

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 637 766**

51 Int. Cl.:

H01Q 1/38	(2006.01)
H01Q 1/44	(2006.01)
H01Q 3/34	(2006.01)
H01Q 3/44	(2006.01)
H01Q 21/00	(2006.01)
H01Q 21/06	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.09.2012 PCT/EP2012/067767**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.04.2013 WO13045267**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.09.2012 E 12756505 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.05.2017 EP 2761693**

54 Título: **Arreglo plano de antenas en fase orientables electrónicamente**

30 Prioridad:

27.09.2011 EP 11182926

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.10.2017

73 Titular/es:

**ALCAN SYSTEMS GMBH (100.0%)
Merckstrasse 25
64283 Darmstadt, DE**

72 Inventor/es:

**JAKOBY, ROLF;
GOELDEN, FELIX;
KARABEY, ONUR HAMZA y
MANABE, ATSUTAKA**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 637 766 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

Arreglo plano de antenas en fase orientables electrónicamente

5 Se presenta un arreglo con haz bidimensional (2-D) de antenas en fase y orientables, que comprende un material electrónicamente orientable de manera continua que incluye material sintonizable o dieléctrico variable, preferentemente un material de cristal líquido. Se propone una arquitectura de antena compacta que incluye un arreglo de antenas de parche, desfases sintonizables, una red de alimentación y una red de polarización. Similar a la pantalla de LC, la antena propuesta se fabrica usando técnicas automatizadas y, por lo tanto, se reducen considerablemente los costos de fabricación.

Estado de la técnica

10 Esta invención se refiere a un arreglo (o array) de antenas en fase. Más específicamente, la invención se refiere a un arreglo de antenas en fase orientables electrónicamente, en base a desfases sintonizables por tensión cuyo material dieléctrico de baja pérdida puede sintonizarse con una tensión aplicada.

15 En los últimos años, ha aumentado drásticamente la demanda de antenas orientables para terminales móviles debido al rápido desarrollo de los servicios satelitales de difusión. Desde los satélites, se prestan servicios inalámbricos de internet, multimedia y difusión, que mediante antenas orientables operan en la banda L, la banda Ku o la banda K/Ka, por ejemplo a un vehículo en movimiento, como un automóvil, avión o barco o incluso a otros dispositivos portátiles como TV o GPS móviles.

El documento de la técnica anterior US6864840 describe un conjunto de arreglos de antenas en fase alimentadas en serie con desfases dieléctricos.

20 Una antena orientable puede cambiar la dirección de su haz principal con el objeto de asegurar que el mismo apunte continuamente al satélite. La mayoría de las antenas orientables del mercado están controladas mecánicamente. Con la ayuda de sistemas mecánicos impulsados por motores, se ajusta la orientación de la antena en los planos de elevación y azimut. Algunos otros tipos de sistemas de antenas utilizan métodos híbridos, como la orientación electrónica en el plano de elevación y el ajuste mecánico en el plano de azimut. Esas clases de terminales móviles son voluminosas, tienen una velocidad de orientación de haz relativamente lenta, es decir 45°/s, sensible a la fuerza gravitatoria y requieren altos costos de mantenimiento debido al uso de sistemas mecánicos. Principalmente se emplean en aplicaciones militares y no resultan preferidas en una terminal móvil en que la apariencia estética es un requisito crucial, por ejemplo en la industria automotriz.

25

30 Un arreglo de antenas en fase es uno de los tipos conocidos de antenas electrónicamente orientables (ESA, por su sigla inglesa) veloz, compacta, confiable y fácil de mantener, en comparación con las antenas mecánicamente orientables. Consta de red de alimentación/distribución RF, desfases sintonizables electrónicamente, módulos de transmisión/recepción (para los arreglos activos) y elementos radiantes. La fase de cada elemento radiante o grupo de elementos radiantes se ajusta a valores predefinidos por los desfases sintonizables electrónicamente a fin de inclinar el frente de la fase radiada en una dirección especificada. Esas antenas son de bajo precio y bajo perfil, aunque es un reto el alto precio de sus respectivas terminales que exigen una costosa electrónica.

35

Los desfases sintonizables electrónicamente cumplen un rol esencial en relación con el desempeño, el costo y las dimensiones de la ESA. El parámetro común para cuantificar el desempeño RF de un desfase sintonizable es su factor de mérito (FoM, por su sigla inglesa) dependiente de la frecuencia. Eso se define por la proporción entre el máximo desplazamiento de fase diferencial y la más alta pérdida de inserción en todos los estados de sintonización. En general, la meta es lograr el máximo desplazamiento de fase diferencial posible junto con la pérdida de inserción más baja, lo cual lleva a un alto FoM. En la técnica, los enfoques tecnológicos de los desfases sintonizables electrónicamente incluyen sistemas microelectromecánicos (MEMS, por su sigla inglesa), semiconductores y materiales dieléctricos continuamente sintonizables tales como titanato de estroncio de bario (BST) y cristal líquido (LC). Esas tecnologías se han comparado en términos de diferentes aspectos, tales como capacidad de sintonización, consumo de energía, tiempo de respuesta y costo. El FoM más avanzado de desfase basado en MEMS es de aproximadamente entre 50°/dB y 100°/dB. Los desfases de circuito integrado de microondas monolítico (MMIC, por su sigla inglesa) basados en semiconductores tienen un FoM de aproximadamente entre 40°/dB y 70°/dB, a frecuencias de microondas >20 GHz. De manera similar, los desfases basados en BST tienen un desempeño relativamente alto (el FoM es de aproximadamente entre 40°/dB y 90°/dB) en frecuencias de hasta 10 GHz.

40

45

50 El cristal líquido (LC) es otro posible material dieléctrico sintonizable que puede usarse en altas aplicaciones de microondas y ondas milimétricas. El LC es un material continuamente sintonizable con bajas pérdidas dieléctricas. En la aplicación práctica, puede controlarse su mantenibilidad, es decir la aplicación de una tensión de polarización con bajo consumo de energía. Su mantenibilidad se define como la proporción de cambio de la constante dieléctrica con una tensión aplicada. La constante dieléctrica efectiva de LC depende de la orientación de las moléculas con respecto

al campo RF. Puede lograrse la orientación deseada de las moléculas, es decir que sea paralela o perpendicular al campo RF, usando tratamientos de superficie o campo electrostático. El FoM del desfasador LC más avanzado basado en línea en forma de microcinta es de aproximadamente 110°/dB y el de un desfasador LC basado en una guía de onda parcialmente llena es de 200°/dB a 20 GHz.

- 5 Es posible fabricar un arreglo orientable bidimensional de bajo perfil en arquitectura tipo " mosaicos", donde los desfasadores sintonizables electrónicamente se montan en otra capa, paralela a los elementos radiantes. En un arreglo tan grande, es decir que tiene 16x16 elementos radiantes, es un problema la compacidad de los desfasadores sintonizables electrónicamente. Cada desfasador o grupo de desfasadores debe fabricarse en un área limitada. Más aún, deben polarizarse individualmente a fin de orientar el haz principal de la antena en los planos tanto de elevación
- 10 como de azimut. El desfasador basado en MEMS o semiconductores necesita más que una línea de polarización, según su resolución de desplazamiento de fase diferencial. Por ejemplo, un desfasador de 3 bits tiene que polarizarse con tres líneas de polarización. Por otra parte, sólo se requiere una línea de polarización cuando se usa un desfasador dieléctrico sintonizable. Sin embargo, aún resulta dificultoso el diseño compacto de un desfasador eléctricamente sintonizable que tenga un desplazamiento de fase diferencial de 360°.
- 15 Asimismo, debido al diseño compacto de una gran ESA, es necesario impedir el acoplamiento entre los desfasadores sintonizables electrónicamente y otros componentes, a fin de no reducir el desempeño de la antena. En el documento US20090091500, se expone la posible utilización de LC en las antenas. Sin embargo, no se han discutido problemas prácticos tales como la polarización individual de los desfasadores sintonizables y la alimentación de la señal RF a la antena. Además, dentro del alcance de la presente invención, se han hecho intentos particulares con el objeto de
- 20 diseñar desfasadores compactos e impedir el acoplamiento indeseado entre los elementos radiantes y la red de alimentación. De manera similar, en los documentos US6759980, US6864840, se describen otros arreglos variables basados en materiales dieléctricos; sin embargo, los desfasadores individuales de cada elemento de antena tienen que montarse elemento por elemento en los diferentes sustratos. La presente invención integra los desfasadores en los sustratos uniformes y, además, admite el uso de materiales dieléctricos sintonizables líquidos.
- 25 Las patentes US 7.361.288 y WO 2011/036243 divulgan los componentes de la tecnología de alta frecuencia, que utiliza cristales líquidos como los materiales dieléctricos orientables. Sin embargo, no se trata de un dispositivo plano. Tales desfasadores, como se describen en esos documentos de patente, no pueden emplearse para fabricar una antena de perfil bajo.

30 Los cristales líquidos especiales desarrollados para la aplicación en tecnología de alta frecuencia se divulgan, por ejemplo, en las patentes WO 2011/009524 y WO 2011/035863.

