tienen una alimentación cilíndrica resuelven uno o más problemas. Estos incluyen simplificar drásticamente la estructura de alimentación en comparación con las antenas alimentadas con una red divisoria corporativa y, por lo tanto, reducir el volumen total requerido de antena y alimentación de antena; disminuir la sensibilidad a los errores de fabricación y control al mantener un alto rendimiento del haz con controles más exigentes (que se extienden hasta el control binario simple); proporcionar un patrón de lóbulos laterales más ventajoso en comparación con las alimentaciones rectilíneas ya que las ondas de alimentación orientadas cilíndricamente dan como resultado lóbulos laterales espacialmente diversos en el campo lejano; y permitir que la polarización sea dinámica, incluso permitir polarizaciones circulares a la izquierda, circulares a la derecha y lineales, sin requerir un polarizador.

35 Conjunto de Elementos de Dispersión de Ondas

- El conjunto de RF 206 de la Figura 2A y el conjunto de RF 216 de la Figura 2B incluyen un subsistema de dispersión de ondas que incluye un grupo de antenas de conexión (es decir, dispersores) que actúan como radiadores. Este grupo de antenas de conexión comprende un conjunto de elementos de metamaterial de dispersión.

- 40 En una forma de realización, cada elemento de dispersión en el sistema de antena es parte de una celda unitaria que consta de un conductor inferior, un sustrato dieléctrico y un conductor superior que incorpora un resonador eléctrico inductivo-capacitivo complementario ("LC eléctrico complementario" o "CELC") que está grabado o depositado sobre el conductor superior.

- 45 En una forma de realización, se inyecta un cristal líquido (LC) en el espacio alrededor del elemento de dispersión. El cristal líquido está encapsulado en cada celda unitaria y separa el conductor inferior asociado con una ranura de un conductor superior asociado con su conexión. El cristal líquido tiene una permitividad que es función de la orientación de las moléculas que comprenden el cristal líquido, y la orientación de las moléculas (y por tanto la permitividad) se puede controlar ajustando el voltaje de polarización a través del cristal líquido. Utilizando esta propiedad, el cristal líquido actúa como un interruptor de encendido / apagado para la transmisión de energía desde la onda guiada al CELC. Cuando se enciende, el CELC emite una onda electromagnética como una antena dipolo eléctricamente pequeña.
- 50

- 55 Controlar el grosor del LC aumenta la velocidad de conmutación del haz. Una reducción del cincuenta por ciento (50%) en el espacio entre el conductor inferior y el superior (el grosor del cristal líquido) da como resultado un aumento de cuatro veces la velocidad. En otra forma de realización, el grosor del cristal líquido da como resultado una velocidad de conmutación del haz de aproximadamente catorce milisegundos (14 ms). En una forma de realización, el LC se dopa de una manera bien conocida en la técnica para mejorar la capacidad de respuesta de modo que se pueda cumplir un requisito de siete milisegundos (7 ms).

El elemento CELC responde a un campo magnético que se aplica en paralelo al plano del elemento CELC y perpendicular al complemento del espacio CELC. Cuando se aplica un voltaje al cristal líquido en la celda unitaria de dispersión de metamaterial, el componente del campo magnético de la onda guiada induce una excitación magnética del CELC, que, a su vez, produce una onda electromagnética en la misma frecuencia que la onda guiada.

La fase de la onda electromagnética generada por un solo CELC puede seleccionarse por la posición del CELC en el vector de la onda guiada. Cada celda genera una onda en fase con la onda guiada paralela al CELC. Debido a que las CELC son más pequeñas que la longitud de onda, la onda de salida tiene la misma fase que la fase de la onda guiada cuando pasa por debajo del CELC.

En una forma de realización, la geometría de alimentación cilíndrica de este sistema de antena permite que los elementos CELC se coloquen en ángulos de cuarenta y cinco grados (45°) con respecto al vector de la onda en la alimentación de onda. Esta posición de los elementos permite controlar la polarización de la onda de espacio libre generada o recibida por los elementos. En una forma de realización, las CELC están dispuestas con una separación entre elementos que es menor que una longitud de onda de espacio libre de la frecuencia de funcionamiento de la antena. Por ejemplo, si hay cuatro elementos de dispersión por longitud de onda, los elementos en la antena de transmisión de 30 GHz serán de aproximadamente 2,5 mm (es decir, $1/4$ de la longitud de onda de espacio libre de 10 mm de 30 GHz).

En una forma de realización, los CELC se implementan con antenas de conexión que incluyen una conexión ubicada sobre una ranura con cristal líquido entre las dos. A este respecto, la antena de metamaterial actúa como una guía de ondas ranurada (dispersión). Con una guía de ondas ranurada, la fase de la onda de salida depende de la ubicación de la ranura en relación con la onda guiada.

La Figura 3 ilustra una vista superior de una forma de realización de una antena de conexión o elemento de dispersión. Con referencia a la Figura 3, la antena de conexión comprende una conexión 301 colocada sobre una ranura 302 con cristal líquido (LC) 303 entre la conexión 301 y la ranura 302.

La Figura 4 ilustra una vista lateral de una antena de conexión que forma parte de un sistema de antena de alimentación cíclica. Con referencia a la Figura 4, la antena de conexión está por encima del dieléctrico 402 (por ejemplo, un inserto de plástico, etc.) que está por encima del conductor intersticial 203 de la Figura 2A (o un conductor de tierra como por ejemplo en el caso de la antena en la Figura 2B).

Una placa de iris 403 es un plano de tierra (conductor) con una serie de ranuras, como por ejemplo la ranura 403a en la parte superior y sobre el dieléctrico 402. Una ranura puede denominarse en el presente documento iris. En una forma de realización, las ranuras en la placa de iris 403 se crean mediante grabado. Debe tenerse en cuenta que, en una forma de realización, la mayor densidad de ranuras, o las celdas de las que forman parte, es $\lambda/2$. En una forma de realización, la densidad de ranuras / celdas es $\lambda/3$ (es decir, 3 celdas por λ). Debe tenerse en cuenta que se pueden utilizar otras densidades de celdas.

Una placa de conexión 405 que contiene varias conexiones, como por ejemplo la conexión 405a, está ubicada sobre la placa de iris 403, separada por una capa dieléctrica intermedia. Cada una de las conexiones, como por ejemplo la conexión 405a, está ubicada junto con una de las ranuras en la placa de iris 403. En una forma de realización, la capa dieléctrica intermedia entre la placa de iris 403 y la placa de conexión 405 es una capa de sustrato de cristal líquido 404. El cristal líquido actúa como una capa dieléctrica entre cada conexión y su ranura coubicada. Debe tenerse en cuenta que se pueden utilizar capas de sustrato distintas de LC.

En una forma de realización, la placa de conexión 405 comprende una placa de circuito impreso (PCB) y cada conexión comprende metal en la PCB, en que se ha eliminado el metal alrededor de la conexión.

En una forma de realización, la placa de conexión 405 incluye vías para cada conexión que está en el lado de la placa de conexión opuesto al lado en que la conexión se encuentra frente a su ranura co-ubicada. Las vías se utilizan para conectar una o más trazas a una conexión con el fin de proporcionar voltaje a la conexión. En una forma de realización, la unidad de matriz se usa para aplicar voltaje a las conexiones para controlarlos. El voltaje se usa para sintonizar o des-sintonizar elementos individuales con el fin de efectuar la formación del haz.

En una forma de realización, las conexiones pueden estar depositadas sobre la capa de vidrio (por ejemplo, un vidrio que se usa habitualmente para pantallas de LC (LCD) como, por ejemplo, vidrio Corning Eagle), en lugar de usar una placa de conexión de circuito. La Figura 17 ilustra una parte de una antena alimentada de forma cilíndrica que incluye una capa de vidrio que contiene las conexiones. Con referencia a la Figura 17, la antena incluye una base conductora o capa de tierra 1701, una capa dieléctrica 1702 (por ejemplo, plástico), una placa de iris 1703 (por ejemplo, una placa de circuito) que contiene ranuras, una capa de sustrato de cristal líquido 1704 y una capa de vidrio 1705 que contiene conexiones 1710. En una forma de realización, las conexiones 1710 tienen forma rectangular. En una forma de realización, las ranuras y las conexiones están colocadas en filas y columnas, y la orientación de las conexiones es la misma para cada fila o columna, mientras que la orientación de las ranuras co-ubicadas está orientada de la misma manera entre sí para filas o columnas, respectivamente.

En una forma de realización, una tapa (por ejemplo, una tapa de radomo) cubre la parte superior de la pila de antenas de conexión para proporcionar protección.

La Figura 6 ilustra una forma de realización de la placa de iris 403. Este es un conductor inferior de los CELC. Con referencia a la Figura 6, la placa de iris incluye un conjunto de ranuras. En una forma de realización, cada ranura está orientada a +45 o -45 con respecto a la onda de alimentación que incide en la ubicación central de la ranura. En otras palabras, el patrón de disposición de los elementos de dispersión (CELC) está dispuesto a ± 45 grados con respecto al vector de la onda. Debajo de cada ranura se encuentra una abertura circular 403b, que es esencialmente otra ranura. La ranura está en la parte superior de la placa de iris y la abertura circular o elíptica está en la parte inferior de la placa de iris. Debe tenerse en cuenta que estas aberturas, que pueden tener aproximadamente 0,001" o 25 mm de profundidad, son opcionales.

El conjunto ranurado está cargado direccionalmente de forma sintonizable. Al activar o desactivar las ranuras individuales, cada ranura se sintoniza para proporcionar la dispersión deseada en la frecuencia operativa de la antena (es decir, se sintoniza para operar a una frecuencia determinada).

