

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 994 167**

51 Int. Cl.:

H01Q 21/08 (2006.01)
H01Q 1/24 (2006.01)
H01Q 1/42 (2006.01)
H01Q 15/08 (2006.01)
H01Q 19/06 (2006.01)
H01Q 21/06 (2006.01)
H01Q 21/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.09.2014** **PCT/US2014/054814**
87 Fecha y número de publicación internacional: **12.03.2015** **WO15035400**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.09.2014** **E 14767265 (3)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2024** **EP 3044831**

54 Título: **Antenas de estación basadas en lentes**

30 Prioridad:

09.09.2013 US 201361875491 P
03.04.2014 US 201414244369

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
20.01.2025

73 Titular/es:

COMMScope, INC. OF NORTH CAROLINA
(50.00%)
1100 CommScope Place, SE
Hickory, NC 28602, US y
MATSING PTE LTD (50.00%)

72 Inventor/es:

MATITSINE, SERGUEI;
LINEHAN, KEVIN, E. y
TIMOFEEV, IGOR

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 994 167 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

Antenas de estación basadas en lentes

Antecedentes

La presente invención se refiere a un sistema de antena multihaz.

- 5 Los sistemas de comunicación celular obtienen su nombre del hecho de que las áreas de cobertura de comunicación están mapeadas en celdas. Cada una de estas celdas está provista de una o más antenas configuradas para proporcionar comunicación por radio/RF bidireccional con abonados móviles ubicados geográficamente dentro de esa celda determinada. Una o más antenas pueden servir a la celda, donde múltiples antenas comúnmente utilizadas están configuradas cada una para servir a un sector de la celda. Normalmente, esta pluralidad de antenas sectoriales se configuran en una torre, y los haces de radiación se generan mediante cada antena dirigida hacia afuera para servir a la celda respectiva.

- 10 Un plan de red de comunicación inalámbrica común implica una estación base que da servicio a tres celdas o sectores con forma hexagonal. Esto a menudo se conoce como una configuración de tres sectores. En una configuración de tres sectores, una antena de estación base determinada sirve a un sector de 120°. Normalmente, una antena de ancho de haz de media potencia (HPBW) de 65° proporciona cobertura para un sector de 120°. Tres de estos sectores de 120° proporcionan una cobertura de 360°. También podrán emplearse otros esquemas de sectorización. Por ejemplo, se han propuesto sitios de seis, nueve y doce sectores. Los sitios de seis sectores pueden involucrar seis antenas de estación base direccionales, cada una con una antena HPBW de 33° que da servicio a un sector de 60°. En otras soluciones propuestas, una única matriz de múltiples columnas puede ser impulsada por una red de alimentación para producir dos o más haces desde una única abertura. Véase, por ejemplo, Publicación de patente de EE. UU. No. 20110205119.

- 15 Aumentar el número de sectores aumenta la capacidad del sistema porque cada antena puede dar servicio a un área más pequeña. Sin embargo, dividir un área de cobertura en sectores más pequeños tiene desventajas porque las antenas que cubren sectores estrechos generalmente tienen más elementos radiantes y están espaciados más ampliamente que las antenas que cubren sectores más amplios. Por ejemplo, una antena HPBW típica de 33° es generalmente dos veces más ancha que una antena HPBW común de 65°. Por lo tanto, los costes y los requisitos de espacio aumentan a medida que una celda se divide en un mayor número de sectores.

- 20 Para resolver estos problemas, se han desarrollado antenas que utilizan redes de formación de haces múltiples (BFN) que impulsan conjuntos planos de elementos radiantes, como la matriz Butler. Sin embargo, los BFN tienen varias desventajas potenciales, incluidos haces no simétricos y problemas asociados con el aislamiento de puerto a puerto, pérdida de ganancia y una banda estrecha. Clases de antenas multihaz basadas en una lente cilíndrica de Luneberg clásica (Henry Jasik: "Antenna Engineering Handbook", McGraw-Hill, Nueva York, 1961, pág. 15-4) han tratado de abordar estas cuestiones. Y aunque estas lentes pueden tener un mejor rendimiento, los costes de la lente Luneberg clásica (una lente cilíndrica, multicapa que tiene un dieléctrico diferente en cada capa) son altos y el proceso de producción es extremadamente complicado. Además, estos sistemas de antena aún padecen varios problemas, entre ellos la estabilidad del ancho del haz en la amplia banda de frecuencia y altos niveles de polarización cruzada. De acuerdo con lo anterior, existe una necesidad de un sistema de antena que resuelva estos problemas para proporcionar una antena de estación base multihaz de alto rendimiento a un coste asequible.

- 25 El documento DE 44 30 832 A1 divulga una disposición de antena del tipo de una lente de Luneburg que tiene una forma cilíndrica y un emisor que permite un ajuste independiente de un ángulo de apertura horizontal y vertical.

- 30 El documento US 2008/0278394 A1 divulga un dispositivo de antena de matriz en fase que incluye al menos una matriz en fase unidimensional de elementos radiantes dispuestos a lo largo de una dirección de matriz, una lente y un elemento de control de fase. La lente está dispuesta de tal manera que los haces divergentes de los elementos radiantes son colimados por la lente en una dirección ortogonal a la dirección de la matriz para producir un haz.

- 35 El documento US 2007/0195004 A1 divulga una pluralidad de elementos de antena sobre un sustrato dieléctrico que están adaptados para lanzar o recibir ondas electromagnéticas en o desde una dirección sustancialmente alejada de un borde convexo o cóncavo del sustrato dieléctrico, en el que al menos dos de los elementos de antena operan en diferentes direcciones.

- 40 El documento JP 4125984 B2 divulga una antena que recibe ondas electromagnéticas desde direcciones mutuamente diferentes. Aquí un radiador primario está equipado con una antena dieléctrica.

- 45 Documento WO 2005/096433 A3 divulga una antena plana mejorada que comprende un plano de tierra eléctricamente conductor, una primera capa de sustrato dieléctrico dispuesta sobre dicho plano de tierra y que tiene una primera permitividad relativa, al menos un área efectiva eléctricamente conductora dispuesta sobre la primera capa de sustrato dieléctrico y conectada eléctricamente a un extremo de una línea de alimentación eléctricamente conductora, y al menos una segunda capa de sustrato dieléctrico dispuesta sobre el área efectiva y que tiene una segunda permitividad relativa.

Resumen de la invención

- De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un sistema de antena de estación base de haces múltiples como se establece en la reivindicación 1. En un aspecto, un sistema de antena de estación base de haz múltiple comprende: una primera columna de elementos radiantes, la primera columna de elementos radiantes tiene un primer eje longitudinal y configurada para generar haces que apuntan en un primer ángulo acimutal; una segunda columna de elementos radiantes, la segunda columna de elementos radiantes tiene un segundo eje longitudinal y configurada para generar haces que apuntan en un segundo ángulo acimutal; una tercera columna de elementos radiantes, la tercera columna de elementos radiantes tiene un tercer eje longitudinal y configurada para generar haces que apuntan en un tercer ángulo acimutal; una lente de radiofrecuencia que tiene un cuarto eje longitudinal, la lente de radiofrecuencia está dispuesta de tal manera que el primer eje longitudinal, el segundo eje longitudinal y el tercer eje longitudinal están sustancialmente alineados con el cuarto eje longitudinal y el primer ángulo acimutal, el segundo ángulo acimutal y el tercer ángulo acimutal de los haces producidos por la primera columna de elementos radiantes, la segunda columna de los elementos radiantes y la tercera columna de los elementos radiantes están dirigidos a la lente de radiofrecuencia; en la que cada una de la segunda columna de elementos radiantes, la primera columna de elementos radiantes y la tercera columna de elementos radiantes produce un haz que tiene un ancho de haz de -10 dB de aproximadamente 40° y que tiene un segundo, primer y tercer ángulo acimutal de -40°, 0°, 40°, respectivamente; y un radomo que alberga la primera columna de elementos radiantes, la segunda columna de elementos radiantes, la tercera columna de elementos radiantes y la lente de radiofrecuencia, en la que la lente de radiofrecuencia es una lente cilíndrica y comprende material dieléctrico que tiene una constante dieléctrica sustancialmente homogénea.
- El sistema de antena de haz múltiple incluye tres columnas de elementos radiantes. Cada una de las columnas de elementos radiantes produce un haz con un ancho de haz de -10 dB de aproximadamente 40° después de pasar a través de la lente de radiofrecuencia. Las columnas de elementos radiantes están dispuestas de tal manera que los haces tienen ángulos acimutales de -40°, 0°, 40°, respectivamente, en relación con el eje de mira del sistema de antena.
- En un ejemplo, la lente de radiofrecuencia tiene un diámetro en el rango de aproximadamente 1.5 - 5 longitudes de onda de la frecuencia operativa nominal de las columnas de elementos radiantes. La lente de radiofrecuencia puede ser más larga que las columnas de elementos radiantes.
- En otro aspecto de la presente invención, la constante dieléctrica puede estar en el rango de 1.5 a 2.3. La lente de radiofrecuencia puede comprender una pluralidad de partículas dieléctricas. En otro aspecto de la invención, los elementos radiantes son elementos radiantes de polarización dual, que tienen una polarización lineal dual $\pm 45^\circ$.
- En otro aspecto de la invención, los elementos radiantes están configurados para tener un ancho de haz acimutal que disminuye monótonamente con el aumento de la frecuencia. Por ejemplo, los elementos radiantes pueden comprender un conjunto de dipolos tipo caja. Los elementos radiantes pueden incluir además uno o más directores para estabilizar un haz formado por una antena con lentes.
- En otro aspecto de la invención, cada una de las columnas de elementos puede comprender dos o más conjuntos de elementos radiantes adaptados para operar en diferentes bandas de frecuencia. Por ejemplo, una columna de elementos radiantes puede incluir elementos de banda alta y elementos de banda baja. En un ejemplo, el número de elementos radiantes de banda alta es aproximadamente el doble del número de elementos de banda baja. Los elementos radiantes de banda alta pueden producir un haz que tenga un ancho de haz acimutal que sea más estrecho que el ancho de haz de un haz producido por la pluralidad de elementos de banda inferior antes de pasar a través de la lente de radiofrecuencia. Esto permite que los haces, después de pasar a través de la lente de radiofrecuencia, tengan anchos de haz aproximadamente iguales.
- En un ejemplo, los elementos radiantes de banda alta incluyen directores para reducir el ancho del haz. En otro ejemplo, los elementos de banda alta se ubican en dos líneas paralelas a la línea de elementos de banda baja para reducir el ancho del haz producido por los elementos de banda alta.
- En otro aspecto de la invención, el sistema de antena de haz múltiple puede incluir además una lámina de material dieléctrico dispuesta entre la lente de radiofrecuencia y una o más de las columnas de elementos radiantes. La lámina de material dieléctrico puede incluir además cables dispuestos sobre la lámina de material dieléctrico. La lámina de material dieléctrico puede incluir además ranuras dispuestas en la lámina de material dieléctrico. Se puede incluir una segunda lámina de material dieléctrico para mejorar el aislamiento de puerto a puerto de la antena multihaz.
- En otro aspecto de la presente invención, el sistema de antena de haz múltiple puede incluir además una lente de radiofrecuencia secundaria dispuesta entre las columnas de elementos radiantes y la lente de radiofrecuencia. La lente secundaria puede comprender una varilla dieléctrica. Alternativamente, la lente secundaria puede comprender bloques dieléctricos ubicados en cada elemento radiante.
- La pluralidad de partículas dieléctricas puede incorporar cables. En otro ejemplo, las partículas dieléctricas pueden comprender al menos dos tipos de partículas distribuidas uniformemente en el volumen de la lente de radiofrecuencia. En otro ejemplo, algunas de las partículas dieléctricas contienen material de mano izquierda.

En otro aspecto de la invención, la lente de radiofrecuencia puede incluir dos tipos diferentes de material dieléctrico con diferente anisotropía. Por ejemplo, uno de los materiales dieléctricos tiene anisotropía. En otro ejemplo, los dos tipos diferentes de material dieléctrico comprenden dos materiales anisotrópicos diferentes. En otro ejemplo, los dos materiales anisotrópicos se mezclan en proporciones desiguales. En otro ejemplo, los dos materiales anisotrópicos tienen diferentes valores de constante dieléctrica en una dirección del segundo eje longitudinal y un eje perpendicular al segundo eje longitudinal.

En otro aspecto de la invención, la lente de radiofrecuencia (ya sea para antenas de haz único o de haz múltiple) puede incluir un reflector que cubre un área posterior del sistema de antena. La antena puede incluir además un absorbedor situado entre la columna de elementos radiantes y el reflector.

