(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 745 770**

(21) Número de solicitud: 201930982

(51) Int. Cl.:

H01P 7/08 (2006.01)

(12) SOLICITUD DE PATENTE A1

(22) Fecha de presentación:

08.11.2019

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

03.03.2020

(71) Solicitantes:

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (100.0%)
Avda. Ramiro de Maeztu nº 7
28040 MADRID ES

(72) Inventor/es:

SALAS NATERA, Miguel Alejandro;
GARROTE MORENO, Roberto;
MARTINEZ RODRIGUEZ-OSORIO, Ramon;
CARRASCO YEPEZ, Francisco Eduardo y
ENCINAR GARCINUÑO, Jose Antonio

(74) Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

(54) Título: **ELEMENTO RESONADOR MULTI-BANDA PARA REALIZACIÓN DE FILTROS, POLARIZADORES Y SUPERFICIES SELECTIVAS EN FRECUENCIAS**

(57) Resumen:

Elemento resonador multi-banda, que por un lado compensa las componentes de un campo electromagnético radiado desde su centro de fase ubicado en el eje de simetría del resonador para controlar la pureza de polarización de un elemento radiante. Por otro lado, permite seleccionar los campos electromagnéticos reflejados y transmitidos en una superficie selectiva en frecuencia y multi-banda. En este sentido, es un elemento innovador que permite el diseño de elementos radiantes directivos y con relación axial para su polarización circular menor o igual a 1.5 dB para todos los ángulos pertenecientes a la semiesfera centrada en "broadside". Así mismo, este puede ser utilizado en el diseño de reflectarrays, transmitarrays y cualquier superficie dicroica multi-banda, así como en superficies de metamateriales.

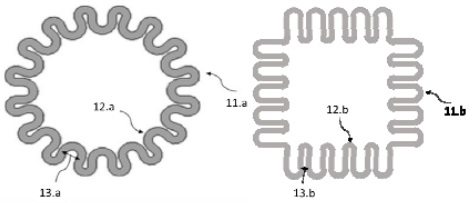

FIG 1

ES 2 745 770 A1

DESCRIPCIÓN

ELEMENTO RESONADOR MULTI-BANDA PARA REALIZACIÓN DE FILTROS, POLARIZADORES Y SUPERFICIES SELECTIVAS EN FRECUENCIAS

SECTOR TÉCNICO

Electrónica, Tecnologías de la información y las comunicaciones, Tecnologías aeronáuticas y navales, Tecnologías de los materiales, Tecnologías agrarias y forestales, Tecnología y producción industriales.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

Actualmente existe la necesidad de proveer soluciones que permitan mejorar los sistemas de antenas actuales para comunicaciones por satélite y cumplir con los requisitos actuales y futuros, en especial, los requisitos de apuntamiento fino, bajo perfil y bajo peso. Estos requisitos son esenciales para que los sistemas de antenas para las aplicaciones SATCOM móviles consigan tomar una posición en el mercado tal que los sistemas de comunicaciones por satélite comiencen a ser competitivos en diferentes escenarios.

La tecnología de phased array antennas, o antenas orientadas electrónicamente o con barrido electrónico, promete la implementación de antenas planas como solución a requisitos de bajo perfil para cualquier tipo de vehículo, es decir, perfectas para sistemas de comunicaciones de bajo perfil y en movimiento, pero las opiniones difieren en cuanto a su viabilidad comercial.

Hasta ahora, estas antenas planas (o phased array) han sido prohibitivamente caras y en su mayoría limitadas al uso militar. Sin embargo, al menos dos compañías, Phasor, Inc. (www.phasorsolutions.com) y Kymeta Corp. (www.kymetacorp.com) están desarrollando nuevas tecnologías y nuevos enfoques para llevar las antenas de bajo perfil al mercado.

La tecnología core de Phasor usa microprocesadores ASIC, en el que cada ASIC está vinculado a un "elemento" radiante, creando una antena con haz orientable digitalmente. Además, como este sistema convierte inmediatamente señales a digital,

la arquitectura soporta escalabilidad en teoría ilimitada, sin pérdidas tradicionales asociadas con sistemas analógicos.

La tecnología de meta-materiales de Kymeta es una aplicación patentada y novedosa de un nuevo campo en la ciencia de los materiales. Efectivamente, los meta-materiales "doblan" las ondas de radio para lograr la funcionalidad de antena dirigida electrónicamente. Esto, junto con una "película" polarizadora que cubre la antena, permite la conectividad con los satélites de comunicaciones.

Estos diseños, algunos en bandas diferentes a las bandas K/Ka y otros que simplemente proponen un array de antenas o apertura para cada banda de frecuencia, no proponen aún una solución doble banda y doble polarización que permita reducir drásticamente el volumen, peso y coste de los sistemas de antena para los terminales de comunicaciones móviles o fijos por satélite. En este sentido, nuevas soluciones y tecnologías de antenas se deben explorar.

Se ha trabajado para buscar soluciones innovadoras para proporcionar sistemas de antenas capaces de proveer barrido del haz en sistemas ultra compactos.

En el estado del arte encontramos artículos científicos que presentan array de antenas de doble banda con elementos distintos que comparten la apertura del sistema de antena. La alimentación de los elementos de la antena en estos casos puede ser diversa, aunque no optimizan las prestaciones que puede ofrecer una alimentación por acoplo con ranura. Por otro lado, existen patentes que presentan elementos radiantes de doble banda y multi-banda, y elementos con doble polarización. A continuación, presentamos la discusión del estado del arte con los elementos significativos que se pueden comparar objetivamente elementos radiantes de doble banda y doble polarización en términos de sus características de diseño, especificaciones y prestaciones.

En [1] los autores proponen un elemento radiante para arreglo de antenas. Este elemento está diseñado para trabajar en las bandas L y C y el sistema SAR (Synthetic Aperture Radar) para el que está diseñado el elemento requiere un rango de ángulos de barrido de haz de +/- 25 grados. En [2] los autores presentan un diseño de una agrupación de antenas cuyos elementos radiantes comparten apertura, esto es, que

posee en la misma apertura de la antena un elemento radiante para la banda de transmisión y otro elemento para la banda de recepción. Para esto, superponen los elementos de transmisión y recepción en determinadas posiciones y así comparten el área de la apertura. Estos elementos de [2], transmiten la señal a través de una ranura rectangular a una cavidad circular formada por pines en el caso del elemento que no comparte posición. En el caso de los elementos que comparten posición, para la banda alta se repite la estructura mientras que para la banda baja los autores proponen una estructura de cavidad coaxial que rodea al elemento de frecuencia más alta. Autores en [3] proponen un sistema de arreglo de antenas para radares de apertura sintética de doble banda y doble polarización. Al igual que en el caso anterior, el arreglo de antenas está compuesto por dos elementos que trabajan en bandas diferentes pero que comparte el área de la apertura de la antena. Las bandas de operación de este sistema de antena son las bandas C y X. Con la misma filosofía de compartir el área de la apertura de la antena con diferentes elementos sintonizados en las diferentes bandas de trabajo los autores en [4] proponen un array de antenas para trabajar en las bandas de frecuencia de 1 y 2 GHz con dipolos doblados en C y dispuestos especularmente como elementos radiantes. La alimentación de los elementos es directa por medio de un puerto coaxial a cada par de dipolos. Los autores en [5] presentan un elemento de doble polarización que trabaja en una sola banda (V) con una estructura multicapa en guía de onda basado en Gap Waveguide Technology. Estos elementos radiantes no presentan una optimización de las prestaciones en cuanto a la pureza de polarización o relación axial apropiada para aplicaciones de baja direcciones de apuntamiento o de llegada.