Ventaja de la invención

Los arreglos de antenas en fase orientables electrónicamente, de bajo costo, livianos y que pueden fabricarse usando técnicas automatizadas, son de interés para terminales móviles tales como automóviles, aviones y radares. La dirección del haz principal de la antena puede orientarse continuamente con el objeto de prestar al mismo tiempo vía

35 satélite a vehículos en movimiento, servicios por ejemplo de internet o de difusión inalámbrica. Deben mantenerse el carácter plano y la apariencia estética de la antena con bajo perfil, pues éstas son otras cuestiones cruciales, por ejemplo en la industria automotriz. Tal antena requiere desfasadores sintonizables electrónicamente que sean compactos y de baja pérdida además de poder integrarse con los elementos radiantes y la red de alimentación. Es necesaria una red de polarización mediante la cual todos los desfasadores puedan polarizarse individualmente. Tal antena orientable electrónicamente es el tema de la invención.

40

Sumario de la invención

Esta invención proporciona un arreglo de antenas en fase plano, de bajo perfil y electrónicamente orientable, cuyo haz principal se orienta continuamente en una o dos dimensiones. La antena comprende una entrada, una red de alimentación, al menos un divisor (combinador) de energía, al menos un desfasador sintonizable electrónicamente,

45 una red de polarización y al menos dos elementos radiantes. El arreglo de antenas en fase orientables electrónicamente comprende una pila de al menos tres sustratos dieléctricos, preferentemente sustratos dieléctricos uniformes, de los cuales como mínimo dos son sólidos y pueden llevar una pluralidad de electrodos. Un elemento individual del arreglo de antenas comprende al menos un desfasador electrónicamente sintonizable, una red de polarización y un elemento radiante. Los electrodos de desfasador se agrupan con el objeto de formar la pluralidad de

50 elementos de antena individuales, mientras que un solo sustrato uniforme puede llevar los electrodos de una variada cantidad de elementos de antena. Además, los sustratos pueden llevar los electrodos de la red de alimentación. Un material dieléctrico continuamente variable que es líquido o sólido, está situado entre dos de los precedentemente mencionados sustratos dieléctricos sólidos. Así se integran en la antena los desfasadores sintonizables electrónicamente que utilizan el sustrato dieléctrico variable. Se controla continuamente la constante dieléctrica del

55 sustrato dieléctrico variable y, por lo tanto, la característica eléctrica de los desfasadores con el objeto de lograr el desplazamiento de fase diferencial deseado entre los elementos radiantes para la orientación continua del haz, de manera que la antena se ajuste en los planos de elevación y de azimut.

5 En una forma de realización, la antena comprende la pluralidad de divisores de energía y/o la pluralidad de desfasadores sintonizables electrónicamente y/o la pluralidad de elementos radiantes. El arreglo de antenas en fase orientables electrónicamente se construye como una pila de al menos tres materiales dieléctricos. Esos materiales son un sustrato dieléctrico frontal (sólido), un sustrato dieléctrico variable (sólido o líquido) y el sustrato dieléctrico dorsal (sólido). Una de las mayores ventajas de la invención es que no son prefabricados ni el desfasador ni todos los demás componentes, y tampoco se ensamblan para formar uno mayor cuando se construye una antena; en cambio se fabrican en grande simultáneamente en los tres sustratos mencionados.

10 Se integran con la antena desfasadores sintonizables electrónicamente basados en líneas de transmisión planas, preferentemente líneas en forma de microcinta. Pueden cambiar las propiedades dieléctricas del material dieléctrico variable y, por lo tanto, las características eléctricas del desfasador, si se aplica una tensión de polarización.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, en lugar de líneas en forma de microcinta, pueden usarse como líneas de transmisión las cargadas en el desfasador. Si se usa un desfasador de líneas cargadas, puede reducirse el espesor de la capa LC a unos pocos micrómetros y, por lo tanto, mejora considerablemente el tiempo de respuesta. Las líneas de transmisión planas también se llaman los electrodos del desfasador.

15 Un ejemplo preferido de una antena construida de acuerdo con la invención tiene 4 (2x2) elementos radiantes. Es una antena plana de bajo perfil. La antena utiliza material de cristal líquido (LC) como sustrato dieléctrico variable. Similar a la tecnología de las pantallas de LC, éste se sitúa entre los sustratos dieléctricos frontal y dorsal. Resulta preferido un material LC con una tangente máxima de pérdida de 0,05, como el LC nemático por ejemplo. Pueden usarse también otros tipos, pero su desempeño es deficiente. De acuerdo con otros aspectos de la presente invención, los
20 elementos radiantes pueden agruparse con el objeto de formar un subarreglo. Tal subarreglo comprende una entrada, una red de alimentación, un desfasador electrónicamente sintonizable y pluralidad de elementos radiantes. Se reduce la complejidad de polarización de un arreglo de antenas grande y aumenta su confiabilidad pues se requiere un solo desfasador para cada subarreglo.

25 De acuerdo con aspectos adicionales de la presente invención, puede construirse un arreglo activo de antenas en fase de bajo perfil que incluye amplificadores de bajo ruido o módulos de transmisión / recepción.

30 La demanda de antenas orientables para terminales móviles aumentó drásticamente debido al rápido desarrollo de los servicios satelitales de difusión. La invención puede emplearse para prestar servicios inalámbricos de internet, multimedia y difusión, que se prestan desde los satélites y operan mediante antenas orientables a altas frecuencias, por ejemplo de aproximadamente 1-2 GHz en la banda L o incluso a frecuencias superiores a 10 GHz en la banda Ku o la banda K/Ka, a un receptor en movimiento de un dispositivo portátil o un vehículo como un automóvil, avión o barco. Sin embargo, la antena puede ser escalable también para otras frecuencias de operación.

El BST resulta preferido para frecuencias de hasta 10 GHz. El LC resulta preferido para frecuencias superiores a 10 GHz debido a la pérdida dieléctrica inferior. Especialmente, en las operaciones de alta frecuencia como la aplicación de 77 GHz o banda W resulta preferido el LC, de acuerdo con la invención.

35 En el caso de una antena orientable 2-D, si están agrupados los elementos radiantes, sólo se requiere un desfasador para cada grupo. De lo contrario, se requiere un desfasador para cada elemento radiante.

40 El desafío para la geometría de los electrodos del desfasador es reducir el acoplamiento entre ellos, si los electrodos serpentean. El serpenteo de los electrodos es necesario cuando resulta limitada el área en que se fabrican los desfasadores. Teóricamente, pueden emplearse diferentes formas. Sin embargo, la geometría preferida es la espiral, pues mejora el desempeño. Con la geometría en espiral el puerto de salida queda en el medio. Es una ventaja cuando el desfasador está integrado a la antena.

Además de la geometría preferida, las esquinas de los desfasadores en espiral es redonda y con ello se reducen las pérdidas metálicas.

Un desfasador es un dispositivo que cambia la fase de señal y tiene una respuesta de fase plana sobre la frecuencia.

45 Los desfasadores basados en LC habitualmente tienen respuesta de fase dependiente de frecuencia; sin embargo, también es posible integrar la respuesta de fase en un desfasador basado en LC y usar ese tipo en una antena, de acuerdo con la invención. En otra forma de realización de la invención, el desfasador es una unidad de retardo temporal. Una unidad de retardo temporal es una estructura que proporciona un retardo temporal específico o retardo temporal programable, mediante una estructura multivía. Además en las unidades de retardo temporal, la geometría
50 preferida de las líneas de retardo es la geometría en espiral.

La longitud y el ancho de las antenas son independientes de la tecnología y, por lo tanto, más o menos constantes según la frecuencia. Teóricamente, la distancia entre dos elementos radiantes es $\lambda/2$, donde λ es la longitud de onda

de la respuesta emitida por radiación y recibida. Si hay una cantidad de elementos radiantes "NxN", siendo "N" un entero preferentemente en el rango entre 10 y 100, el tamaño de la antena es $N(\lambda/2) \times N(\lambda/2)$ para la longitud y el ancho. Sin embargo, su espesor depende de la tecnología. Si se usa LC de acuerdo con la invención, puede construirse fácilmente un arreglo de antenas delgado. Eso es similar en las pantallas o monitores de LC.

- 5 La longitud y el ancho de las antenas se relacionan con la ganancia de antena. La Tabla 1 muestra posibles tamaños de antena y sus correspondientes ganancias en una antena de parche en forma de microcinta que opera a 20 GHz. Los valores teóricos se dan entre paréntesis y los que no los tienen son los valores prácticos. El posterior es mayor que el anterior, porque se necesita algún espacio para el sellado, el relleno de LC y las almohadillas de polarización.

Tabla 1. Formas de realización ejemplificativas

Antena		Ganancia
Cantidad de elementos	Tamaño	10
8 x 8	10 cm x 10 cm (6 cm x 6 cm)	21 dB
16 x 16	15 cm x 15 cm (12 cm x 12 cm)	27 dB
32 x 32	30 cm x 30 cm (24 cm x 24 cm)	35 dB

Esas antenas tienen un espesor preferido, sin limitarse a ello, de 1.5 mm y pueden reducirse a 0,7 mm.

