

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 620 766**

51 Int. Cl.:

H01Q 3/46 (2006.01)

H01Q 13/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.09.2012 E 12183120 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.01.2017 EP 2571098**

54 Título: **Celda desfasadora radiante reconfigurable basada en resonancias de ranuras y microtiras complementarias**

30 Prioridad:

14.09.2011 FR 1102786

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

29.06.2017

73 Titular/es:

**INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES
APPLIQUÉES DE RENNES (33.3%)
20 Avenue des Buttes de Coesmes
35708 Rennes Cedex 7, FR;
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (33.3%) y
THALES (33.3%)**

72 Inventor/es:

**LEGAY, HERVÉ;
GIRARD, ETIENNE;
BRESCIANI, DANIEL;
GILLARD, RAPHAËL;
SALTI, HASSAN;
MAKDISSY, TONY y
FOURN, ERWAN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 620 766 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

Celda desfasadora radiante reconfigurable basada en resonancias de ranuras y microtiras complementarias

El campo de la invención es el de las celdas desfasadoras radiantes reconfigurables. Se aplica particularmente a las redes reflectoras para una antena destinada a montarse sobre un vehículo espacial tal como un satélite de telecomunicaciones o sobre un terminal terrestre para los sistemas de telecomunicación o de difusión por satélite.

Una antena de red reflectora ("reflectarray antenna" en inglés) incluye un conjunto de celdas desfasadoras radiantes montadas en una red de una o dos dimensiones y que forman una superficie reflectante que permite incrementar la directividad y ganancia de la antena. Las celdas desfasadoras radiantes de la red reflectora, de tipo pastillas metálicas (igualmente denominadas "parches metálicos") y/o de tipo ranura, se definen mediante unos parámetros que pueden variar de una celda a otra, siendo estos parámetros, por ejemplo, las dimensiones geométricas de los motivos grabados (longitud y anchura de los "parches" o de las ranuras) que se regulan de manera que se obtenga un diagrama de radiación deseado.

Las celdas desfasadoras radiantes pueden estar constituidas por unos parches metálicos cargados de ranuras radiantes y separadas por un plano de masa metálica una distancia típica comprendida entre $\lambda_g/10$ y $\lambda_g/6$, en las que λ_g es la longitud de onda guiada en el medio separador. Este medio separador puede ser un material dieléctrico, pero también una pila compuesta realizada por una disposición simétrica de un separador de tipo nido de abeja y de revestimientos dieléctricos de finos grosores. Para que una antena sea eficaz, es necesario que la celda elemental pueda controlar con precisión el desfase que produce sobre una onda incidente, para las diferentes frecuencias de la banda pasante. Es necesario igualmente que el procedimiento de fabricación de la red reflectora sea lo más simple posible.

Para ello, el presente solicitante ha presentado en el pasado una primera solicitud de patente francesa FR 0450575 titulada "cellule déphaseuse à polarisation linéaire et à longueur résonante variable au moyen de commutateurs mems". La figura 1 representa un modo de realización de este tipo de celda desfasadora CD. Su principio de funcionamiento consiste en modificar la longitud eléctrica de la ranura FP colocando una o varias cargas localizadas variables y controladas DC' en varios estados diferentes que permiten e impiden el establecimiento de un cortocircuito. La variación de la longitud resonante característica de la celda permite modificar el desfase de las ondas a reflejar. Para una antena, las ondas proceden de la fuente de RF. Una celda según la figura 1 comprende un sustrato SB que incluye una cara posterior unida a un plano de masa.

Esta celda desfasadora no funciona más que para una polarización lineal de la onda incidente. Además, el tamaño de la celda es relativamente grande, del orden de $0,7 \lambda$, en la que λ designa la longitud de onda. La malla de la red reflectora, es decir la periodicidad espacial según la que se disponen las celdas en la red, es por tanto muy superior a $0,5 \lambda$. Da como resultado un comportamiento no óptimo para unas incidencias muy oblicuas de la onda, vinculada a la posibilidad de excitación de un modo de Floquet de orden superior. Este efecto se traduce en una degradación de los lóbulos secundarios del diagrama de radiación, igualmente designado por el experto en la materia como el "lóbulo imagen".

La celda desfasadora funciona principalmente con una resonancia de tipo "parche", modulada por la longitud eléctrica de la ranura o de las ranuras. La realización de un ciclo de fase superior a 360° mediante la modulación de esta única resonancia es un punto crítico, y ciertos estados de fase se realizan mediante unas configuraciones muy resonantes de la celda desfasadora. Estas configuraciones muy resonantes están igualmente caracterizadas por unas grandes pérdidas, así como sensibilidades muy grandes de las características eléctricas a las incertidumbres de fabricación de la celda y de las cargas localizadas variables y controladas.

El presente solicitante ha presentado una segunda solicitud de patente francesa titulada "Réseau réflecteur à arrangement optimisé et antenne comportant un tel réseau réflecteur". Presenta un ciclo de fase realizada mediante unas celdas desfasadoras que tienen una estructura interna progresivamente evolutiva de una celda desfasadora a otra celda desfasadora adyacente, y no introduciendo así grandes rupturas de periodicidad sobre la superficie reflectante. Este tipo de celda permite de ese modo evitar, en el diagrama de radiación, las perturbaciones inducidas por un fenómeno de difracción parásita sobre unas zonas de ruptura brusca de la periodicidad. La figura 1 bis representa un ejemplo de motivo periódico que incluye una disposición en una dimensión de varios elementos radiantes elementales y que permite obtener una rotación de fase de 360° . Presenta la propiedad de tener idénticas las celdas desfasadoras extremas del ciclo de fase. Se ha propuesto igualmente un ciclo de fase progresivo a partir de una celda desfasadora con unas cargas localizadas variables y controladas.

La figura 2 presenta el esquema de una celda desfasadora radiante para un reflector de red de ese tipo. Esta celda desfasadora tiene, según un modo de realización, forma de cruz de dos ramas perpendiculares. La cruz incluye tres ranuras anulares concéntricas 81, 82 y 83 practicadas en un parche metálico. Las cargas localizadas variables y controladas 85 se disponen de manera elegida en las ranuras y permiten hacer variar la longitud eléctrica de las ranuras y por tanto la fase de una onda reflejada por la celda desfasadora. A partir de varias celdas, es posible realizar sobre la superficie de un reflector un motivo de variación de fase progresivo y que no incluya una transición brusca, utilizando varios elementos radiantes que tengan la misma geometría, el mismo número de MEMS

5 posicionados en el mismo entorno en las ranuras anulares, pero unos MEMS configurados en unos estados diferentes. Por ejemplo, con un motivo constituido por varios elementos radiantes en forma de cruz o de hexágono, provistos de tres ranuras anulares concéntricas y de MEMS en cada ranura, es posible hacer variar progresivamente la fase hasta 1000° cortocircuitando progresivamente las diferentes ranuras de los elementos radiantes adyacentes hasta obtener un elemento radiante que tenga todos sus MEMS en estado cerrado, y posteriormente sobre varios elementos adyacentes adicionales, para poner progresivamente los MEMS en el estado abierto hasta obtener un elemento radiante que tenga todos sus MEMS en estado abierto.

10 Si es posible realizar un ciclo de fase superior a 360°, y teniendo la misma celda desfasadora inicial y final del ciclo, es muy difícil obtener unos estados de fases con unas celdas poco resonantes. Pueden excitarse potencialmente un gran número de modos resonantes, debido a la presencia de varios resonadores. La aparición de estos modos resonantes puede conducir a una variación brusca de la fase en función de la frecuencia. Las variaciones rápidas de la fase se traducen en unas pérdidas significativas en particular cuando se utilizan unos MEMS óhmicos y en una sensibilidad a las dispersiones de fabricación de los MEMS.

15 Un objetivo de la invención es proponer una celda desfasadora de cargas localizadas variables y controladas (microconmutadores) que permitan cubrir un desplazamiento de fase con una variación de frecuencia reducida de la fase, dicho de otra manera con un comportamiento más lineal, más estable de la fase en función de la frecuencia de la señal incidente. Dicho de otra manera, un objetivo de la invención es minimizar el carácter resonante de la celda.

20 Con este fin, la invención tiene por objeto una celda desfasadora radiante que comprende una pluralidad de elementos conductores formados en la superficie de un sustrato, por encima y a distancia de un plano de masa, estando separados dichos elementos conductores por unas ranuras, formando la disposición de las ranuras un resonador equivalente cuya forma eléctrica configura el desfase aplicado sobre una onda a reflejar, caracterizado porque la celda comprende unas cargas variables controladas adecuadas para hacer variar la longitud y/o la anchura eléctrica de dichas ranuras, disponiéndose los elementos conductores y las cargas variables controladas para que según al menos una primera configuración de dichas cargas, se forme una superficie conductora de señales de hiperfrecuencia con el fin de crear un resonador de dominancia inductiva, y para que según al menos una segunda configuración, se forme una ranura alrededor de al menos un elemento conductor con el fin de crear un resonador de dominancia capacitiva, formada dicha superficie conductora en la primera configuración rodeando dicho elemento conductor alrededor del que se forma una ranura en la segunda configuración.

30 La gestión de las resonancias de las ranuras y de los resonadores de tipo microtiras se realiza de manera que excite más bien una resonancia equivalente de tipo "ranuras" en una primera parte del ciclo de fase, y más bien una resonancia equivalente de tipo "microtiras" (calificada también como "parche") en una segunda parte del ciclo de fase. La primera parte del ciclo de fase corresponde a un resonador cuyo comportamiento predominante es inductivo, dicho de otra manera, cuyo resonador equivalente es más el de un resonador LC paralelo que el de un LC serie. La segunda parte del ciclo de fase corresponde un resonador cuyo comportamiento predominante es capacitivo, dicho de otra manera, cuyo resonador equivalente es más el de un resonador LC serie que el de un LC paralelo.