10 Breve descripción de los dibujos

La Figura 1a es un diagrama que muestra una vista ampliada de un sistema de antena de estación base multihaz con lente ejemplar;

La Figura 1b es un diagrama que muestra una vista en sección transversal de un sistema de antena de estación base multihaz con lente ensamblado ejemplar;

15 La Figura 2 es un diagrama que muestra un conjunto lineal ejemplar para su uso en un sistema de antena de estación base de múltiples haces con lentes;

La Figura 3a es un diagrama que muestra una vista superior de un elemento radiante de antena polarizada dual estilo caja a modo de ejemplo;

20 La Figura 3b es un diagrama que muestra una vista lateral de un elemento radiante de antena polarizada dual estilo caja a modo de ejemplo;

La Figura 3c es un diagrama de dipolos equivalentes de un elemento radiante de antena polarizada dual tipo caja a modo de ejemplo;

La Figura 4 es un diagrama que muestra gráficos medidos del ancho del haz de acimut de la antena en función de la frecuencia para un sistema de antena de estación base multihaz con lentes ensamblado ejemplar;

25 La Figura 5 es un diagrama que muestra lentes secundarias ejemplares para su uso en un sistema de antena de estación base de haz múltiple con lentes para estabilización del haz azimutal;

La Figura 6 es un diagrama que muestra un sistema ejemplar de directores cruzados para su uso en un sistema de antena de estación base multihaz con lentes;

30 La Figura 7 es un diagrama que muestra compensadores de antena ejemplares para su uso en un sistema de antena de estación base multihaz con lente;

La Figura 8 es un diagrama que muestra un patrón de elevación medido para un sistema de antena de estación base multihaz ejemplar con y sin lente;

La Figura 9 es un diagrama que muestra patrones de radiación copolar y cruzada acimutal medidos para un haz de antena central de un sistema de antena de estación basado en lentes de tres haces a modo de ejemplo.

35 La Figura 10 es un diagrama que muestra patrones de radiación medidos en el plano acimutal para los tres haces de un sistema de antena de estación base con lentes de tres haces ejemplar;

La Figura 11 es un diagrama que muestra la cobertura de nueve sectores de células mediante tres sistemas de antena de estación base con lentes de tres haces a modo de ejemplo.

40 La Figura 12 es un diagrama que muestra una vista lateral de otra antena de estación base con lente cilíndrica ejemplar que tiene extremos hemisféricos;

La Figura 13 es un diagrama que muestra una columna de elementos radiantes de dos bandas de frecuencia diferentes para su uso en un sistema de antena de estación base multihaz con lente de banda dual;

La Figura 14 es un diagrama que muestra otra columna ejemplar de elementos radiantes de dos bandas de frecuencia diferentes para su uso en un sistema de antena de estación base multihaz con lente de banda dual; y

45 La Figura 15 es un diagrama que muestra otra columna ejemplar de elementos radiantes de dos bandas de frecuencia diferentes para su uso en un sistema de antena de estación base multihaz con lente de banda dual.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

Con referencia a los dibujos, e inicialmente a las Figuras 1a, 1b, en la Figura 1a se muestra una vista en despiece de una realización de un sistema de antena de estación base multihaz 10, y en la Figura 1b se muestra su sección transversal. En su forma más simple, el sistema de antena de estación base multihaz 10 incluye uno o más conjuntos lineales de elementos radiantes 20a, 20b y 20c (también denominados en este documento "conjuntos de antenas" o "conjuntos") y una lente de radiofrecuencia 30. Las matrices 20 pueden tener aproximadamente la misma longitud que la lente 30. El sistema de antena de estación base multihaz 10 también puede incluir un primer compensador 40, un segundo compensador 42, una lente secundaria 43 (mostrada en la Figura 1b), un reflector 52, un radomo 60, tapas de extremo 64a y 64b, un absorbedor 66 y puertos (conectores RF) 70. En la descripción a continuación, el plano acimutal es ortogonal al eje de la lente de radiofrecuencia 30, y el plano de elevación es paralelo al eje de la lente 30.

En la realización mostrada en la Figura 1a, 1b, la lente de radiofrecuencia 30 enfoca los haces azimutales de los conjuntos 20a, 20b y 20c, cambiando, por ejemplo, sus anchos de haz de 3 dB de 65° a 23°. En la realización mostrada en la Figura 1a, 1b, se muestran tres conjuntos de antenas lineales 20a, 20b y 20c, pero se puede utilizar cualquier número y/o forma de conjuntos 20. El número de haces de un sistema de antena de estación base multihaz 10 es el mismo que el número de puertos 70 de los conjuntos 20a, 20b y 20c. En la Figura 1a, 1b, cada uno de los conjuntos 20 tiene 2 puertos, uno para polarización de +45° y otro para polarización de -45°.

En funcionamiento, la lente 30 estrecha el HPBW de los conjuntos de antenas 20a, 20b y 20c al tiempo que aumenta su ganancia (en 4 - 5 dB para la antena de 3 haces que se muestra en la Figura 1). Por ejemplo, los ejes longitudinales de las columnas de elementos radiantes de los conjuntos de antenas 20a, 20b y 20c pueden ser paralelos al eje longitudinal de la lente 30. En otras realizaciones, el eje de los conjuntos de antenas 20 se puede inclinar ligeramente (2 - 10°) respecto del eje de la lente 30 (por ejemplo, para una mejor pérdida de retorno o un ajuste del aislamiento de puerto a puerto), pero el eje de un conjunto y el eje de la lente todavía están ubicados en el mismo plano. Todos los conjuntos de antenas 20 comparten la misma lente 30, por lo que cada conjunto de antenas 20a, 20b y 20c tiene su HPBW modificado de la misma manera.

El sistema de antena de estación base multihaz 10 como se describió anteriormente se puede utilizar para aumentar la capacidad del sistema. Por ejemplo, una antena HPBW convencional de 65° podría reemplazarse por un sistema de antena de estación base multihaz 10 como se describió anteriormente. Esto aumentaría la capacidad de gestión del tráfico de la estación base. En otro ejemplo, el sistema de antena de estación base multihaz 10 se puede emplear para reducir el número de antenas en una torre u otra ubicación de montaje.

En la Figura 1b se ilustra una vista en sección transversal de un sistema de antena de estación base multihaz ensamblado 10. La Figura 1b también ilustra cómo se forman 3 haces (HAZ 1, HAZ 2, HAZ 3). El ángulo de posición acimutal de los haces proporcionados por los conjuntos de antenas 20a, 20b y 20c se muestran mediante líneas de puntos en la Figura 1b. Preferiblemente, el ángulo acimutal de cada haz será aproximadamente perpendicular al reflector del conjunto 20. Por ejemplo, en la realización mostrada en la Figura 1b, el ancho de haz de -10 dB de cada haz es cercano a 40° y las direcciones de los haces son -40°, 0°, 40°, respectivamente.

Una diferencia de la lente 30 en comparación con las lentes Luneberg conocidas es su estructura interna. Como se muestra en la Figura 1b, la constante dieléctrica ("Dk") de la lente 30 es homogénea, en contraste con las lentes Luneberg conocidas que tienen múltiples capas con diferentes Dk. Una lente 30 que tiene un Dk homogéneo es generalmente más fácil y menos costosa de fabricar. Además, puede ser más compacto, teniendo entre un 20 - 30 % menos de diámetro. En una realización, una lente que tiene un Dk de aproximadamente 1.8 y un diámetro de aproximadamente 2 longitudes de onda λ enfoca los haces y proporciona patrones de acimut con lóbulos laterales bajos (menos de -17 dB), como se muestra en las Figuras 10 y 11. En el caso de un sistema de antena 10 que tiene tres haces, una lente 30 que tiene un diámetro de aproximadamente 2 longitudes de onda y $Dk = 1.9$ proporciona un ancho de haz aproximadamente un 30 % menor que un sistema de antena de técnica anterior equivalente que incluye una matriz planar basada en el tipo de matriz Butler BFN, como se puede ver a partir del HPBW medido:

	Antena con lente	Estado de la técnica	Coefficiente de estrechamiento.
1.71 GHz	25.9	33.3	29 %
1.8 GHz	24.9	31.7	27 %
1.9 GHz	23.3	30.0	29 %

También se confirmó que la lente cilíndrica homogénea (cuando el diámetro de la lente es de 1.5 - 5 longitudes de onda en el espacio libre) tiene aproximadamente 1 dB más de directividad en comparación con la lente Luneberg multicapa con el mismo diámetro y en comparación con lo predicho por la óptica geométrica. El rendimiento del cilindro dieléctrico en este caso se puede explicar como una combinación de la antena de onda viajera dieléctrica (modo de disparo final) combinada con el modo de operación de lente (modo de enfoque). La realización con un diámetro de longitud de onda de 1.5-5 es aplicable para formar de 2 a 10 haces, lo que incluye la mayoría de las aplicaciones multihaz actuales para antenas de estaciones base. La compacidad es una de las ventajas clave del sistema de antena

de estación base multihaz propuesto; la antena es más estrecha en comparación con las soluciones multihaz conocidas (basadas en lentes de Luneberg o matrices de Butler).

Una lente de Luneberg convencional es una lente esféricamente simétrica que tiene un índice de refracción variable en su interior. Aquí, la lente 30 tiene preferiblemente la forma de un cilindro circular (si, por ejemplo, cada haz necesita la misma forma) y es homogénea (no multicapa) como se muestra en las Figuras 1a y 1b. Alternativamente, o adicionalmente, la lente 30 puede comprender un cilindro elíptico, que puede proporcionar mejoras de rendimiento adicionales (por ejemplo, la reducción de lóbulos laterales de un haz central). También se pueden utilizar otras formas.

En algunas realizaciones, la lente 30 puede comprender una estructura como las descritas en la solicitud de patente de EE. UU. No. 14/244,369, presentada el 3 de abril de 2014. Como se describe en dicha solicitud, la lente 30 puede comprender varios compartimentos segmentados para proporcionar resistencia mecánica adicional.

La lente 30 puede estar hecha de partículas o bloques de material dieléctrico. Las partículas de material dieléctrico concentran la energía de radiofrecuencia que irradia y es recibida por los conjuntos de antenas lineales 20a, 20b y 20c. El material dieléctrico puede ser un dieléctrico artificial del tipo descrito en la patente de EE.UU. No. 8,518,537. En un ejemplo, las partículas de material dieléctrico comprenden una pluralidad de partículas distribuidas aleatoriamente. La pluralidad de partículas distribuidas aleatoriamente está hecha de un material dieléctrico ligero. El rango de densidades del material dieléctrico ligero puede ser, por ejemplo, de 0.005 a 0.1 g/cm³. Al menos una fibra conductora en forma de aguja está incrustada dentro de cada partícula. Variando el número/orientación de las fibras conductoras dentro de la partícula, Dk puede variar de 1 a 3. Cuando hay al menos dos fibras conductoras incrustadas dentro de cada partícula, las al menos dos fibras conductoras están dispuestas como una matriz, es decir, tienen una o más filas que incluyen las fibras conductoras. Preferiblemente, las fibras conductoras incrustadas dentro de cada partícula no están en contacto entre sí.

Las antenas de estaciones base están sujetas a vibraciones y otros factores ambientales. El uso de compartimentos ayuda a reducir la sedimentación de las partículas de material dieléctrico, aumentando la estabilidad física y el rendimiento a largo plazo de la lente 30. Además, las partículas de material dieléctrico pueden estabilizarse con una ligera compresión y/o un material de relleno. Se pueden aplicar diferentes técnicas a diferentes compartimentos, o todos los compartimentos pueden estabilizarse utilizando la misma técnica.

Las antenas con lentes cilíndricas tradicionales de Luneburg pueden sufrir altos niveles de polarización cruzada. El uso de un cilindro dieléctrico isótropo (homogéneo) también puede proporcionar despolarización de la onda EM incidente en función de su geometría (no simétrica para los componentes verticales (V) y horizontales (H) del campo eléctrico). Cuando la onda EM cruza un cilindro, la polarización a lo largo del eje del cilindro ("W") tendrá un retraso de fase mayor que la polarización perpendicular al eje del cilindro ("HH"), lo que provoca despolarización.

Esta despolarización se puede reducir construyendo una lente de radiofrecuencia 30 con materiales dieléctricos que tengan diferentes DK para las direcciones W y HH. Para compensar la despolarización, la DK para la polarización W debe ser menor que la DK para la polarización HH. La diferencia en DK puede depender de una variedad de factores, incluido el tamaño del cilindro y la relación entre la longitud de onda del haz y el diámetro del cilindro. En otras palabras, la reducción de la despolarización natural causada por una lente de forma cilíndrica 30 se puede lograr utilizando materiales dieléctricos anisotrópicos. De manera similar, se puede crear polarización circular, si es necesario, utilizando material anisotrópico para crear una diferencia de fase de 90°.

El material anisotrópico puede ser, por ejemplo, las partículas dieléctricas que tienen fibras conductoras en su interior descritas en la patente de EE.UU. 8,518,537. Mezclando o disponiendo diferentes partículas con diferentes composiciones y/o formas, se pueden lograr diferentes valores de DK en dirección paralela y perpendicular al eje del cilindro. Por ejemplo, una onda incidente polarizada linealmente con polarización +/-45° tendrá un nivel de polarización cruzada de aproximadamente -8 dB después de pasar a través de un cilindro dieléctrico con un DK de 2 y un diámetro de aproximadamente dos longitudes de onda. Este nivel puede ser inaceptable para ciertas aplicaciones comerciales donde se desea un nivel de polarización cruzada de aproximadamente -15 dB. Esta mayor polarización cruzada se produce porque el componente VV del campo eléctrico tiene una diferencia de fase de aproximadamente -30° en comparación con el componente HH y la polarización elíptica se crea con una relación axial de aproximadamente 8 dB. Partículas dieléctricas artificiales basadas en fibras conductoras como las descritas en patente de EE.UU. No. 8,518,537, tienen una diferencia de fase de +20° entre los componentes de campo H y V (es decir, una diferencia de fase en la dirección opuesta). Al mezclar un dieléctrico regular con un dieléctrico artificial, se pueden obtener diferencias de fase entre los componentes W y HH cercanas a 0° y se puede minimizar la polarización cruzada de la antena (ver Figura 10) y se puede cumplir una especificación <- 15 dB en una banda de frecuencia amplia, digamos 1.7 – 2.7 GHz. En una realización se utiliza una mezcla de aproximadamente 40 % de dieléctrico regular y 60 % de dieléctricos artificiales (llamado también en la literatura material zurdo por su característica inusual). También se pueden utilizar otras proporciones.