- 20 Las ventajas de la invención son la eficiencia en cuanto al costo, la alta eficiencia de la geometría basada en en espiral de los electrodos de desfasador y la alta compacidad y bajo perfil de la antena, que es continuamente orientable.

La antena de acuerdo con la invención consta de al menos 3 capas de sustrato:

un sustrato dieléctrico frontal uniforme que lleva electrodos en ambos lados;

una pluralidad de elementos radiantes del lado superior del sustrato dieléctrico frontal;

- 25 un electrodo a tierra con una pluralidad de aberturas que cubren el lado inferior del sustrato dieléctrico frontal;

una pluralidad de líneas de transmisión planas integradas con el electrodo a tierra;

un material dieléctrico variable uniforme sea líquido o sólido;

un sustrato dieléctrico dorsal que tiene una capa eléctricamente conductora del lado superior;

- 30 una pluralidad de electrodos eléctricamente conductores con diferentes conductividades del lado superior del sustrato dieléctrico dorsal.

En una forma de realización preferida los sustratos dieléctricos frontal y dorsal son de baja pérdida y mecánicamente estables, por ejemplo sustratos de vidrio, sílice fundida, sustratos de cerámica y compuestos de polímero termoestable de cerámica.

- 35 Los sustratos dieléctricos frontal y dorsal pueden mantenerse separados por una lámina perforada que forma cavidades para el material dieléctrico líquido o mediante separadores esféricos.

Pueden establecerse interconexiones verticales mediante vías a través de los sustratos.

- En una forma de realización, la red de alimentación puede distribuirse sobre una pila de sustratos conectados con los tres sustratos superiores.
- 5 La geometría de los electrodos de cada elemento puede diferir de un elemento a otro. El arreglo de antenas en fase preferido es una antena de parche, también llamada antena en forma de microcinta o antena de parche en forma de microcinta. En una forma de realización preferida, la abertura del electrodo a tierra subyace al elemento radiante.
- Preferentemente el elemento radiante y la abertura del electrodo a tierra están centrados.
- La línea de transmisión plana integrada en el electrodo a tierra comprende la línea en forma de microcinta, las guías de onda coplanarias, la línea de ranura y/o la línea plana.
- 10 El sustrato dieléctrico variable puede ser líquido, preferentemente un material de cristal líquido y/o un material dieléctrico sólido como titanato de estroncio de bario. Eso significa que la capa de sustrato puede ser una combinación de ambos materiales.
- El sustrato sintonizable líquido puede doparse con compuestos como nanotubos de carbono y nanocomponentes ferroeléctricos o metálicos.
- 15 El lado inferior del sustrato dieléctrico frontal y/o el lado superior del sustrato dieléctrico dorsal pueden estar cubiertos total o localmente con una capa de alineación para preorientar el material dieléctrico variable líquido.
- La capa eléctricamente conductora de la cima del sustrato dieléctrico dorsal preferentemente es una línea de transmisión plana que constituye un desfasador electrónicamente sintonizable. El desfasador electrónicamente sintonizable puede estar electromagnéticamente acoplado a los elementos radiantes.
- 20 En una forma de realización, la interconexión RF sin contacto utiliza el acoplamiento electromagnético de la señal RF entre líneas de transmisión idénticas o diferentes que están montadas en distintas capas.
- La capa eléctricamente conductora puede comprender electrodos muy conductores que incluyen oro y cobre.
- En una forma de realización preferida, la línea de transmisión es una línea en forma de microcinta. La línea en forma de microcinta serpentea regular o irregularmente y, en especial, tiene forma de espiral.
- 25 En una forma de realización, cambia la constante dieléctrica del sustrato dieléctrico variable y, por lo tanto, las características eléctricas del desfasador, si se aplica una tensión que cruza la línea de transmisión plana y el electrodo a tierra a través de una línea de polarización, con el objeto de lograr un desplazamiento de fase diferencial deseado entre los elementos radiantes para la orientación del haz.
- La línea de polarización puede comprender material de electrodo conductor eléctricamente bajo, que incluye óxido de estaño e indio o una aleación de cromo o níquel-cromo.
- 30 En una forma de realización, además se implementa un circuito de transistores de película fina del lado superior del sustrato dorsal.
- El desfasador electrónicamente sintonizable puede incluir desfasadores de líneas cargadas, donde los varactores se cargan periódicamente o no periódicamente en la línea de transmisión plana, pudiendo hacerlo en derivación o en serie. Además aquí la línea de transmisión plana puede comprender la línea en forma de microcinta, las guías de onda coplanarias, la línea de ranura y/o la línea plana. Puede cambiar la constante dieléctrica del sustrato dieléctrico variable y, por lo tanto, la carga del varactor, si se aplica una tensión de polarización a través de una línea de polarización conductora eléctricamente baja a fin de controlar las características eléctricas del desfasador de línea cargada para la formación del haz. En una forma de realización preferida, los elementos radiantes pueden agruparse con el objeto de formar un subarreglo. En ese caso, los elementos radiantes del subarreglo pueden alimentarse a través de un desfasador común eléctricamente sintonizable. En especial, el subarreglo comprende 2x2 elementos radiantes.
- 35 40
- 45 En una forma de realización, la antena tiene dos sustratos dieléctricos apilados con capas eléctricamente conductoras en los lados inferiores en lugar del sustrato dieléctrico frontal, donde los sustratos dieléctricos sólidos pueden comprender sustratos finos que incluyen Kapton Folio, polímero de cristal líquido y Mylar Folio. Los elementos radiantes pueden montarse del lado inferior del sustrato dieléctrico fino. El electrodo a tierra con aberturas y una línea de transmisión plana pueden montarse del lado inferior del segundo sustrato dieléctrico.
- En otra forma de realización, la antena comprende una capa eléctricamente conductora del lado inferior del sustrato dieléctrico dorsal; un amplificador de bajo ruido (LNA, por su sigla inglesa) y/o un módulo de transmisión / recepción

(TRM, por su sigla inglesa) colocado del lado inferior del sustrato dieléctrico dorsal, donde los elementos radiantes pueden agruparse y utilizar un LNA común. El LNA puede colocarse entre o después del elemento radiante y el desfasador.

- 5 Para la operación del desfasador de línea en forma de microcinta invertida (IMSL, por su sigla inglesa) (línea de retardo), se requiere que el material de LC subyazga a los electrodos del desfasador 111. Ése es el requisito mínimo. En la forma de realización preferida, el LC se rellena entre los dos sustratos de vidrio. Eso también funciona, pero no es necesario. Son suficientes los huecos o pozos llenos de LC.

Breve descripción de los dibujos

- 10 La FIGURA 1 es un diagrama de bloques de un ejemplo de arreglo bidimensional de antenas en fase electrónicamente orientables, de acuerdo con la presente invención;

Las FIGURAS 2a y 2b son vistas laterales despiezadas de un elemento unitario de la antena electrónicamente orientable, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

La FIGURA 3 es una representación esquemática del diseño de un desfasador con forma de espiral;

- 15 Las FIGURAS 4a, 4b y 4c son representaciones esquemáticas de tres diseños del arreglo de antenas en fase y orientables, de acuerdo con la forma de realización de la presente invención dada en la FIGURA 2;

Las FIGURAS 5a, 5b y 5c son fotos de un arreglo de antenas en fase, implementado de acuerdo con la forma de realización de la presente invención dada en la FIGURA 4;

Las FIGURAS 6a, 6b y 6c son representaciones esquemáticas de tres diseños del arreglo de antenas en fase y orientables, de acuerdo con otra forma de realización de la presente invención;

- 20 Las FIGURAS 7a y 7b son vistas laterales de un elemento unitario y un elemento unitario de subarreglo de un arreglo activo de antenas en fase, de acuerdo con otra forma de realización de la presente invención;

La FIGURA 8 es una vista simulada de $\Delta\phi_b$ y FoM de desfasadores serpenteantes y en espiral sin un cpw para las transiciones de línea en forma de microcinta.

Descripción detallada de la invención

- 25 En lo que sigue, se da una descripción detallada de acuerdo con una posible forma de realización de la presente invención. La forma de realización no está dedicada a todas las características presentes de la invención, sino que proporciona en cambio una comprensión básica de algunos aspectos de la misma. Se trata de una antena bidimensional orientable que puede usarse en modo de recepción o transmisión, ya que es una antena pasiva y recíproca. Sin embargo, la mayor parte de la descripción sólo se da respecto de una antena de recepción con el objeto de explicar claramente la invención. Las ilustraciones y dimensiones relativas no están trazadas necesariamente a
30 escala a fin de mostrar más eficientemente la invención.

- 35 Con respecto a los dibujos, la FIGURA 1 es un diagrama de bloques de un arreglo de antenas en fase orientables electrónicamente 100 de acuerdo con la presente invención. El arreglo de antenas en fase incluye el puerto de entrada de señales 101, por ejemplo un puerto de entrada de señales RF, la red de alimentación 102, una pluralidad de combinadores de energía 103-109, una pluralidad de estructuras de bloqueo CC 110, una pluralidad de desfasadores sintonizables electrónicamente 111 y una pluralidad de elementos radiantes 112.