35 Los resonadores equivalentes de la celda desfasadora de cargas localizadas variables y controladas puede describir un ciclo semejante al representado en la figura 1bis. Esta propiedad permite, por ejemplo, realizar un ciclo de fase superior a 360°, y tener unos resonadores equivalentes similares para los valores extremos del ciclo de fase.

40 Esta propiedad permite igualmente optimizar la banda pasante de las celdas desfasadoras. La gama de fases de 360°, por ejemplo, puede segmentarse en efecto en dos sub-gamas de aproximadamente 180°. Esta segmentación en dos sub-gamas se hace posible por la complementariedad de los modos resonantes de tipo ranura o parche.

45 El minimizado de la resonancia se traduce en unas menores pérdidas. Cuanto más varíe la fase en forma lineal, más se obtiene esta característica sobre una banda amplia (en oposición a un funcionamiento de tipo umbral). Pueden obtenerse unas bandas pasantes del orden del 30 % gracias a la celda según la invención.

La disposición periódica de la celda desfasadora radiante según la invención define un panel reflector de un montaje de antena. El montaje puede, además, incluir varios paneles reflectores que incluyen unas celdas desfasadoras según la invención.

50 Ventajosamente, la superficie conductora de la cara delantera, está separada del plano de masas en una distancia igual a un cuarto de la longitud de onda de la señal incidente. De esta manera, las resonancias en modo ranura (primera configuración) y en modo microtira (segunda configuración) pueden estar separadas en 180°.

55 Según un modo de realización de la celda desfasadora radiante según la invención, el elemento conductor alrededor del que se forma una ranura en la segunda configuración se sitúa sustancialmente en el centro de la celda, estando situados los elementos conductores que forman la superficie conductora en la periferia, siendo dicha superficie conductora anular, estando unido cada uno de dichos conductores periféricos al conductor central y a los conductores periféricos vecinos por medio de cargas capacitivas controladas. Por "anular", se entiende una ranura en forma de bucle cerrado. Esta se forma mediante la interconexión de diferentes elementos conductores periféricos, su forma puede ser, por ejemplo, rectangular, circular, hexagonal o cualquier otra forma poligonal o de curva

cerrada.

Los elementos conductores pueden tomar una forma de cruz de cuatro ramas alineadas según varias filas, perteneciendo la cruz a dos filas sucesivas que están desfasadas unas con relación a otras, estando unidas las cruces por medio de cargas capacitivas variables controladas. La forma de los elementos conductores puede ser diferente, por ejemplo, unos parches cuadrados, unas zonas en forma de disco. Una ventaja de los elementos conductores en forma de cruz es que permiten unas interconexiones más fáciles.

Según otro modo de realización de la celda desfasadora radiante según la invención, dicha superficie conductora anular se forma mediante unas tiras conductoras enmarcadas por unas ranuras anulares estando unidas dichas tiras mediante unas cargas capacitivas adecuadas para modificar la longitud y/o la anchura eléctrica de las ranuras de interconexión de dichas ranuras anulares.

En otros términos, la celda puede incluir una superficie conductora en la que se forman al menos dos primeras ranuras sustancialmente concéntricas y separadas entre sí, estando dispuesta la superficie conductora por encima de un plano de masa, formando la disposición de las ranuras un resonador equivalente cuya forma eléctrica configura el desfase aplicado a una onda incidente, estando la celda caracterizada porque comprende unas ranuras de interconexión que unen entre sí dichas primeras ranuras, y una pluralidad de cargas variables controladas adecuadas para hacer variar la longitud y/o la anchura eléctrica de dichas primeras ranuras y dichas ranuras de interconexión, siendo activables dichas cargas para configurar la celda según un resonador sustancialmente equivalente a un circuito LC paralelo, siendo igualmente activables dichas cargas según al menos otra configuración para configurar la celda según un resonador sustancialmente equivalente a un circuito LC serie.

Esta misma celda desfasadora puede considerarse igualmente como la disposición de resonadores de tipo microtira, a saber un marco metálico, un anillo metálico intermedio cortado en varios puntos, y un parche central metálico. Las conexiones realizadas por unas cargas localizadas variables y controladas —también calificadas de microactuadores, microinterruptores o unos medios de cortocircuito— permiten modificar la longitud y/o la anchura eléctrica del resonador de microtira equivalente.

Según otro modo de realización de la celda según la invención, la celda comprende más de dos ranuras concéntricas. Comprende por ejemplo, tres ranuras, con unas ranuras de interconexión entre cada ranura concéntrica sucesiva.

Según un modo de realización de la celda desfasadora radiante según la invención, cuando la celda está en la primera configuración, las cargas que unen entre sí los elementos conductores periféricos están activadas, las cargas que unen el elemento conductor central a los elementos conductores periféricos están desactivadas, de manera que se forme una ranura resonante cuya contribución principal equivale a la de un circuito LC paralelo.

Ventajosamente, las cargas que unen entre sí los elementos conductores periféricos están adaptadas para tomar unos valores múltiples entre dos valores extremos para poder hacer variar las dimensiones de la ranura resonante equivalente progresivamente en función de dichos valores.

Según un modo de realización de la celda desfasadora radiante según la invención, cuando la celda está en la segunda configuración, las cargas que unen entre sí los elementos conductores periféricos están desactivadas, las cargas que unen el elemento conductor central a los elementos conductores periféricos están activadas, de manera que se forme una microtira resonante cuya contribución principal equivale a la de un circuito LC serie.

Ventajosamente, las cargas que unen el elemento conductor central a los elementos conductores periféricos están adaptadas para tomar unos valores múltiples entre dos valores extremos para poder hacer variar las dimensiones de la microtira resonante equivalente progresivamente en función de dichos valores.

Según un modo de realización de la celda desfasadora radiante según la invención, las cargas que unen el elemento conductor central a los elementos conductores periféricos están adaptadas para variar independientemente del valor de las cargas que unen entre sí los elementos conductores periféricos, de manera que el desplazamiento de fase aplicado a la onda incidente se descomponga en dos intervalos de desfase, siendo obtenidos los desfases aplicados en el primer intervalo con una configuración de tipo ranura resonante, siendo obtenidos los desfases aplicados en el segundo intervalo con una configuración de tipo microtira resonante.

Según un modo de realización de la celda desfasadora radiante según la invención, las cargas variables y las dimensiones de los elementos conductores se determinan para que la configuración de la celda que permite aplicar el desfase correspondiente al primer extremo del desplazamiento de fase sea idéntica a la configuración de la celda que permite aplicar el desfase correspondiente al segundo extremo del rango.

Según un modo de realización de la celda desfasadora radiante según la invención, el desplazamiento de fasees de 360°.

Según un modo de realización de la celda desfasadora radiante según la invención, los elementos conductores, las ranuras y las cargas capacitivas se disponen sobre la celda según un centro de simetría colocado en el centro de la

celda.

Según un modo de realización de la celda desfasadora radiante según la invención, las cargas capacitivas son unos diodos, unos MEMS, o unas capacidades ferroeléctricas.

5 La invención tiene igualmente por objeto una red reflectora que comprende una pluralidad de celdas desfasadoras radiantes tales como las descritas más arriba, formando dichas celdas la superficie reflectante de la red.

La invención tiene igualmente por objeto una antena que comprende una red reflectora tal como se ha descrito más arriba.

La invención se comprenderá mejor y surgirán otras ventajas con la lectura de la siguiente descripción, dada a título no limitativo, y gracias a las figuras adjuntas entre las que:

- 10 - la figura 3, un ejemplo de un esquema de arquitectura mecánica y de posicionamiento de cargas localizadas variables y controladas de una celda desfasadora radiante según la invención, en una vista de frente del plano de radiación de la celda;
- la figura 4, un ejemplo de un ciclo de celdas desfasadoras radiante según la invención que cubren un desplazamiento de fase de 360°; la figura representa un ejemplo de disposición de la arquitectura mecánica y de la configuración de las cargas localizadas variables y controladas para cada celda desfasadora del ciclo;
- 15 - la figura 5a, una representación del resonador equivalente cuando la celda desfasadora según la invención está en modo de resonancia "ranura";
- la figura 5b, una representación del resonador equivalente cuando la celda desfasadora según la invención está en modo de resonancia "microtira";
- 20 - la figura 5c, un modelo eléctrico de la celda desfasadora según la invención;
- las figuras 6a y 6b, unas celdas desfasadoras según la invención de MEMS capacitivos;
- la figura 7, otro modo de realización de la celda desfasadora según la invención;
- la figura 8a, una ilustración de un primer tipo de dispositivo de control de las cargas variables utilizadas para reconfigurar la celda desfasadora según la invención;
- 25 - la figura 8b, una ilustración del segundo tipo de dispositivo de control de las cargas variables utilizadas para reconfigurar la celda desfasadora según la invención;
- la figura 9, un modo de realización de la celda desfasadora según la invención en la que se disponen unas vías para hacer transitar las señales de controles hacia las cargas capacitivas variables;
- la figura 10, otro modo de realización de una celda desfasadora radiante según la invención;
- 30 - la figura 11, una pluralidad de configuraciones tomadas sucesivamente por una misma celda desfasadora tal como la representada en la figura 10;
- la figura 12, un ejemplo de medios de encaminamiento de las señales de control hacia una celda desfasadora tal como la de la figura 10.

35 La figura 3 presenta un modo de realización de una celda 200 desfasadora radiante según la invención. La celda 200 incluye una estructura plana tal como se describe en las celdas desfasadoras del estado de la técnica y la figura 3 representa la vista de frente de la estructura plana. Típicamente, una estructura plana comprende un sustrato que incluye una cara posterior unida a un plano de masa y una cara delantera. Los materiales utilizados para formar el sustrato, las capas de dieléctrico y las capas conductoras no limitan el alcance de la invención. Se pueden citar por ejemplo, los materiales mencionados en los documentos del estado de la técnica descritos anteriormente.