Haciendo referencia a la Figura 2, se muestra con más detalle un conjunto de antenas lineales ejemplar 200 para su uso en un sistema de antena de estación base de múltiples haces 10. La matriz 200 incluye una pluralidad de elementos radiantes 210, un reflector 220, un desfaseador/divisor 230 y dos conectores de entrada 70. El desfaseador/divisor de fase 230 se puede utilizar para escanear el haz (inclinarse el haz) en el plano de elevación. Cada

elemento radiante 210 incluye dos polarizaciones ortogonales lineales (inclinación $\pm 45^\circ$ 311, 312), como se muestra con más detalle en la Figura 3c, donde se muestran 4 dipolos equivalentes 313 - 316 formando dos vectores de polarización ortogonal 311, 312. Cuatro dipolos 310 están dispuestos en un cuadrado, o en la "caja", como se muestra en la Figura 3a y sostenidos por tallos de alimentación, como se ilustra en la Figura 3b. La configuración del elemento radiante 210 y del reflector 220 proporciona una forma especial del patrón de antena en el plano acimutal con una dependencia casi lineal del ancho del haz acimutal con la frecuencia. Por ejemplo, para una antena de tres haces que se muestra en la Figura 1, el ancho de haz medido de -3 dB del elemento radiante 210 se grafica contra la frecuencia en la Figura 4 (gráfico 410) y varía de 62° (1.7 GHz) a 46° (2.7 GHz). Como resultado de la lente 30, el ancho de haz acimutal de la antena total se estabiliza en la banda de frecuencia (ver gráficos 430 para un ancho de haz de 3 dB y 420 para un ancho de haz de -10 dB). Como se puede ver en el gráfico 420, el ancho de haz de -10 dB está muy cerca del valor deseable de 40° : Se midió $40 \pm 3^\circ$ sobre un ancho de banda del 45 %. La estabilización del ancho del haz y de la posición del haz son importantes para que las antenas multihaz proporcionen una cobertura celular adecuada. Si se utiliza un elemento radiante sin esta dependencia de frecuencia específica, las variaciones del haz de la antena total serán demasiadas, es decir, el ancho del haz de -10 dB puede variar de 30° a 50° en función de la frecuencia, y la iluminación del sector asignado será muy deficiente. Por ejemplo, pueden ser grandes brechas (hasta 30 dB en la frecuencia más alta) entre sectores (caída de señal) o grandes superposiciones entre sectores en una frecuencia más baja, lo que tampoco es aceptable debido a la interferencia.

El efecto de la estabilización del haz en el plano azimutal sobre la frecuencia se puede explicar mediante la Figura 1b, donde el ancho de haz azimutal se denota como ϕ para los conjuntos de antenas 20 y Θ para la lente 30. La lente de radiofrecuencia proporciona un efecto de enfoque, por lo que $\phi > \Theta$. Θ es inversamente proporcional a la frecuencia f y también es inversamente proporcional a la abertura iluminada de la lente S: $\Theta = k_i/f S$, donde el coeficiente k_i depende de la distribución de amplitud y fase (véase J.D. Kraus, Antennas, McGraw-Hill, 1988, p. 846), y $S = R^2 \sin(\phi/2)$.

Para la estabilización del haz, la condición $\Theta(f_1) = \Theta(f_2)$ debe cumplirse, o:

$$\sin[(\phi(f_1)/2)] / \sin[(\phi(f_2)/2)] = f_2 / f_1 \quad (1)$$

Como se puede ver en la ecuación (1), para la estabilización del haz de la antena con lente 10, las antenas lineales 20a, 20b, 20c deben tener un ancho de haz acimutal que disminuya monótonamente con la frecuencia. Para pequeños ϕ , $\phi(f_1)/\phi(f_2) \approx f_2/f_1$, es decir, el ancho del haz acimutal del elemento de antena 210 es inversamente proporcional a la frecuencia. Este análisis simplificado ilustra la importancia de la dependencia de la frecuencia del ancho del haz acimutal de las antenas lineales 20. Por ejemplo, para obtener la máxima ganancia para la frecuencia más baja, se debe utilizar toda el área de enfoque, o $S = D$, en el que D es el diámetro de la lente. Esto significa que para un rendimiento óptimo de banda ancha/banda ultra ancha, se debe iluminar una lente completa para la frecuencia más baja del ancho de banda y el área central para la frecuencia más alta.

Otro ejemplo que utiliza un elemento radiante de "caja" o cuadrado se muestra en la patente de EE.UU. No. 6,333,720. Un conjunto de elementos radiantes de cuatro dipolos tipo caja tiene un ancho de haz que disminuye monótonamente con la frecuencia porque el factor del conjunto es linealmente inverso a la frecuencia. Cuando se utiliza un elemento radiante tipo caja sin lente, el factor de matriz contribuye principalmente a lograr una dependencia de frecuencia significativa (ver gráfico 410 en la Figura 4). Como se muestra en la Figura 4, con la selección adecuada del elemento de antena (4 dipolos dispuestos en forma de cuadrado o caja), se puede estabilizar el ancho del haz de acimut de las antenas con lentes (gráficos 420, 430).

Además, la matriz de antena lineal puede tener elementos de "caja" de diferentes bandas de frecuencia, intercalados entre sí como se muestra en la Patente de EE.UU. 7,405,710, en el que el primer conjunto dipolar tipo caja está dispuesto coaxialmente dentro de un segundo conjunto dipolar tipo caja y ubicado en una línea. Esto permite que una antena con lente funcione en dos bandas de frecuencia (por ejemplo, 0.79 - 0.96 y 1.7 - 2.7 GHz). Para anchos de haz similares de antena con lentes en ambas bandas, el elemento tipo caja central (elemento de banda alta) debe tener directores (Figura 6). En este caso, un elemento de banda baja puede tener, por ejemplo, un HPBW de $65^\circ - 50^\circ$, y un elemento de banda alta puede tener un HPBW de $45^\circ - 35^\circ$, y como resultado, la antena con lente tendrá un HPBW estable de aproximadamente 23° (y un ancho de haz de aproximadamente 40° por un nivel de -10 dB) en ambas bandas.

El sistema de antena de estación base multihaz puede incluir una o más lentes secundarias. Estas lentes secundarias 43 se pueden colocar entre el conjunto 20a, 20b y 20c y la lente 30 para una mayor estabilización del ancho del haz acimutal, como se muestra en la Figura 1B. Las lentes secundarias pueden comprender objetos dieléctricos, tales como varillas 510 y 520 o cubos 530 como se muestra en la Figura 5. También se pueden utilizar otras formas.

Como se muestra en la Figura 6, los directores 610 también se pueden colocar en la parte superior de los radiadores para una mayor estabilización del ancho del haz en la amplia banda de frecuencia. Los directores 610 pueden variar en longitud, la cual puede seleccionarse, por ejemplo, para estrechar el patrón de radiación para la banda de frecuencia más alta mientras se deja sin cambios el patrón de radiación en la porción inferior de la banda de frecuencia. Esta configuración puede dar como resultado una dependencia más marcada del patrón de acimut de los conjuntos 20a, 20b y 20c con respecto a la frecuencia.

Al utilizar una combinación de formas de elementos 210 especialmente seleccionados, piezas dieléctricas/lentes secundarias 510, 520, 530 y/o directores 610 por encima de los elementos de la matriz 210, se puede proporcionar un patrón estable en la banda de frecuencia muy amplia (por ejemplo, mayor del 50 %). Por ejemplo, como se muestra en la Figura 4, un ancho de haz de -10 dB para una antena de tres haces 420 es de $40 \pm 4^\circ$ en la banda de 1.7-2.7 GHz (40° es óptimo para la cobertura sectorial). En la técnica anterior, este ancho de haz puede variar entre 28 y 45° , lo que no es aceptable para sectores de celdas porque los haces demasiado estrechos pueden provocar caídas de señales en direcciones de cruce de haces, y los haces anchos ($> 45^\circ$) pueden provocar interferencias no deseadas entre sectores debido a la superposición.

Como se muestra en la Figura 8, el uso de una lente cilíndrica reduce significativamente los lóbulos de rejilla (y otros lóbulos laterales lejanos) en el plano de elevación (compare el gráfico 810 para la antena sin lente y el gráfico 820 para la misma antena con lente). Normalmente, se observó una reducción del lóbulo de rejilla de 5 dB para la antena de 3 haces que se muestra en la Figura 1. La reducción del lóbulo de rejilla de 5 dB se correlaciona con la ventaja de ganancia de 5 dB de la antena con lente de la Figura 1 frente a los arreglos lineales originales 20. La mejora del lóbulo de rejilla se debe a que la lente enfoca solo el haz principal y desenfoca los lóbulos laterales más alejados. Esto permite aumentar el espacio entre los elementos de la antena. Para la técnica anterior, el espaciamiento entre los elementos de la matriz depende de los lóbulos de difracción y se selecciona mediante el criterio: $d_{\text{máx}}/\lambda < 1/(\sin \theta_0 + 1)$, donde $d_{\text{máx}}$ es el espaciamiento máximo permitido, λ es la longitud de onda y θ_0 es el ángulo de escaneo (ver Eli Brookner, Practical Phased Array Antenna Systems, Artech House, 1991, p. 4-5). En la antena con lente, el espaciamiento $d_{\text{máx}}$ puede aumentarse: $d_{\text{máx}}/\lambda = 1.2 \sim 1.3 [1/(\sin \theta_0 + 1)]$. De este modo, la lente 30 permite aumentar el espaciamiento entre los elementos radiantes 210 para el sistema de antena de estación base multihaz 10 mientras que reduce el número de elementos radiantes en un 20 - 30 % para sistemas de técnica anterior comparables. Esto supone ventajas de costes adicionales para el sistema de antena de estación base multihaz 10.

Como se muestra en la Figura 7, los compensadores 40 y 42 son, en el caso más simple, láminas dieléctricas con cierta constante dieléctrica y espesor. El D_k y el grosor del compensador 40 y 42 se pueden seleccionar para ajustar la pérdida de retorno de banda ancha (> 15 dB en los puertos 70) y proporcionar un aislamiento puerto a puerto deseable entre todos los puertos 70 (normalmente se necesitan > 30 dB). Además, el segundo compensador 42 también puede compensar la reflexión desde el límite exterior de la lente 30, para mejorar aún más el aislamiento de puerto a puerto. Los compensadores 40 y 42 pueden tener una variedad de formas, tales como las formas 710, 720, 730, 740, 750 y 760 que se muestran en las Figuras 7a, 7b.

Como alternativa, o adicionalmente, también se pueden utilizar dipolos conductores cortos (con longitud $\ll \lambda$) en la superficie de los compensadores 40 y 42 para compensar la despolarización del cilindro dieléctrico isotrópico. Cuando una onda EM cruza el dipolo, el retraso de fase máximo ocurrirá cuando el vector E sea paralelo a los dipolos y mínimo cuando sea perpendicular. Así, el proceso de despolarización se puede controlar colocando diferentes orientaciones de cables en los compensadores 40 y 42. Por ejemplo, se puede disminuir la despolarización de la polarización lineal (relación axial > 20 dB) o, si es necesario, se puede convertir en circular (relación axial cercana a 0 dB). Por ejemplo, los compensadores 720 y 740 incluyen cables cortos impresos en una lámina dieléctrica, como se muestra en la Figura 7a: 720 tiene alambres laterales, 740 tiene alambres longitudinales. Se pueden lograr funciones similares para el ajuste de polarización con compensadores que tienen ranuras en dieléctrico (ver 720, 730) y que consisten en varillas dieléctricas delgadas (760), como se muestra en la Fig. 7. Por lo tanto, los compensadores 42, 40 se utilizan para mejoras en la pérdida de retorno y en el aislamiento puerto a puerto y (o) en el control de polarización de la antena. Como alternativa, o adicionalmente, se pueden disponer cables en la superficie o lente 30 para proporcionar beneficios similares.

Las tapas de los extremos 64a y 64b, el radón 60 y la bandeja 66 proporcionan protección a la antena. El radomo 60 y la bandeja 66 pueden fabricarse como una sola pieza de plástico extruido. También se pueden utilizar otros materiales y procesos de fabricación. En algunas realizaciones, la bandeja 66 está hecha de metal y actúa como un reflector adicional para mejorar los lóbulos posteriores de la antena y la relación adelante-atrás. En algunas realizaciones, se puede colocar un absorbedor de RF (no mostrado) entre la bandeja 66 y los conjuntos 20a, 20b y 20c para mejorar aún más los lóbulos posteriores. La lente 30 está espaciada de tal manera que las aberturas de los conjuntos de antenas 20a, 20b y 20c apuntan a un eje central de la lente 30. Los soportes de montaje 53 se utilizan para colocar la antena en la torre.