En cuanto a elementos radiantes presentados en el estado del arte de forma individual para luego ser utilizados en arreglos de antenas sin ningún otro propósito, a continuación, presentamos los elementos patentados relacionados con la invención. Los autores en [6] presentan un elemento complementario alimentado por una ranura rectangular que a su vez está alimentada por una estructura en micro-strip. Este elemento es de banda única y polarización lineal única, pero muestra el concepto de alimentación por ranura. En [7] se propone una antena de doble banda para arreglos de antenas adaptativos por diferencias de fase, pero utilizan un arreglo de antena para cada banda de frecuencia y éstos están diferenciados por un diplexor. Por otro lado, los autores en [8] proponen un elemento compacto de polarización simple circular, pero de doble banda que comprende un divisor de potencia pasivo en tecnología de

micro-strip que alimenta unas ranuras en cruz y con éstas se acopla a un parche rectangular con elementos multi-resonantes. Por otro lado, un elemento radiante de doble banda para un radar de apertura sintética es presentado en [9]. En este caso proponen una alimentación a los elementos radiantes a través de una ranura cuadrada o cavidad que excita una ranura en forma de anillo. Este último no presenta elementos resonantes para realizar una selección de las bandas en la apertura. En [10], de forma parecida a la que utilizan en caso anterior para separar las bandas de frecuencias, en la patente de la referencia proponen excitar a través de un acoplo inductivo una de las frecuencias, mientras que la otra frecuencia se hace por acoplo capacitivo por proximidad. En ambas frecuencias se utilizan líneas microstrip para alimentar el elemento radiante de polarización simple. En [11], la invención se refiere a un elemento radiante de doble polarización con un parche inferior para radiar en una primera polarización y un segundo parche para radiar en una segunda polarización ortogonal. Además, la invención se refiere a un conjunto de antena de polarización dual de doble banda compartiendo área de la apertura. En [12], los autores presentan un parche doble apilado como solución de doble banda en K y Ka. Esta solución propone la alimentación del parche activo mediante una ranura en forma de cruz que limita, a diferencia de la ranura circular propuesta en la presente patente presentada en [13], la alimentación secuencial a solo cuatro puntos.

Respecto a las realizaciones en superficies selectivas en frecuencia como reflectarrays y transmitarrays, asi como en subreflectores dicroicos y metasuperficies, encontramos en el estado del arte los siguientes desarrollos. En [14] se configura un anillo cargado con “stubs” de dos tipos, unos de tipo “interruptor” y otros sin “interruptor”, de este modo se pueden “conectar” o “desconectar” “stubs” del anillo en función de las necesidades del sistema, el motivo de tener “stubs” sin interruptor es para cambiar el diámetro efectivo del anillo y su respuesta, que mediante las distintas configuraciones de estos se consiguen distintas frecuencias de resonancia y respuestas en reflexión. En [15] se diseña un anillo con dos stubs cortos cargados con una pequeña sección rectangular, con estos dos últimos componentes se modifican las dos frecuencias de resonancia que aparecen en el diseño de este elemento. Por otro lado, los autores en [16] presentan un elemento de doble banda para superficies selectivas en frecuencia basado en resonadores LC dispuestos en paralelo. Este elemento requiere de la implementación de vías metalizadas y multiples estructuras resonantes en ambas caras, haciendo su fabricación compleja y costosa. Es importante resaltar que los

autores demuestran que con una estructura el ancho de banda obtenido es de banda estrecha, y que para obtener una transmisión de banda ancha con esta estructura es necesaria la implementación de varias estructuras resonantes a diferentes frecuencias en una celda unitaria.

Autores en [17] presentan el diseño de una superficie dicroica que trabaja en frecuencias desde 50.2 GHz hasta 230 GHz para el instrumento a bordo del satélite MetOp de segunda generación. Para este diseño, los autores proponen elementos en forma de C que conforman dos ranuras multi-resonantes, una recta y otra en forma de anillo. Este elemento no es apropiado para todas las incidencias oblicuas cuento estas no varíen solo que Theta sino que también lo haga en Phi. Por otro lado, autores en [18] presentan un elemento complejo para su fabricación que es utilizado para el diseño de superficies selectivas en frecuencia en sistemas de tres bandas. Este elemento está basado en tecnología SIW (Substrate Integrated Waveguide) conformando una cavidad con filtro de irises rectangulares.

Ninguno de los trabajos anteriores resuelve por un lado, la optimización de la relación axial para bajos ángulos de observación de un elemento radiante unitario, como tampoco la implementación de una superficie dicroica multibanda con la flexibilidad de configurar las bandas en transmisión y reflexión.

Referencias

[1] W. C. G. S. a. N. S. L. Shafai, «Dual Band Dual Polarized Radiating Element Development,» de ANTEM'96, 1996.

[2] A. Imran Sandhu, E. Arnieri, G. Amendola, L. Boccia, E. Meniconi y V. Ziegler, «Radiating Elements for Shared Aperture Tx/Rx Phased Arrays at K/Ka Band,» IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 64, nº 6, pp. 2270 - 2282, 2016.

[3] S. G. Fan Qin, L. Qi , M. Chun-Xu, G. Chao, W. Gao , X. Jiadong y L. Janzhou, «A Simple Low-Cost Shared-Aperture Dual-Band Dual-Polarized High-Gain Antenna for Synthetic Aperture Radars,» IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 64, nº 7, pp. 2914 - 2922, 2016.

[4] K. Naishadham, R. Li, L. Yang, T. Wu y W. Hunsicker, «A Shared-Aperture Dual-Band Planar Array With Self-Similar Printed Folded Dipoles,» IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 61, nº 2, pp. 606 - 613, 2013.

[5] M. Ferrando-Rocher, A. U. Zaman, J. Yang y A. Valero-Nogueira, «A Dual-Polarized Slotted-Waveguide Antenna Based on Gap Waveguide Technology,» de 11th European Conference on Antennas and Propagation EUCAP, Paris, 2017.

[6] R. J. Coe, «Parasitically Coupled Complementary Slot-dipole Antenna Element». United States of Ameria Patente 4.710.775, Dec. 1987.

[7] B. Kuan M. Lee, F. Nam S. Wong, C. Ruey S. Chu y F. Ray Tang, «DUAL BAND PHASED ANTENNA ARRAY USING WIDEBAND ELEMENT WITH DIPLEXER». United States of America Patente 4.689.627, Aug. 1987.

[8] C.-H. A. T. Saratoga, «Dual Frequency Circularly Polarized Microwave Antenna». United States of America Patente 5.241.321, 31 Aug. 1993.

[9] P. C. Strickland, «POLARIMETRIC DUAL BAND RADIATING ELEMENT FOR SYNTHETIC APERTURE RADAR». Unated States of America Patente 5.952.971, 14 Sep. 1999.

[10] B.-j. Lee y et al., «BROADBAND DUAL-POLARIZED MICROSTRIP ARRAY ANTENNA». United State of America Patente Application No 10/476.410, 24 Jun. 2004.

[11] B. Carmen y A. Teillet, «DUAL-POLARIZED RADIATING ELEMENT, DUAL-BAND DUAL-POLARIZED ANTENNA ASSEMBLY AND DUAL-POLARIZED ANTENNA ARRAY». United State of America Patente US 8.354.972 B2, 15 Jan. 2013.

[12] Przemyslaw Gorski, Joana S. Silva, y Juan R. Mosig, «Wideband, Low Profile and Circularly Polarized K/Ka Band Antenna». IEEE European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Lisbon (Portugal), 13-17 April 2015.