En otra forma de realización (que no se muestra), la red de alimentación está en otro sustrato.

- 40 La red de alimentación 102 puede incluir una pluralidad de líneas de transmisión con diferentes características de longitud eléctrica e impedancia, con el objeto de proporcionar una impedancia coincidente con los elementos radiantes 112 y el puerto de entrada 101. Los combinadores de energía 103-109 pueden combinar la energía de manera igual o desigual y entregarla al elemento unitario de antena 200 para obtener un patrón de radiación deseado. De acuerdo con la teoría de antenas, la distancia entre los elementos radiantes 112 es de aproximadamente entre 0.5 y 0,8 veces la longitud de onda en el vacío. Una distancia inferior da como resultado un alto acoplamiento electromagnético entre los elementos, y una distancia superior lleva a la formación de lóbulos reticulados en el patrón de radiación.

- 45 Las FIGURAS 2a y 2b muestran vistas laterales despiezadas de un elemento unitario 200 de la antena electrónicamente orientable, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. El elemento unitario 200 incluye un elemento radiante 112, un desfasador sintonizable 111, una estructura de bloqueo CC 110 y una línea

de polarización 201 que tiene por objeto aplicar una tensión de polarización al desfaseador electrónicamente sintonizable 111. Esos componentes están colocados en tres capas dieléctricas, a saber el sustrato dieléctrico frontal 202, el sustrato dieléctrico sintonizable 205 y sustrato dieléctrico dorsal 206.

Un elemento radiante 112 está montado del lado superior de un sustrato dieléctrico frontal de baja pérdida 202.

5 Tal como se muestra aquí, el elemento radiante 112 puede ser una antena de parche rectangular que se emplea en diferentes polarizaciones. En otras formas de realización, el elemento radiante 112 es un parche circular, cuadrado o cualquier otra clase de parche con una ranura. También puede cortarse un parche rectangular o cuadrado de una o más esquinas. Está hecho de un electrodo conductor eléctricamente alto. El lado inferior del sustrato dieléctrico frontal 202 está cubierto de un electrodo eléctricamente conductor que forma un electrodo a tierra 203 del elemento radiante 112. El electrodo a tierra 203 incluye una ranura 204 que se superpone al elemento de antena 112. Se forma un acoplamiento de aberturas a través de la ranura 204 con el objeto de acoplar la señal RF entre el elemento radiante 112 y el desfaseador 111. El electrodo a tierra 203 también incluye una guía de onda coplanaria (CPW, por su sigla inglesa) que es parte de la estructura de bloqueo CC 110.

15 En la forma de realización preferida, la señal está acoplada entre las diferentes líneas de transmisión. En otra forma de realización, la señal está acoplada de manera capacitiva. Eso significa que hay dos parches, uno montado del lado inferior del sustrato dieléctrico frontal y el otro del lado superior del sustrato dieléctrico dorsal, como un capacitor de placa paralelo.

Hay un sustrato dieléctrico sintonizable 205 encapsulado entre el sustrato dieléctrico frontal 202 y el sustrato dieléctrico dorsal 206. Se requiere una cavidad entre ambos, 202 y 206, cuando es líquido el sustrato dieléctrico sintonizable 205. Tal cavidad puede lograrse usando separadores apropiados. Es importante la estabilidad mecánica de los sustratos dieléctricos frontal y dorsal 202, 206 para mantener una altura de cavidad uniforme. La altura de la cavidad puede estar en el rango 1 pm...3 pm respecto de varios centenaes de milímetros, según la topología del desfaseador. En el caso de desfaseadores basados en línea en forma de microcinta, una altura de cavidad más alta corresponde a un espesor dieléctrico mayor y, por lo tanto, se reducen las pérdidas metálicas. Sin embargo, cuando se utiliza un material de cristal líquido, el tiempo de respuesta del dispositivo resulta relativamente más prolongado con una capa gruesa de LC. Por otra parte, puede reducirse la altura de la cavidad de LC hasta 1 pm...50 pm si se emplea un desfaseador de línea cargada. En la forma de realización de la invención, se usa el desfaseador IMSL. Como concesión entre la pérdida metálica y el tiempo de respuesta del desfaseador, resulta preferida una altura de cavidad de aproximadamente 100 pm. Sin embargo, la altura se puede reducir o aumentar de acuerdo con el rango precedentemente mencionado. Si la altura se reduce o aumenta da lugar, respectivamente, a un incremento o disminución de la pérdida metálica.

Cuando está en funcionamiento el elemento unitario 200, la señal RF recibida por el elemento radiante 112 se acopla a la línea en forma de microcinta 111, a través del acoplamiento de aberturas que forma la ranura 204 del electrodo a tierra 203. Pueden cambiar las propiedades dieléctricas del sustrato dieléctrico variable 205 y, por lo tanto, la fase de la señal RF, si se aplica una tensión de polarización que cruza el electrodo a tierra 203 y la línea en forma de microcinta 111 a través de una línea de polarización 201. La línea de polarización 201 es un electrodo conductor eléctricamente bajo, en comparación con el electrodo del desfaseador 111. La señal se acopla después electromagnéticamente al CPW del electrodo a tierra 203 que está montado del lado inferior del sustrato dieléctrico frontal 202. Tras propagarse a lo largo de una corta línea CPW, la señal RF se acopla al puerto de entrada de elemento unitario 207. De ese modo se logra una interconexión RF sin contacto como una estructura de bloqueo CC 110 entre el desfaseador 111 y el puerto de entrada de elemento unitario 207. El sustrato dieléctrico variable 205 se sintoniza sólo por debajo de la línea en forma de microcinta 111 porque la tensión de polarización no puede afectar la respuesta de la antena, es decir de otros elementos unitarios, debido al bloqueo CC 110.

45 Cuando está en funcionamiento el elemento unitario 200 en modo de transmisión, la señal transmisora recibida de la red de alimentación del arreglo se acopla primero electromagnéticamente del puerto de entrada de elemento unitario 207 al CPW del electrodo a tierra 203. Tras propagarse a lo largo de una corta línea CPW, la señal se acopla al desfaseador de microcinta 111. De ese modo se logra una interconexión RF sin contacto como una estructura de bloqueo CC 110 entre el desfaseador 111 y el puerto de entrada de elemento unitario 207. Pueden cambiar las propiedades dieléctricas del sustrato dieléctrico variable 205 y, por lo tanto, la fase de la señal transmitida, si se aplica una tensión de polarización que cruza el electrodo a tierra 203 y el desfaseador de microcinta 111 a través de una línea de polarización 201. La línea de polarización 201 es un electrodo conductor eléctricamente bajo, en comparación con el electrodo del desfaseador 111. Tras propagarse a lo largo de la línea en forma de microcinta 111, la señal se acopla al elemento radiante 112 que la irradia. El acoplamiento entre el desfaseador 111 y el elemento radiante 112 se logra a través del acoplamiento de aberturas que forma la ranura 204 del electrodo a tierra 203.

55 La estructura de bloqueo CC 110 utiliza el acoplamiento electromagnético entre las líneas de transmisión iguales o diferentes montadas en las distintas capas. Debe mencionarse que el acoplamiento entre el CPW y la línea en forma de microcinta, de acuerdo con la forma de realización, es un ejemplo de uno de los aspectos de la presente invención. Tal estructura también puede optimizarse de manera que funcione como un filtro RF. El desafío es suprimir la radiación

no deseada que puede afectar la característica de radiación de antena y eso se resuelve usando un solucionador electromagnético.

5 El desfasador eléctricamente sintonizable 111 se fabrica, sin limitarse a ello, en topología de línea en forma de microcinta invertida. Se monta una línea en forma de microcinta 111, preferentemente en forma de espiral, en la cima del sustrato dieléctrico dorsal 206. Su electrodo a tierra 203 se monta del lado inferior del sustrato dieléctrico frontal 202. Pueden cambiar las propiedades eléctricas de tal línea de transmisión, pues su material dieléctrico es un sustrato dieléctrico sintonizable 205.

10 Es posible usar material de cristal líquido (LC) como el sustrato dieléctrico sintonizable 205 a frecuencias de microondas u ondas milimétricas. A esas frecuencias, el LC es un material anisotrópico con bajas pérdidas dieléctricas. La constante efectiva de LC en el campo RF depende de la orientación de las moléculas. Esa propiedad puede explotarse para controlar la longitud de onda y de ese modo la fase de una onda electromagnética, si cambia la orientación de LC. La orientación de las moléculas puede variar continuamente usando un campo eléctrico o magnético externo, que emplee alineación de superficie del cristal líquido o una combinación de esos métodos.

15 En otra forma de realización (que no se muestra), la antena podría constar de una pila de más capas, que incluyan sustratos con más que una capa de LC, separados con al menos una capa de sustratos sólidos.