En la Figura 8, se muestran los patrones de radiación del sistema de antena de estación base multihaz 10 de la Figura 1, medidos en el plano de elevación (gráfico 820) para una inclinación del haz de 10° y $d/\lambda = 0.92$. A modo de comparación, se muestra un patrón de radiación sin una lente de radiofrecuencia 30 (gráfico 810) que tiene un lóbulo de rejilla 5 dB más alto. En las Figuras 9, 10 y 11, se muestran los patrones de radiación del sistema de antena de estación base multihaz 10 de la Figura 1, medidos en el plano acimutal. En la Figura 9, se muestran los patrones azimutales copolares (910) y cruzados (920) para el haz central. Como se puede ver en la Figura 9, se logra un buen rendimiento de la antena, incluido un bajo nivel de polarización cruzada (< -20 dB), lóbulos laterales bajos (< -18 dB) y lóbulos posteriores bajos. Por el contrario, la antena análoga de la técnica anterior basada en el Luneberg clásico tiene un nivel de polarización cruzada entre 10 y 12 dB más alto. En las comunicaciones inalámbricas, la baja polarización cruzada de la antena beneficia la ganancia de diversidad y el rendimiento MIMO, y la reducción de los lóbulos laterales y posteriores reduce la interferencia. En la Figura 10, los tres haces se muestran juntos (1010, 1020, 1030). Tenga en cuenta que los tres haces tienen la misma forma, lo que constituye una ventaja en comparación con

las soluciones de múltiples haces de matriz Butler de la técnica anterior, donde los haces externos no son simétricos y tienen una forma y ganancia diferentes en comparación con el haz central. La Figura 11 ilustra una configuración de tres sistemas de antena de estación base multihaz de la Figura 1 que proporcionan una cobertura celular uniforme de 360° con baja superposición entre haces, lo cual es deseable para LTE.

5 En la Figura 1, la lente de radiofrecuencia 30 tiene áreas superiores e inferiores planas, ya que es conveniente desde el punto de vista mecánico/de ensamblaje (se pueden usar copas de extremo plano simples 64a, 64b). Pero en algunos casos, como se muestra en la Figura 12, se puede utilizar una lente de radiofrecuencia 1200 con extremos redondeados (hemisféricos) 1210, 1220. Para simplificar, en la Figura 12 sólo se muestra una matriz lineal 20, que puede ser análoga a la matriz lineal 20 presentada en la Figura 2. Los extremos de lente hemisférica 1210, 1220 proporcionan un enfoque adicional en el plano de elevación para los elementos radiantes de borde 1230, 1240, lo que da como resultado la ventaja de obtener una ganancia adicional $\Delta G \approx 10 \log(1 + D/L)$, [dB], donde D es el diámetro de la lente. Para una antena de tres haces como la que se muestra en la Figura 1, $\Delta G \approx 1$ dB. La configuración de la Figura 12 puede ser una forma económicamente efectiva de mejorar la ganancia de la antena, porque la ganancia adicional ΔG se obtiene sin aumentar las longitudes de los conjuntos 20 y el número de sus elementos radiantes.

15 La demanda de antenas de banda dual y/o multibanda está en aumento, además de las antenas de banda simple. Tales antenas pueden incluir, por ejemplo, antenas que proporcionan puertos para transmisión y recepción en las bandas de 698 - 960 MHz + 1.7-2.7 GHz, o, por ejemplo, 1.7-2.7 GHz + 3.4-3.8 GHz. El uso de lentes cilíndricas ofrece una buena oportunidad para crear antenas multihaz de banda dual BSA. Una lente cilíndrica homogénea de radiofrecuencia funciona bien cuando su diámetro $D = 1.5 - 6\lambda$ (longitud de onda en el espacio libre). Esto es aplicable para ambos casos de BSA de banda dual mencionados anteriormente. Un reto es proporcionar el mismo ancho de haz en el plano azimutal para todas las bandas y todos los haces. Para lograr esto, el ancho de haz en el plano azimutal de una matriz de antenas de baja banda (antes de pasar a través de una lente de radiofrecuencia) debe ser más amplio en comparación con una matriz de antenas de alta banda, aproximadamente en proporción a la relación de frecuencia central entre las dos bandas.

25 En las figuras 13-15 se muestran esquemáticamente soluciones para conjuntos de antenas de banda dual (que forman parte de antenas con lentes multihaz). Estos conjuntos de banda dual contienen radiadores de 2 bandas diferentes y pueden colocarse alrededor de la lente de manera similar a como se muestra en la Figura 1 para conjuntos de banda única.

30 En la Figura 13, los elementos radiantes de banda inferior (LB) 1300 y los elementos radiantes de banda superior (HB) 210 están colocados en la misma línea en el centro del reflector 1310. Los elementos radiantes LB y HB son una matriz dipolar de tipo caja para proporcionar un ancho de haz azimutal que disminuye monótonamente con el aumento de la frecuencia. Además, cada elemento HB 210 tiene directores 610 que ayudan a que el ancho del haz azimutal HB sea más estrecho que el ancho del haz azimutal LB. Como resultado, después de pasar la lente de radiofrecuencia 30, los patrones de radiación LB y HB tienen un ancho de haz similar (como se detalló anteriormente). Si, por ejemplo, para el conjunto 1310 LB el acimut HPBW es 65°-75°, el HB puede ser de aproximadamente 40° y el HPBW resultante de la antena con lentes multihaz es de aproximadamente 23° en ambas bandas.

40 En la Figura 14, se muestra otro conjunto de banda dual, con otro enfoque para estrechar el haz azimutal HB. Dentro del elemento LB 1300, se coloca un solo elemento HB 210, pero entre los elementos LB, se colocan un par de elementos HB 1400. Estos elementos HB 1400 pueden ser, por ejemplo, dipolos cruzados, como se muestra en la Figura 14. Mediante la variación del espaciamiento entre los elementos 1400 en el plano acimutal, el haz HB acimutal se puede ajustar al ancho requerido, de modo que el ancho del haz después de pasar a través de la lente de radiofrecuencia 30 sea de un HPBW deseado.

45 En la Figura 15, se muestra otra matriz de banda dual. Los pares de elementos HB 1400 están conectados mediante un divisor de potencia 1:2 1500 y líneas de alimentación 1510 al divisor/desplazador de fase 230. Mediante la variación del espaciamiento entre elementos 1400 en el plano acimutal, el haz HB acimutal se puede ajustar al ancho requerido, para una cobertura óptima del sector de la celda.

50 Por lo tanto, la solución de antena multihaz propuesta, en comparación con las soluciones conocidas de redes de alimentación de matriz Butler y lentes Luneberg, tiene un coste reducido, menos peso, es más compacta y tiene un mejor rendimiento de RF, incluidos haces inherentemente simétricos y una mejor polarización cruzada, aislamiento puerto a puerto y estabilidad del haz.

Aunque la invención se ha descrito con respecto a realizaciones preferidas específicas, muchas variaciones y modificaciones resultarán evidentes para los expertos en la materia al leer la presente solicitud. Por ejemplo, la invención puede ser aplicable a antenas multihaz de radar.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de antena de estación base de haces múltiples (10) que comprende:
una primera columna de elementos radiantes (20b), la primera columna de elementos radiantes (20b) tiene un primer eje longitudinal y configurada para generar haces que apuntan en un primer ángulo acimutal;
- 5 una segunda columna de elementos radiantes (20a), la segunda columna de elementos radiantes (20a) tiene un segundo eje longitudinal y configurada para generar haces que apuntan en un segundo ángulo acimutal;
una tercera columna de elementos radiantes (20c), la tercera columna de elementos radiantes (20c) tiene un tercer eje longitudinal y está configurada para generar haces que apuntan en un tercer ángulo acimutal;
- 10 una lente de radiofrecuencia (30) que tiene un cuarto eje longitudinal, la lente de radiofrecuencia (30) está dispuesta de tal manera que el primer eje longitudinal, el segundo eje longitudinal y el tercer eje longitudinal están sustancialmente alineados con el cuarto eje longitudinal y el primer ángulo de acimut, el segundo ángulo de acimut y el tercer ángulo de acimut de los haces producidos por la primera columna de elementos radiantes (20b), la segunda columna de elementos radiantes (20a) y la tercera columna de elementos radiantes (20c) están dirigidos a la lente de radiofrecuencia (30);
- 15 donde cada una de la segunda columna de elementos radiantes (20a), la primera columna de elementos radiantes (20b) y la tercera columna de elementos radiantes (20c) produce un haz que tiene un ancho de haz de -10 dB de aproximadamente 40° y que tiene un segundo, primer y tercer ángulos acimutales de -40°, 0°, 40°, respectivamente; y
- 20 un radomo que alberga la primera columna de elementos radiantes (20b), la segunda columna de elementos radiantes (20a), la tercera columna de elementos radiantes (20c) y la lente de radiofrecuencia (30),
en la que la lente de radiofrecuencia (30) es una lente cilíndrica y comprende material dieléctrico que tiene una constante dieléctrica sustancialmente homogénea.
- 25 2. El sistema de antena de estación base de haces múltiples de la reivindicación 1, en la que las columnas de elementos radiantes (20a, 20b, 20c) están configuradas para funcionar en una banda de radiofrecuencia que tiene una longitud de onda, y en el que la lente de radiofrecuencia (30) tiene un diámetro en el rango de aproximadamente 1.5 - 5 longitudes de onda.
3. El sistema de antena de estación base de haz múltiple de la reivindicación 1 en la que la lente de radiofrecuencia (30) tiene una constante dieléctrica entre 1.5-2.3.
- 30 4. El sistema de antena de estación base de haces múltiples de la reivindicación 1, donde los elementos radiantes tienen anchos de haz acimutal que disminuyen monótonamente al aumentar la frecuencia.
5. El sistema de antena de estación base de haces múltiples de la reivindicación 1, donde al menos una columna de elementos radiantes (20a, 20b, 20c) incluye uno o más directores (610) para estabilizar los haces formados por el sistema de antena con lentes.
- 35 6. El sistema de antena de estación base de haces múltiples de la reivindicación 1, que comprende además una lente de radiofrecuencia secundaria (43) dispuesta entre la primera columna de elementos radiantes (2b) y la lente de radiofrecuencia (30).
7. El sistema de antena de estación base de haz múltiple de la reivindicación 6, en el que la lente de radiofrecuencia secundaria (43) comprende una varilla dieléctrica (510, 520).
- 40 8. El sistema de antena de estación base de haz múltiple de la reivindicación 6, en el que la lente de radiofrecuencia secundaria (43) comprende bloques dieléctricos (530) ubicados en cada elemento radiante.
9. El sistema de antena de estación base de haz múltiple de la reivindicación 1, en la que la lente de radiofrecuencia (30) comprende partículas dieléctricas, y la pluralidad de partículas dieléctricas incluye dos materiales anisotrópicos diferentes.
- 45 10. El sistema de antena de estación base de haz múltiple de la reivindicación 1, que comprende además una lámina dieléctrica dispuesta entre la lente y los elementos radiantes en al menos la primera columna de elementos radiantes.