[13] M. Salas-Natera, M. Barba Gea, y J. Encinar Garcinuño, «Elemento Radiante de Doble Banda y Doble Polarización Multi-propósito», Referencia de patente: ES-20170031442 20171220, 2017

[14] R. Martinez-Lopez, J. Rodriguez-Cuevas, A. E. Martynyuk y J. I. Martinez-Lopez, «An active Ring Slot With RF MEMS Switchable Radial Stubs for Reconfigurable frequency Selective Surface Applications», Mexico D.F.: Factulty of Engineering, National Autonomous University of Mexico , 2012.

[15] D. Singh y V. M. Srivastava, «Dual resonance shorted stub circular rings metamaterial absorber». International Journal of Electronics and communications, 2017.

[16] Peng-Chao Zhao, Zhi-Yuan Zong, Wen Wu, Bo Li, y Da-Gang Fang, «An FSS Structure Based on Parallel LC Resonators for Multiband Applications». IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 65, nº 10, pp. 5257 - 5266, 2017.

[17] Raymond Dickie, Steven Christie, Robert Cahill, Paul Baine, Vincent Fusco, Kai Parow-Souchon, Manju Henry, Peter G. Huggard, Robert S. Donnan, Oleksandr Sushko, Massimo Candotti, Rostyslav Dubrovka, Clive G. Parini, and Ville Kangas, «Low-Pass FSS for 50–230 GHz Quasi-Optical Demultiplexing for the MetOp Second-Generation Microwave Sounder Instrument». IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 65, nº 10, pp. 5312 - 5321, 2017.

[18] M. Sharifian Mazraeh Mollaei and S. H. Sedighy, «Three Bands Substrate Integrated Waveguide Cavity Spatial Filter With Different Polarizations». IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 65, nº 10, pp. 5628 - 5632, 2017.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

La presente invención, que se basa en un elemento resonador multi-banda, resuelve los problemas anteriormente mencionados, mejorando la relación axial dentro de un cono ampliado de visión del elemento radiante bajo análisis y permitiendo diseños de sub-reflectores dicroicos multi-banda, como también en la implementación de filtros con múltiples bandas de paso en cavidad como elemento resonante.

Esta mejora de la relación axial consiste en obtener una pureza de polarización circular menor o igual a 2dB para un rango de observación de +/-75 grados respecto al eje o “broadside”. Por otro lado, los sub-reflectores multibanda pueden realizarse para las bandas S, C, X, Ku, K, Ka, etc. Estando limitados en las bandas superiores por las dimensiones físicas y las tecnologías de fabricación disponibles. Estas realizaciones multibanda, pueden contener, por ejemplo, las bandas S, C y Ku, o las bandas X, K y Ka, dependiendo esto de la aplicación y configuración del sistema de antena con sub-reflector dicroico bajo diseño.

Este elemento resonador está formado por una serie de “stubs” ajustados en frecuencias y dispuesto de forma radial sobre lo que sería un anillo, realizando así un anillo de “stubs”, o de forma lineal sobre los cuatro lados sobre lo que sería un rectángulo, formando así un rectángulo de “stubs”.

Para el caso de aplicación en la apertura de elementos radiantes para mejorar la relación axial de elementos radiantes o antenas, la longitud de los “stubs”, el ancho y separación de las pistas, y el radio del anillo que estos forman, controlan la adaptación del parche con el medio en la apertura del sistema de antena y optimizan la relación axial respecto al eje de simetría o dirección de “broadside” como se ha explicado anteriormente.

Para el caso de aplicación en sub-reflectores dicroicos, la longitud de los “stubs” ajusta la banda central, mientras que la separación de las pistas de los “stubs” ajusta las bandas central y superior. El radio del anillo formado por los “stubs” ajusta las bandas inferior y superior. Por último, otra variable importante para el diseño de un sub-reflector dicroico, utilizando cualquier resonador, es la del periodo de la celda utilizada. Esta variable para el caso concreto de la invención aquí presentada, ajusta todas las bandas, pero siendo su impacto mayor en las bandas inferior y superior. Con este conjunto de parámetros y directrices es posible diseñar el elemento resonante dentro de una celda periódica para su implementación en un sub-reflector dicroico que trabaje en un conjunto de bandas específicas.

Para poder maximizar la transmisión en un sub-reflector dicroico, este está demostrado que debe tener simetría respecto a las impedancias vistas en ambas caras del mismo, y éstas deben estar separadas en una distancia efectiva de media longitud de onda. Entonces, es posible implementar dos clases de sub-reflectores dicroicos, uno simétrico con dos resonadores formados por “stubs” en ambas caras, o uno no-simétrico con un resonador formado por “stubs” en una de sus caras y un anillo resonador liso en la otra cara.

La configuración simétrica permite ajustar las bandas inferior y superior en reflexión, mientras que la central se ajusta en transmisión. Por otro lado, la configuración no-simétrica permite ajustar la banda inferior en transmisión, mientras que las bandas central y superior en reflexión. Refiriéndose a reflexión, a la capacidad de reflejar las ondas electromagnéticas en la superficie del sub-reflector dicroico, mientras que, a

transmisión, a la capacidad de transmitir las ondas electromagnéticas a través del mismo.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para completar la descripción de la invención y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de sus características, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización de la misma, se acompaña un conjunto de dibujos en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se han representado las siguientes figuras:

- La **Figura 1** presenta el elemento resonador formado por una serie de “stubs” (**13.a o 13.b**) ajustados en frecuencias y dispuesto de forma radial entre unos anillos interiores (**12.a**) y unos anillos exteriores (**11.a**), formando así un anillo de “stubs”. También pueden estar dispuestos de forma lineal sobre los cuatro lados de un rectángulo, con anillos inferiores (**12.b**) y anillos exteriores (**11.b**), formando así un rectángulo de “stubs”.

- La **figura 2** muestra una posible realización del elemento radiante **(20)** de doble banda y doble polarización formado con un resonador con secciones tipo C unidas con stubs (**21**) formado con líneas de cobre, se encuentra superpuesto sobre un cono corrugado de un material de tipo teflón (**22**), con el fin de adaptar la impedancia vista dentro de la cavidad (**24**) con la exterior al resonador, en el interior de la cavidad se encuentra un filtro (**23**) formado por 4 resonadores circulares (**23.a**, **23.d**, **23.g** y **23.k**) iguales que los de la **Figura 1,** soportados sobre una capa de dieléctrico cerámico (**23.b**, **23.e**, **23.h** y **23.j**), y separados con un material de tipo “foam” (**23.c**, **23.f** y **23.i**), cuya finalidad es hacer disminuir la distancia entre cada filtro de la cavidad por la constante dieléctrica de ésta, aunque sea cercana a uno. Por lo anterior, con materiales dieléctricos de constante dieléctrica mayor, obtendremos un filtro más compacto, pero esto puede suponer aumentar considerablemente las pérdidas. Este diseño obtiene polarizaciones circulares con una pureza menor o igual a 2dB para todos los ángulos pertenecientes al cono de visión centrado en “Broadside”. La alimentación del diseño se podría realizar mediante diferentes técnicas, como, por ejemplo, por acoplo capacitivo con un alimentador formado por un “stub” y una ranura.