La Figura 7 ilustra la manera en que se determina la orientación de una combinación de iris (ranura) / conexión. Con referencia a la Figura 7, la letra A indica una flecha negra sólida que indica un vector de alimentación de energía desde una ubicación de alimentación cilíndrica hasta el centro de un elemento. La letra B denota líneas ortogonales discontinuas que muestran ejes perpendiculares con respecto a "A", y la letra C denota un rectángulo de trazos que rodea una ranura girada 45 grados con respecto a "B".

La Figura 8 ilustra los iris (ranuras) agrupados en dos conjuntos, con el primer conjunto girado a -45 grados con respecto al vector de alimentación de potencia y el segundo conjunto girado +45 grados con relación al vector de alimentación de potencia. Con referencia a la Figura 8, el grupo A incluye ranuras cuya rotación en relación con un vector de alimentación es igual a -45 °, mientras que el grupo B incluye ranuras cuya rotación en relación con un vector de alimentación es + 45 °.

Debe tenerse en cuenta que la designación de un sistema de coordenadas global no es importante y, por lo tanto, las rotaciones de ángulos negativos y positivos son importantes solamente porque describen rotaciones relativas de elementos entre sí y con la dirección de la onda de alimentación. Para generar polarización circular a partir de dos conjuntos de elementos polarizados linealmente, los dos conjuntos de elementos son perpendiculares entre sí y tienen simultáneamente una excitación de igual amplitud. Al rotarlos +/- 45 grados con respecto a la excitación de la onda de alimentación se logran las dos características deseadas a la vez. Girar un conjunto 0 grados y el otro 90 grados lograría el objetivo perpendicular, pero no el objetivo de excitación de amplitud igual.

La Figura 9 ilustra una forma de realización de la placa de conexión 405. Este es un conductor superior de los CELC. Con referencia a la Figura 9, la placa de conexión incluye conexiones rectangulares que cubren ranuras y completan pares resonantes de conexión / ranura polarizados linealmente para que se apaguen y enciendan. Los pares se encienden o apagan aplicando un voltaje a la conexión utilizando un controlador. El voltaje requerido depende de la mezcla de cristal líquido que se utilice, del voltaje umbral resultante requerido para comenzar a ajustar el cristal líquido y del voltaje de saturación máximo (más allá del cual ningún voltaje más alto produce ningún efecto excepto para eventualmente degradar o cortocircuitar a través del cristal líquido). En una forma de realización, la excitación de matriz se utiliza para aplicar voltaje a las conexiones con el fin de controlar el acoplamiento.

Control del Sistema de Antena

La estructura de control tiene 2 componentes principales; el controlador, que incluye electrónica de excitación, para el sistema de antena, se encuentra por debajo de la estructura de dispersión de ondas, mientras que el conjunto de conmutación de excitación matricial está intercalado por toda la red de RF radiante de tal manera que no interfiera con la radiación. En una forma de realización, la electrónica de excitación para el sistema de antena comprende controles LCD comerciales listos para usar que se utilizan en aparatos de televisión comerciales que ajustan el voltaje de polarización para cada elemento de dispersión ajustando la amplitud de una señal de polarización de CA a ese elemento.

En una forma de realización, el controlador controla la electrónica utilizando controles de software. En una forma de realización, el control de la polarización es parte del control de software de la antena y la polarización está preprogramada para coincidir con la polarización de la señal proveniente del servicio de satélite con el que la estación de tierra se está comunicando o está pre-programada para coincidir con la polarización de la antena receptora en el satélite.

En una forma de realización, el controlador también contiene un microprocesador que ejecuta el software. La estructura de control también puede incorporar sensores (que incluyen nominalmente un receptor GPS, una brújula de tres ejes y un acelerómetro) para proporcionar información de ubicación y orientación al procesador. La información de ubicación y orientación puede ser proporcionada al procesador por otros sistemas en la estación de tierra y / o puede no ser parte del sistema de antena.

Más específicamente, el controlador controla qué elementos están apagados y qué elementos están encendidos a la frecuencia de funcionamiento. Los elementos se desajustan selectivamente para la operación de frecuencia mediante la aplicación de voltaje. Un controlador suministra una serie de señales de voltaje a las conexiones de radiación de RF con el fin de crear una modulación o un patrón de control. El patrón de control hace que los elementos se enciendan o apaguen. En una forma de realización, el patrón de control se asemeja a una onda cuadrada en la que los elementos a lo largo de una espiral (LHCP o RHCP) están "encendidos" y los elementos alejados de la espiral están "apagados" (es decir, un patrón de modulación binaria). En otra forma de realización, se utiliza el control multiestado en el que varios elementos se encienden y apagan a niveles variables, aproximándose más a un patrón de control sinusoidal, en contraste con una onda cuadrada (es decir, un patrón de modulación de tono gris sinusoidal). Algunos elementos irradian con más fuerza que otros, en lugar de que algunos elementos irradian y otros no. La radiación variable se logra aplicando niveles de voltaje específicos, lo que ajusta la permitividad del cristal líquido a cantidades variables, desajustando de esta forma los elementos de manera variable y haciendo que algunos elementos irradian más que otros.

La generación de un haz enfocado por parte del conjunto de elementos de metamaterial puede explicarse por el fenómeno de la interferencia constructiva y destructiva. Las ondas electromagnéticas individuales suman (interferencia constructiva) si tienen la misma fase cuando se encuentran en el espacio libre y las ondas se cancelan entre sí (interferencia destructiva) si están en fase opuesta cuando se encuentran en el espacio libre. Si las ranuras en una antena ranurada se colocan de modo que cada ranura sucesiva se coloque a una distancia diferente del punto de excitación de la onda guiada, la onda dispersa de ese elemento tendrá una fase diferente a la onda dispersa de la ranura anterior. Si las ranuras están separadas un cuarto de una longitud de onda guiada, cada ranura dispersará una onda con un retraso de fase de un cuarto desde la ranura anterior.

Utilizando el conjunto, el número de patrones de interferencia constructiva y destructiva que se pueden producir se puede aumentar de modo que los haces puedan apuntar teóricamente en cualquier dirección más o menos noventa grados (90 °) desde la vista del orificio del conjunto de antena, utilizando los principios de la holografía. Por lo tanto, controlando qué celdas unitarias de metamaterial están encendidas o apagadas (es decir, cambiando el patrón de qué celdas están encendidas y cuáles están apagadas), se puede producir un patrón diferente de interferencia constructiva y destructiva, y la antena puede cambiar la dirección del frente de onda. El tiempo necesario para encender y apagar las celdas unitarias determina la velocidad a la que se puede cambiar el haz de una ubicación a otra.

La polarización y el ángulo en que apunta el haz están definidos por la modulación o el patrón de control que especifica qué elementos están activados o desactivados. En otras palabras, la frecuencia a la que se debe apuntar el haz y polarizarlo de la forma deseada depende del patrón de control. Dado que el patrón de control es programable, la polarización se puede programar para el sistema de antena. Los estados de polarización deseados son circulares o lineales para la mayoría de las aplicaciones. Los estados de polarización circular incluyen estados de polarización en espiral, es decir, polarización circular a la derecha y polarización circular a la izquierda, que se muestran en las Figuras 16A y 16B, respectivamente, para una onda de alimentación alimentada desde el centro y que tiene una trayectoria hacia afuera. Debe tenerse en cuenta que para obtener el mismo haz mientras se cambia la dirección de la alimentación (por ejemplo, pasar de una alimentación entrante a una saliente), la orientación, el sentido o el patrón de modulación en espiral se invierten. Debe tenerse en cuenta que la dirección de la onda de alimentación (es decir, alimentada por el centro o el borde) también se especifica cuando se indica que un patrón en espiral determinado de elementos de encendido y apagado da como resultado una polarización circular a la izquierda o a la derecha.

El patrón de control para cada haz se almacenará en el controlador o se calculará sobre la marcha, o alguna combinación de los mismos. Cuando el sistema de control de la antena determina dónde está ubicada la antena y hacia dónde apunta, a continuación, determina dónde está ubicado el satélite objetivo en referencia a la vista del orificio de la antena. El controlador ordena entonces un patrón de encendido y apagado de las celdas unitarias individuales en el conjunto que se corresponde con el patrón de haz preseleccionado para la posición del satélite en el campo de visión de la antena.

En una forma de realización, el sistema de antena produce un haz orientable para la antena de enlace ascendente y un haz orientable para la antena de enlace descendente.

La Figura 10 ilustra un ejemplo de elementos con conexiones en la Figura 9 que se determina que están apagadas con la frecuencia de operación, y la Figura 11 ilustra un ejemplo de elementos con conexiones en la Figura 9 que se determina que están encendidas en la frecuencia de operación. La Figura 12 ilustra los resultados del modelado de onda completa que muestra una respuesta de campo eléctrico al patrón de modulación de encendido y apagado con respecto a los elementos de las Figuras 10 y 11.

La Figura 13 ilustra la formación de haces. Con referencia a la Figura 13, el patrón de interferencia puede ajustarse para proporcionar patrones de radiación de antena arbitrarios identificando un patrón de interferencia correspondiente a un patrón de haz seleccionado y a continuación ajustando el voltaje a través de los elementos de dispersión para producir un haz de acuerdo con los principios de la holografía. El principio básico de la holografía, incluidos los términos "haz de objeto" y "haz de referencia", tal como se utilizan comúnmente en relación

con estos principios, es bien conocido. La holografía de RF en el contexto de la formación de un "haz de objeto" deseado utilizando una onda en movimiento como "haz de referencia" se tal realiza como sigue.