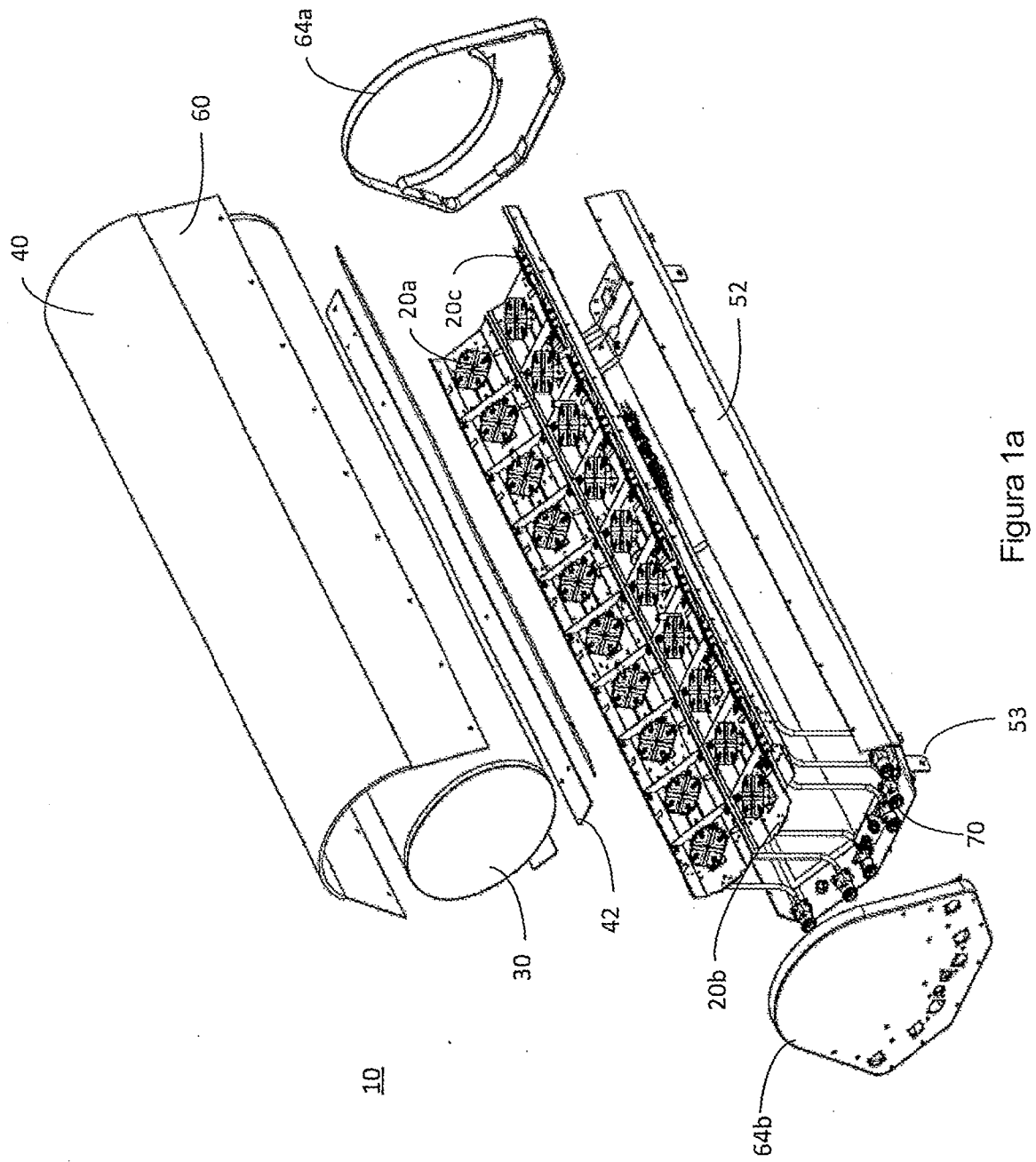


Figura 1a

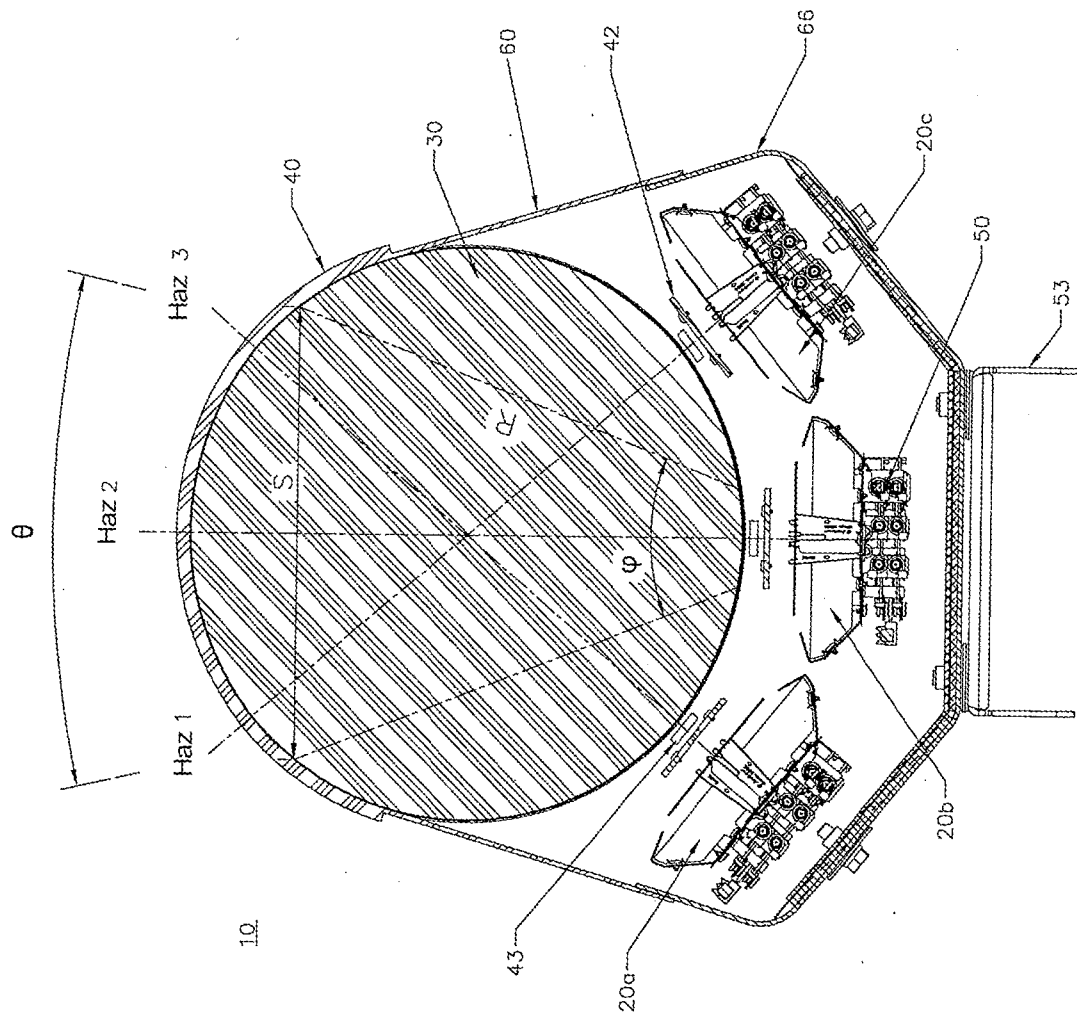


Figura 1b

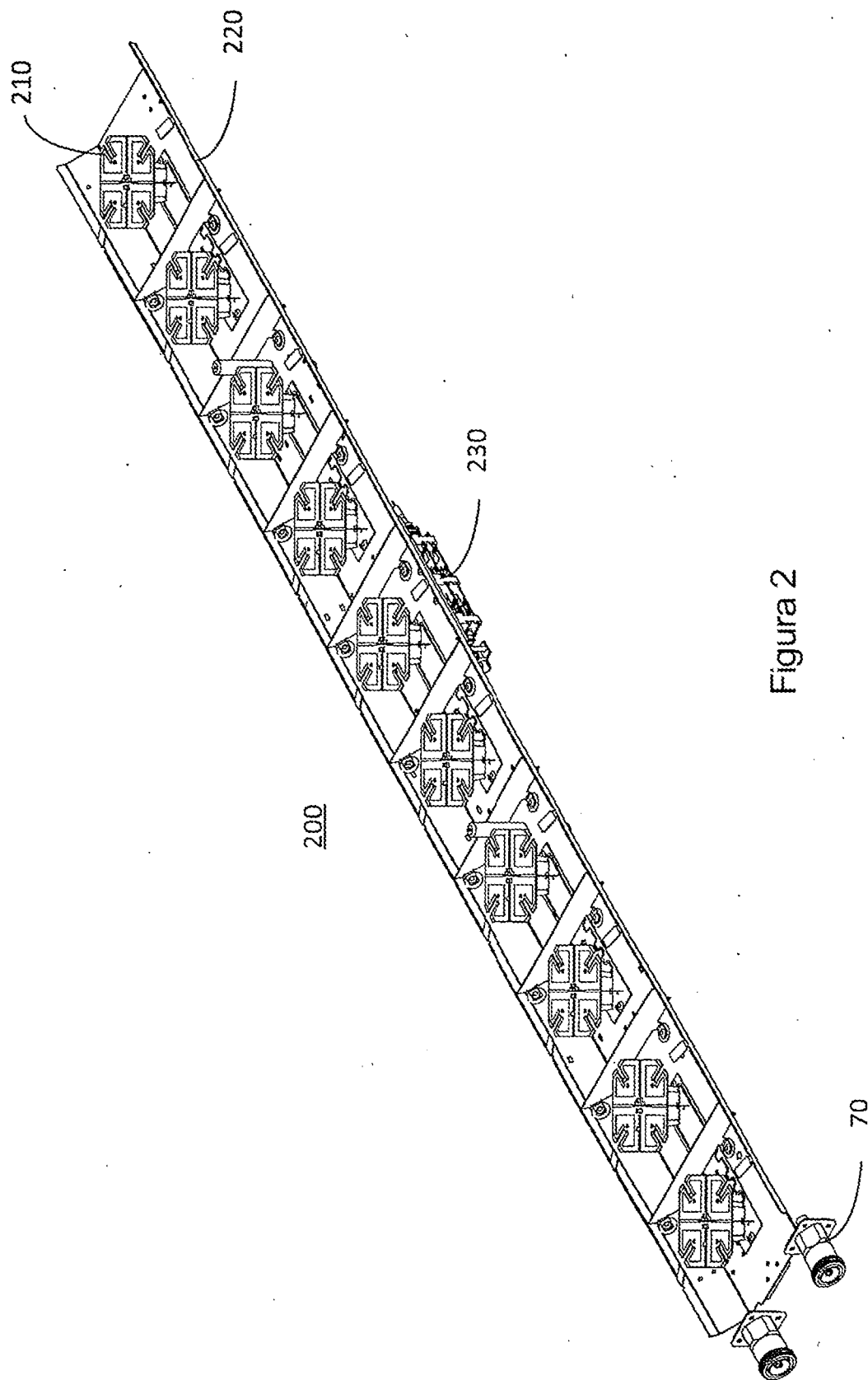


Figura 2

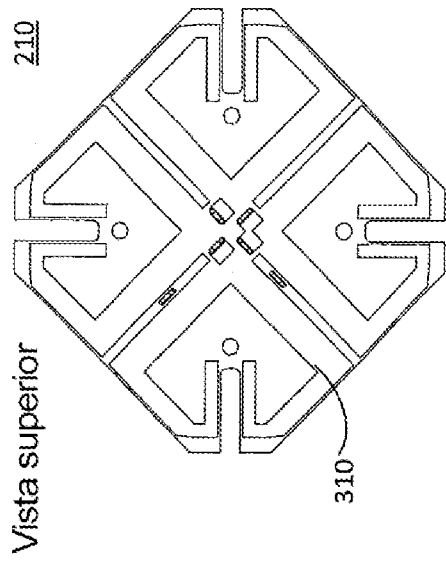


Figura 3a

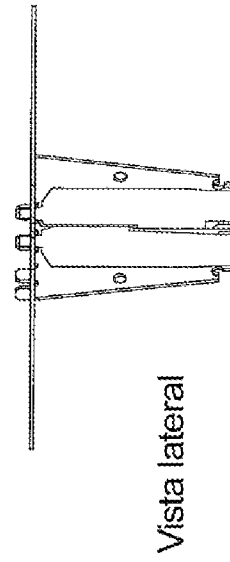