- La **figura 3** muestra el diseño de la celda unitaria **(30)** que configuraría una superficie selectiva en frecuencia, para ser utilizada en sub-reflectores dicroicos .El componente (**31**) es una capa de material dieléctrico (por ejemplo kapton), se encuentra delante del resonador de cobre (**32**) para protegerlo de posibles deterioros debido a fenómenos climáticos, seguidamente hay otra capa de material dieléctrico (por ejemplo kevlar) (**33**) y al igual que en la **figura 2** se coloca un material de tipo “foam” o “honeycomb” (**34**) para ajustar el espacio con la siguiente capa de “kevlar” (**35**) y “kapton” (**36**).

- La **figura 4** muestra las dos celdas unitarias (**40**), formadas por dos elementos iguales que los de la **figura 3**, colocados de manera opuesta el uno del otro, al ser el mismo elemento, la distancia que separa el elemento (**41**) del (**42**) es de aproximadamente media longitud de onda debido a que sus impedancias son iguales. Las capas que forman las dos celdas son: (**41.a**) y (**42.f**) que consisten en una capa de material dieléctrico (por ejemplo kapton), (**41.b**) y (**42.e**) que son el resonador de cobre, (**41.c**) y (**42.d**) son otra capa de material dieléctrico (por ejemplo kevlar), (**41.d**) y (**42.c**) son material de tipo “foam” o “honeycomb”, (**41.e**) y (**42.b**) vuelve a ser una capa de “kevlar”, y finalmente las capas (**41.f**) y (**42.a**) son una nueva capa de “kapton”. Esta distribución se emplea sobre una superficie dicroica selectiva en frecuencia de un sistema de comunicaciones que puede trabajar simultáneamente tanto en transmisión como en reflexión, presentando doble banda de trabajo en el caso de reflexión, y una banda de trabajo en el caso de transmisión, las dos bandas de reflexión se encuentran separadas entre ellas por la banda de transmisión. Las dos bandas de reflexión se podrían alimentar mediante un sistema coaxial, teniendo la ventaja de un diseño de alimentador más sencillo que el necesario para la **figura 4** ya que las dos bandas de frecuencia que reflejan la señal se encuentran más separadas entre sí. Para la alimentación de la banda de transmisión se podría utilizar cualquier alimentador dedicado a la banda correspondiente a la que se ha sintonizado.

- La **figura 5** muestra dos celdas unitarias simétricas (**50**), este diseño presenta una variación respecto a la **figura 4**, y es la sustitución del elemento resonador (**42.e**) por un anillo (**52.e**), las capas que forman el diseño son: (**51.a**) y (**52.f**)

que consisten en una capa de material dieléctrico (por ejemplo kapton), (**51.b)** resonador de cobre y (**52.e**) que es un anillo de cobre, (**51.c**) y (**52.d**) son otra capa de material dieléctrico (por ejemplo kevlar), (**51.d**) y (**52.c**) son material de tipo “foam” o “honeycomb”, (**51.e**) y (**52.b**) vuelve a ser una capa de “kevlar”, y finalmente las capas (**51.f**) y (**52.a**) son una nueva capa de “kapton”. En este caso la distancia que separa al elemento (**51**) del (**52**) no es de media longitud de onda, ya que la impedancia del anillo (**52.e**), no es la misma que la del elemento resonador (**51.b**), con lo que esta distancia variará en función de las especificaciones a obtener. Con esta variación se obtienen las celdas unitarias colocadas sobre una superficie dicroica selectiva en frecuencia de un sistema de comunicaciones que puede actuar de manera simultánea en transmisión y reflexión, teniendo en este caso doble banda de trabajo en reflexión y una banda de trabajo para transmisión, en este caso las dos bandas de reflexión se encuentran más cercanamente que en el caso de la **figura 4** las bandas de reflexión. Para la alimentación de las bandas de reflexión se utilizaría la misma estrategia que la propuesta para la **figura 4**, o un alimentador no coaxial de doble banda. Para la banda de transmisión se sigue la misma estrategia que para la **figura 4**.

- **Figura 6** muestra la respuesta en adaptación (**60**) y reflexión (**61**) del diseño de la **figura 5**, mostrándose así las tres frecuencias de funcionamiento, dos para la reflexión (**61**) y una para la transmisión (**60**).

- **Figura 7,** muestra la respuesta en adaptación (**70**) y reflexión (**71**) del diseño de la **figura 4**, mostrándose así las tres frecuencias de funcionamiento, dos para la transmisión (**70**) y una para la reflexión (**71**).

- La **figura 8** muestra la respuesta en relación axial optimizada por el elemento resonante como polarizador en apertura, para la primera frecuencia de diseño (**80**) y la segunda frecuencia de diseño (**81**), de la **figura 2.**

- La **figura 9** muestra la imagen en negativo de los dos elementos resonantes presentados en la **figura 1**, es decir, en el resonador circular, la nueva sección de metal es la (**91.a**), mientras que la (**92.a**) es de aire o en ranura de una estructura de metal, de igual modo en el resonador de forma rectangular,

debido a la estructura del diseño se deben añadir unas líneas metálicas (**93.a**) para soportar la parte interior del diseño. La incorporación de estas líneas no afecta de manera significativa a las características de radiación del elemento. De igual manera, en el diseño cuadrado la nueva sección de metal es la (**91.b**) y la sección de aire es la (**92.b**), también es necesaria la incorporación de las líneas metálicas (**93.b**) para poder soportar la parte interior.

- La **figura 10** muestra un dipolo multi-banda que puede ser implementado como complemento de los resonadores anteriores mediante la unión de dos semianillos (**102**) y (**103**) a través de un stub (**101**), tanto en cobre como en su versión de negativo (ranura).

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

Con referencia a la numeración adoptada en las figuras descritas anteriormente, se profundiza a continuación en la descripción de la presente invención, la cual se basa en un elemento resonador multi-banda, como el representado en la **Figura 1**, que está formado por una serie de “stubs” (**13.a o 13.b**) ajustados en frecuencias y dispuesto sobre lo que sería un anillo o un rectángulo, realizando así un anillo o rectángulo de “stubs”.

Este elemento puede ser implementado para mejorar la relación axial dentro de un cono ampliado de visión del elemento radiante bajo análisis, como el presentado en la **Figura 2,** que consiste en un filtro de irises **23.a**, **23.g**, **23.d** y **23.k**, en la carga dieléctrica en la apertura **22** que puede ser un cono conformado o corrugado, en una cavidad **24** que contiene a los elementos anteriores, para trabajar en dos frecuencias separadas, y el elemento resonador multibanda en la apertura **21** que mejora la relación entre las componentes del campo para ángulos grandes respecto al eje o ángulos de elevación. Esta mejora de la relación axial consiste en obtener una pureza de polarización circular menor o igual a 1.5dB para un rango de observación de +/-75 grados, o menor o igual a 2dB para un rango de observación de +/-85 grados, respecto al eje o “broadside” o eje.

Este elemento también puede ser implementado en diseños de sub-reflectores dicroicos multi-banda. Estos sub-reflectores multi-banda pueden realizarse para

prácticamente cualquier relación de bandas con la respuesta normalizada en frecuencia que se presenta en las **figuras 6 y 7**, para las configuraciones no simétricas y simétricas, respectivamente. Estas bandas pueden ser, por ejemplo: [S, C, X], [Ku, K, Ka], [X, K, Ka], etc. Estando, estas implementaciones en sub-reflectores dicroicos, limitadas en las bandas superiores por las dimensiones físicas y las tecnologías de fabricación disponibles.

Para el caso de aplicación en la apertura de elementos radiantes para mejorar la relación axial de elementos radiantes o antenas, la longitud de los “stubs” en la **Figura 2**, el ancho y separación de las pistas más cercanas en la **Figura 1**, y el radio del anillo que el conjunto de “stubs” forma, se ajustan para mejorar adaptación del parche o cavidad resonante con el medio en la apertura de la antena. Además, optimizan la relación axial respecto al eje de simetría o dirección de “broadside” como se ha explicado anteriormente.