40 La celda 200 desfasadora es preferentemente de forma rectangular. Sin embargo, son posibles otros modos de realizaciones y como ejemplo no limitativo se puede citar una superficie en forma hexagonal o en forma circular.

La celda incluye al menos dos primeras ranuras, una primera ranura 202 y una segunda ranura 203 concéntricas. La primera ranura 202 se posiciona en la periferia exterior con relación a la segunda ranura 203, es decir a una distancia mayor del centro del parche con relación a la segunda ranura 203. La celda 200 desfasadora puede incluir dos ranuras 202 y 203 o más, tal como se ilustra de la figura 3. Preferentemente, las ranuras 202 y 203 tienen una forma que se extiende longitudinalmente a la forma del marco 201 metálico. De ese modo, las ranuras 202 posicionadas en la periferia exterior del parche rodean las ranuras 203 en la periferia interior. Si las celdas desfasadoras se destinan a funcionar a una única polarización lineal, es posible cortocircuitar por medio de uniones metálicas 705 las ranuras concéntricas en un punto en el que el campo eléctrico es nulo, como se ilustra en la figura 7. Esta posibilidad no se ofrece cuando la celda está destinada a funcionar en doble polarización lineal, porque en el entorno en el que el campo eléctrico es nulo en la ranura concéntrica para una polarización no lineal, es máximo para la otra polarización lineal ortogonal. La periferia 201 de la celda está separada de la ranura 202 concéntrica exterior por una banda 208 conductora, igualmente designada por el término "marco".

45

50

Las ranuras 202 y 203 se unen mediante al menos cuatro ranuras 204 de interconexión. Esta disposición de ranuras define las tiras 207 metálicas colocadas en la interfaz entre las ranuras 201, 202 concéntricas. Además, se disponen unas cargas 206 variables y controladas en unos entornos elegidos sobre las primeras ranuras 202 y 203, así como sus ranuras 204 de interconexión. Se trata por ejemplo de conmutadores todo/nada que permiten realizar unos cortocircuitos, o de cargas capacitivas variables. Los conmutadores tienen por objeto modificar la longitud y/o la

55

anchura eléctrica del resonador “ranura” equivalente o del resonador “microtira” equivalente.

Según la invención, las diferentes cargas 206 localizadas variables y controladas de la celda desfasadora se controlan para configurar la longitud y/o la anchura eléctrica de las primeras ranuras 202 y 203 de manera que el resonador equivalente de la celda desfasadora actúe como una celda desfasadora que introduce un desfase elegido sobre una onda incidente. La variación de la longitud eléctrica de las ranuras 202, 203 y 204 interconectadas modifica las dimensiones eléctricas del resonador de ranura o de parche equivalente. De ese modo, gracias a las cargas 206 localizadas variables y controladas, es posible obtener una celda desfasadora que cubre un desplazamiento de fase de al menos 360° delimitada por un primer valor extremo y por un segundo valor extremo. Es igualmente posible, ventajosamente, obtener una celda cuya forma eléctrica del resonador equivalente es idéntica para el primero y para el segundo valor extremo. En el seno del desplazamiento de fase, los valores de desfase de una misma celda pueden variar de manera continua o discontinua. Unos medios electrónicos de control, descritos más adelante en relación con las figuras 8a, 8b y 9, son adecuados para controlar las cargas localizadas variables y controladas de manera que haga variar el desfase de manera continua o discontinua.

Se pueden distinguir particularmente dos procedimientos para modificar los parámetros eléctricos de las ranuras: la primera consiste en disponer unos microconmutadores ON/OFF a lo largo de la ranura, y hacer variar la longitud de la sección de la ranura comprendida entre dos conmutadores realizando un cortocircuito (ON). Ventajosamente, cuando el plano de masa está separado de la superficie anterior de la antena en un grosor igual a un cuarto de la longitud de onda guiada, entonces es posible recorrer la totalidad de la fase de 360° .

Según el primer procedimiento, los microconmutadores se activan según una progresión que permite aproximar el ciclo de las celdas equivalentes. Se propone un ejemplo: la primera celda 401 del ciclo ilustrado en la figura 4 es aquella en la que todos los microconmutadores están en estado bajo. El desfase realizado es de 180° , correspondiente a la respuesta de una placa metalizada. Progresivamente, a partir de la segunda ilustración de la celda 402 a la quinta ilustración de la celda 405, se liberan los microconmutadores en el centro de la celda, para realizar un funcionamiento equivalente a una abertura en la placa metalizada, cuyo tamaño se amplía. Posteriormente, a partir de la sexta ilustración de la celda 406, los microconmutadores se pueden volver a cerrar progresivamente desde el centro, para tener un funcionamiento equivalente al de un parche central que se amplía, hasta encontrar para la novena ilustración 409 una configuración idéntica a la primera ilustración 401 de celda. Con una progresión de ese tipo, el ciclo recorre un desfase sobre un rango de valores delimitado por un primer valor extremo y por un segundo valor extremo, con una configuración de los microconmutadores idéntica para el primer y para el segundo valores extremos, sin tener que asegurar un funcionamiento alrededor de una frecuencia de resonancia.

Este primer procedimiento de modificación de los parámetros eléctricos de las ranuras necesita un número significativo de microconmutadores. Es posible reducir el número, y optimizar el ciclo para recorrer una gama de desfases suficiente. Sin embargo, si el número de microactuadores se reduce significativamente, no será posible evitar la excitación de modos superiores en el interior de esta celda. Estos modos superiores permiten realizar un desfase, pero se asocian frecuentemente con las mayores variaciones de frecuencia de la fase. Pueden inducir también una radiación en polarización cruzada. Los microconmutadores son unas cargas localizadas reconfigurarles, por ejemplo del tipo MEMS (acrónimo de Micro Electro-Mechanical System), unos diodos, o unas capacidades ferroeléctricas variables.

Ventajosamente, una celda desfasadora que realice la misma fase para las dos polarizaciones lineales es invariable por rotación. Esta propiedad de simetría evita excitar unos modos superiores que contribuyan a la polarización cruzada, y que puedan alterar igualmente la estabilidad de la fase en la polarización principal. Debe utilizarse generalmente un mínimo de cuatro MEMS por control para respetar esta restricción de simetría.

Ventajosamente, una celda desfasadora que funcione en doble polarización lineal y que realice unas fases independientes en cada una de las polarizaciones finales posee dos simetrías axiales. Esta propiedad evita excitar unos modos superiores que contribuyen a la polarización cruzada, y que pueden igualmente alterar la estabilidad de la fase en la polarización principal. Una propiedad de ese tipo necesita utilizar un mínimo de dos MEMS por control y por polarización.

Ventajosamente, una celda que funcione en polarización simple lineal posee dos simetrías axiales. Esta propiedad evita excitar unos modos superiores que contribuyen a la polarización cruzada y que pueden alterar igualmente la estabilidad de la fase en la polarización principal. Una propiedad de ese tipo necesita utilizar un mínimo de dos MEMS por control.

Pueden realizarse también unos modos de realizaciones degradados, por ejemplo con el objetivo de reducir el número de MEMS, o de incrementar el número de estados de fase para un mismo número de MEMS. De ese modo, es posible variar ligeramente el emplazamiento de los MEMS alrededor de estas simetrías, o modular débilmente el valor de las capacidades realizadas por estos MEMS dispuestos en los emplazamientos simétricos.

El segundo procedimiento para gestionar el ciclo de fase excitando sucesivamente un resonador equivalente del tipo ranura o del tipo parche consiste en hacer variar la carga capacitiva de las ranuras. Una ranura está cargada por una

capacidad, por ejemplo en su centro. Esta carga capacitiva de la ranura permite hacer variar la velocidad de la fase en la ranura, y modificar así su frecuencia de resonancia. La variación de capacidad puede efectuarse con la ayuda de varias capacidades digitales. El concepto se deduce de las líneas de transmisión de carga capacitiva distribuida DMTL (Distributed MEMS Transmission Line).

5 Un ejemplo de progresión se presenta en el presente documento a continuación en relación con las figuras 6a y 6b. En la primera parte del ciclo de fase, ilustrado en la figura 6a, las ranuras de interconexión no están cargadas. Las cargas capacitivas de las ranuras concéntricas por el contrario se varían. La celda desfasadora funciona de la misma manera una ranura en la que se hacen variar los parámetros de longitud y anchura eléctrica. En una segunda parte del ciclo, ilustrado en la figura 6b, las ranuras concéntricas son no resonantes. Las cargas capacitivas de las ranuras de interconexión se varían, conectando de ese modo los cuatro fragmentos de tira 207 (compárese con la figura 2) del anillo de microtiras intermedio. La celda desfasadora funciona de la misma manera como un resonador de microtiras en el que se hacen variar los parámetros de longitud y anchura eléctrica.

15 En el caso en el que se emplean cargas capacitivas variables para cortocircuitar las ranuras, estas cargas pueden realizarse por medio de un microconmutador en serie con una capacidad. Los valores usuales de las capacidades de carga que permiten modificar las resonancias de las ranuras están entre 20 y 200 fF para un funcionamiento alrededor de 10 GHz. Sin embargo, no es siempre fácil realizar unas capacidades variables, y es posible hacer variar la capacidad mediante incrementos digitales. En este caso, la carga está constituida por varias capacidades en paralelo conectadas a un conmutador.

20 Como se ha ilustrado en la figura 4, el desplazamiento de fase de 360° comienza y se termina opcionalmente mediante un resonador equivalente idéntico. La celda según la invención puede cubrir así un rango de 360° mediante un ciclo repetido de la forma del resonador equivalente. De ese modo, puede constituirse una superficie reflectante constituida por varios motivos periódicos, estando constituido un motivo por varias celdas desfasadoras adyacentes que configuran cada una un desfase próximo, para evitar una ruptura importante en la forma del resonador equivalente de dos celdas adyacentes. Esto reduce los parásitos formados en el haz reflejado por la superficie reflectante. Las dimensiones eléctricas del resonador equivalente dependen de la longitud y/o de la anchura eléctrica de las ranuras 202 y 203. Unos medios de cálculo y de control adaptados para el control de las cargas localizadas variables de las celdas de la superficie reflectante permiten configurar el desfase deseado. Según otro modo de realización, no hay reciclado de la forma del resonador equivalente; dicho de otra manera, el desplazamiento de fase de 360° puede comenzar y terminarse mediante dos configuraciones diferentes.