Figura 3b

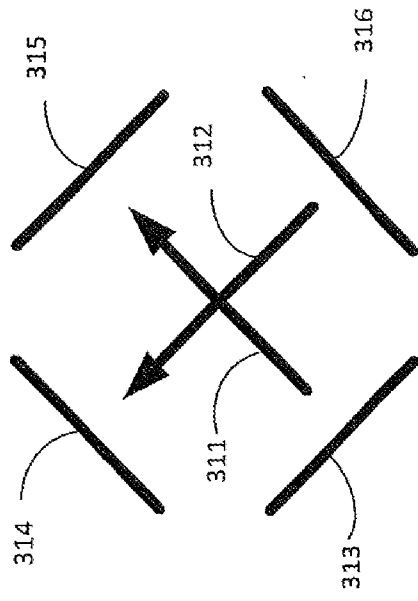


Figura 3c

400

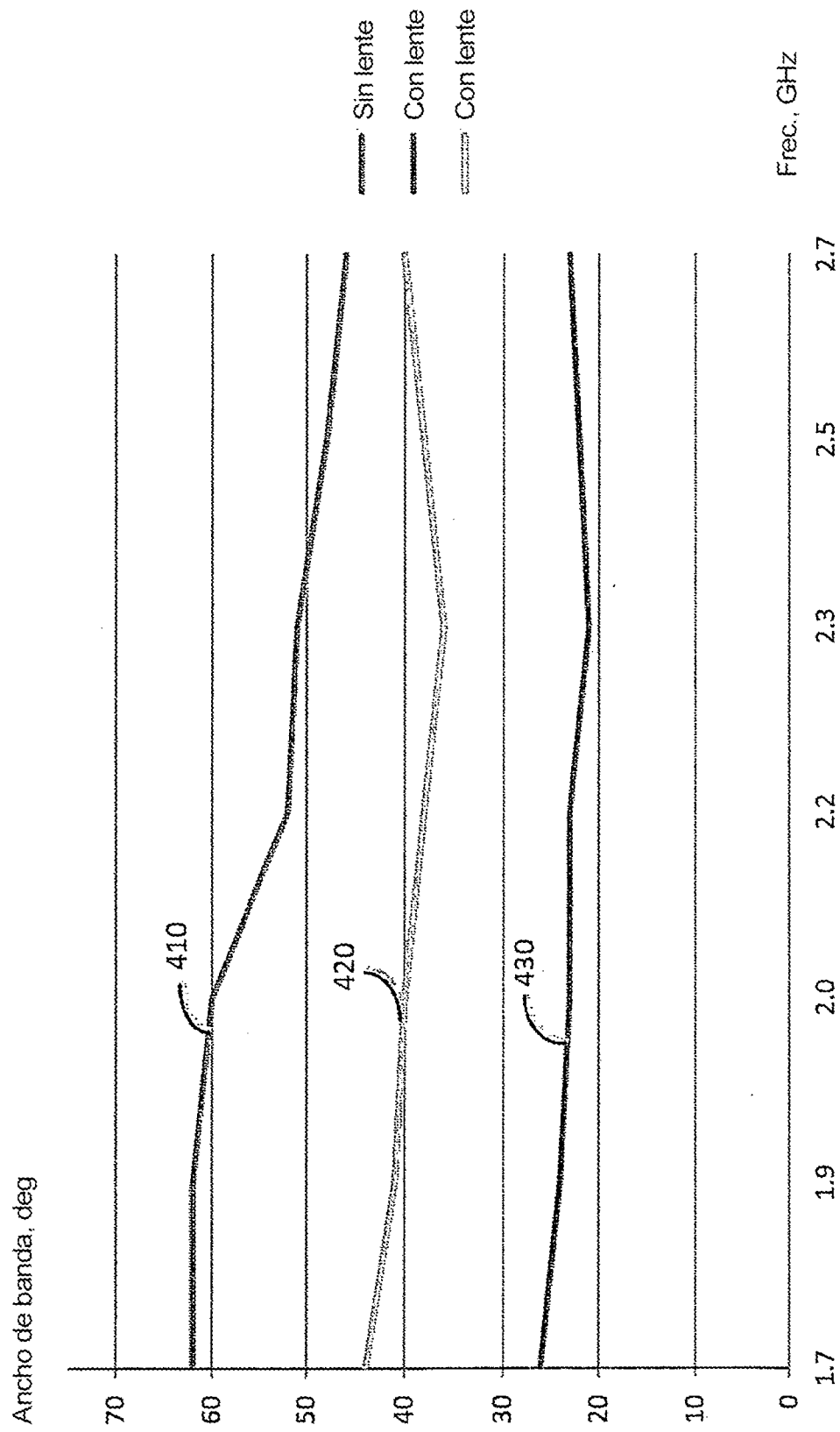


Figura 4

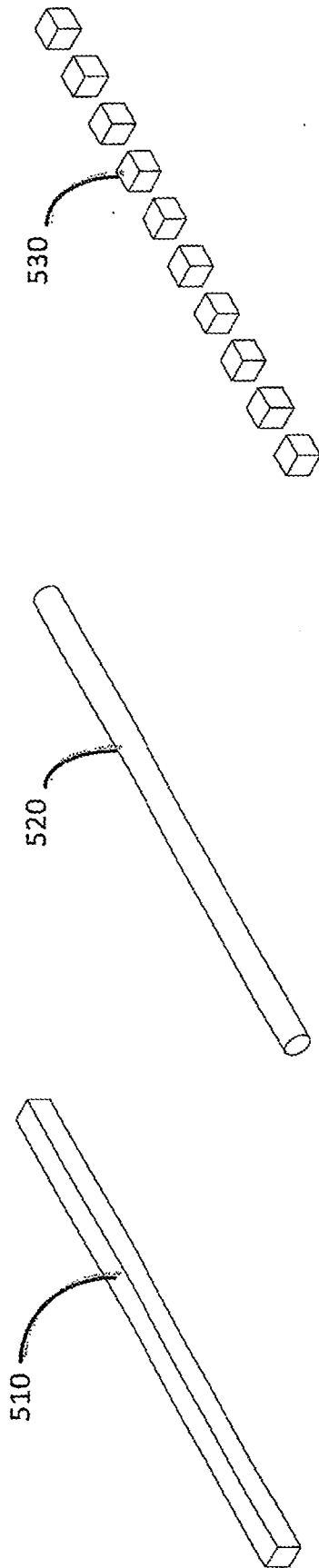


Figura 5

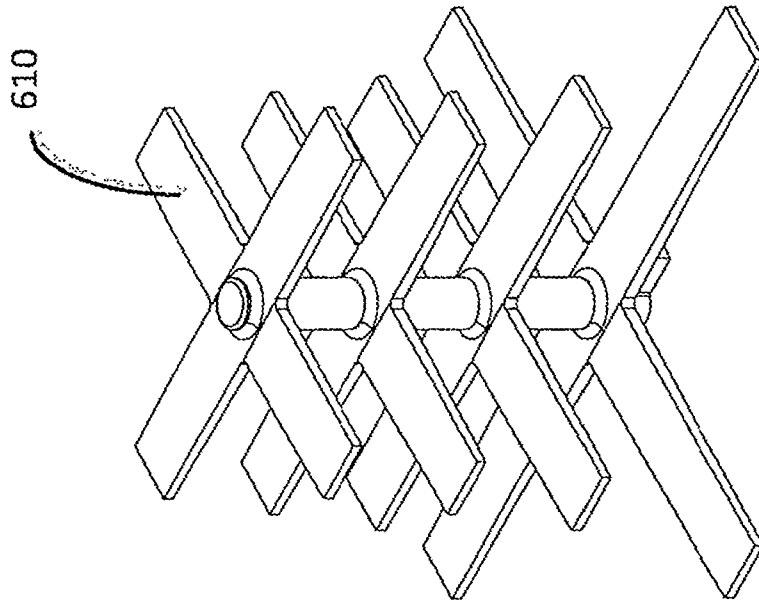


Figura 6

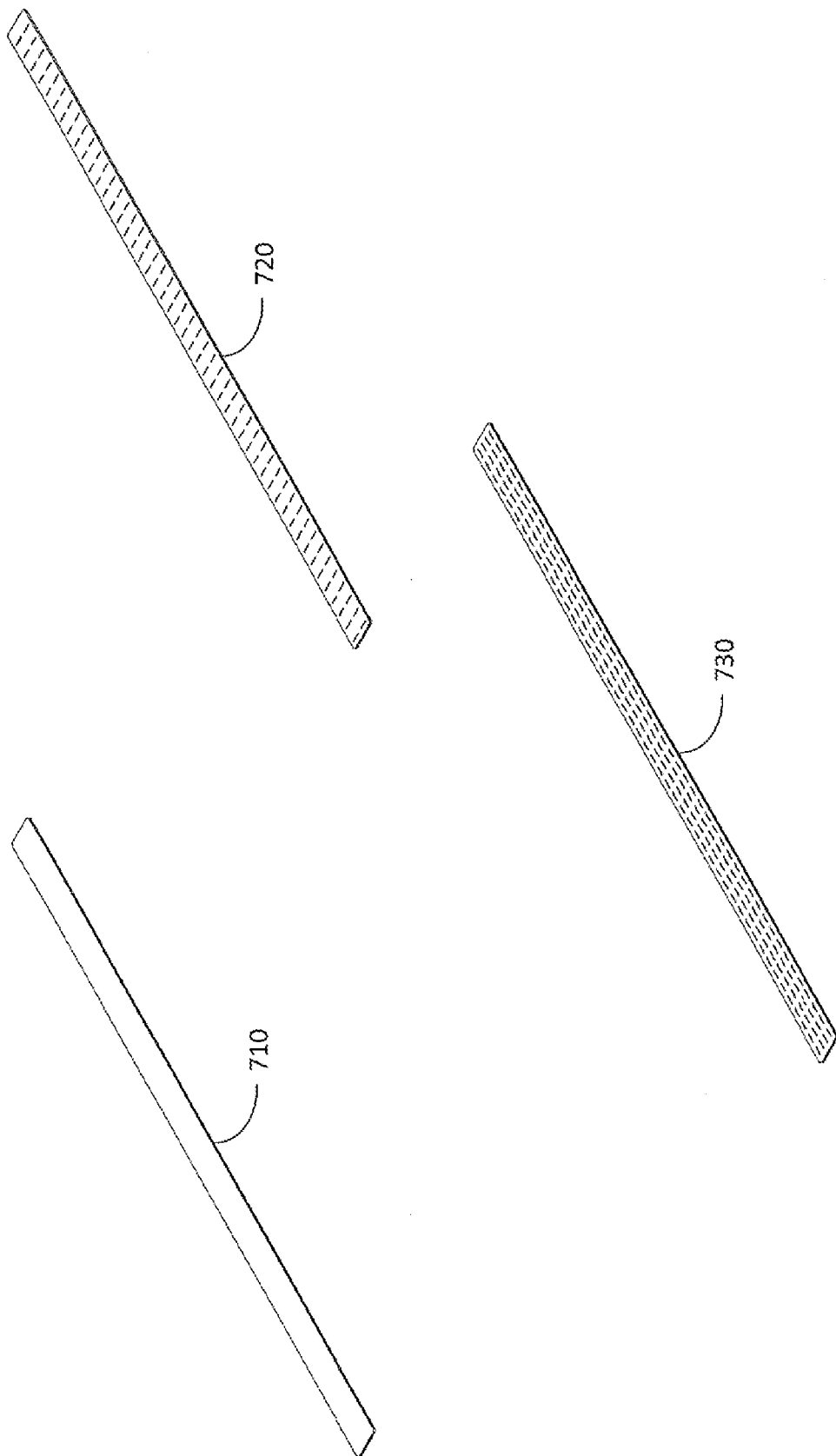