Para el caso de aplicación en sub-reflectores dicroicos, podemos partir del resonador de la **Figura 1**, pero ahora agregando a este elemento (**32**) las capas correspondientes a los materiales dieléctricos, que pueden ser, según diseño y para una fabricación con tecnología clásica de la realización presentada en la **Figura 3**: Capton (**31**), Kevlar (**33**), Foam o Honeycomb (**34**), Kevlar (**35**), y Capton (**36**). Estos materiales podrían cambiar dependiendo de la técnica o tecnología de fabricación seleccionada. Ahora, la longitud de los “stubs” ajusta la banda central de la **Figura 6**, mientras que la separación de las pistas de los “stubs” ajusta las bandas central y superior de la **Figura 6**. El radio del anillo formado por los “stubs” ajusta las bandas inferior y superior de la **Figura 6**. Por último, otra variable importante para el diseño de un sub-reflector dicroico, utilizando cualquier resonador, es la del periodo de la celda utilizada (lados simétricos de la celda de las **Figuras 3, 4 y 5**). Esta variable, para el caso concreto de la invención aquí presentada, ajusta todas las bandas, pero es su impacto mayor en las bandas inferior y superior. Con este conjunto de parámetros y conociendo sus efectos en la respuesta del elemento, es posible diseñar el elemento resonante dentro de una celda periódica para su implementación en un sub-reflector dicroico que trabaje en un conjunto de bandas específicas.

Para poder maximizar la transmisión en un sub-reflector dicroico, este está demostrado que debe tener simetría respecto a las impedancias vistas en ambas

caras del mismo, y éstas deben estar separadas en una distancia efectiva de aproximadamente en la práctica, de media longitud de onda como está representado en las **Figuras 4 y 5**. Entonces, es posible implementar dos clases de sub-reflectores dicroicos basados en los elementos resonadores multi-banda de la **Figura 1** y la celda periódica de la **Figura 3**. Esto es, uno simétrico con dos resonadores formados por “stubs” **41.b y 42.e** en ambas caras en la **Figura 4**, o uno no-simétrico con un resonador formado por “stubs” **51.b** en una de sus caras y un anillo resonador liso **52.e** en la otra cara en la **Figura 5**.

La configuración **simétrica** permite ajustar las bandas inferior y superior en reflexión, mientras que la central se ajusta en transmisión como puede observarse en la **Figura 7**. Por otro lado, la configuración **no-simétrica** permite ajustar la banda inferior en transmisión, mientras que las bandas central y superior en reflexión como puede observarse en la **Figura 6**.

Para lo anterior, también se pueden implementar las ranuras presentadas en la **Figura 9**, para implementar diferentes diseños y técnicas de fabricación. Igualmente, el dipolo ajustable de la **Figura 10** se puede introducir dentro de los elementos anteriores dependiendo de la polarización del sistema y su aplicación multi-banda.

REIVINDICACIONES

1. Elemento resonador multi-banda caracterizado por que comprende una pluralidad de stubs (13.a, 13.b) ajustados en frecuencia y dispuestos según una forma geométrica a seleccionar entre una elipse o un rectángulo.

2. Elemento resonador de acuerdo a la reivindicación 1 donde la elipse tiene una relación de aspecto igual a la unidad y los stubs están dispuestos de forma radial entre unos anillos interiores (12.a) y unos anillos exteriores (11.a), formando así un anillo de “stubs” (13.a).

3. Elemento resonador de acuerdo a la reivindicación 1 donde el rectángulo tiene una relación de aspecto igual a la unidad y los stubs están dispuestos de forma lineal sobre los cuatro lados del rectángulo, con unos anillos interiores (12.b) y unos anillos exteriores (11.b), formando así un rectángulo de stubs (13.b).

4. Elemento resonador de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende una ranura discontinua (92.a, 92.b) dispuesta sobre una estructura de base (91.a, 91.b), donde la ranura tiene una forma que depende de la forma geométrica seleccionada y los stubs ajustados en frecuencia.

5. Elemento resonador de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho elemento resonador comprende un material metálico.

6. Filtro en cavidad que comprende una pluralidad de elementos resonadores (23.a, 23.d, 23.g, 23.k) de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde cada elemento resonador está dispuesto sobre una capa de material dieléctrico (23.b, 23.e, 23h, 23j) y separados entre sí por una capa de material de tipo espuma (23.c, 23.f, 23.i) o aire.

7. Filtro en cavidad de acuerdo a la reivindicación 6 donde los materiales dieléctricos tienen constante dieléctrica variable para cambiar la frecuencia de trabajo o su respuesta en fase, para realizar filtros paso bajo, paso alto, paso banda o paso multi-banda.

8. Elemento radiante formado por la cavidad con filtro de acuerdo a la reivindicación 7, para aplicaciones de una o múltiples bandas.

9. Elemento radiante que comprende un elemento resonador de acuerdo a la reivindicación 2, donde los stubs comprenden una longitud, un ancho, una separación de pistas y un radio del anillo, configurados para optimizar la relación axial respecto al eje de simetría del mismo.

10. Subreflector dicroico que comprende un primer elemento resonador de acuerdo a la reivindicación 2, donde los stubs comprenden: una longitud configurada para ajustar una banda central; una separación de pistas configurada para ajustar la banda central y una banda superior; y un radio del anillo configurado para ajustar una banda inferior y la banda superior.

11. Subreflector dicroico de acuerdo a la reivindicación 10 que además comprende un segundo elemento resonador (42.e) idéntico al primer elemento resonador y dispuesto a una distancia efectiva de media longitud de onda del primer elemento resonador que depende de las impedancias y frecuencias de operación, resultando una configuración simétrica.

12. Subreflector dicroico de acuerdo a la reivindicación 10 que además comprende un anillo resonador liso (52.f) dispuesto a una distancia efectiva diferente a media longitud de onda del primer elemento resonador que depende de las impedancias y frecuencias de operación, resultando una configuración asimétrica.

13. Elemento radiante que comprende un elemento resonador de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 1-5, donde el elemento radiante además comprende un polarizador de apertura configurado para mejorar la relación axial de la polarización circular del elemento radiante hasta ángulos de 90 grados desde un eje broadside.

14. Antena reflectarray formada por una pluralidad de celdas periódicas (30) que comprenden, cada una de ellas, un elemento resonador de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 1-5.

15. Superficie selectiva en frecuencia para una o múltiples bandas formada por una pluralidad de celdas periódicas que comprenden, cada una de ellas, un elemento resonador de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 1-5, donde la superficie selectiva en frecuencia además comprende un material dieléctrico con constante dieléctrica variable.

16. Dispositivo de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores que además comprende un dipolo ajustable para favorecer una polarización o aplicación.