30 En la primera sub-gama, se excita una resonancia de tipo ranura, cuyo esquema equivalente se representa en la figura 5a. En esta primera sub-gama, la celda desfasadora se comporta con respecto a la onda incidente, como un circuito 501 LC paralelo.

35 En la segunda sub-gama, se excita una resonancia de tipo microtira, el esquema equivalente se representa en la figura 5b. En esta segunda sub-gama, la celda desfasadora se comporta con respecto a la onda incidente, como un circuito 502 LC serie. El plano de masa separado de la superficie conductora en la cara delantera puede representarse mediante una línea de transmisión 504.

40 En resumen, la celda desfasadora de doble resonancia puede asimilarse a dos circuitos 503, 505 LC paralelo colocados en serie. En función de los valores de los parámetros inductivos y capacitivos, la celda puede colocarse en un modo "ranura" como se ilustra en las figuras 5a y en las configuraciones 402, 403, 404, 405 de la figura 4, o en un modo "parche", como se ilustra en la figura 5b, y en las configuraciones 406, 407, 408, 409, 401.

45 La celda desfasadora según la invención aporta una ventaja significativa con relación a la de una celda desfasadora de la técnica anterior, basándose en una única resonancia (de tipo ranura o de tipo microtira). En efecto, para una celda de la técnica anterior, es necesario realizar una excursión de 360° modificando los únicos parámetros de longitud y anchura eléctricas del resonador. Esta limitación conduce a unos comportamientos muy resonantes. Utilizando el hecho de que la celda se basa en unas resonancias de ranura y de microtira complementarias funcionando sobre unas gamas reducidas, se reducen significativamente las restricciones de resonancia, y es posible así ampliar significativamente la banda pasante de la celda desfasadora.

50 La figura 5c representa un esquema equivalente de la celda desfasadora según la invención. En función de la configuración de las cargas reconfigurables de la celda, esta pueda adoptar un comportamiento próximo a la configuración "ranura" ilustrado en la figura 5a, o un comportamiento próximo a la configuración "microtira" ilustrado en la figura 5b.

55 La figura 6a y la figura 6b representan unas celdas desfasadoras según la invención de MEMS capacitivos. La figura 6a representa al caso en el que las ranuras 640 de interconexión están débilmente cargadas y en el que las cargas capacitivas de las ranuras 650 se varían. La celda en una configuración de ese tipo es equivalente a un resonador de tipo ranura en el que se varían la longitud y la anchura eléctrica. La figura 6b representa el caso en el que se cargan las ranuras 640 de interconexión desde el punto de vista capacitivo y en la que se varían las cargas capacitivas de las ranuras. La celda en una configuración de ese tipo es equivalente a un resonador de "microtira" en el que se harían variar la longitud y la anchura eléctrica.

Según el modo de realización de la figura 7, la celda 700 desfasadora radiante es de forma rectangular con cuatro primeras ranuras 702 y 703 y cuatro segundas ranuras 704. Se posicionan dos primeras ranuras 702 y 703, interconectadas mediante dos segundas ranuras 704, en una primera mitad de la superficie 708 conductora. Las dos otras primeras ranuras 702 y 703, interconectadas por las dos otras segundas ranuras 704, se posicionan en la segunda mitad de la superficie conductora del parche. Las primeras ranuras 702 y 703 tienen una anchura física elegida ventajosamente para ser del mismo orden que la de las tiras 707 metálicas intermedias. Sin embargo, según otros modos de realización, las anchuras de las ranuras 702 y 703 y de las tiras 707 metálicas intermedias pueden ser diferentes.

La celda 700 desfasadora de la figura 7 está particularmente adaptada a la reflexión de las ondas incidentes de polarización lineal. Una parte 705 de la capa conductora separa las primeras ranuras 702 y 703 de la mitad superior de las primeras ranuras 702 y 703 de la mitad inferior del parche.

El encaminamiento de las señales de los controles a los microconmutadores dispuestos sobre una celda desfasadora constituye igualmente un problema. Este encaminamiento no debe perturbar la radiación de la red reflectora. Ventajosamente, la invención propone igualmente una respuesta a la resolución de este problema.

Como se ha ilustrado en la figura 8a, para limitar las restricciones de enrutado, se propone una arquitectura de control distribuido. La información de control se transmite por ejemplo de manera digital a un circuito integrado especializado (ASIC) 801, colocado en la proximidad de las cargas variables controladas, en la cara posterior 810 del plano de antena. Este circuito transforma la información recibida en señal de control adaptada para cada carga controlada. Una dificultad consiste por tanto en enrutar estas señales de control de la cara posterior hacia cada carga situada sobre la cara delantera 820 de la red reflectora, sin perturbar el funcionamiento electromagnético de las celdas radiantes.

En una primera realización, ilustrada en la figura 8a, el panel está constituido por un sustrato dieléctrico microcapa sobre el que se sitúan en la cara delantera los chips de radiofrecuencia (RF), que comprenden el motivo metálico de la celda, y los MEMS. Estos chips de RF se denominan entonces monolíticos, y se realizan por ejemplo en cuarzo, sílice fundida o aluminio. El sustrato dieléctrico, por ejemplo en RO 4003 realiza la función de separador entre los chips de RF 803 y el plano de masa, y realiza los pasos de las señales de controles hacia los chips de DC situados en la cara posterior del sustrato. El encaminamiento de las señales de controles en la cara delantera se realiza entonces el seno de los chips de RF. Los procedimientos microelectrónicos pueden utilizarse para realizar las líneas resistivas, al menos por sección, en el entorno en el que estas líneas cruzan unas ranuras.

En una segunda realización ilustrada en la figura 8b, el panel está constituido por un sustrato dieléctrico multicapa sobre el que se graba el motivo 851 metálico de la celda, y sobre el que se sitúan unos componentes MEMS 853. Se trata entonces de un concepto híbrido.

Como se ha ilustrado en la figura 9, es posible disponer unas vías 901 de controles en la periferia de la celda (en el marco 908), o en su centro, sin alterar fundamentalmente su funcionamiento. También, la disposición periódica de los pasos metálicos en la periférica podrá tener el mismo efecto que un muro periférico metálico que conecte el marco 908 y el plano de masa. Varias de estas vías podrían utilizarse entonces para encaminar unas señales de control desde la cara posterior hacia la cara delantera. Es igualmente posible conectar el parche central de la celda 903 al plano de masa mediante un paso metálico sin modificar significativamente su comportamiento eléctrico. Puede implantarse igualmente una vía 902 de control en este entorno. Cuando esta vía se utiliza para el control, debe aislarse del motivo para evitar cualquier riesgo de cortocircuito eléctrico.

Una dificultad consiste entonces en enrutar en la cara delantera esta señal de control sin alterar el funcionamiento de la celda desfasadora. Si la tecnología permite realizar unas líneas muy resistivas (típicamente 10 kΩ), los controles pueden encaminarse a los MEMS sin precauciones particulares. Las pistas de control pueden atravesar por ejemplo las ranuras resonantes sin alterar su comportamiento. Puede recomendarse sin embargo igualmente no utilizar estas líneas resistivas más que con moderación, para que la impedancia total de la línea no sea demasiado grande. Este es el caso por ejemplo si se utiliza un dispositivo de diagnóstico, permitiendo verificar si el microconmutador se ha activado correctamente. En este caso, la línea de control podrá ser resistiva por sección, correspondiendo estas secciones a los pasos de las ranuras.

La figura 10 presenta otro modo de realización de una celda desfasadora radiante según la invención. La celda comprende una pluralidad de elementos conductores 1001, 1002 en la forma, por ejemplo, de motivos impresos sobre un sustrato dieléctrico. La celda comprende un elemento conductor 1001 central y cuatro elementos conductores 1002 periféricos colocados alrededor de este primer elemento conductor 1001, formando los centros de los cuatro elementos conductores 1002 periféricos un cuadrado en el centro del que se coloca el elemento conductor 1001 central. Se intercalan unos elementos conductores 1004 de interconexión entre cada uno de los elementos conductores 1001, 1002.

Los elementos conductores 1001, 1002 se unen con los elementos conductores 1004 de interconexión mediante unas cargas 1006 capacitivas variables y controladas.

Debido a sus reducidas dimensiones, un elemento conductor 1001 no permite, por sí mismo, crear un modo

resonante. Es la interconexión de estos elementos conductores la que puede permitir establecer un modo de ese tipo.

5 En el ejemplo, cada elemento conductor tiene un motivo en la forma de cruz de cuatro ramas ortogonales, de manera que para unos elementos conductores alineados, los extremos de las ramas de las cruces pertenezcan a dos cruces adyacentes que estén próximas y fácilmente conectables mediante un elemento conductor 1004 de interconexión.

Se disponen unas cargas 1005 capacitivas variables y controladas en interfaz entre los elementos conductores 1004 de interconexión y los extremos de las ramas de las cruces que forman los elementos conductores 1001, 1002.

10 La figura 11 ilustra una pluralidad de configuraciones tomadas sucesivamente por una misma celda desfasadora tal como la presentada en la figura 10.

En una primera configuración 1101, la celda se comporta como un parche metálico completo. Todos los elementos conductores se unen mediante unas cargas capacitivas. Esta primera configuración 1101 puede, por ejemplo, utilizarse para operar un desfase de la onda incidente de aproximadamente 180° .