20 Es necesario diseñar un desfasador sintonizable con un desplazamiento de fase diferencial de 360° en un área limitada, que es el área de un elemento unitario. El máximo desplazamiento de fase alcanzable depende de la frecuencia y pueden ajustarse los requisitos estableciendo la longitud del desfasador. Debido al área limitada, el desfasador tiene que serpentear para lograr una longitud deseada. Mientras tanto, debe impedirse el acoplamiento entre las líneas de transmisión. De acuerdo con la presente invención, el desfasador se implementa en forma de espiral, tal como se muestra en la FIGURA 3. Tal desfasador tiene entre el 5 y el 15 % más de desplazamiento de fase diferencial, en comparación con una línea de transmisión serpenteante, cuando se emplean idénticas reglas de diseño y está integrado a un elemento radiante. Asimismo, debido a la forma de espiral, se logra el acoplamiento de la señal RF entre el desfasador y el elemento radiante en el centro del elemento unitario. Cuando el desfasador 111 da la vuelta a lo largo del eje 301, el puerto de entrada de elemento unitario 207 se desplaza al otro lado, en tanto esté aún en el centro el punto de acoplamiento 302. Eso permite que den vueltas los desfasadores con el objeto de diseñar una red de alimentación compacta. Al mismo tiempo, la distancia entre los elementos radiantes se mantiene constante, lo cual es crucial respecto de la característica de radiación de la antena. La forma del desfasador no se limita al espiral. Su forma puede optimizarse con el objeto de diseñar desfasadores compactos de alto rendimiento que puedan integrarse al arreglo de antenas.

De acuerdo con otros aspectos de la invención, pueden integrarse al arreglo de antenas desfasadores de líneas cargadas. Dentro de este enfoque, los varactores se cargan periódicamente o no periódicamente en una línea de transmisión no sintonizable. Los varactores pueden cargarse en serie o en derivación en la línea de transmisión.

35 La FIGURA 4 ilustra tres diseños de un arreglo bidimensional de antenas en fase electrónicamente orientables, de acuerdo con la forma de realización de la presente invención dada en la FIGURA 2. La antena incluye, sin limitarse a ello, 16 (4x4) elementos radiantes 112 que están montados en la cima del sustrato dieléctrico frontal 202.

El lado inferior del sustrato dieléctrico frontal 202 está cubierto con el electrodo a tierra 203 que incluye los segmentos de línea CPW 110 y las ranuras 204 para la estructura de bloqueo CC y el acoplamiento de aberturas, respectivamente.

40 El puerto de entrada de la señal RF 101, la red de alimentación 102, la pluralidad de combinadores de energía 103, la pluralidad de desfasadores sintonizables electrónicamente 111, la pluralidad de líneas de polarización 201 y la pluralidad de parches de polarización 402 están colocados del lado superior del sustrato dieléctrico dorsal 206. Un material dieléctrico sintonizable que aquí no se muestra está en contacto con el electrodo a tierra 203 y el lado superior del sustrato dieléctrico dorsal 206. Las capas pueden alinearse de manera precisa usando las marcas de alineación complementarias 401. La capa dieléctrica dorsal 206 está agrandada en comparación con la capa dieléctrica frontal 202 en los lados en que se requieren los contactos para el punto de entrada RF 101 y los parches de polarización 402. La FIGURA 5 ilustra las fotos de las vistas superior, lateral e inferior de un prototipo de antena bidimensional eléctricamente orientable, de acuerdo con la forma de realización de la presente invención dada en la FIGURA 4.

La antena incluye cuatro elementos radiantes. La altura total del prototipo es de 1.5 mm incluyendo los sustratos dieléctricos sintonizables frontal y dorsal.

50 La FIGURA 6 ilustra un elemento unitario de subarreglo de un arreglo de antenas en fase, de acuerdo con otra forma de realización de la presente invención. El elemento unitario de subarreglo 700 incluye, sin limitarse a ello, 2x2 elementos radiantes 112 del lado superior del sustrato dieléctrico frontal 202. El electrodo a tierra 203, las ranuras 204 y la estructura de bloqueo CC 110 están montados del lado inferior del sustrato dieléctrico frontal 202. Hay colocados un desfasador eléctricamente sintonizable 111, un combinador de energía 103 y una línea de polarización 201 del lado

superior del sustrato dieléctrico dorsal 206. Un material dieléctrico sintonizable que no se muestra está en contacto con el electrodo a tierra 203 y el lado superior del sustrato dieléctrico dorsal 206.

5 En funcionamiento, la señal RF recibida por los elementos radiantes 112 se acopla al combinador de energía 103 por el acoplamiento de aberturas 204. El combinador de energía 103 entrega la señal al desfasador 111 que lo rodea. Las características eléctricas del sustrato dieléctrico sintonizable y, por lo tanto, la fase de la señal RF están controladas por la aplicación de una tensión de polarización.

Tal tensión de polarización se aplica a través de la línea de polarización 201, cruzando el electrodo a tierra 203 y el desfasador 111. La señal RF después se acopla al puerto de entrada de subarreglo 207 a través de la estructura de bloqueo CC 110.

10 Se reducen las cantidades requeridas de líneas de desfasador y polarización por un factor de cantidad de elemento radiante de la arquitectura de subarreglos, pues todos los elementos radiantes se alimentan a través de un desfasador electrónicamente sintonizable. De manera similar, un arreglo activo de antenas en fase requiere menos cantidad de amplificadores. Por eso, la antena resulta efectiva en cuanto al costo y confiable. Respecto del patrón de radiación de la antena, debe cumplirse un desplazamiento de fase diferencial entre los elementos radiantes a fin de inclinar el frente de la fase radiada. En el caso de la arquitectura de subarreglos, ese requisito se cumple respecto de cada subarreglo. De acuerdo con la teoría de antenas, la distancia entre los subarreglos es de entre aproximadamente 0.5 y 0.8 veces la longitud de onda en el vacío.

15 Eso reduce el espaciado entre los elementos radiantes y, por lo tanto, aumenta la eficiencia de apertura de la antena. Sin embargo, también aumenta el acoplamiento mutuo entre los elementos radiantes. En tal antena, es necesario un proceso de optimización entre la característica de radiación y la efectividad en cuanto al costo, la confiabilidad y la complejidad de polarización al definir la arquitectura de subarreglos, es decir la cantidad de elementos radiantes.

20 Las FIGURAS 7a y 7b ilustran las vistas laterales de un elemento unitario y un elemento unitario de subarreglo de un arreglo activo de antenas en fase, de acuerdo con otra forma de realización de la presente invención. Hay montado un amplificador de bajo ruido (LNA) 210 del lado inferior del sustrato dieléctrico 206. La señal RF recibida por el elemento radiante 112 se acopla a una línea de transmisión 211 que está ubicada del lado superior del sustrato dieléctrico dorsal 206. La señal después se acopla a un LNA 210 que está colocado del lado inferior del sustrato dieléctrico dorsal 206. Tras la amplificación, la señal RF se acopla al desfasador sintonizable 111 que tiene un sustrato dieléctrico sintonizable 205. De ese modo se suprime el ruido de los componentes que afectan la figura de ruido de la antena y, por lo tanto, se reduce su nivel de ruido.

25 La invención se ha descrito en detalle por medio de las formas de realización. Cualquier cambio o modificación de las formas de realización está limitado por el alcance de las reivindicaciones siguientes.

A continuación se explica la implementación de una forma de realización:

30 En la FIGURA 2, se muestra una implementación de un desfasador de línea en forma de microcinta invertida (IMSL) basado en LC. Se evapora una capa embrionaria hecha de cromo/oro sobre un sustrato dieléctrico de baja pérdida. La capa de cromo (Cr) tiene un espesor de 5 nm y se utiliza como capa adhesiva entre el sustrato y la capa de oro de 60 nm de espesor. Sobre la capa embrionaria se aplica un fotorresistente (PR, por su sigla en inglés), que se expone y divulga más adelante.

35 Los electrodos de las estructuras se forman por enchapado en oro de 2 pm de espesor. Después del enchapado, se elimina el PR y se graba la capa embrionaria y, por lo tanto, en el sustrato sólo hay electrodos enchapados. El sustrato se corta de manera precisa, es decir ± 5 pm, en dos piezas. Cada pieza se recubre con una capa de alineación y se restringe mecánicamente a fin de formar muescas en la superficie. Los sustratos después se alinean usando las marcas de alineación y se adhieren con pegamento. El LC se rellena entre los sustratos y, por lo tanto, en ellos se desarrollan separadores apropiados, es decir micro perlas, después de restregarlos. Por último, se rellena con LC y la estructura se sella por lo cual el material queda encapsulado entre los dos sustratos. Es importante la estabilidad mecánica de los sustratos, que tiene por objeto mantener una altura de cavidad uniforme. Por ende, para la fabricación resulta preferido un sustrato dieléctrico de vidrio o cerámica de baja pérdida. Aquí se describe una forma de realización:

40 Una antena de parche en forma de microcinta se monta del lado superior del sustrato dieléctrico frontal. El electrodo a tierra de la antena de parche se monta del lado inferior del mismo sustrato dieléctrico. El electrodo a tierra incluye una ranura que se superpone al parche (FIGURA 5c) y forma un acoplamiento de aberturas entre la antena de parche y el desfasador. El electrodo de cinta del desfasador IMSL se monta del lado superior del sustrato dorsal. El material de LC está encapsulado entre los dos sustratos. Forma el sustrato dieléctrico del desfasador IMSL y tiene un espesor de 100 pm. Cuando está en funcionamiento una antena receptora, la señal RF recibida se acopla primero al desfasador. Después de propagarse a lo largo del desfasador, la señal RF se acopla electromagnéticamente a una guía de onda coplanaria (cpw) que está ubicada en el electrodo a tierra. La señal se propaga a lo largo de una corta

línea de cpw, después se acopla al puerto de entrada de elemento unitario, que está colocado del lado superior del sustrato dieléctrico dorsal. De ese modo se logra una interconexión RF sin contacto como una estructura de bloqueo CC entre el desfasador y el puerto de entrada de elemento unitario.