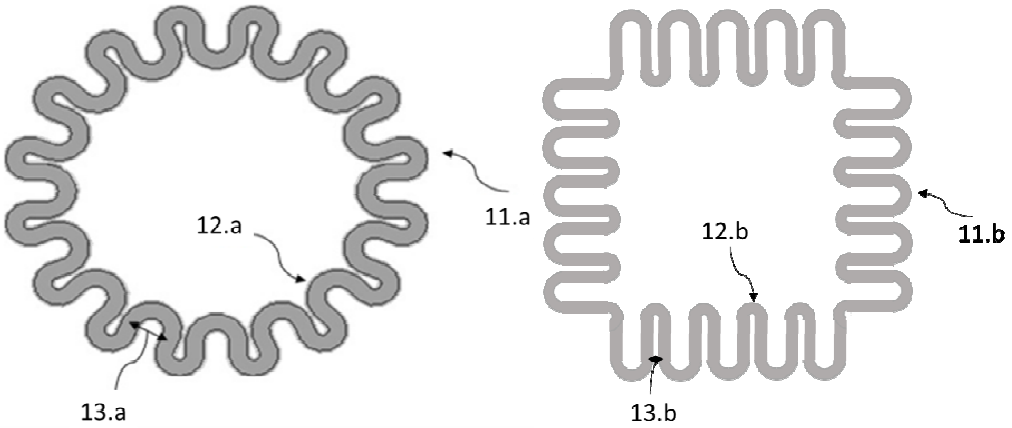
12.a
11.a
12.b
11.b
13.a
13.b

FIG 1

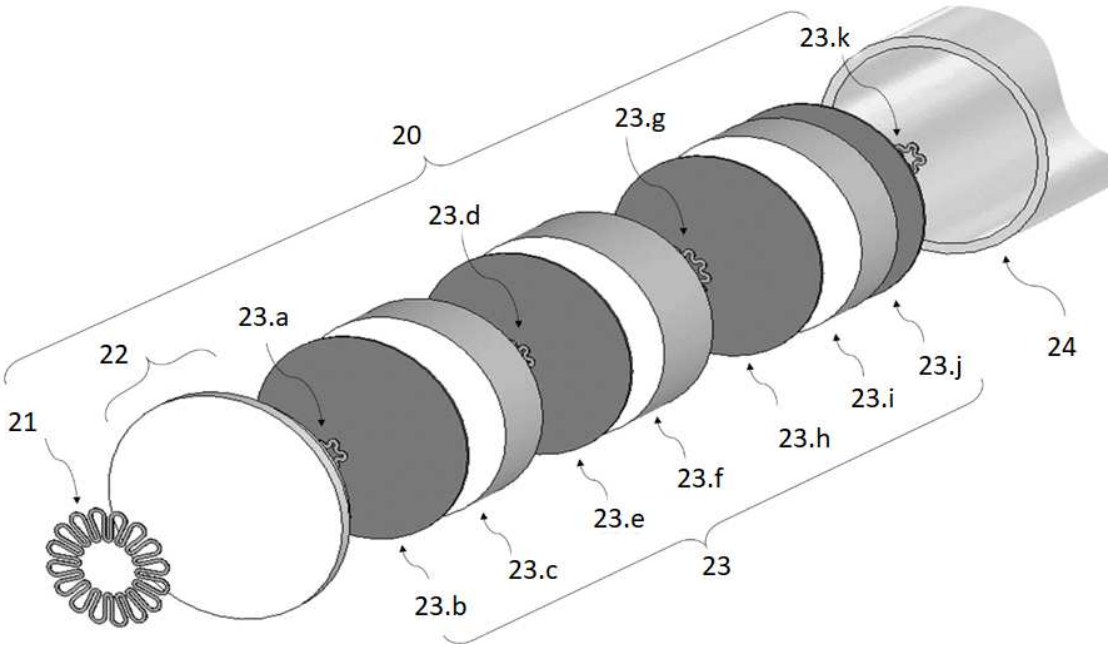
23.k
20
23.g
23.d
23.a
22
21
24
23.j
23.i
23.h
23.f
23.e
23.c
23
23.b