El patrón de modulación se determina tal como sigue. Primero, se genera una onda de referencia (haz), a veces llamada onda de alimentación. La Figura 19A ilustra un ejemplo de onda de referencia. Con referencia a la Figura 19A, los anillos 1900 son los frentes de fase de los campos eléctricos y magnéticos de una onda de referencia. Presentan variación de tiempo sinusoidal. La flecha 1901 ilustra la propagación hacia afuera de la onda de referencia.

En este ejemplo, una onda TEM, o electromagnética transversal, viaja hacia adentro o hacia afuera. La dirección de propagación también se define y, para este ejemplo, se elige la propagación hacia el exterior desde un punto de alimentación central. El plano de propagación se encuentra a lo largo de la superficie de la antena.

Se genera una onda de objeto, a veces llamada haz de objeto. En este ejemplo, la onda de objeto es una onda TEM que viaja en una dirección de 30 grados fuera de lo normal a la superficie de la antena, con el acimut establecido en 0 grados. La polarización también está definida y para este ejemplo se elige la polarización circular a la derecha. La Figura 19B ilustra una onda de objeto generada. Con referencia a la Figura 19B, se muestran las partes frontales de fase 1903 de los campos eléctricos y magnéticos de la onda TEM 1904 en propagación. Las flechas 1905 son los vectores de campo eléctrico en cada frente de fase, representados a intervalos de 90 grados. En este ejemplo, se adhieren a la elección de polarización circular de la derecha.

$$\text{Patrón de interferencia o modulación} = \text{Re} \{ [A] \times [B]^* \}$$

Cuando una senoide se multiplica por el complejo conjugado de otra senoide y se toma la parte real, el patrón de modulación resultante también es una senoide. Espacialmente, en el punto donde los máximos de la onda de referencia se encuentran con los máximos de la onda del objeto (en que ambas cantidades son sinusoidalmente variables en el tiempo), el patrón de modulación es un máximo o un punto fuertemente radiante. En la práctica, esta interferencia se calcula en cada ubicación de dispersión y depende no solo de la posición, sino también de la polarización del elemento en función de su rotación y de la polarización de la onda del objeto en la ubicación del elemento. La Figura 19C es un ejemplo del patrón de modulación sinusoidal resultante.

Debe tenerse en cuenta que se puede hacer una elección para simplificar el patrón de modulación de tono gris sinusoidal resultante en un patrón de modulación de onda cuadrada.

Debe tenerse en cuenta que el voltaje a través de los elementos de dispersión se controla ajustando el voltaje aplicado entre las conexiones y el plano de tierra, que en este contexto es la metalización en la parte superior de la placa de iris.

Formas de Realización Alternativas

En una forma de realización, las conexiones y las ranuras están colocadas en forma de panel. En las Figuras 14A y 14B se muestran ejemplos de dicho patrón. Con referencia a las Figuras 14A y 14B, las estructuras de panel son tales que cada dos filas se desplaza hacia la izquierda o hacia la derecha en la mitad del espacio entre elementos o, alternativamente, cada dos columnas se desplaza hacia arriba o hacia abajo la mitad del espacio entre elementos.

En una forma de realización, las conexiones y las ranuras asociadas se colocan en anillos para crear un diseño radial. En este caso, el centro de la ranura se coloca en los anillos. La Figura 15A ilustra un ejemplo de conexiones (y sus ranuras co-ubicadas) que se colocan en anillos. Con referencia a la Figura 15A, los centros de las conexiones y las ranuras están en los anillos y los anillos están ubicados concéntricamente con respecto al punto de alimentación o de terminación del conjunto de antenas. Debe tenerse en cuenta que las ranuras adyacentes ubicadas en el mismo anillo están orientadas casi a 90 ° entre sí (cuando se evalúan en su centro). Más específicamente, están orientadas en un ángulo igual a 90 ° más el desplazamiento angular a lo largo del anillo que contiene los centros geométricos de los 2 elementos.

La Figura 15B es un ejemplo de un patrón de control para un conjunto ranurado basada en anillos, tal como se muestra en la Figura 15A. Los campos cercanos y lejanos resultantes para un haz de 30 ° que apunta con LHCP se muestran en la Figura 15C, respectivamente.

En una forma de realización, la estructura de alimentación está configurada para controlar el acoplamiento con el fin de garantizar que la potencia que se irradia o dispersa sea aproximadamente constante a través de la apertura 2D completa. Esto se logra mediante la utilización de una conicidad de espesor lineal en el dieléctrico, o una conicidad análoga en el caso de una red de alimentación estriada, que causa menos acoplamiento cerca del punto de alimentación y más acoplamiento lejos del punto de alimentación. La utilización de un cono lineal a la altura de la alimentación contrarresta la caída de $1/r$ en la onda que se transmite a medida que se propaga desde el punto de alimentación al contener la energía en un volumen menor, lo que da como resultado un mayor porcentaje de la energía restante en la dispersión de alimentación de cada elemento. Esto es importante para crear una excitación de amplitud uniforme a través de la apertura. Para estructuras de alimentación no radialmente simétricas como por

ejemplo las que tienen una dimensión exterior cuadrada o rectangular, este ahusamiento se puede aplicar de una manera simétrica no radial para hacer que la potencia dispersada sea aproximadamente constante a través de la abertura. Una técnica complementaria requiere que los elementos se ajusten de manera diferente en el conjunto en función de lo alejados que estén del punto de alimentación.

- 5 Un ejemplo de un estrechamiento se implementa utilizando un dieléctrico en forma de lente de ojo de pez de Maxwell que produce un aumento inversamente proporcional en la intensidad de la radiación para contrarrestar la caída de $1/r$.

La Figura 18 ilustra un ahusamiento lineal de un dieléctrico. Con referencia a la Figura 18, se muestra un dieléctrico ahusado 1802 que tiene una alimentación coaxial 1800 para proporcionar una onda de alimentación concéntrica con el fin de ejecutar elementos (pares de conexión / iris) del conjunto de RF 1801. El dieléctrico 1802 (por ejemplo, plástico) se estrecha en altura desde la mayor altura cerca de la alimentación coaxial 1800 hasta una altura menor en los puntos más alejados de la alimentación coaxial 1800. Por ejemplo, la altura B es mayor que la altura A ya que está más cerca de la alimentación coaxial 1800.

- 10 De acuerdo con esta idea, en una forma de realización, los dieléctricos están formados con una forma simétrica no radial para enfocar la energía donde sea necesario. Por ejemplo, en el caso de una antena cuadrada alimentada desde un único punto de alimentación tal como se describe en este documento, la longitud de la trayectoria desde el centro hasta una esquina de un cuadrado es 1,4 veces más larga que desde el centro hasta el centro de un lado de un cuadrado. Por lo tanto, se debe enfocar más energía hacia las 4 esquinas que hacia los 4 puntos medios de los lados del cuadrado, y el coeficiente de dispersión de energía también debe ser diferente. La forma no radialmente simétrica de la alimentación y otras estructuras pueden cumplir con estos requisitos.

En una forma de realización, se apilan dieléctricos diferentes en una estructura de alimentación determinada para controlar la dispersión de energía desde la alimentación hasta la abertura cuando la onda irradia hacia afuera. Por ejemplo, la intensidad de la energía eléctrica o magnética se puede concentrar en un medio dieléctrico particular cuando se apilan más de 1 medio dieléctrico diferente uno encima del otro. Un ejemplo específico es el uso de una capa de plástico y una capa de espuma similar al aire cuyo espesor total es menor que $\lambda_{eff} / 2$ a la frecuencia de operación, lo que da como resultado una mayor concentración de energía de campo magnético en el plástico que la espuma similar al aire.

- 25 En una forma de realización, el patrón de control se controla espacialmente (activando menos elementos al principio, por ejemplo) para la des-sintonización de la conexión / iris con el fin de controlar el acoplamiento sobre la apertura y para dispersar más o menos energía dependiendo de la dirección de alimentación y la ponderación de excitación de apertura deseada. Por ejemplo, en una forma de realización, el patrón de control utilizado al principio enciende menos ranuras que el resto del tiempo. Por ejemplo, al principio, solo un cierto porcentaje de los elementos (por ejemplo, el 40%, el 50%) (pares de ranuras de conexión / iris) cerca del centro de la alimentación cilíndrica que se encenderán para formar un rayo se activan durante una primera etapa y a continuación se encienden las restantes que se encuentran más alejadas de la alimentación cilíndrica. En formas de realización alternativas, los elementos podrían encenderse continuamente desde la alimentación cilíndrica a medida que la onda se propaga alejándose de la alimentación. En otra forma de realización, una red de alimentación estriada reemplaza el separador dieléctrico (por ejemplo, el plástico del separador 205) y permite un control adicional de la orientación de la onda de alimentación que se propaga. Las aristas se pueden utilizar para crear una propagación asimétrica en la alimentación (es decir, el vector de Poynting no es paralelo al vector de onda) para contrarrestar la caída de $1/r$. De esta manera, la utilización de aristas dentro de la alimentación ayuda a dirigir la energía allí donde se necesita. Al dirigir más aristas y / o aristas de altura variable a áreas de baja energía, se crea una iluminación más uniforme en la apertura. Esto permite una desviación de una configuración de alimentación puramente radial debido a que la dirección de propagación de la onda de alimentación ya no puede estar orientada radialmente. Las ranuras sobre una arista se acoplan con fuerza, mientras que las ranuras entre las aristas se acoplan débilmente. Así, dependiendo del acoplamiento deseado (con el fin de obtener el haz deseado), el uso de aristas y la colocación de ranuras permiten el control del acoplamiento.