Lo que sigue es información más detallada sobre las formas de realización:

- 5 El elemento unitario se integra con un desfasador sintonizable basado en LC. El desfasador tiene que cumplir con un desplazamiento de fase diferencial deseado $\Delta\phi_b$, es decir 360° , para una óptima orientación del haz. El desplazamiento de fase diferencial del desfasador IMSL se calcula como:

$$\Delta\phi_b = \frac{2\pi fl}{c_0} \left(\sqrt{\epsilon_{r,eff,\parallel}} - \sqrt{\epsilon_{r,eff,\perp}} \right)$$

- 10 donde, f es la frecuencia, l es la longitud física, c_0 es la velocidad de la luz en el vacío, $\epsilon_{r,eff,\perp}$ es la permitividad perpendicular efectiva relativa y $\epsilon_{r,eff,\parallel}$ es la permitividad paralela efectiva relativa.

- 15 La longitud de un desfasador que opere a 18 GHz con un $\Delta\phi_b$ de 360° se determina como $5.65 \lambda_0$ usando un tipo específico de LC. Por otra parte, el tamaño del elemento unitario se establece en $0.65 \lambda_0 \times 0.65 \lambda_0$ a fin de impedir la formación de lóbulos reticulados. Por ende, el desfasador tiene que diseñarse de modo compacto debido al área limitada del elemento unitario. Una posible solución es que serpentee el desfasador. En ese caso sin embargo, el acoplamiento entre las líneas se convierte en un problema. Dentro de la simulación puede minimizarse, optimizando la separación entre las líneas. La longitud total del desfasador es de 75 mm y el propio desfasador (sin las transiciones) utiliza un área de $0.5 \lambda_0 \times 0.5 \lambda_0$ a 18 GHz. Esa área es menor que la del elemento unitario. Eso se debe al hecho de que los elementos unitarios se combinan con el objeto de formar un arreglo; la red de alimentación RF y la red de polarización también requieren cierta cantidad de área.

- 20 El desempeño y la compacidad del desfasador pueden mejorar más según su geometría. Por eso es importante la geometría en que serpentea la línea en forma de microcinta. Una posible solución es que el desfasador serpentee de acuerdo con una geometría en espiral. Tal desfasador presenta varias mejoras en comparación con el desfasador de línea serpenteante. Ambos desfasadores se diseñan en el mismo tamaño de área, aplicando idénticas reglas, es decir idéntico tamaño de separación entre los dos electrodos. En la FIGURA 8, se dan los resultados simulados de $\Delta\phi_b$ y FoM de los desfasadores. Como puede verse en la FIGURA 8, el $\Delta\phi_b$ del desfasador en espiral tiene entre el 5 % y el 15 % más, en comparación con el del desfasador serpenteante. Mientras tanto, la pérdida de inserción se mantiene casi constante y, por lo tanto, aumenta el FoM por ejemplo de $95^\circ/\text{dB}$ a $105^\circ/\text{dB}$ a 18 GHz. Asimismo, debido a la geometría en espiral, se logra el acoplamiento de la señal RF entre el desfasador y el elemento radiante en el centro del elemento unitario. Cuando se da vuelta la geometría de desfasador, el puerto de entrada de elemento unitario se desplaza al otro lado, en tanto el punto de acoplamiento aún esté en el centro. Eso permite que den la vuelta los desfasadores para diseñar una red de alimentación RF compacta. Al mismo tiempo, se mantiene constante la distancia entre los elementos radiantes, lo cual es crucial para la característica de radiación de la antena.

- 35 El arreglo de antenas requiere una red de polarización para sintonizar los desfasadores independientemente. La tensión aplicada a través de las almohadillas de polarización y el electrodo a tierra se entrega a los circuitos RF por las líneas de polarización. Las líneas de polarización tienen que implementarse usando un material conductor eléctricamente bajo y, por lo tanto, ejercen un impacto insignificante en la señal RF. Los materiales posibles son óxido de estaño e indio (ITO), cromo (Cr) o níquel-cromo (Ni-Cr). Aunque tiene una conductividad relativamente alta ($\sigma = 7.8 \times 10^6 \text{ S/m}$), la capa adhesiva de Cr se utiliza para implementar las líneas de polarización. Cuenta con un espesor de 5 nm que es el resultado de una resistencia de lámina de $25:3 = \text{sq}$. El ancho de línea se establece en 10 pm a fin de aumentar la resistencia de línea de polarización.

La antena 2D también puede ser 3D en la estructura, por ejemplo puede envolverse alrededor de un objeto.

Descripción de los números de referencia:

FIGURA 1: Diagrama de bloques de un ejemplo de un arreglo bidimensional de antenas en fase electrónicamente orientables, de acuerdo con la presente invención.

- 45 FIGURAS 2a y 2b: Vistas laterales despiezadas de un elemento unitario de la antena electrónicamente orientable, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención.

FIGURA 3: Representación esquemática de un diseño de un desfasador en forma de espiral.

FIGURAS 4a, 4b y 4c: Representaciones esquemáticas de tres diseños del arreglo de antenas en fase y orientables, de acuerdo con la forma de realización de la presente invención dada en la FIGURA 2.

5 FIGURAS 5a, 5b y 5c: Fotos de un arreglo de antenas en fase, implementado de acuerdo con la forma de realización de la presente invención dada en la FIGURA 4.

FIGURAS 6a, 6b y 6c: Representaciones esquemáticas de tres diseños del arreglo de antenas en fase y orientables, de acuerdo con otra forma de realización de la presente invención.

FIGURAS 7a y 7b: Vistas laterales de un elemento unitario y un elemento unitario de subarreglo de un arreglo activo de antenas en fase, de acuerdo con otra forma de realización de la presente invención.

10 FIGURA 8: $\Delta\phi$ y FoM simulados de desfasadores serpenteantes y en espiral sin un cpw para las transiciones a línea en forma de microcinta.

100 Arreglo de antenas en fase electrónicamente orientables.

101 Puerto de entrada de señales.

102 Red de alimentación.

15 103-109 Combinadores de energía.

110 Estructura de bloqueo CC.

111 Electrodo de desfasadores.

112 Elemento radiante.

200 Elemento unitario de antena.

20 201 Línea de polarización.

202 Sustrato dieléctrico frontal.

203 Electrodo a tierra.

204 Ranura / acoplamiento de aberturas.

205 Sustrato dieléctrico sintonizable.

25 206 Sustrato dieléctrico dorsal.

207 Puerto de entrada de elemento unitario.

210 Amplificador de bajo ruido (LNA).

211 Línea de transmisión.

301 Eje de vuelta.

30 302 Punto de acoplamiento.

401 Marcas de alineación.

402 Parche de polarización.

700 Elemento unitario de subarreglo.

REIVINDICACIONES

1. Un arreglo plano de antenas en fase continuamente orientables (100), que comprende:
 - una capa de sustrato dieléctrico frontal sólido (202);
 - una capa de sustrato dieléctrico dorsal sólido (206); y
- 5 una capa dieléctrica electrónicamente variable (205), que es de un material de cristal líquido y está ubicada entre dichas capas de sustrato dieléctrico frontal (202) y dorsal (206);
 - un puerto de entrada de señales (101);
 - una red de alimentación (102);
 - al menos un desfaseador (111) que incluye electrodos aptos para sintonizar la capa dieléctrica variable (205);
- 10 una línea de polarización (201);
 - al menos dos elementos radiantes (112);

caracterizada en que los desfaseadores con sus electrodos (111) están integrados en la antena (100) y son electrónicamente sintonizables utilizando la capa dieléctrica variable (205).
2. Un arreglo de antenas en fase de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende:
- 15 una pluralidad de elementos de antena individuales (200);
 - una red de alimentación (102) que comprende el puerto de entrada de señales (101); y
 - una red de polarización que comprende al menos una línea de polarización (201).
3. Un arreglo de antenas en fase de acuerdo con las reivindicaciones 1 ò 2, caracterizada en que los electrodos de los desfaseadores (111) son aptos para alimentar la señal a los elementos radiantes (112).
- 20 4. Un arreglo de antenas en fase de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde al menos una capa seleccionada de los dos sustratos (202 y 206) y la capa dieléctrica (205) constan de un material uniforme.
5. Un arreglo de antenas en fase de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde los electrodos de los desfaseadores (111) serpentean regular o irregularmente.
- 25 6. Un arreglo de antenas en fase de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde los electrodos desfaseadores (111) están dispuestos en espiral.
7. Un arreglo de antenas en fase de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde al menos dos desfaseadores construyen un subarreglo.
8. Un arreglo de antenas en fase de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde cuatro desfaseadores construyen un subarreglo (700).
- 30 9. Un arreglo de antenas en fase de acuerdo con la reivindicación 8, donde la alimentación de entrada (104) está en el medio del subarreglo (700).
10. Un arreglo de antenas en fase de acuerdo con las reivindicaciones 8 ò 9, que comprende una pluralidad de subarreglos (700).
- 35 11. Un arreglo de antenas en fase de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el desfaseador es una unidad de retardo temporal.
12. Un arreglo de antenas en fase de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el desfaseador electrónicamente sintonizable incluye desfaseadores de líneas cargadas.