FIG 2

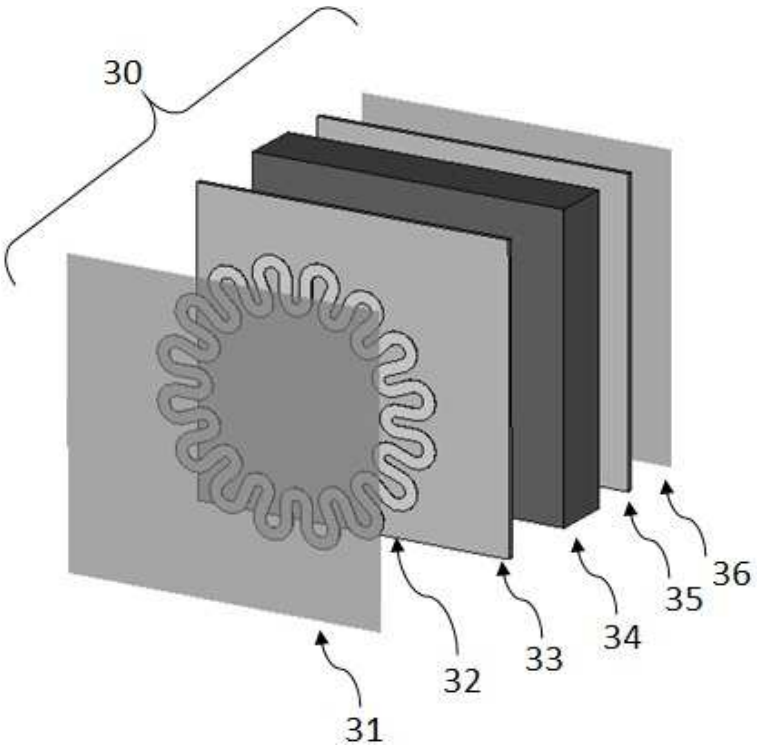

FIG 3

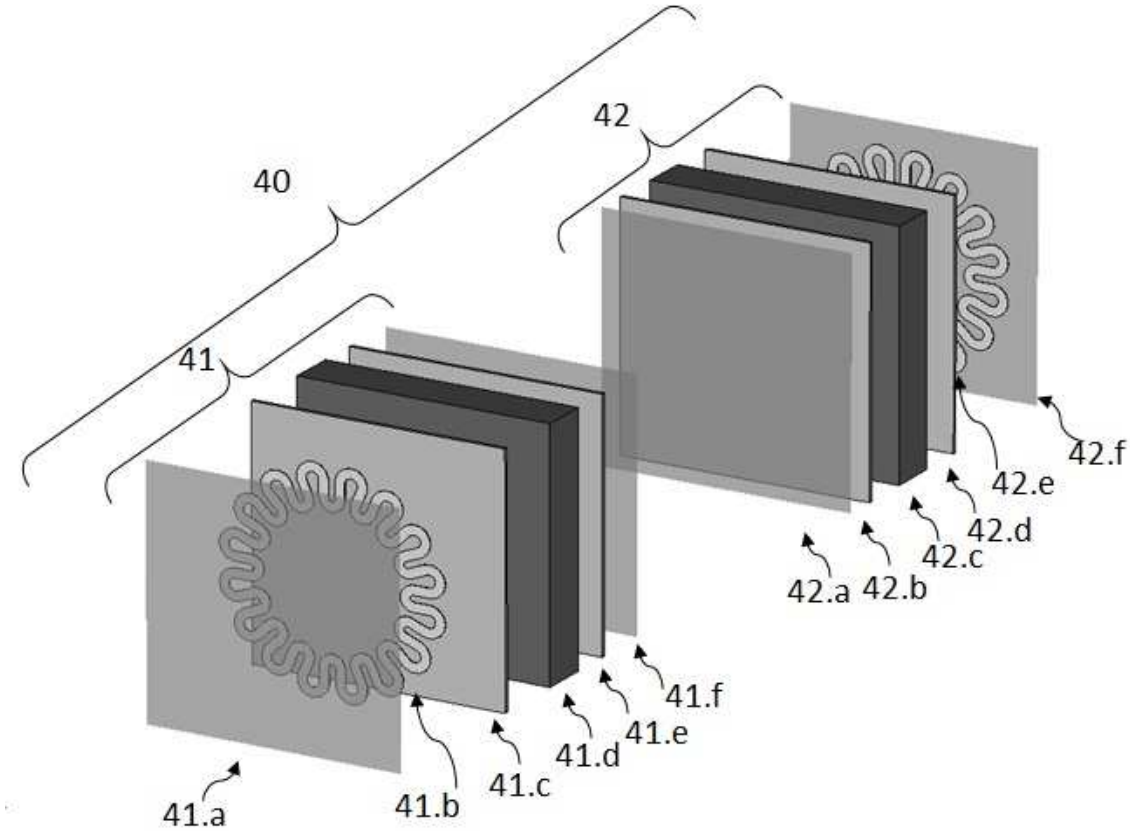

FIG 4

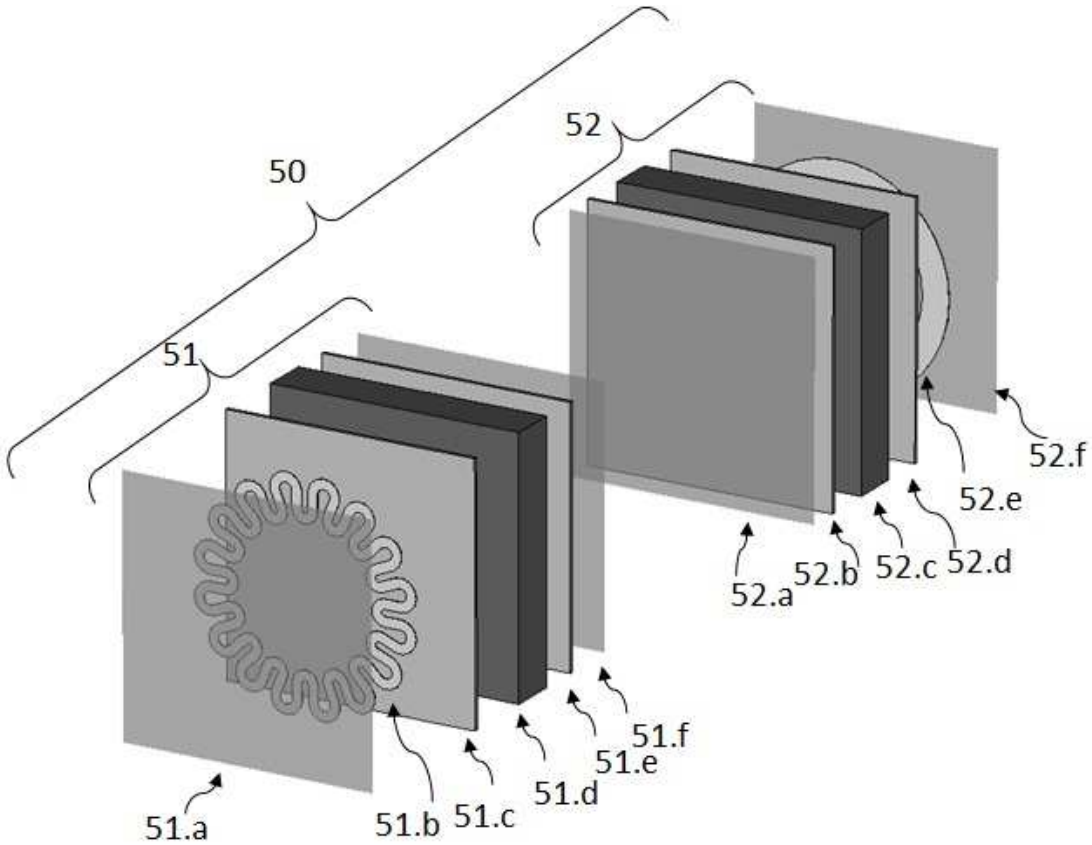

FIG 5

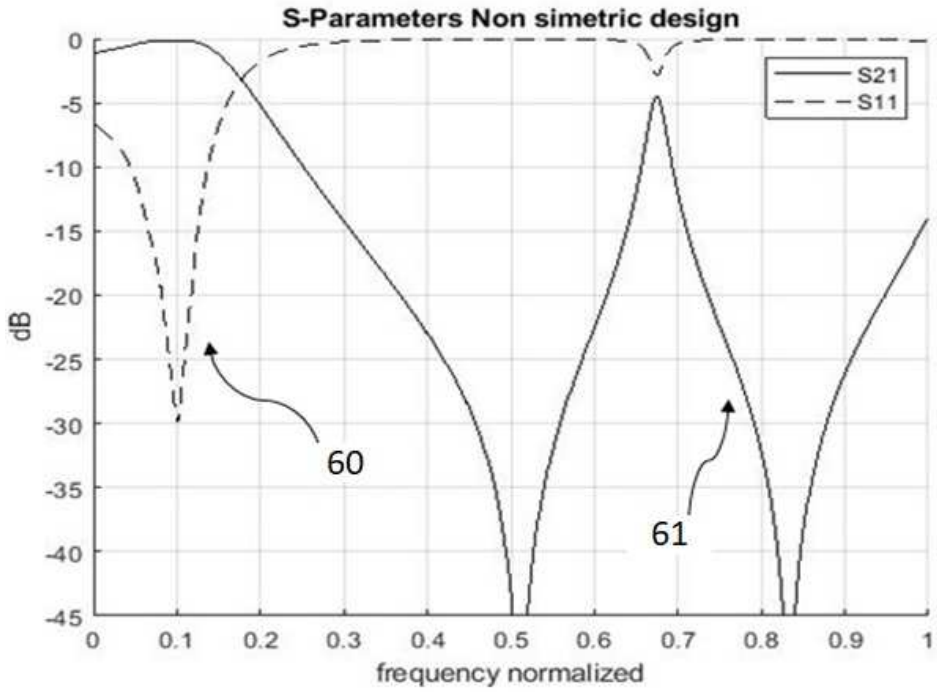
S-Parameters Non simetric design
S21
S11
dB
frequency normalized
60
61
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1

FIG 6

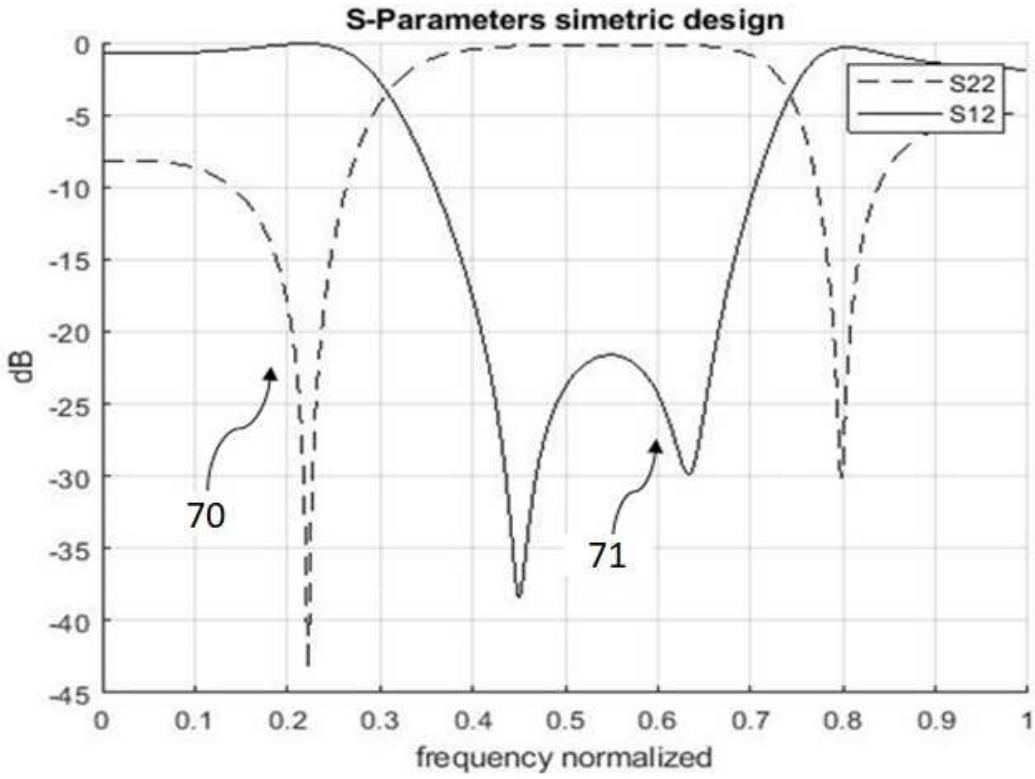
S-Parameters simetric design
S22
S12
dB
frequency normalized
70
71
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1