En otra forma de realización más, se utiliza una estructura de alimentación compleja que proporciona una iluminación de apertura que no es circularmente simétrica. Dicha aplicación podría ser una abertura cuadrada o generalmente no circular que se ilumina de manera no uniforme. En una forma de realización, se utiliza un dieléctrico no simétrico radialmente que suministra más energía a algunas regiones que a otras. Es decir, el dieléctrico puede tener áreas con diferentes controles dieléctricos. Un ejemplo de ello es una distribución dieléctrica que parece una lente de ojo de pez de Maxwell. Esta lente administraría diferentes cantidades de energía a diferentes partes del conjunto. En otra forma de realización, se utiliza una estructura de alimentación estriada para suministrar más energía a algunas regiones que a otras.

En una forma de realización, se encuentran dispuestas varias antenas de sub-apertura alimentadas de forma cilíndrica del tipo que se describe aquí. En una forma de realización, se utilizan una o más estructuras de alimentación adicionales. También en una forma de realización, se incluyen puntos de amplificación distribuidos. Por ejemplo, un sistema de antenas puede incluir múltiples antenas como por ejemplo las que se muestran en la Figura 2A o 2B en un conjunto. El sistema de conjunto puede ser de 3x3 (9 antenas en total), 4x4, 5x5, etc., pero

son posibles otras configuraciones. En dichas disposiciones, cada antena puede tener una alimentación separada. En una forma de realización alternativa, el número de puntos de amplificación puede ser menor que el número de alimentaciones.

Ventajas y Beneficios

5 *Rendimiento de Haz Mejorado*

Una ventaja de las formas de realización de la arquitectura de la presente invención es un mejor rendimiento del haz que las alimentaciones lineales. La conicidad natural incorporada en los bordes puede ayudar a lograr un óptimo rendimiento del haz.

10 En los cálculos del factor de conjunto, la máscara de FCC se puede cumplir desde una apertura de 40 cm con solo elementos de encendido y apagado.

Con la alimentación cilíndrica, las formas de realización de la invención no tienen oscilación de impedancia cerca de la banda transversal, no hay separación de banda creada por estructuras periódicas de 1 longitud de onda.

Las formas de realización de la invención no tienen problemas de modo difractivo cuando se escanea fuera de banda.

15 *Polarización Dinámica*

Hay (al menos) dos diseños de elementos que se pueden utilizar en la arquitectura descrita en el presente documento: elementos polarizados circularmente y pares de elementos polarizados linealmente. Utilizando pares de elementos polarizados linealmente, el sentido de polarización circular se puede cambiar dinámicamente retardando o avanzando la modulación aplicada a un conjunto de elementos en relación con el segundo. Para 20 lograr la polarización lineal, el avance de fase de un conjunto con respecto al segundo (conjunto físicamente ortogonal) será de 180 grados. Las polarizaciones lineales también se pueden sintetizar con solo cambios de patrón de elementos, proporcionando un mecanismo para rastrear la polarización lineal

Ancho de Banda Operativo

25 Los modos de operación de encendido y apagado tienen oportunidades para anchos de banda dinámicos e instantáneos extendidos dado que el modo de operación no requiere que cada elemento esté ajustado a una parte particular de su curva de resonancia. La antena puede operar de forma continua a través de partes de holograma de amplitud y fase de su intervalo sin un impacto significativo en el rendimiento. Esto coloca el intervalo operativo mucho más cerca del intervalo sintonizable total.

Son Posibles unas Separaciones más Pequeñas con Sustratos de Cuarzo / Vidrio

30 La estructura de alimentación cilíndrica puede aprovechar una arquitectura TFT, lo que implica funcionar sobre cuarzo o vidrio. Estos sustratos son mucho más duros que las placas de circuito y existen técnicas más conocidas para lograr tamaños de separación alrededor de 3 μm . Un tamaño de separación de 3 μm daría como resultado una velocidad de conmutación de 14 ms.

Reducción de la Complejidad

35 Las arquitecturas citadas que se describen en este documento no requieren trabajo de mecanizado y solamente una etapa de unión única en producción. Esto, combinado con el cambio a la electrónica de accionamiento TFT, elimina los materiales costosos y algunos requisitos estrictos.

40 Si bien muchas alteraciones y modificaciones de la presente invención sin duda resultarán evidentes para un experto en la técnica después de haber leído la descripción anterior, debe entenderse que cualquier forma de realización particular mostrada y descrita a modo de ilustración no tiene de ninguna manera la finalidad de ser considerada limitativa. Por lo tanto, las referencias a detalles de diversas formas de realización no pretenden limitar el alcance de las reivindicaciones que, en sí mismas, solo mencionan las características consideradas esenciales para la invención.

REIVINDICACIONES

1. Una antena que comprende:

un conjunto de guías de onda ranuradas sintonizables (206; 216) que comprende una pluralidad de elementos de antena de metamaterial de dispersión superficial;

una alimentación de antena (201) configurada para alimentar radialmente el conjunto de guías de onda ranuradas sintonizables (206; 216) con una onda de alimentación cilíndrica que se propaga concéntricamente desde la alimentación de antena (201);

una capa dieléctrica (205; 212; 402) dentro del conjunto de guías de onda ranuradas (206; 216) para propagar la onda de alimentación cilíndrica;

en que el conjunto comprende una capa de cristal líquido (404),

una pluralidad de ranuras (403) que forman parte de la pluralidad de elementos de antena de metamaterial de dispersión superficial, y

una pluralidad de conexiones (405A; 1710) que forman parte de la pluralidad de elementos de antena de metamaterial de dispersión de superficie, en que cada una de las conexiones (405A; 1710) está co-ubicada y separada de una ranura (403) en la pluralidad de ranuras (403) por la capa de cristal líquido (404) y que forman un par de conexión / ranura, en que cada par de conexión / ranura está configurado para apagarse o encenderse según la aplicación de un voltaje a la conexión (405A; 1710) en el par especificado por un patrón de control;

un controlador configurado para aplicar el patrón de control con el fin de controlar la pluralidad de elementos de antena de metamaterial de dispersión de superficie para generar un haz cuando la onda de alimentación cilíndrica interactúa con la pluralidad de elementos de antena de metamaterial de dispersión de superficie, en que cada elemento de antena de dispersión de superficie de la pluralidad de los elementos de antena de dispersión de superficie están configurados para ser sintonizados con el fin de proporcionar una dispersión deseada a una frecuencia determinada utilizando un voltaje del controlador para reconfigurar dinámicamente el haz, de modo que en el momento de la formación del haz, se pueda ajustar un patrón de interferencia para proporcionar patrones de radiación de antena arbitrarios identificando el patrón de interferencia correspondiente a un patrón de haz seleccionado y a continuación ajustando el voltaje a través de elementos de antena de metamaterial de dispersión de superficie para producir el haz; y

en donde el conjunto ranurado comprende además un sustrato de conexión (405; 1705) y un sustrato de iris (404), en que el sustrato de conexión (405; 1705) comprende la pluralidad de conexiones (405A; 1710) en un lado del sustrato de conexión (405; 1705) que se encuentra frente al sustrato de iris (404) y el sustrato de iris (404) que comprende la pluralidad de ranuras (403) en un lado superior del sustrato de iris (404), en que el sustrato de iris (404) comprende además aberturas circulares o elípticas (403B) debajo de la pluralidad de ranuras (403) en un lado inferior del sustrato de iris (404), en donde cada una de las conexiones de la pluralidad de conexiones (405A; 1710) está co-ubicada encima de y separada de una ranura de la pluralidad de ranuras (403), formando un par de conexión / ranura en una relación apilada con cada conexión (405A; 1710) y ranura (403) co-ubicadas y la abertura circular o elíptica (403B) debajo de la ranura (403), en que cada ranura (403) de la pluralidad de ranuras (403) está orientada a +45 grados o -45 grados con respecto a una dirección de propagación de la onda de alimentación cilíndrica, de modo que el conjunto ranurado incluye un primer conjunto de ranuras (403) girado +45 grados con respecto a la dirección de propagación de la onda de alimentación cilíndrica y un segundo conjunto de ranuras (403) girado -45 grados con relación a la dirección de propagación de la onda de alimentación cilíndrica.

2. La antena definida en la reivindicación 1, en que el controlador se puede operar para aplicar un patrón de control configurado para controlar qué pares de conexiones / ranuras están encendidos y apagados, provocando de esta forma la generación del haz, en donde el patrón de control está configurado para encender solo un subconjunto de los pares de conexión / ranura que se utilizan para generar el haz durante una primera etapa y a continuación encender los pares de conexión / ranura restantes que se utilizan para generar el haz durante una segunda fase.

3. La antena definida en la reivindicación 1, en que

la pluralidad de conexiones están colocadas en una pluralidad de anillos, en que la pluralidad de anillos está ubicada concéntricamente con respecto a la alimentación de antena del conjunto de guías de onda ranuradas (206; 216), o la pluralidad de conexiones (1710) se depositan sobre una capa de vidrio (1705).

4. La antena definida en la reivindicación 1, que comprende, además:

un plano de tierra (202);

una clavija coaxial (201) acoplada al plano de tierra (202) y configurada para introducir la onda de alimentación en la antena, en que la capa dieléctrica (205; 212; 402) se encuentra entre el plano de tierra (202) y el conjunto de guías de onda ranuradas (206; 216).