13. Un arreglo de antenas en fase de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde los sustratos dieléctricos frontal (202) y dorsal (206) comprenden sustratos mecánicamente estables y de baja pérdida.
14. Un arreglo de antenas en fase de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la antena (100) es 3D en estructura.
- 5 15. Uso de una o más arreglos de antenas en fase (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes.
16. Un método de fabricación, donde al menos dos componentes de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones 1 a 14 se fabrican al mismo tiempo en uno de los al menos dos sustratos (202 y 206).
- 10 17. Dispositivo que comprende una o más arreglos de antenas en fase (100) de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones 1 a 14.

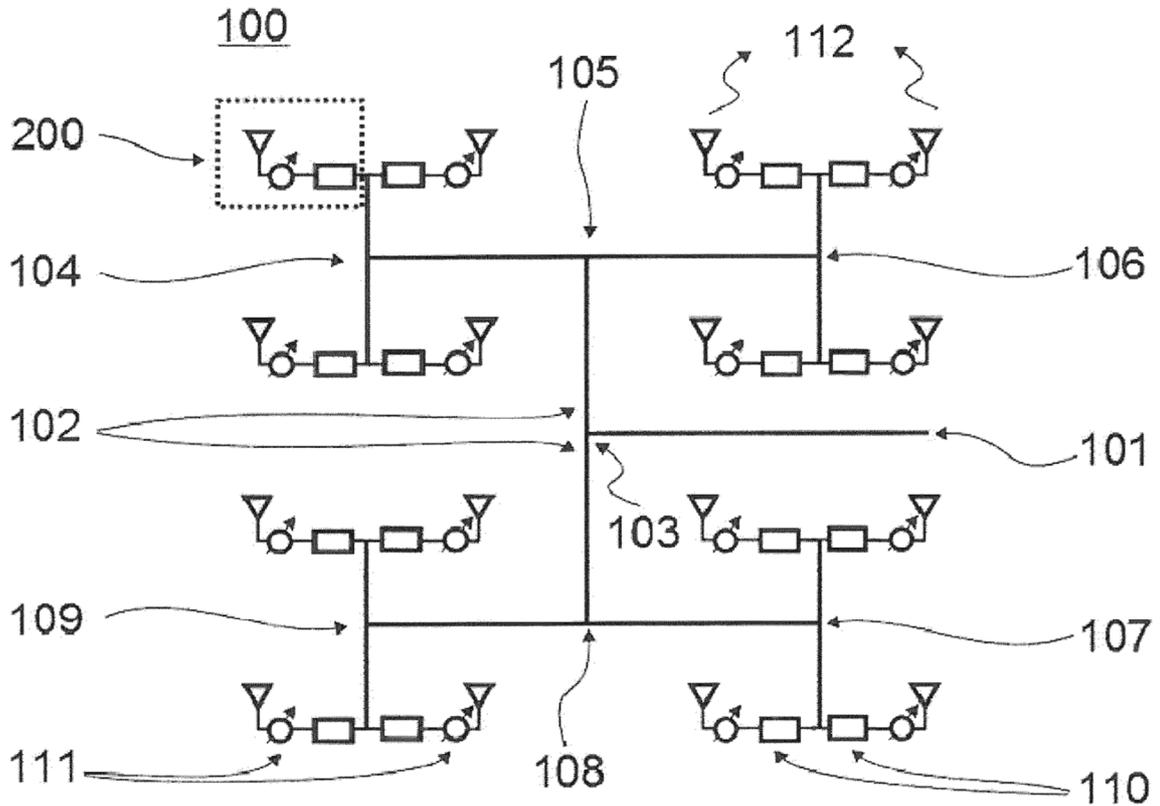
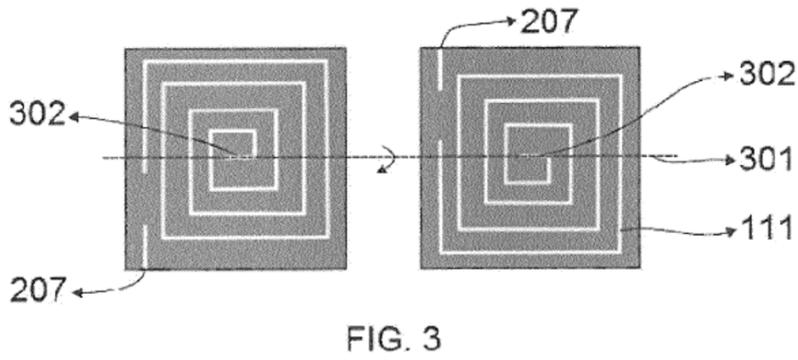
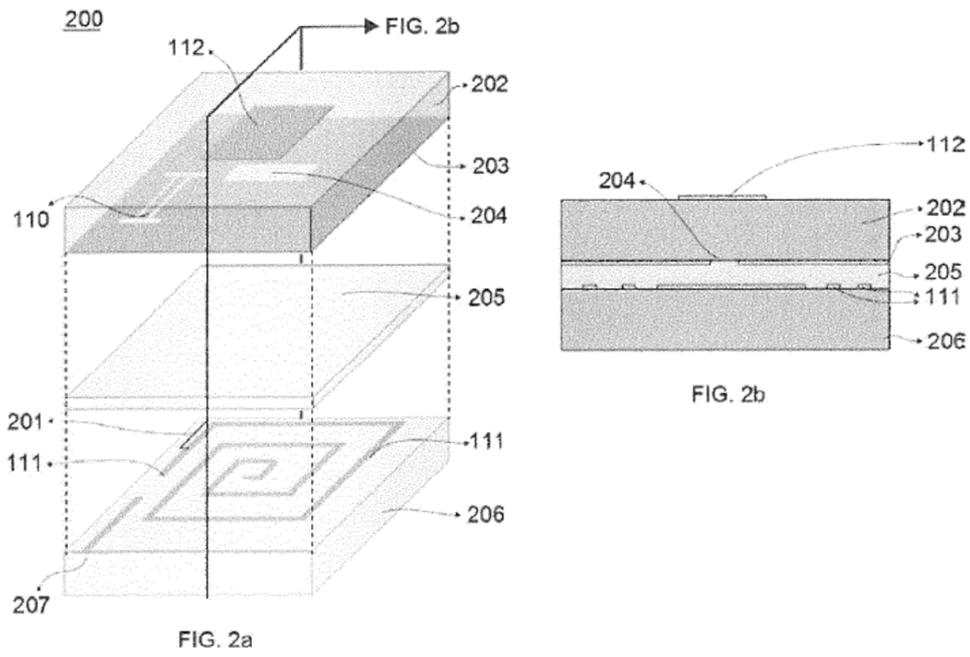