15 En una segunda configuración 1102, las cargas 1110 capacitivas centrales —aquellas que en el ejemplo se colocan en interfaz entre el elemento conductor central y los elementos conductores de interconexión— se disminuyen, de manera que la celda se comporte como una abertura en el plano de masa, dicho de otra manera, como una ranura 1150 anular. La celda tiene un comportamiento inductivo. Esta segunda configuración 1102 puede corresponder a un desfase que se aleja progresivamente de los 180° para alcanzar, por ejemplo, aproximadamente 80° cuando las capacidades centrales están totalmente descargadas.

20 En una tercera configuración 1103, las cargas 1120 capacitivas periféricas —es decir aquellas que en el ejemplo se colocan en interfaz entre los elementos conductores periféricos y los elementos conductores de interconexión— se disminuyen, de manera que se atenúe el comportamiento inductivo en beneficio del comportamiento capacitivo de la celda radiante. Esta tercera configuración 1103 puede corresponder a una variación del desfase comprendida entre 80° (segunda configuración 1102) y -20° cuando las capacidades periféricas s están totalmente descargadas.

25 En una cuarta configuración 1104, las cargas 1110 capacitivas centrales se incrementan, mientras que las cargas capacitivas periféricas se mantienen descargadas. La celda tiene, en esta cuarta configuración 1104, un comportamiento capacitivo. Esta cuarta configuración 1104 puede corresponder a una variación del desfase comprendido entre -20° y -50° .

30 En una quinta configuración 1105, las cargas capacitivas centrales se incrementan hasta encontrar el estado de la primera configuración 1101, pudiendo corresponder esta configuración, en el ejemplo, a un desfase aplicado a la señal incidente entre -50° y -180° . La celda encuentra su estado inicial correspondiente a un parche metálico completo.

La figura 12 ilustra unos medios de encaminamiento de las señales de control hacia una celda desfasadora tal como la de la figura 10.

35 Se realizan unas vías 1210 a la altura de los centros de las cruces que forman los elementos conductores. El enrutado de los controles puede efectuarse a la altura inferior de la superficie de la celda.

La celda desfasadora según la invención presenta varias ventajas con respecto a las soluciones del estado de la técnica.

40 Una primera ventaja es que la celda desfasadora es adecuada para presentar dos resonancias complementarias, una primera resonancia mediante un resonador equivalente de tipo ranura y una segunda resonancia por un resonador equivalente de tipo parche. Esto permite evitar la presencia de modos grandemente resonantes, y limitar de ese modo la sensibilidad de las celdas a las variaciones de frecuencia. El valor de fase evoluciona así de manera mucho más lineal en función de la frecuencia de la señal fuente, evitando de ese modo unos saltos de fase bruscos. La celda desfasadora según la invención es utilizable sobre una banda de frecuencias más grande (por ejemplo 30 % de la banda).

45 Una segunda ventaja es la disminución de los efectos parásitos de una red reflectora tal como se describe en la solicitud de patente FR 0450575 debido a que no hay una gran ruptura entre dos celdas adyacentes que constituyan la red reflectora. Esto es posible gracias a la posibilidad de cubrir un desplazamiento de fase de 360° mediante el ciclo de control de las cargas localizadas variables que permiten minimizar la variación en frecuencia de la fase.

50 Gracias a la invención, es posible concebir una red reflectora para una antena cuya superficie esté cubierta de celdas desfasadoras radiantes según la invención. Estas últimas se controlan para introducir un desfase elegido sobre una onda incidente, cada una de las celdas adyacentes está controlada de manera que el resonador equivalente tenga una configuración próxima a la de la celda adyacente. La invención se aplica particularmente en las antenas de red reflectora embarcadas sobre un vehículo móvil, tal como, por ejemplo, una antena de satélite de

telecomunicación.

La celda puede utilizarse en paneles de satélite destinados a una utilización en la banda Ku o en la banda Ka a la vez en emisión y en recepción. Como ejemplo, las celdas desfasadoras según la invención pueden emplearse alrededor de 20 GHz para la emisión y alrededor de 30 GHz para la recepción.

REIVINDICACIONES

1. Celda desfasadora radiante que comprende una pluralidad de elementos conductores (207, 209, 1001, 1002) formados en la superficie de un sustrato, por encima y a distancia de un plano de masa, estando separados dichos elementos conductores por unas ranuras (202, 203, 204), formando la disposición de las ranuras (204) un resonador equivalente cuya forma eléctrica configura el desfase aplicado sobre una onda a reflejar, **comprendiendo dicha** celda unas cargas (206, 1005) variables controladas adecuadas para hacer variar la longitud y/o la anchura eléctrica de dichas ranuras, disponiéndose los elementos conductores (207, 209, 1001, 1002) y las cargas (206, 1005) variables controladas para que según al menos una primera configuración de dichas cargas, se forme una superficie conductora anular de señales de hiperfrecuencia con el fin de crear un resonador de dominancia inductiva, y para que según al menos una segunda configuración, se forme una ranura alrededor de al menos un elemento conductor (209, 1001) central con el fin de crear un resonador de dominancia capacitiva, **caracterizada porque** dicha superficie conductora está formada por una pluralidad de elementos conductores (207, 1002) que rodean dicho elemento conductor central (209, 1001) y **separados entre sí por dichas ranuras (204) que presentan una orientación radial con relación a dicho elemento conductor central.**
2. Celda desfasadora radiante según la reivindicación 1, en la que los elementos conductores (207, 1002) que forman la superficie conductora están situados en la periferia, uniéndose cada uno de dichos conductores (207, 1002) periféricos al conductor (209, 1001) central y a los conductores periféricos vecinos por medio de cargas (206, 1005) capacitivas controladas.
3. Celda desfasadora radiante según la reivindicación 1 o 2, en la que los elementos conductores (1001, 1002) tienen forma de cruz de cuatro ramas alineadas según varias filas, perteneciendo la cruz a dos filas sucesivas que están desfasadas unas con relación a otras, estando unidas las cruces por medio de cargas capacitivas variables controladas.
4. Celda (200) desfasadora radiante según la reivindicación 1 o 2, en la que dicha superficie conductora está formada por unas tiras (207) conductoras enmarcadas por unas ranuras (202, 203) anulares estando unidas dichas tiras mediante unas cargas (206) capacitivas adecuadas para modificar la longitud y/o la anchura eléctrica de **dichas ranuras (204) que presentan una orientación radial, formando unas ranuras** de interconexión de dichas ranuras anulares (202, 203).
5. Celda desfasadora radiante según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en la que, cuando la celda está en la primera configuración, las cargas que unen entre sí los elementos conductores (207, 1002) periféricos están activadas, las cargas que unen el elemento conductor (209, 1001) central a los elementos conductores (207, 1002) periféricos están desactivadas, de manera que se forma una ranura resonante cuya contribución principal equivale a la de un circuito LC paralelo.
6. Celda desfasadora radiante según la reivindicación 5, en la que las cargas que unen entre sí los elementos conductores (207, 1002) periféricos están adaptadas para tomar unos valores múltiples entre dos valores extremos para poder hacer variar las dimensiones de la ranura resonante equivalente progresivamente en función de dichos valores.
7. Celda desfasadora radiante según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, en la que, cuando la celda está en la segunda configuración, las cargas que unen entre sí los elementos conductores (207, 1002) periféricos están desactivadas, las cargas que unen el elemento conductor (209, 1001) central a los elementos conductores (207, 1002) periféricos están activadas, de manera que se forma una microtira resonante cuya contribución principal equivale a la de un circuito LC serie.
8. Celda desfasadora radiante según la reivindicación 7, en la que las cargas que unen el elemento conductor (209, 1001) central a los elementos conductores (207, 1002) periféricos están adaptadas para tomar unos valores múltiples entre dos valores extremos para poder hacer variar las dimensiones de la microtira resonante equivalente progresivamente en función de dichos valores.
9. Celda desfasadora según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las cargas que unen el elemento conductor (209, 1001) central a los elementos conductores (207, 1002) periféricos están adaptadas para variar independientemente del valor de las cargas que unen entre sí los elementos conductores (207, 1002) periféricos, de manera que el desplazamiento de fase aplicado a la onda incidente se descomponga en dos intervalos de desfase, siendo obtenidos los desfases aplicados en el primer intervalo con una configuración de tipo ranura resonante, obteniéndose los desfases aplicados en el segundo intervalo con una configuración de tipo microtira resonante.
10. Celda desfasadora radiante según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las cargas variables y las dimensiones de los elementos conductores (207, 209, 1001, 1002) están determinadas para que la configuración de la celda que permite aplicar el desfase correspondiente al primer extremo del desplazamiento de fase sea idéntica a la configuración de la celda que permite aplicar el desfase correspondiente al segundo extremo del rango.

11. Celda desfasadora radiante según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el desplazamiento de fase es de 360° .
12. Celda desfasadora radiante según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que los elementos conductores, las ranuras y las cargas capacitivas están dispuestas sobre la celda según un centro de simetría colocado en el centro de la celda.
13. Celda desfasadora radiante según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las cargas capacitivas son unos diodos, unos MEMS, o unas capacidades ferroeléctricas.
14. Red reflectora que comprende una pluralidad de celdas desfasadoras radiantes según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, formando dichas celdas la superficie reflectante de la red.
- 10 15. Antena que comprende una red reflectora según la reivindicación 14.