5. La antena definida en la reivindicación 4, que comprende además al menos un absorbedor de RF (219) acoplado al plano de tierra (202) y el conjunto de guías de onda ranuradas (216) y que está configurada para eliminar la energía no utilizada para evitar reflejos de la energía no utilizada a través de la antena.

6. La antena definida en la reivindicación 4, que comprende, además:

un conductor intersticial (203), en que la capa dieléctrica (205) se encuentra entre el conductor intersticial (203) y el conjunto de guías de onda ranuradas (206);

un separador (204) entre el conductor intersticial (203) y el plano de tierra (202); y

un área lateral (207) que acopla el plano de tierra (202) con el conjunto de guías de onda ranuradas (206).

7. La antena definida en la reivindicación 6, en que el área lateral (207) comprende dos áreas laterales en ángulo para hacer que la onda de alimentación se propague desde la capa separadora (204) de la alimentación a la capa dieléctrica (205) de la alimentación y en que preferiblemente la capa dieléctrica (205) es cónica, o la capa dieléctrica (205) incluye una pluralidad de áreas que tienen diferentes constantes dieléctricas.

8. La antena definida en la reivindicación 1, que comprende además una red de alimentación estriada configurada para propagar la onda de alimentación cilíndrica.

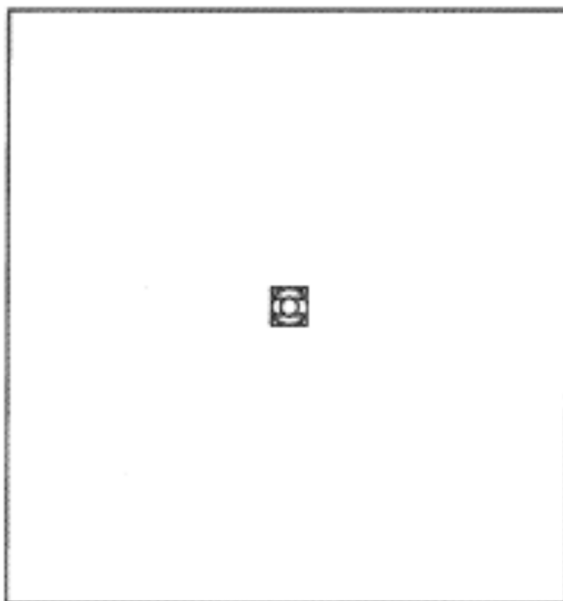


FIG. 1

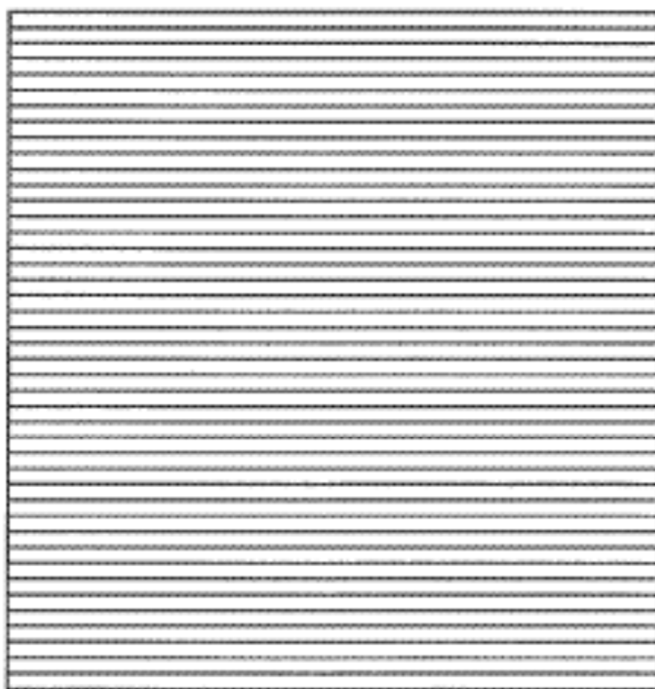


FIG. 5

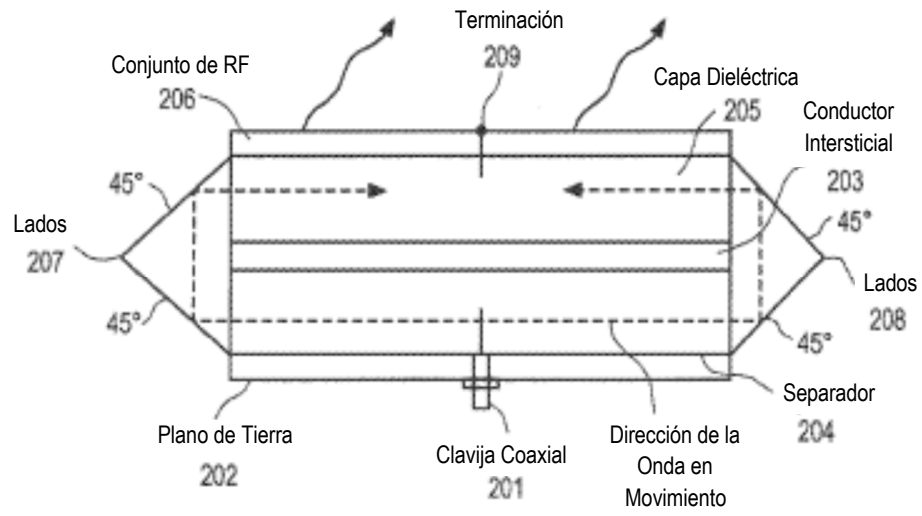


FIG. 2A

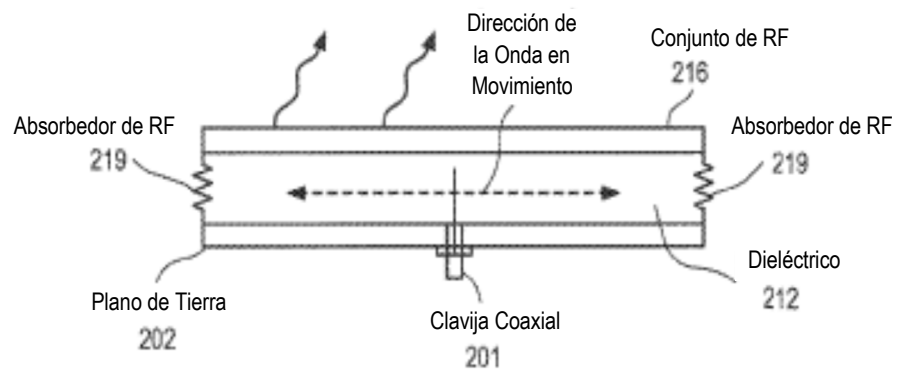


FIG. 2B

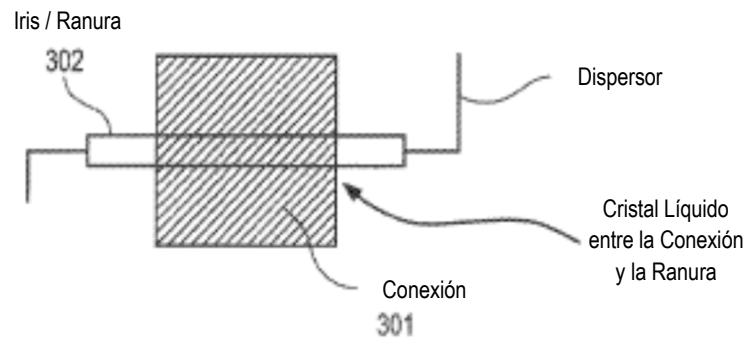


FIG. 3

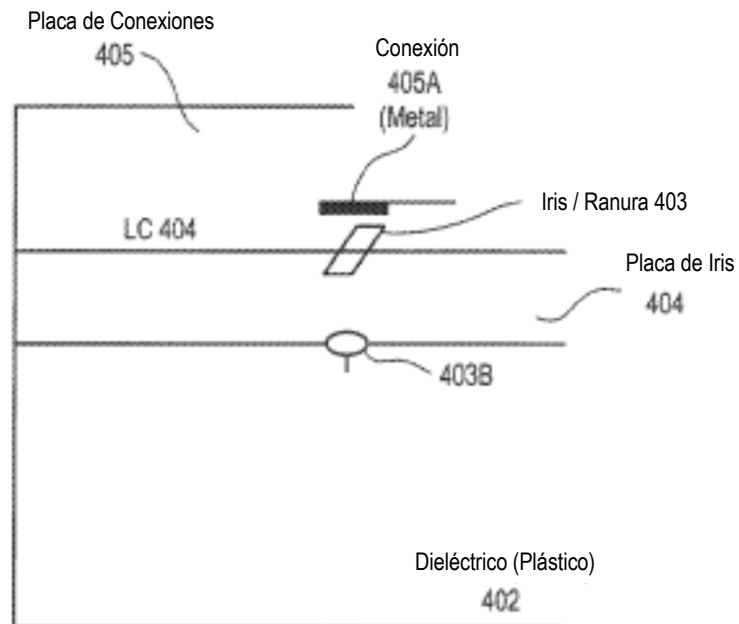


FIG. 4

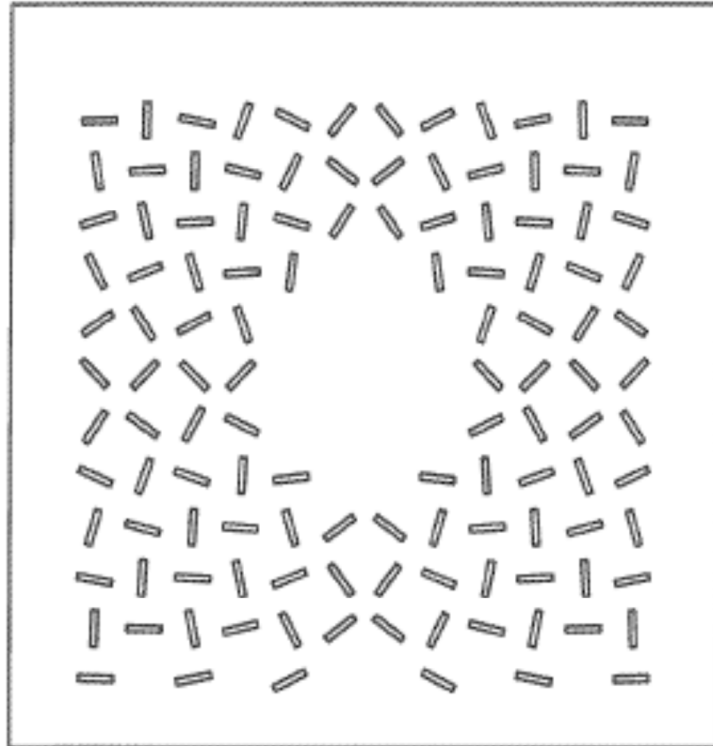
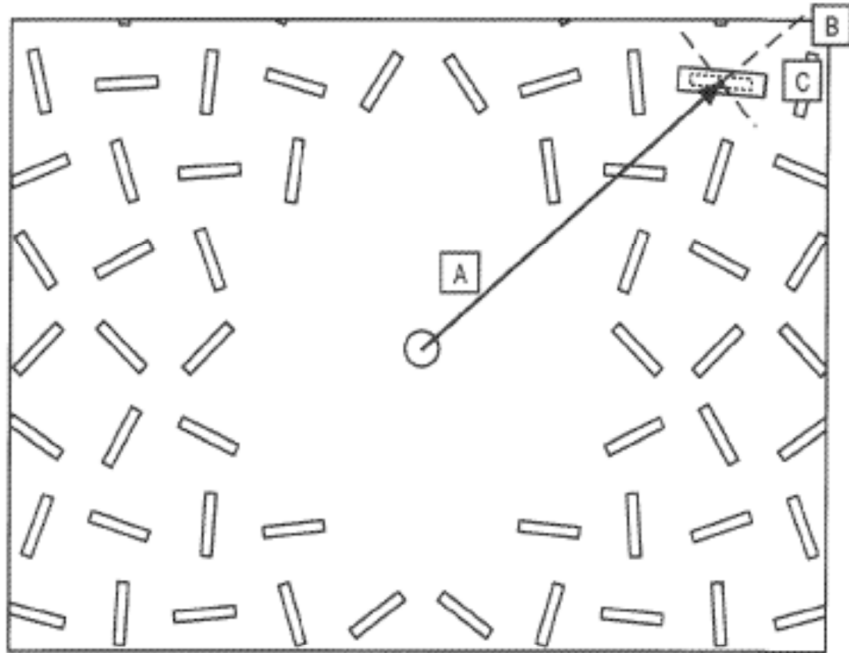
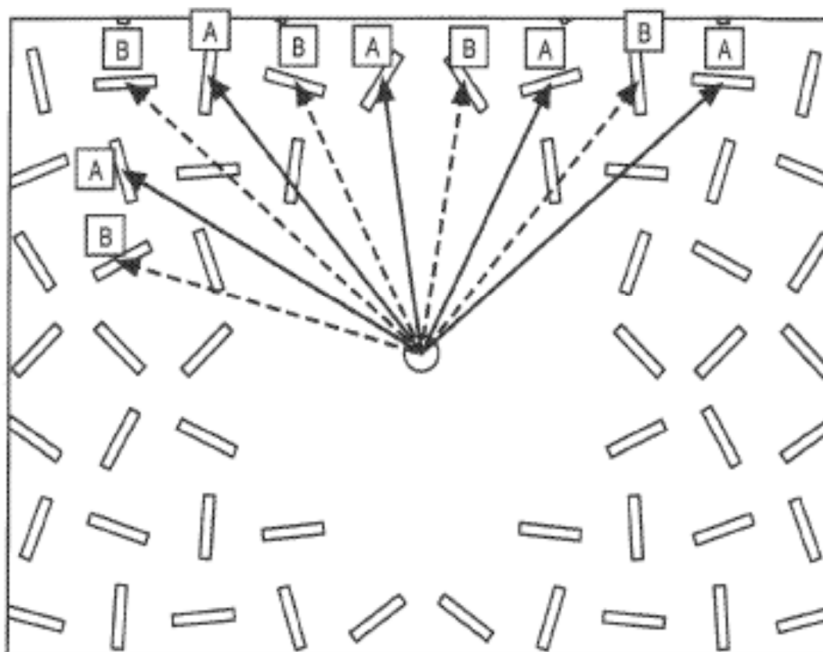


FIG. 6



A = Flecha negra sólida que indica vector de alimentación de potencia desde la ubicación de alimentación al centro del elemento
 B = Líneas discontinuas ortogonales que muestran ejes perpendiculares en relación con "A"
 C = Rectángulo discontinuo que rodea una ranura girada 45 grados en relación con "B".

FIG. 7



A = Elementos cuya rotación en relación con el vector de indicación de alimentación es igual a -45° , incluyendo el Grupo A
 B = Elementos cuya rotación en relación con el vector de indicación de alimentación es igual a $+45^\circ$, incluyendo el Grupo B