FIG. 1



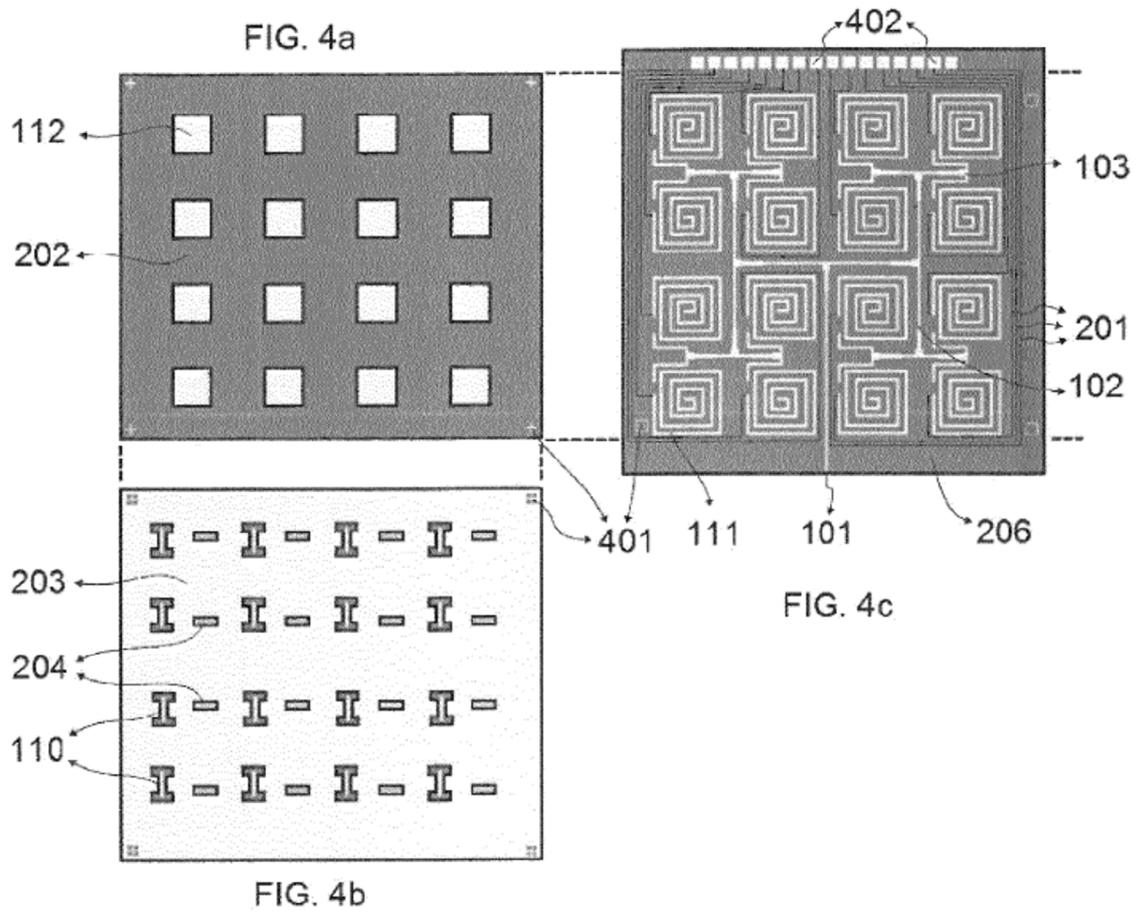


FIG. 5a

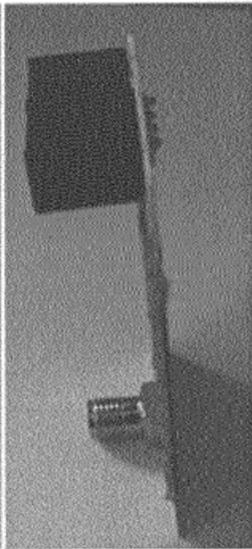


FIG. 5b

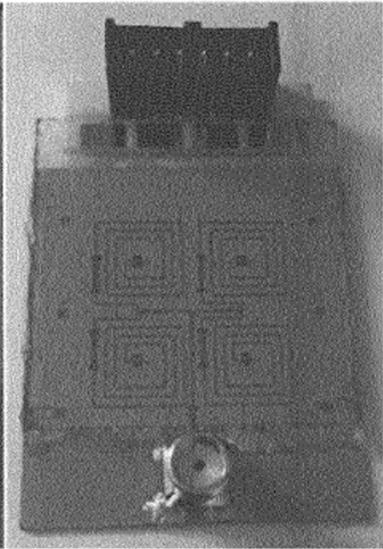


FIG. 5c

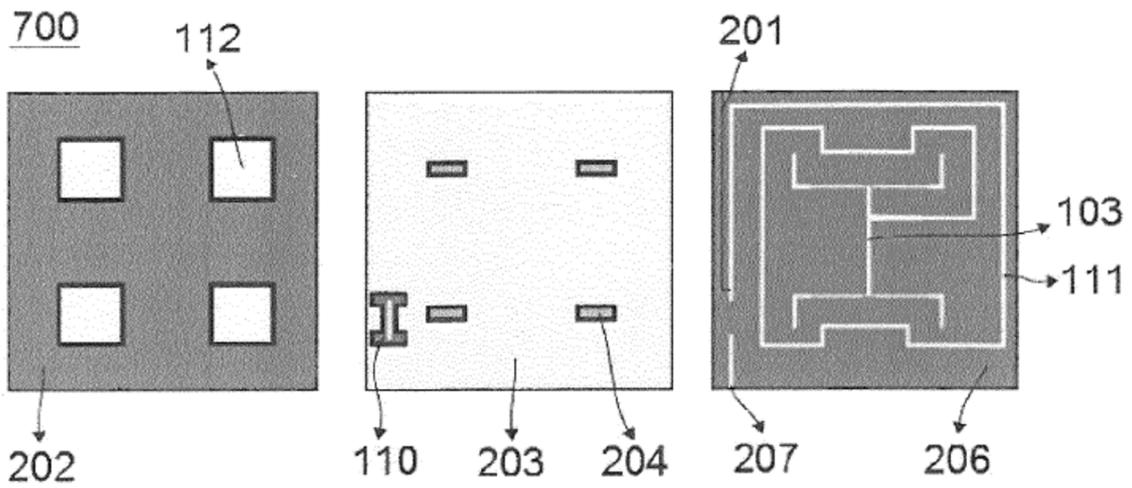


FIG. 6a

FIG. 6b

FIG. 6c

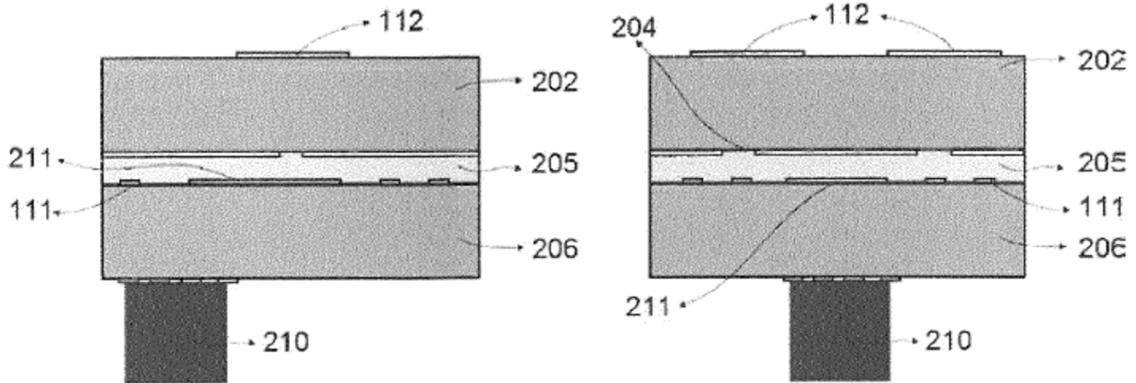


FIG. 7a

FIG. 7b

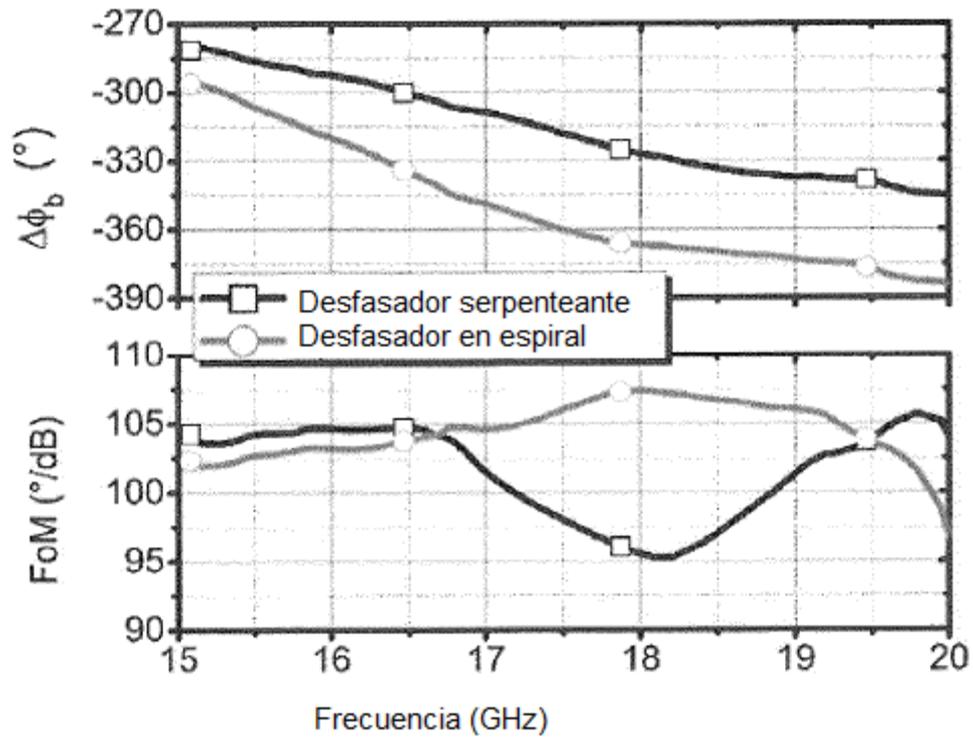


FIG. 8