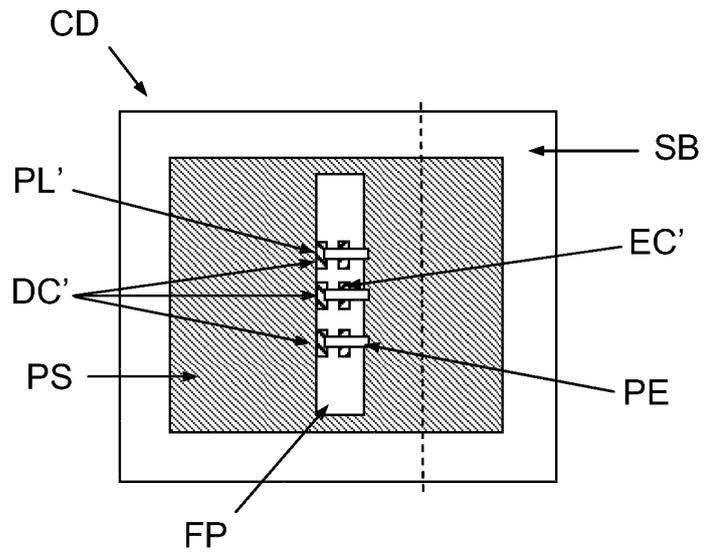


FIG. 1

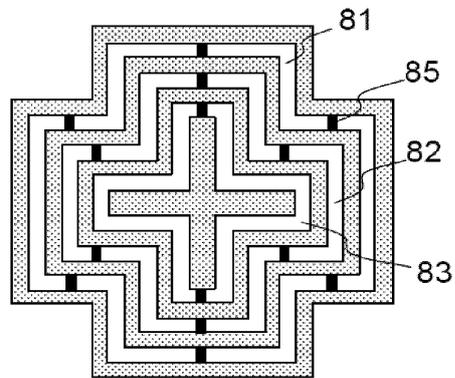


FIG. 2

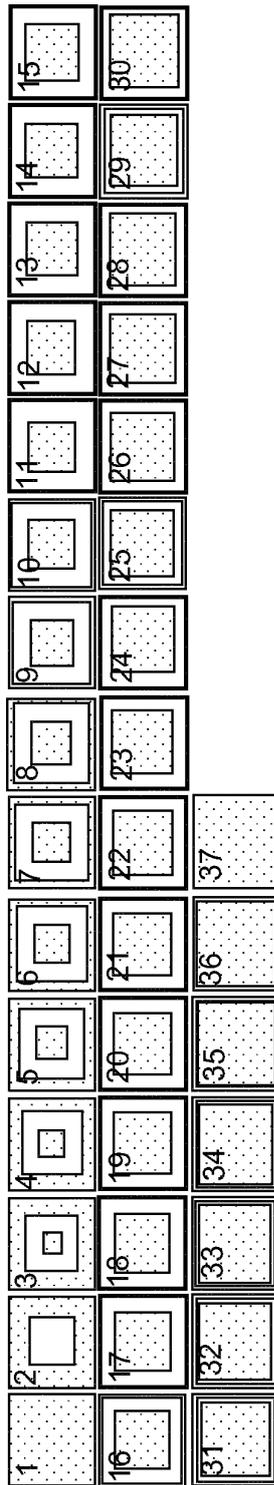


FIG.1bis

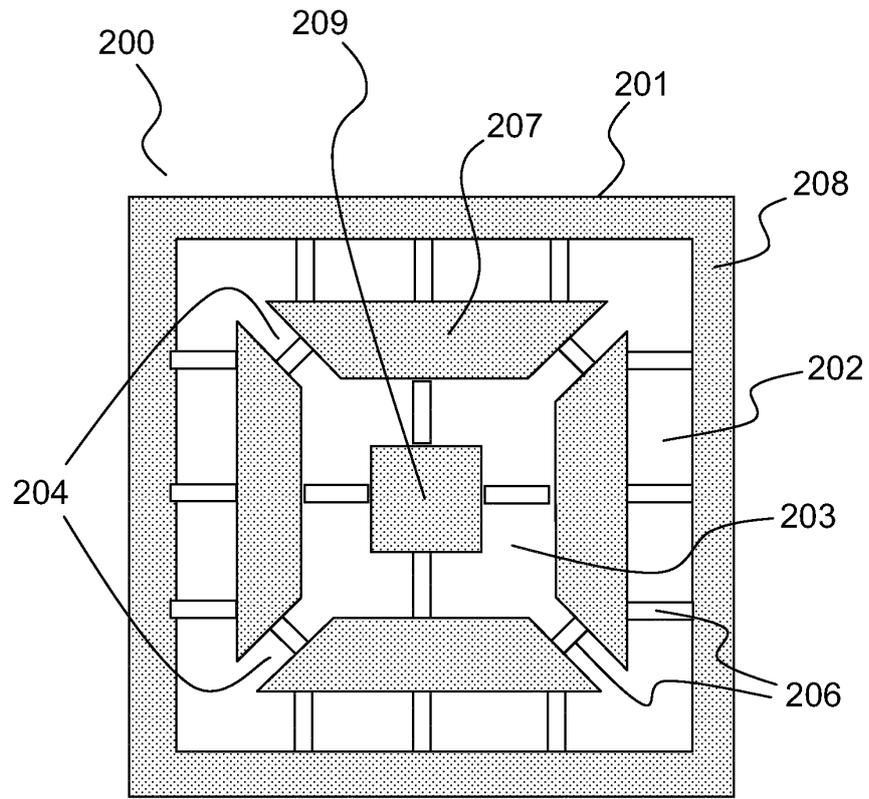


FIG.3

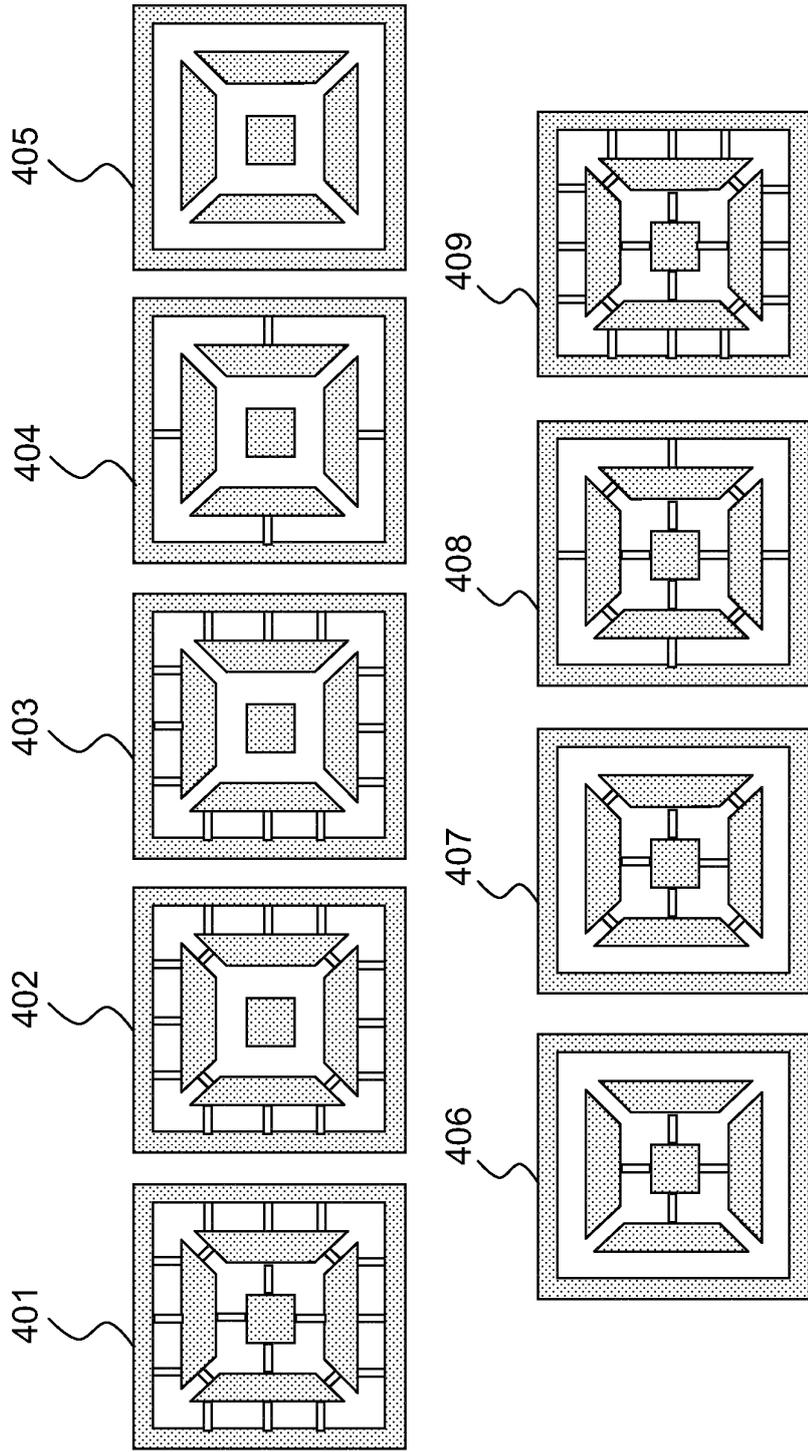


FIG.4

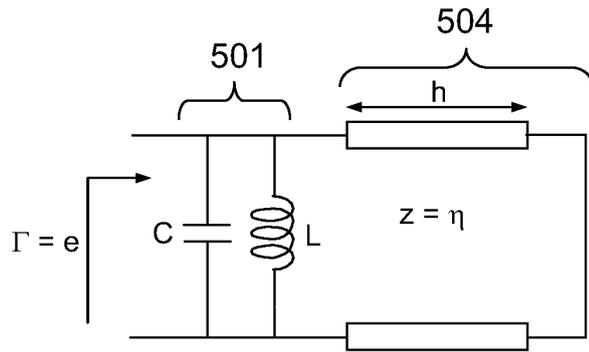