FIG 7

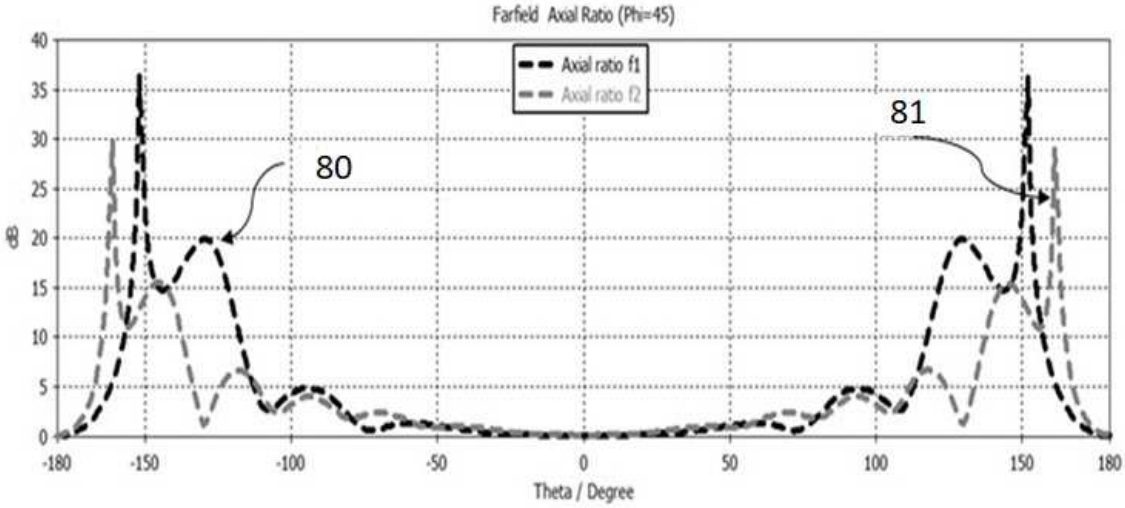
Farfield Axial Ratio (Phi=45)
Axial ratio f1
Axial ratio f2
80
81
dB
Theta / Degree
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-180
-150
-100
-50
0
50
100
150
180

FIG 8

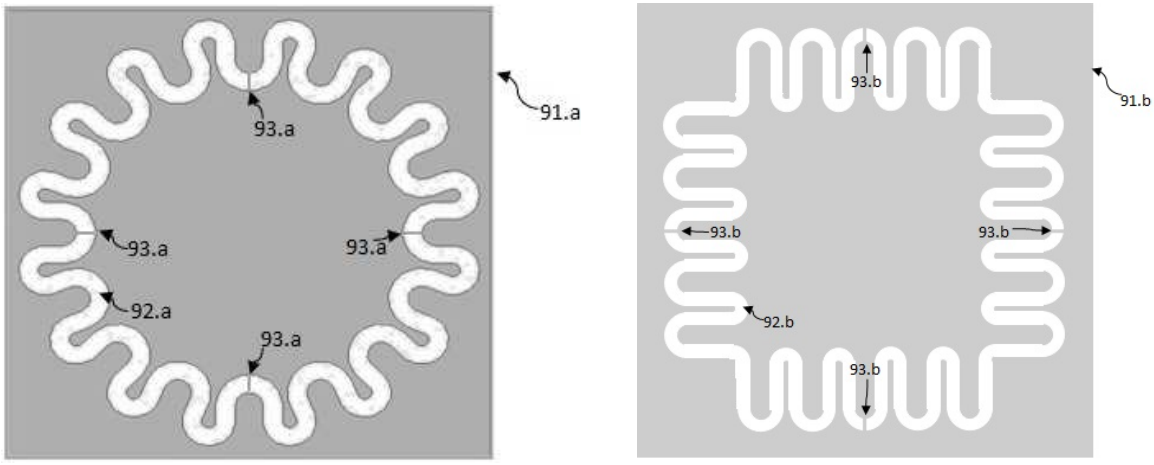
91.a
93.a
93.a
93.a
92.a
93.a
91.b
93.b
93.b
93.b
92.b
93.b

FIG 9

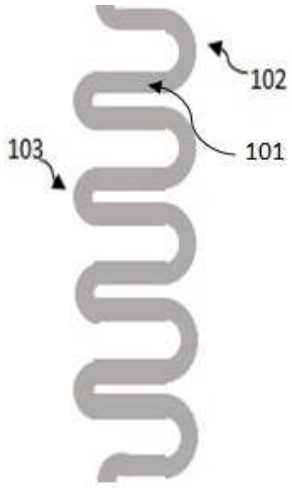

FIG 10

OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(21) N.º solicitud: 201930982

(22) Fecha de presentación de la solicitud: 08.11.2019

(32) Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

(51) **Int. Cl. :** ***H01P7/08*** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	(56) Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	SALIM ALI J et al. A Dual-Band BPF Based on Asymmetrical-Meandered Configuration for Communication Systems. 2018 Third Scientific Conference of Electrical Engineering (SCEE), 20181219 IEEE. , 19/12/2018, Páginas 294 - 298, <DOI: 10.1109/SCEE.2018.8684156>	1-16
A	MARZAH ABDULLAH A et al. Design and Analysis of High Performance and Miniaturized Bandpass filter using Meander Line and, Minkowski Fractal Geometry. 2018 Al-Mansour International Conference on New Trends in Computing, Communication, and Information Technology (NTCCIT), 20181114 IEEE, 14/11/2018, Páginas 12 - 17, <DOI: 10.1109/NTCCIT.2018.8681174>	1-16
A	WU G -L et al. Design of novel dual-band bandpass filter with microstrip meander-loop resonator and CSRR DGS. Progress in Electromagnetics Research 2008 MIT USA, 30/11/2007, Vol. 78, Páginas 17 - 24, ISSN 1559-8985, <DOI: 10.2528/PIER07090301>	1-16
A	US 2013181725 A1 (MAZZARO GREGORY J) 18/07/2013, párrafos [0011] a [0052]; figuras 1-12.	1-16

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
A: refleja el estado de la técnica
O: referido a divulgación no escrita
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones ☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe	Examinador	Página
17.02.2020	J. Botella Maldonado	1/2

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H01P

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC WPI, NPL, XPESP, XPAIP, XPI3E, INSPEC.