Figura 7a

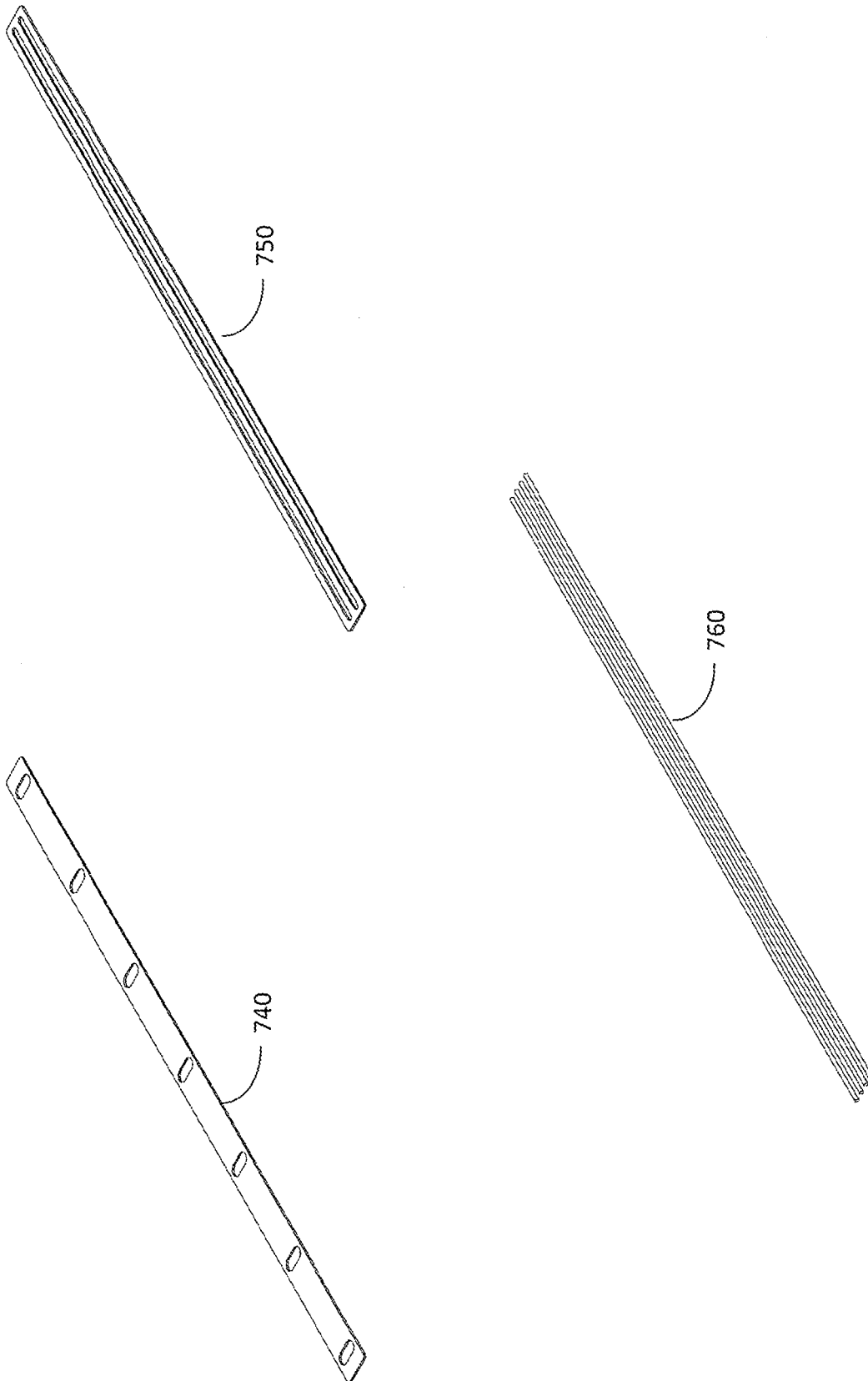


Figure 7b

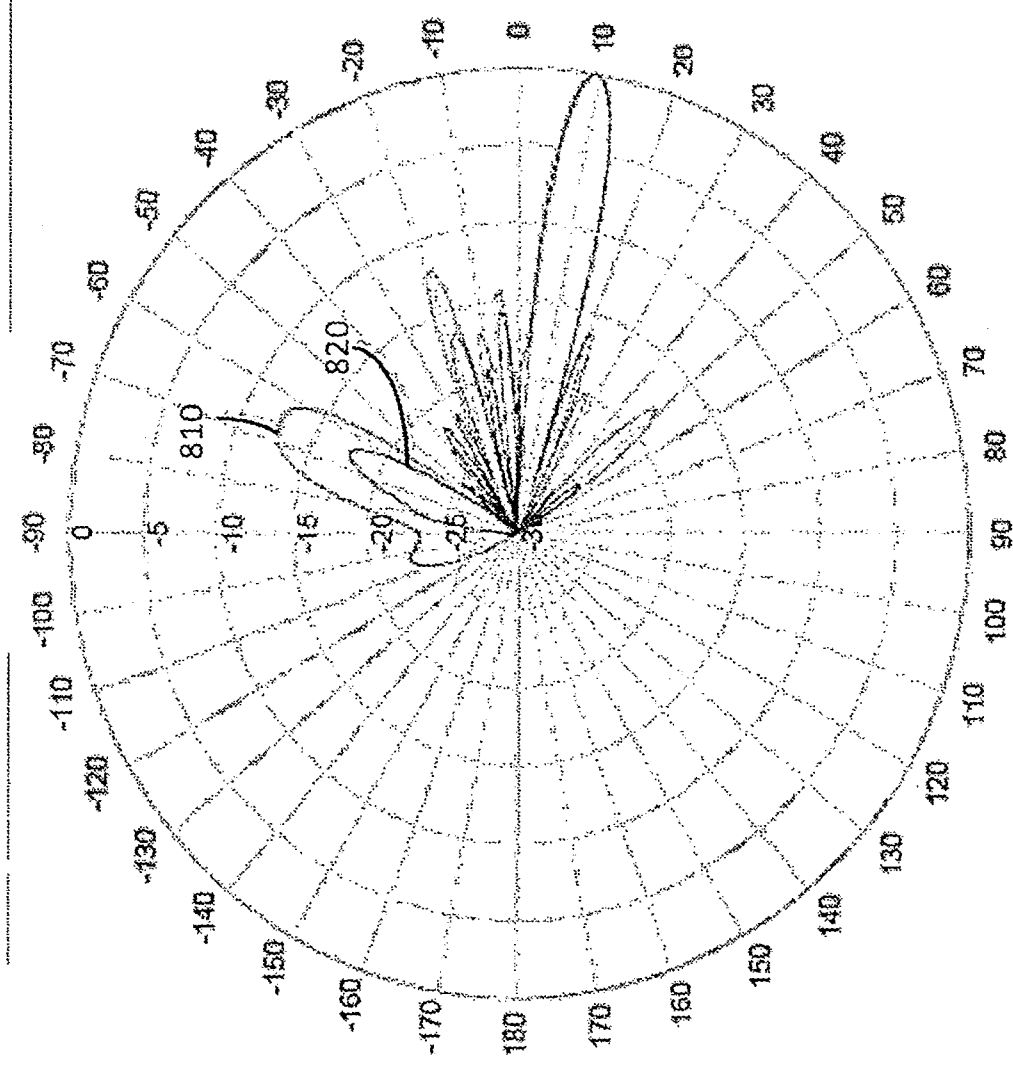


Figura 8

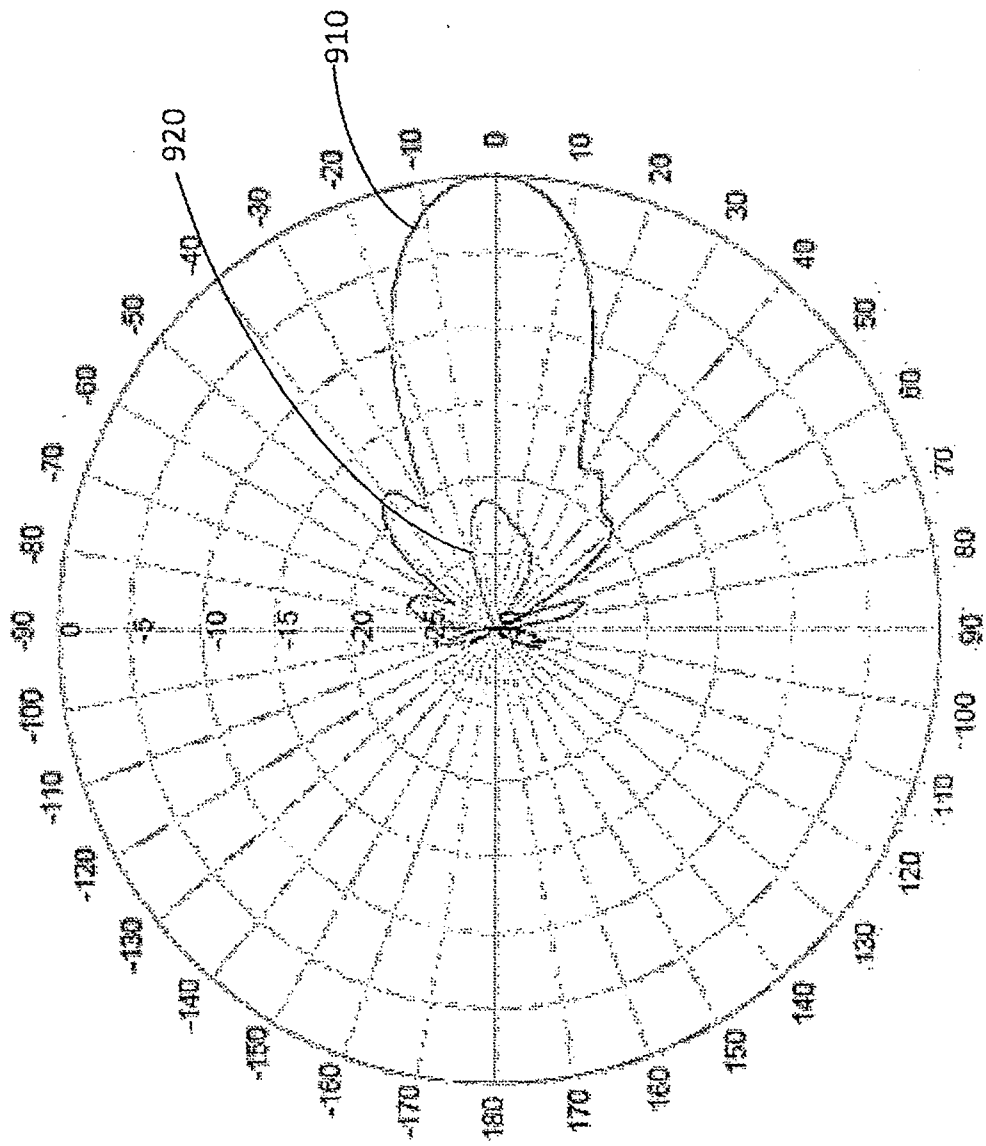


Figura 9

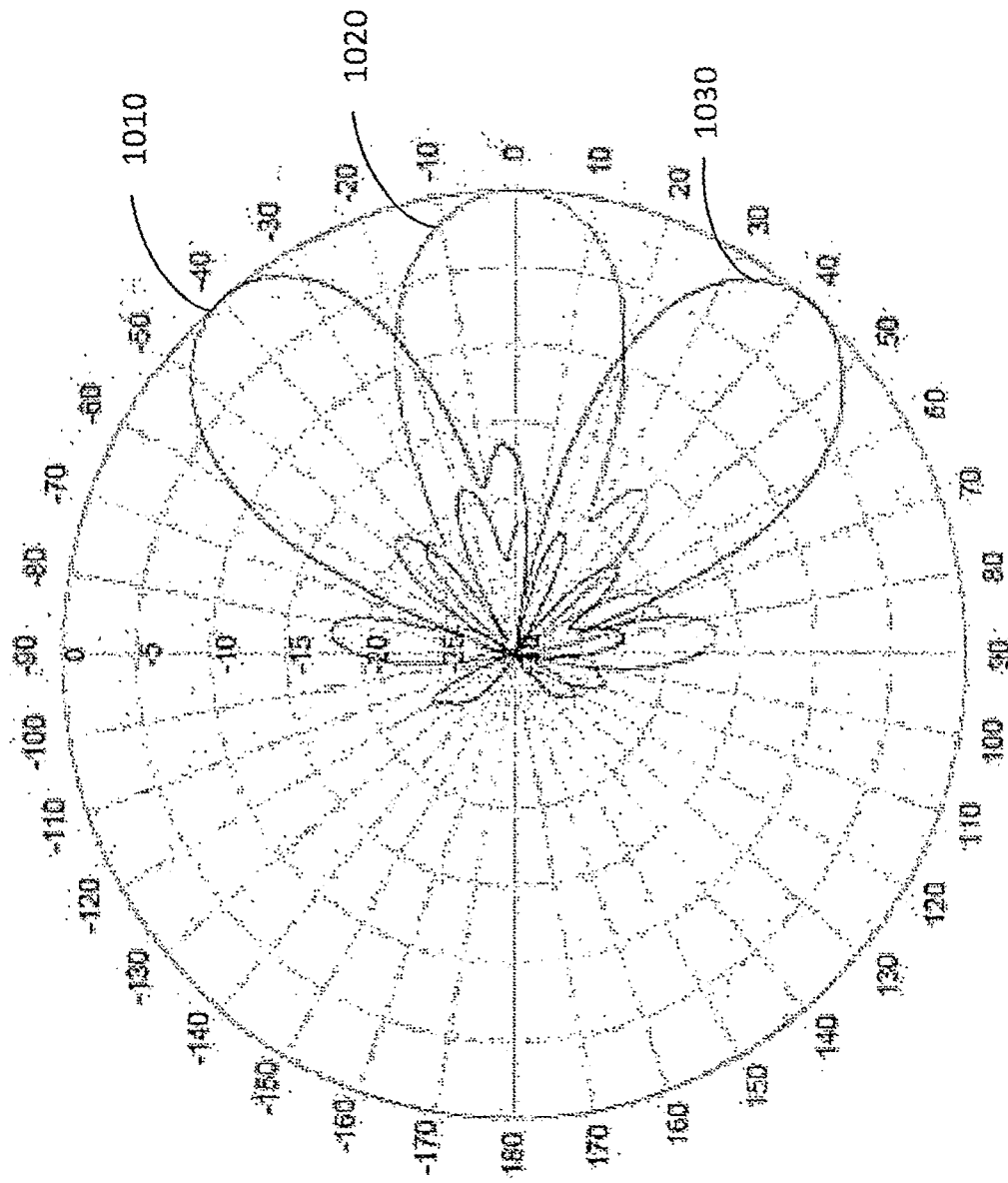


Figura 10