FIG. 8

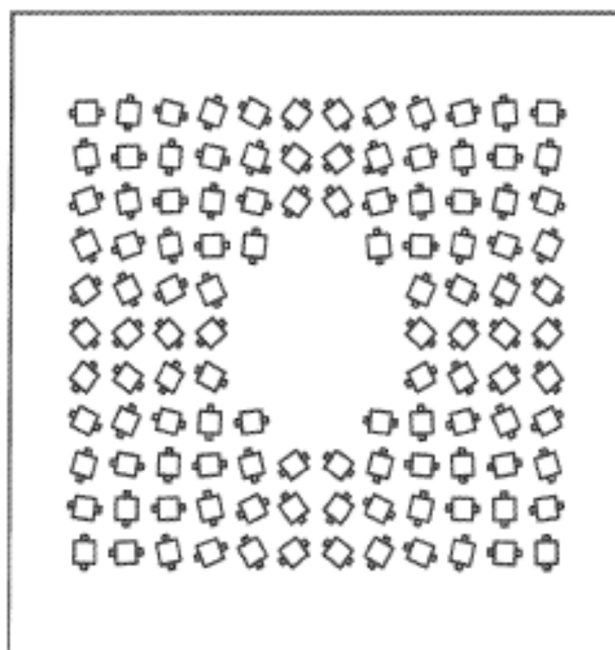


FIG. 9

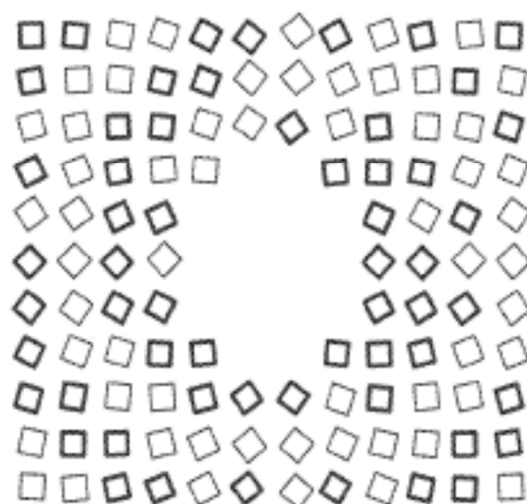


FIG. 10

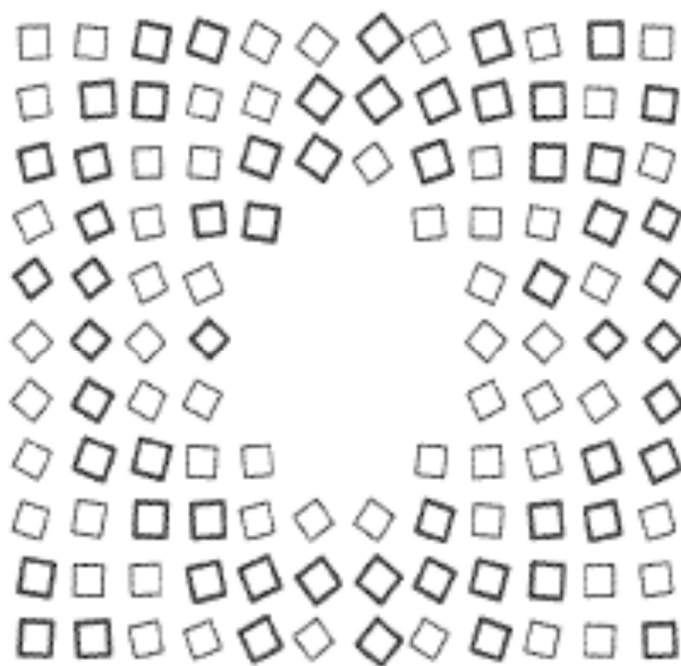


FIG. 11

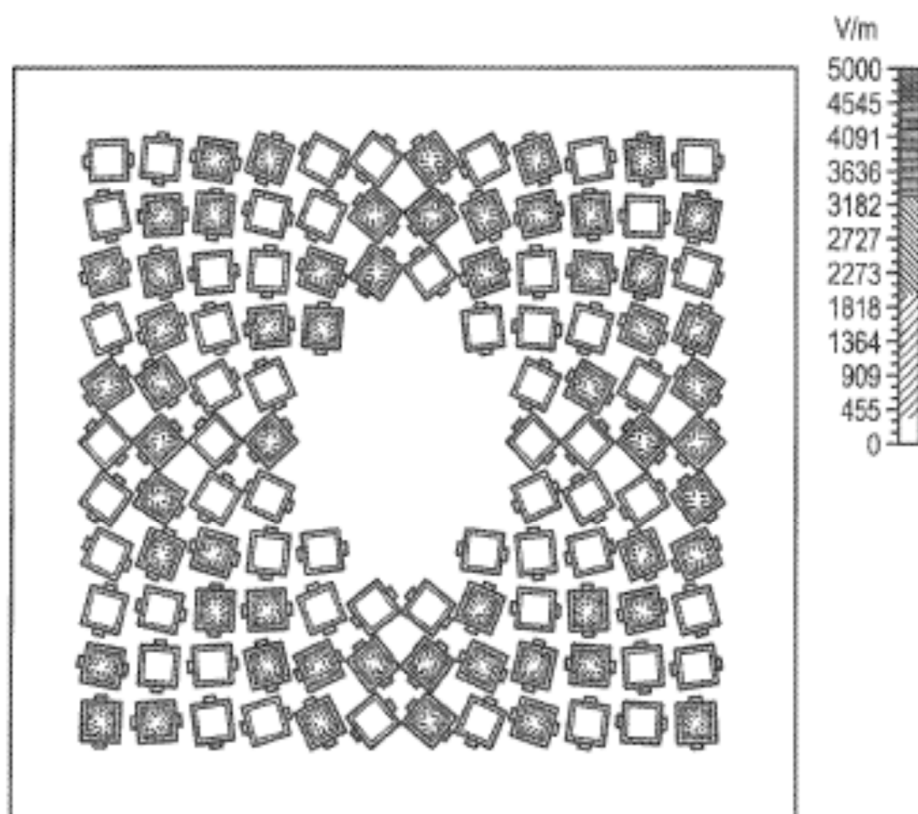


FIG. 12

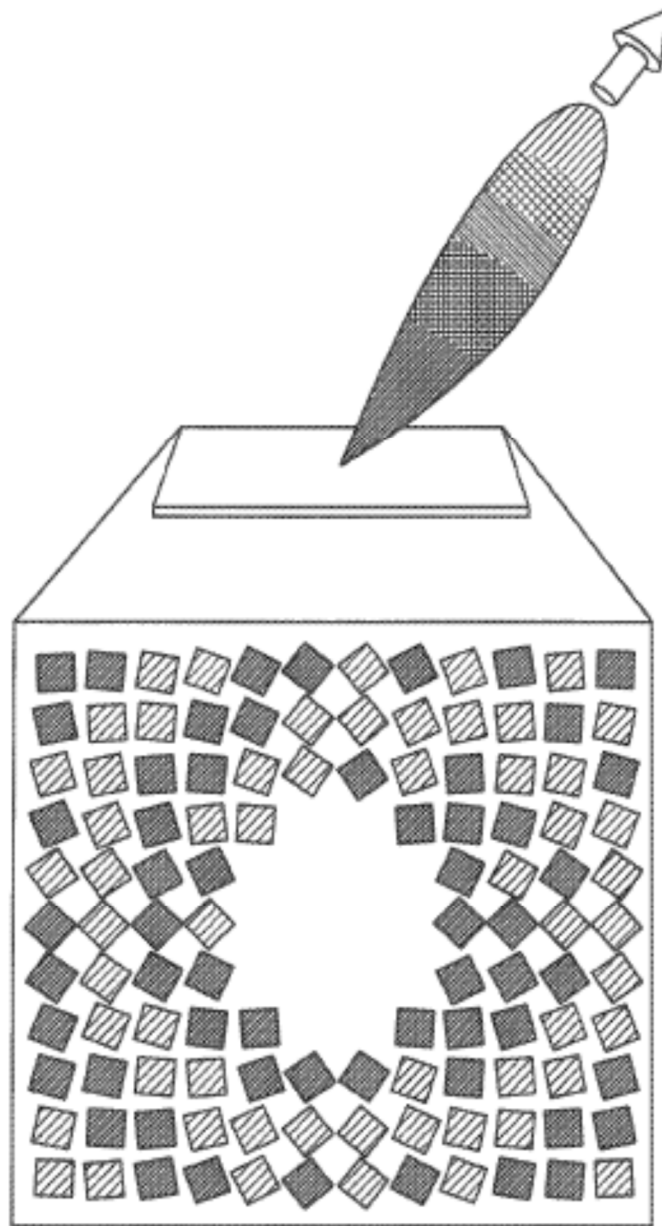


FIG. 13

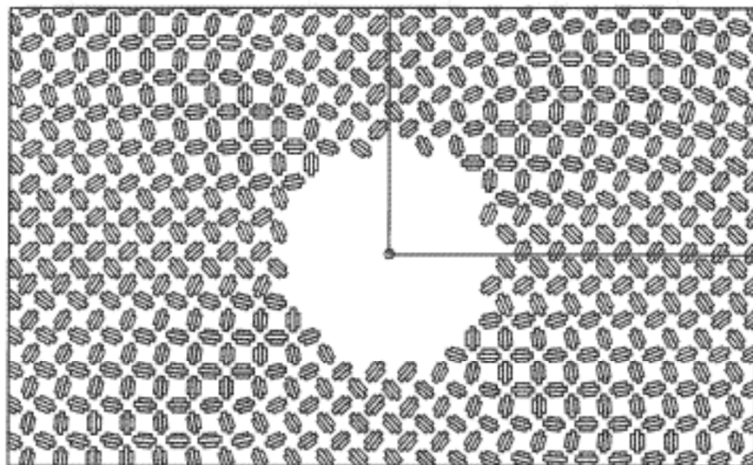


FIG. 14A

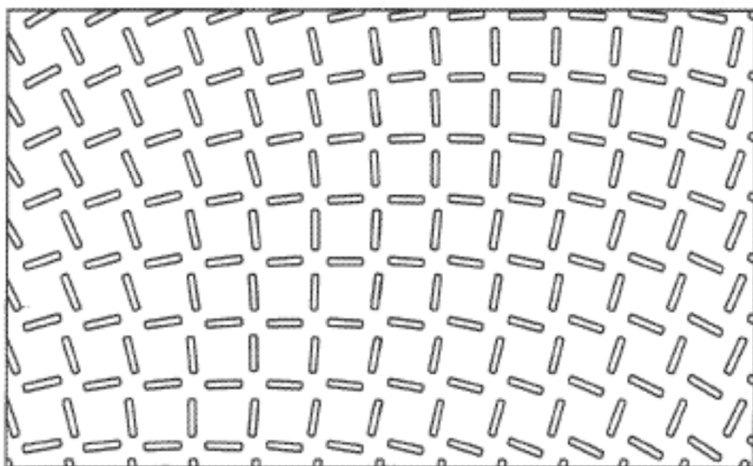


FIG. 14B

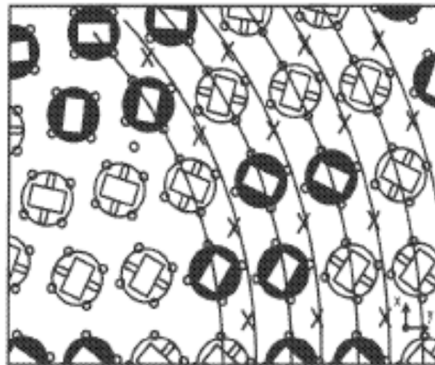


FIG. 15A

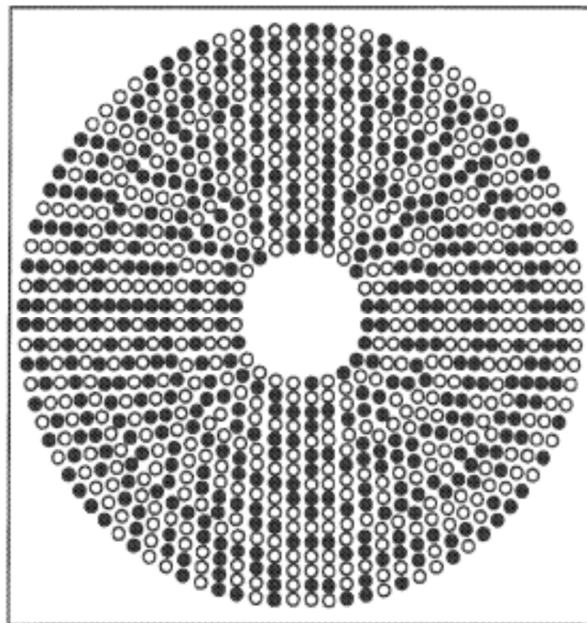


FIG. 15B