FIG.5a

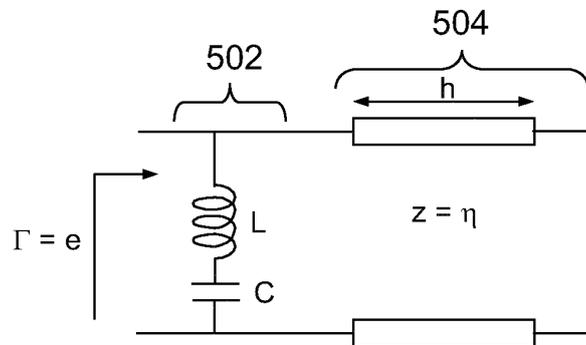


FIG.5b

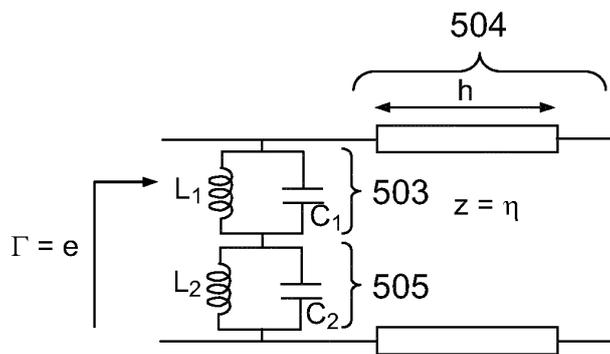


FIG.5c

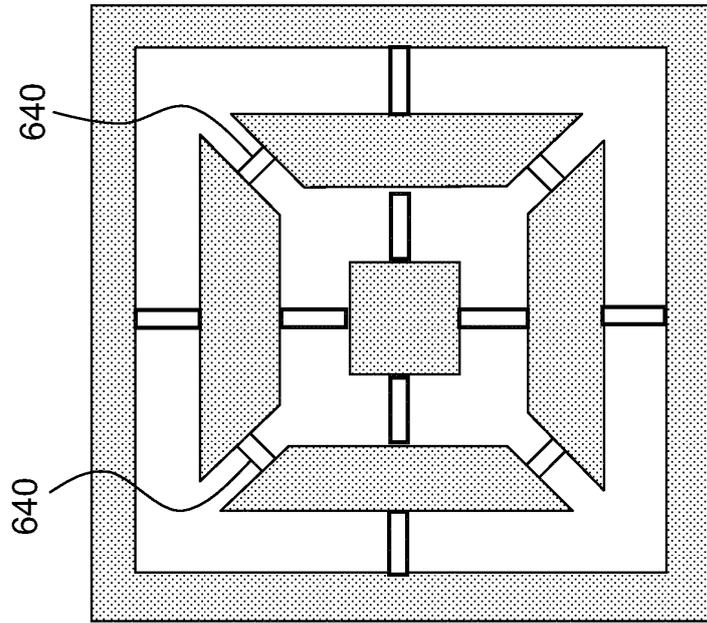


FIG. 6a

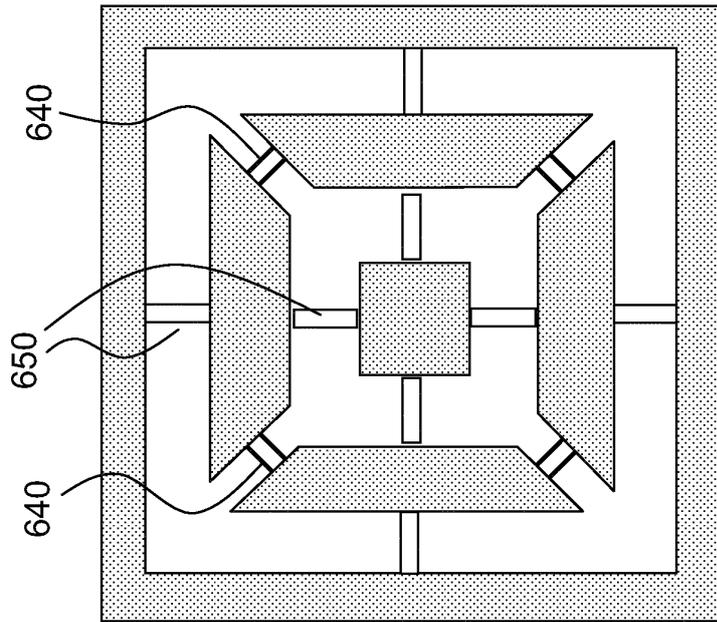


FIG. 6b

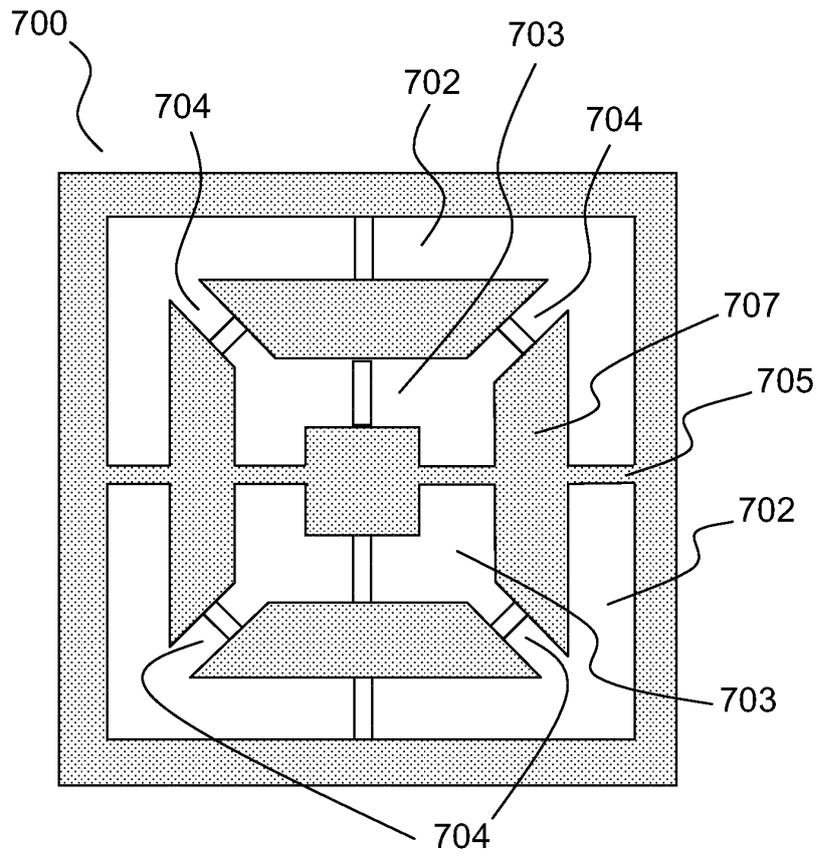


FIG.7