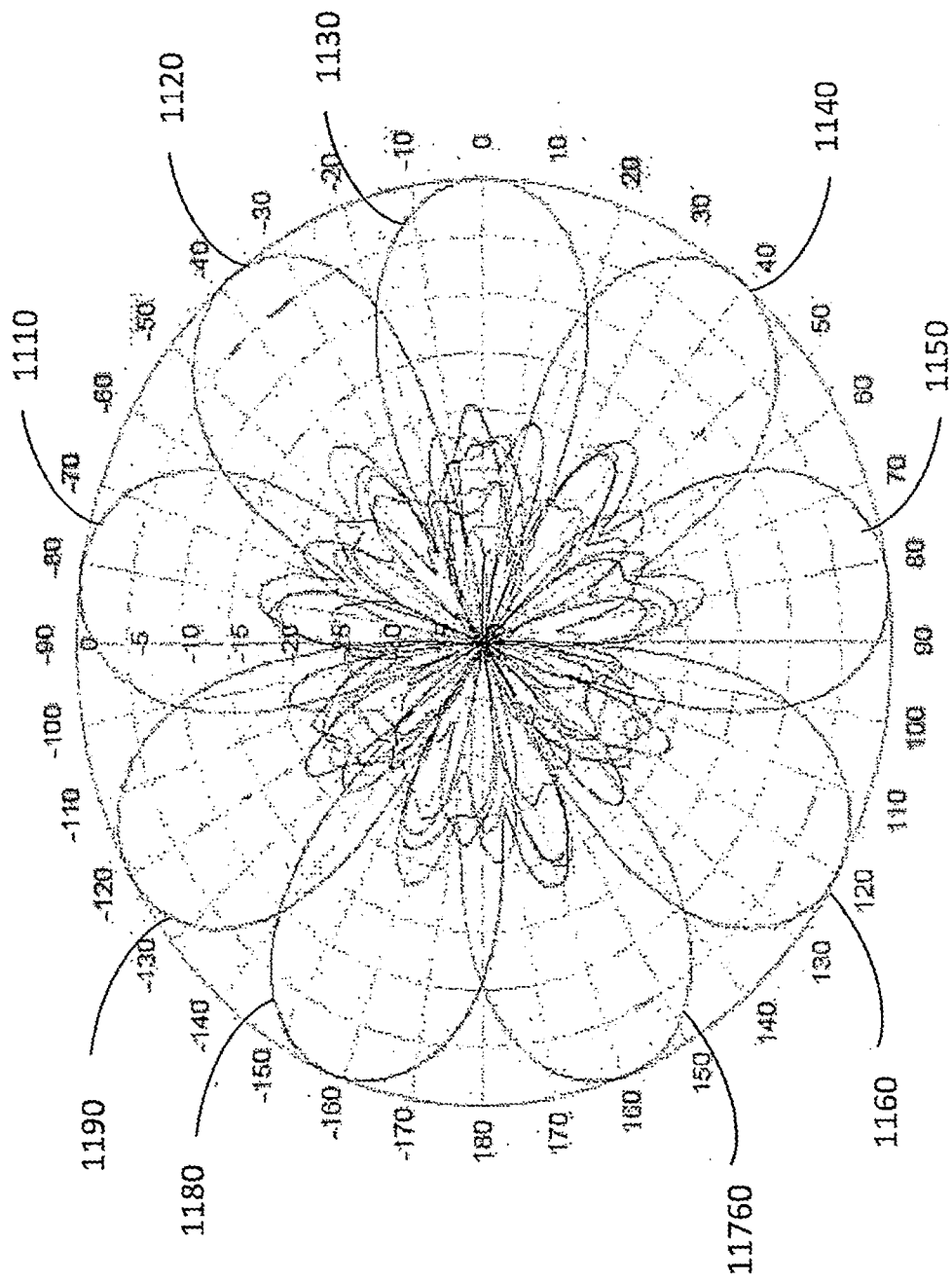


Figura 11

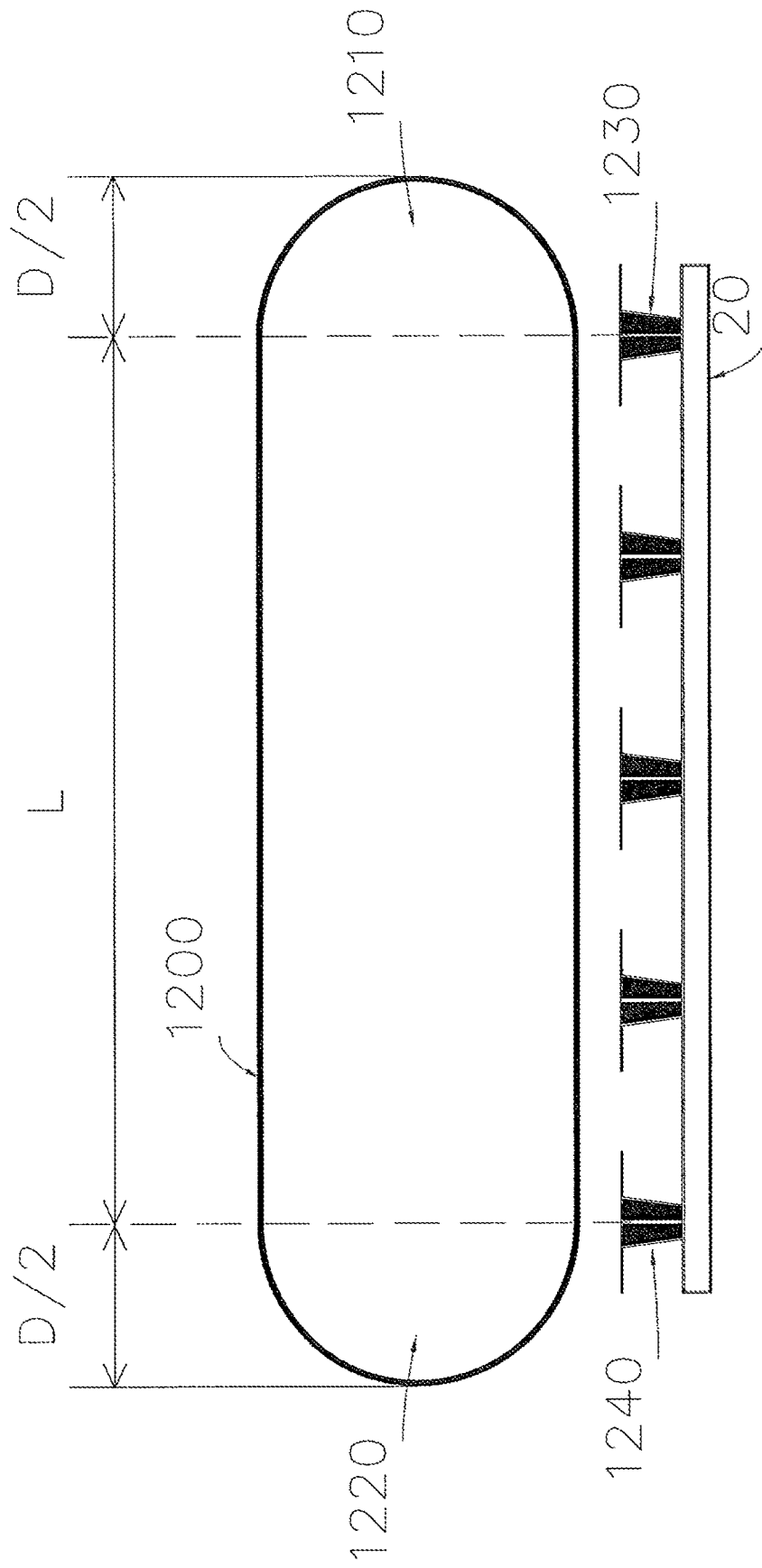


Figura 12

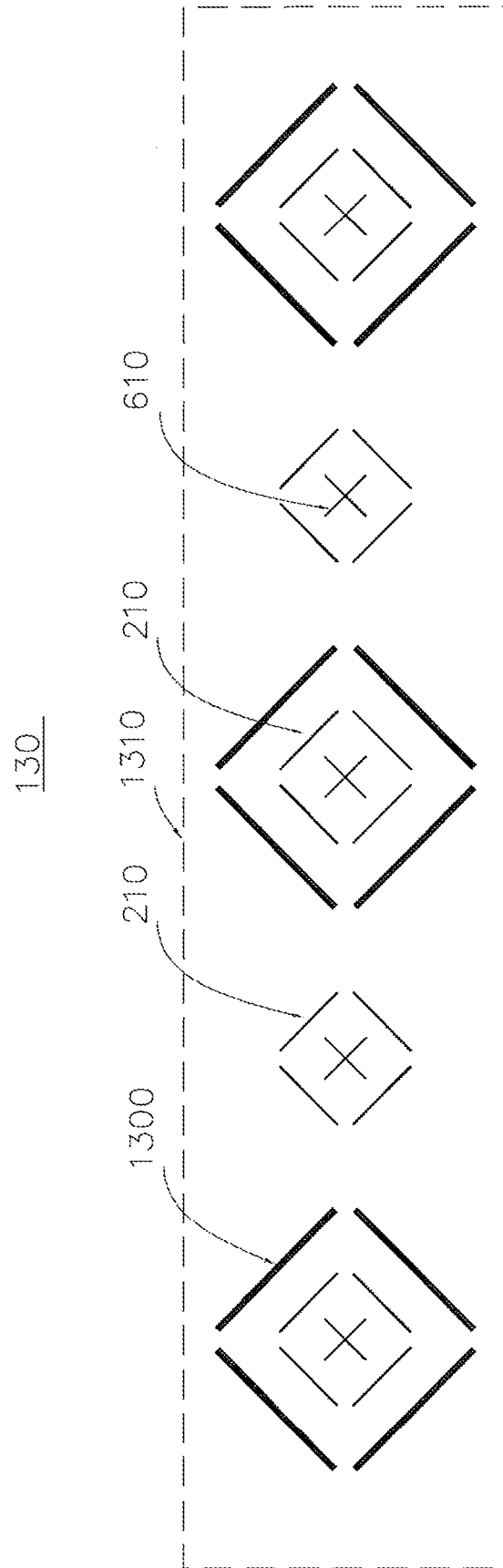


Figura 13

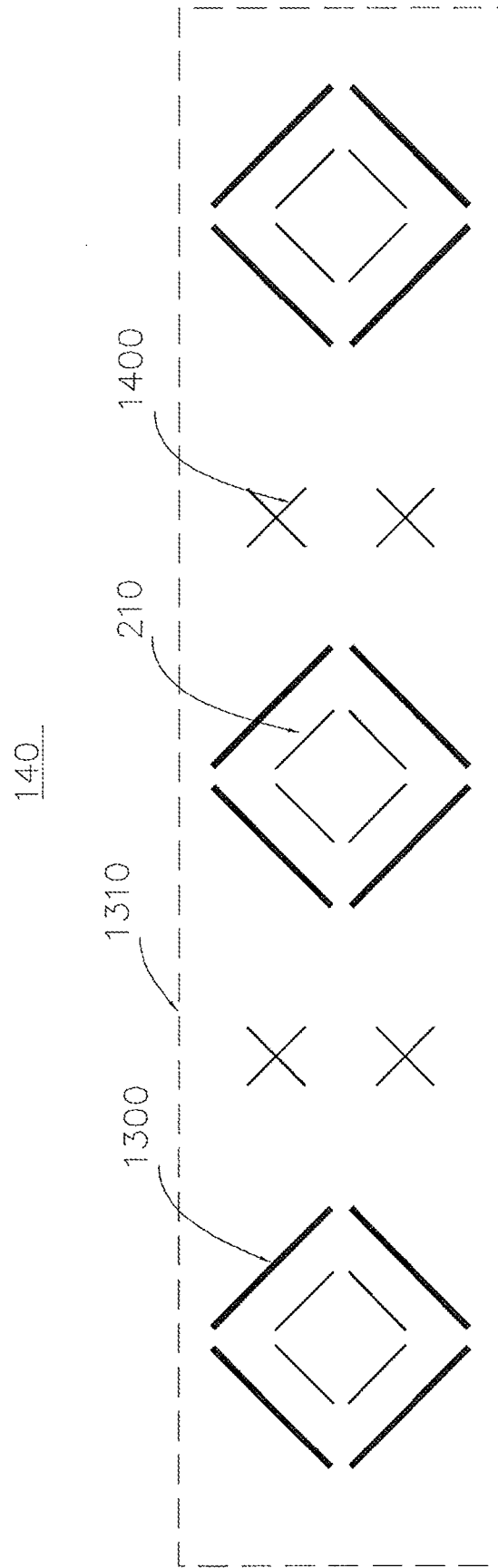


Figure 14

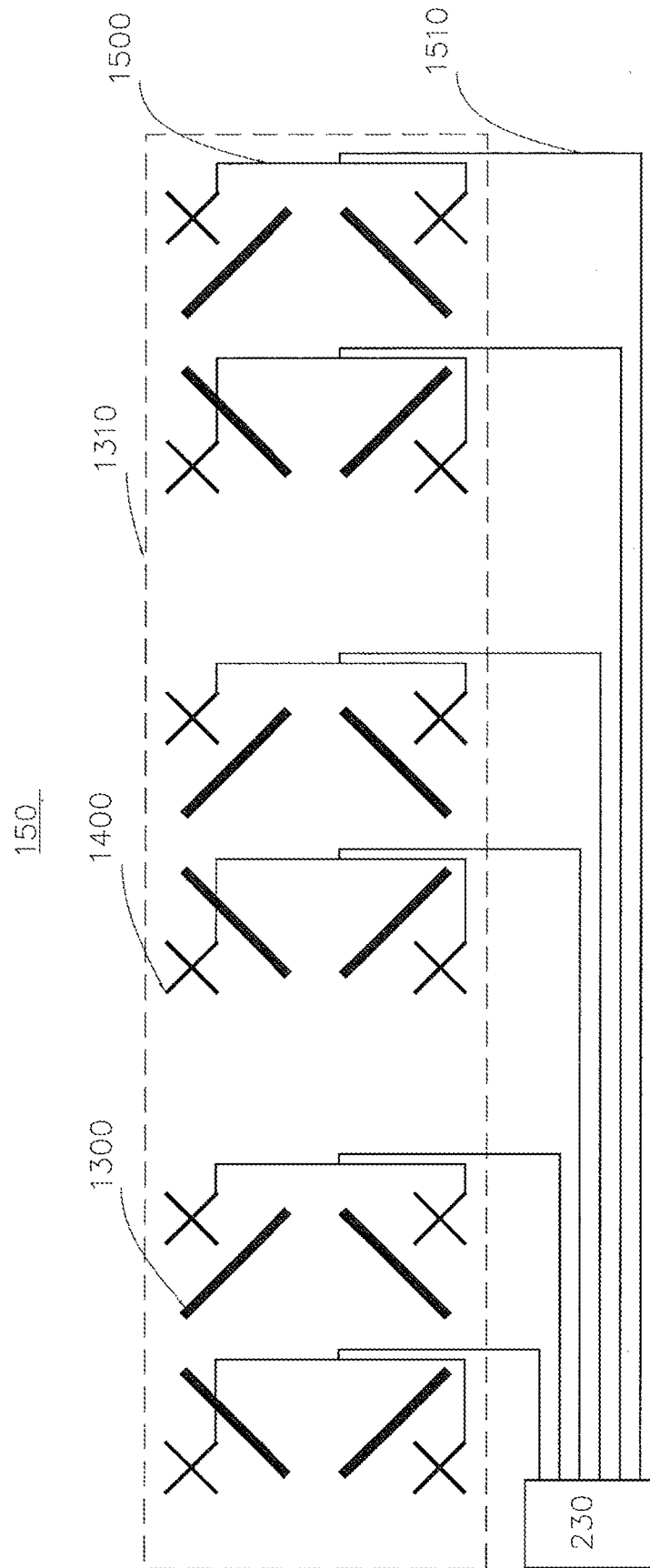


Figura 15