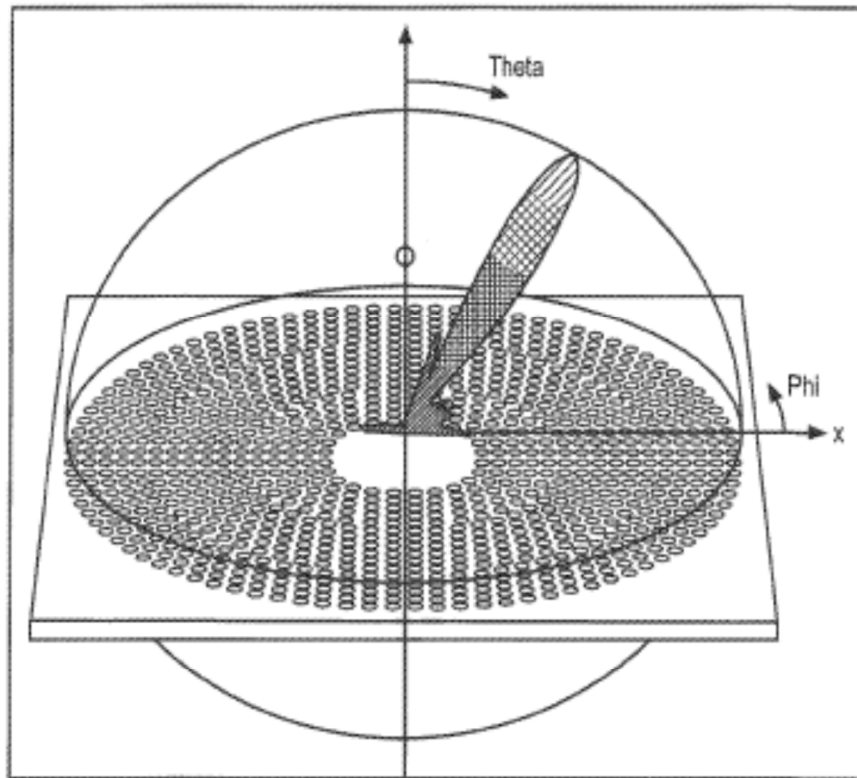


FIG. 15C

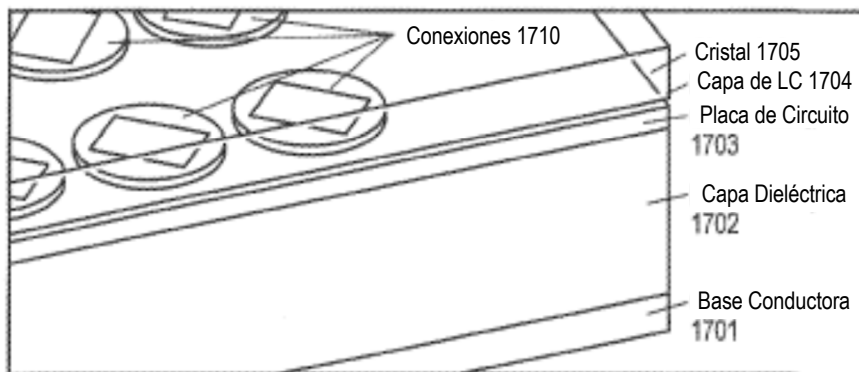


FIG. 17

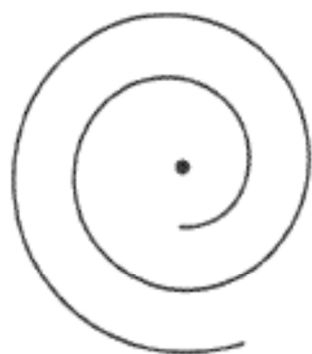


FIG. 16A

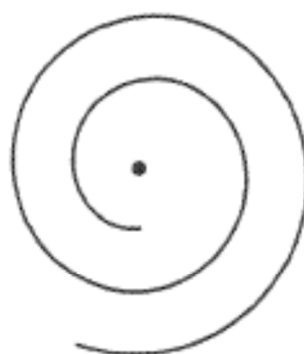


FIG. 16B

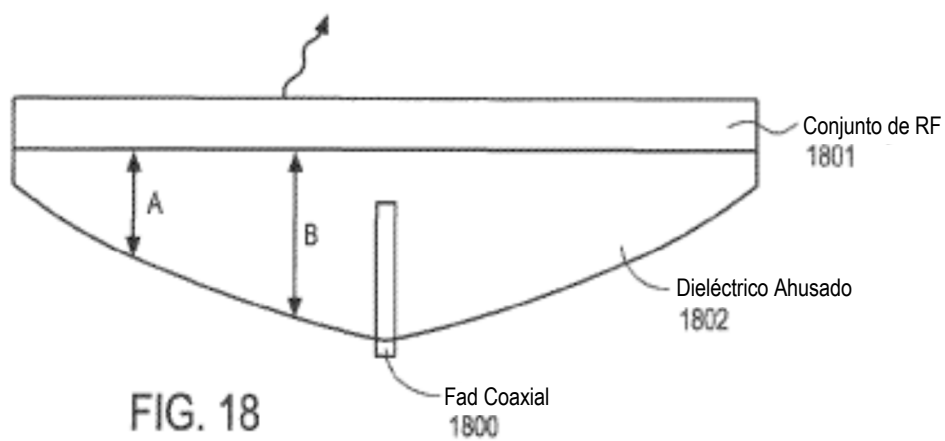


FIG. 18

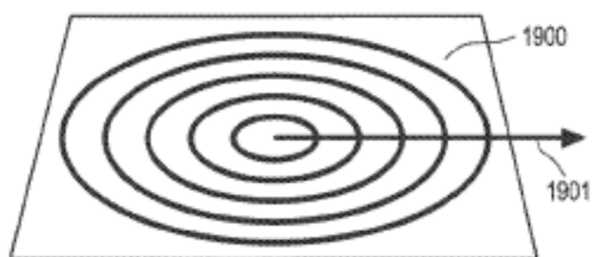


FIG. 19A

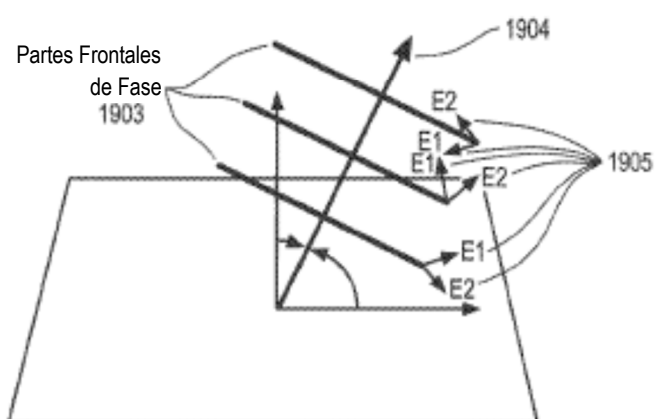


FIG. 19B

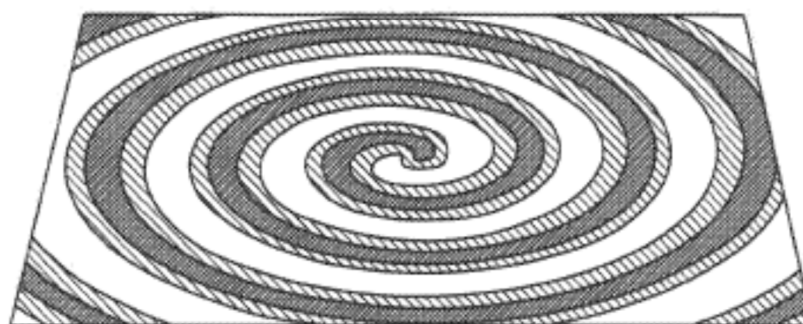


FIG. 19C

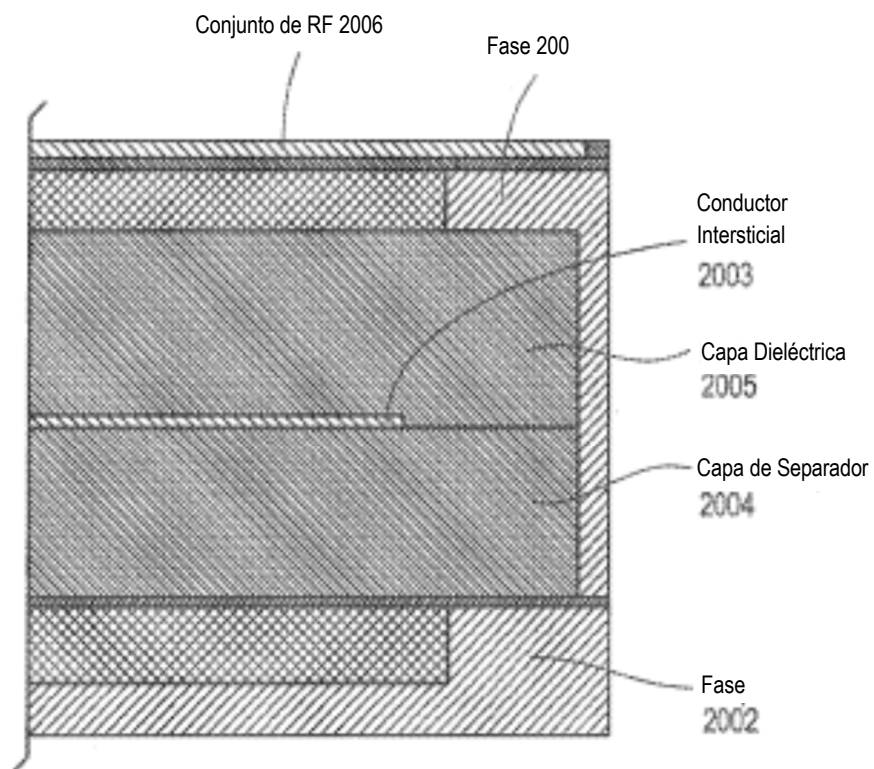


FIG. 20