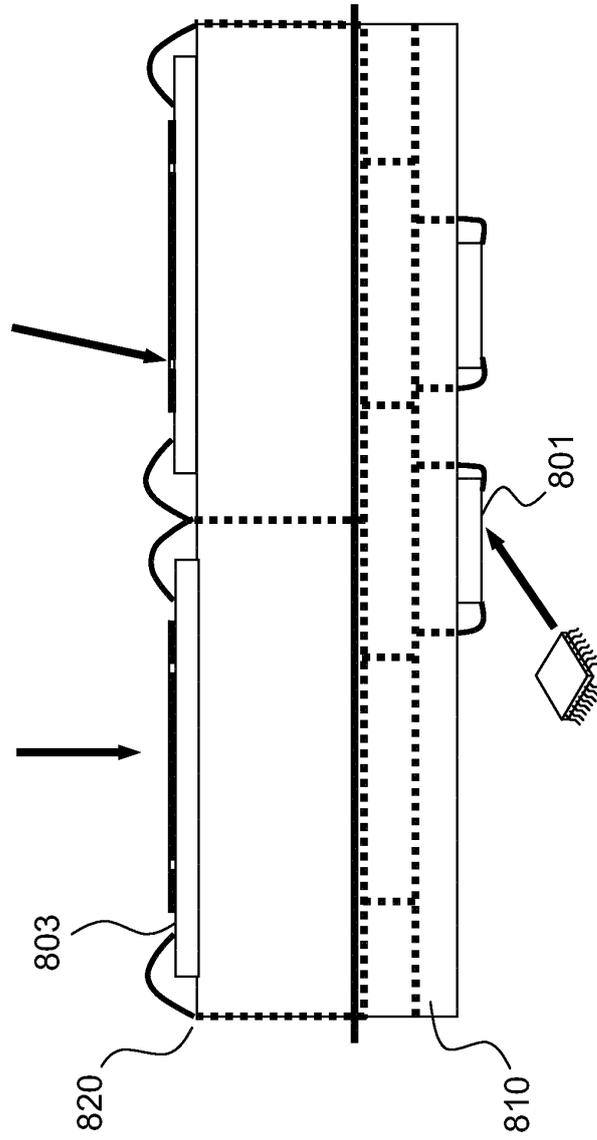


FIG.8a

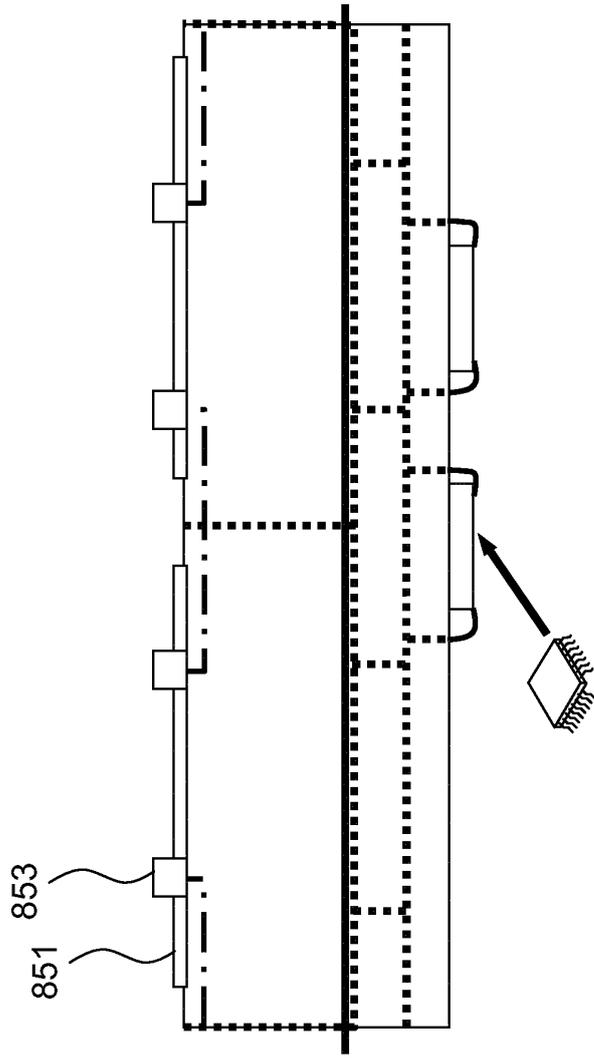


FIG.8b

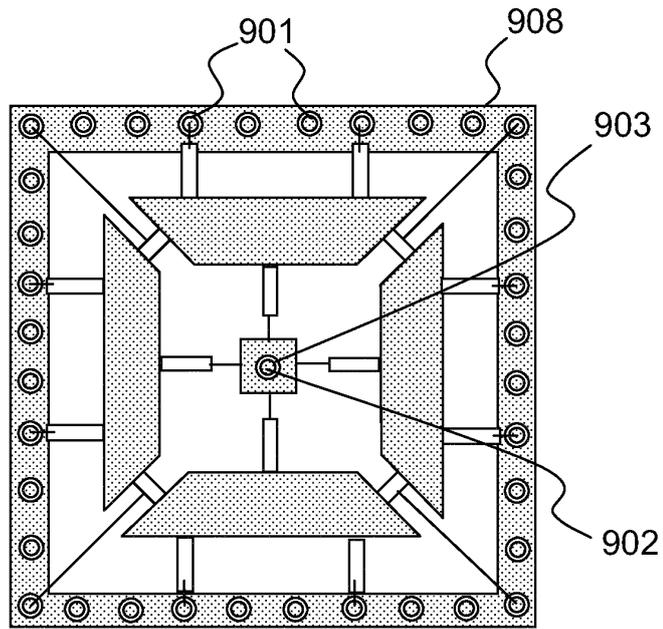


FIG. 9

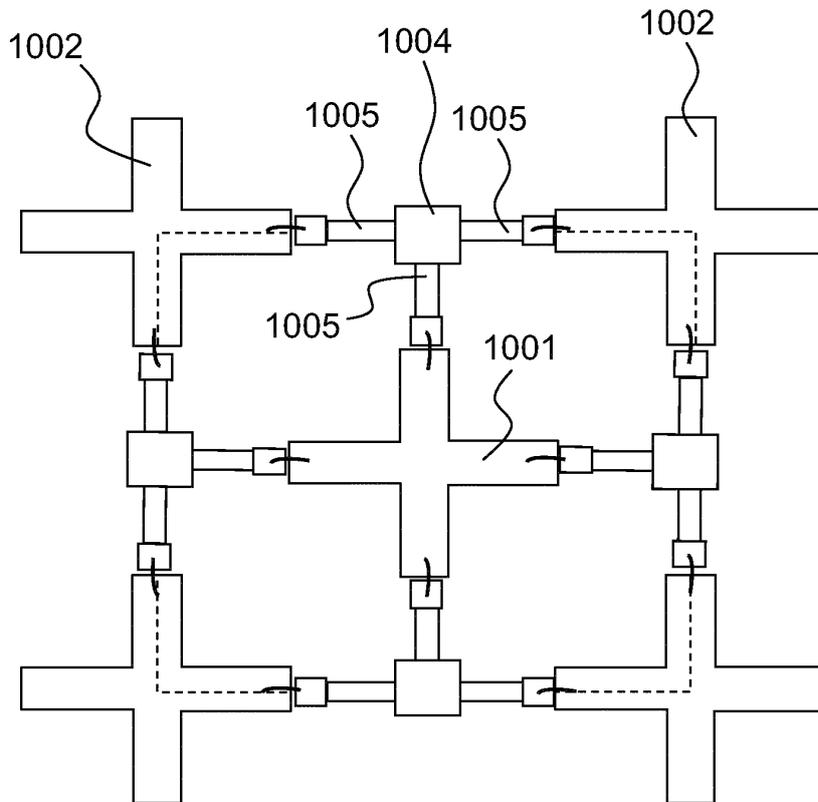


FIG. 10

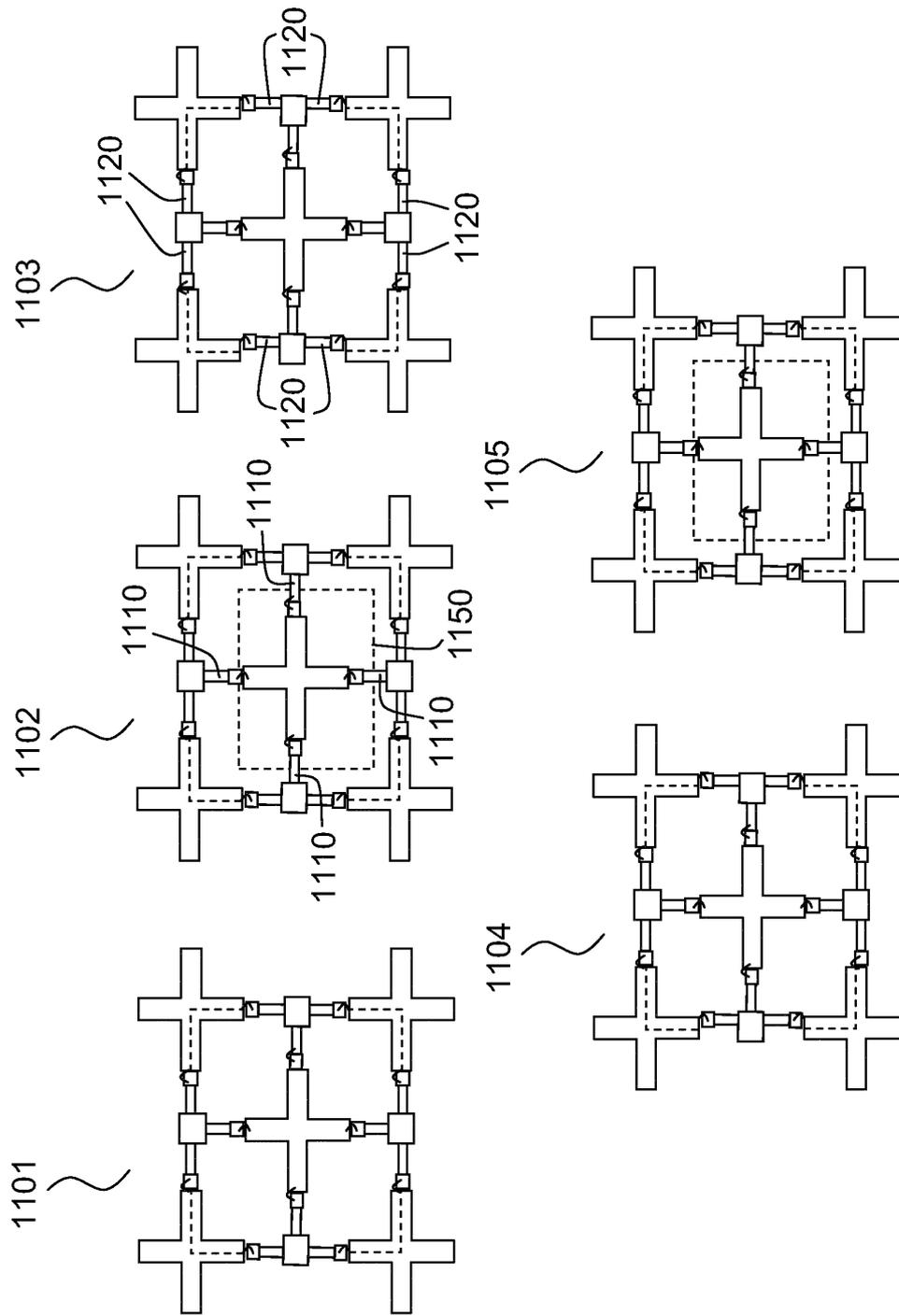


FIG.11

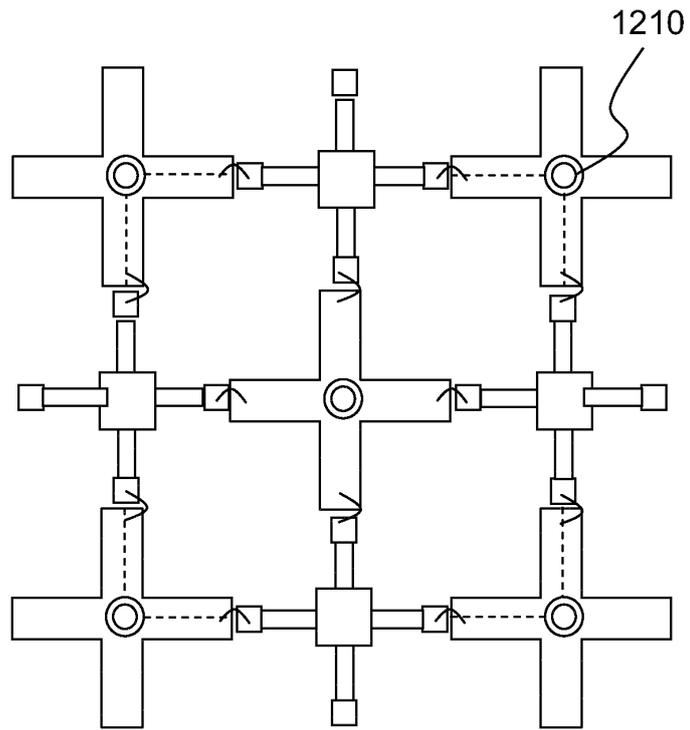


FIG.12