

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 681 675**

51 Int. Cl.:

H01Q 1/28 (2006.01)
H01Q 15/02 (2006.01)
H01Q 25/00 (2006.01)
H01Q 1/42 (2006.01)
H01Q 15/00 (2006.01)
H01Q 19/13 (2006.01)
H01Q 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.11.2016 E 16199488 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.06.2018 EP 3176875**

54 Título: **Arquitectura de antena activa con formación de haces híbrida reconfigurable**

30 Prioridad:

04.12.2015 FR 1502522

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

14.09.2018

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
Tour Carpe Diem Esplanade Nord, Place des
Corolles
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

LEGAY, HERVÉ

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 681 675 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

Arquitectura de antena activa con formación de haces híbrida reconfigurable

La presente invención se refiere a una arquitectura de antena activa de formación de haces híbrida reconfigurable. La antena puede aplicarse al campo terrestre o al espacial y, en concreto, al campo de las telecomunicaciones por satélite. En particular, puede montarse en un terminal terrestre o a bordo de un satélite.

Para facilitar la descripción, se presupone que el modo de operación de los formadores de haces está en recepción, pero se podría formular una descripción similar en transmisión.

Una antena activa reconfigurable de formación de haces electrónica consta de varios elementos radiantes, de cadenas activas destinadas a tratar las señales recibidas por los elementos radiantes y un formador de haces que recombina las señales recibidas, de manera coherente, en diferentes direcciones para formar diferentes haces. Cada elemento radiante está conectado al formador de haces por medio de una cadena activa dedicada. Cuando la formación de haces se realiza en unas señales de hiperfrecuencia, los tratamientos realizados por cada cadena activa incluyen un filtrado y una amplificación de las señales recibidas. Cuando la formación de haces se realiza en señales analógicas transpuestas en una banda de base, los tratamientos realizados por cada cadena activa además incluyen una transposición de frecuencia. Los tratamientos pueden así incluir una digitalización si la formación de haces se realiza en señales digitalizadas.

Tradicionalmente, como se ha representado en el ejemplo de la figura 1, un formador de haces plano de radiofrecuencia divide las señales recibidas por cada elemento radiante $E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_N$, en M subseñales que se transmiten a M canales diferentes, después aplica a cada una de las M subseñales, un desfase y una atenuación de valor controlable antes de recombinar las subseñales procedentes de los N elementos radiantes para formar M haces diferentes S_1, S_2, \dots, S_M , también denominados "puntos". No obstante, el formador de haces plano de radiofrecuencia tiene que realizar unos cruces entre los canales que transmiten las subseñales, siendo el número de cruces igual al producto entre el número M de haces y el número N de elementos radiantes. Por consiguiente, cuanto mayor es el número de haces a realizar, más aumenta la masa, el tamaño y la complejidad de este formador de haces. Por tanto, este formador de haces rápidamente pasa a ser irrealizable cuando hay que realizar un gran número de haces para cubrir un gran sector angular.

Cuando la formación de haces se realiza en señales analógicas transpuestas en una banda de base, los cruces son más fáciles de realizar utilizando unos circuitos integrados para aplicaciones específicas (ASIC por sus siglas en inglés). Esto permite limitar la masa y el tamaño del formador de haces, pero esta tecnología conlleva un consumo de potencia demasiado grande.

Cuando la formación de haces se realiza en unas señales digitales, la digitalización de las señales en un gran número de elementos radiantes, en general, conlleva un importante consumo de potencia.

Según otra tecnología, existen formadores de haces cuasi-ópticos planos que utilizan una propagación electromagnética de las ondas de radiofrecuencia procedentes de varias fuentes de alimentación colocadas a la entrada, por ejemplo, de unas bocinas internas, según un modo de propagación, en general, transversal electromagnético TEM (por sus siglas en inglés: de Transverse Electro Magnetic) entre dos placas metálicas paralelas (en inglés: parallel plates). El enfocado y la colimación de los haces pueden realizarse mediante una lente, por ejemplo, una lente óptica como la que se describe concretamente en los documentos US 3170158 y US 5936588 que ilustran el caso de una lente de Rotman, estando la lente insertada sobre la trayectoria de propagación de las ondas de radiofrecuencia, entre las dos placas metálicas paralelas. Se pueden utilizar diferentes tipos de lentes, estas lentes sirven esencialmente de correctores de fase y permiten en la mayoría de los casos convertir una o varias, ondas cilíndricas emitidas por las fuentes en una o varias, ondas planas que se propagan por la guía de onda de placas metálicas paralelas. La lente puede incluir dos bordes opuestos de perfiles parabólicos de entrada y de salida, respectivamente. Como alternativa, la lente puede ser una lente dieléctrica o una lente de gradiente de índice o cualquier otro tipo de lente. Como esta tecnología utiliza unas guías de onda de placas paralelas, como alternativa a la utilización de varios elementos radiantes discretos alineados lado a lado, es posible utilizar una abertura lineal radiante continua a la salida de cada guía de onda de placas paralelas. Estas aberturas lineales radiantes, que no están espacialmente cuantificadas, tienen unos rendimientos muy superiores con respecto a las redes lineales de varios elementos radiantes, para los haces desalineados, debido a la ausencia de cuantificación y de banda pasante debido a la ausencia de modos de propagación resonantes.

La realización de un formador de haces cuasi-óptico es mucho más simple que la de los formadores de haces tradicionales de guías de onda individuales ya que no incluye ni acoplador, ni dispositivo de cruce y permite realizar varios haces que cubren un gran sector angular, sin ninguna aberración. Además, su banda pasante es muy importante y pueden funcionar en una banda de emisión Rx y en una banda de recepción Tx a la vez. No obstante, los formadores de haces planos conocidos solo son capaces de formar haces según una única dimensión espacial, en una dirección paralela al plano de las placas metálicas. Para formar unos haces según dos dimensiones espaciales, en dos direcciones, respectivamente paralela y ortogonal al plano de las placas metálicas, es necesario combinar ortogonalmente entre sí, dos conjuntos de formación de haces, estando cada conjunto de formación de

haces constituido por un apilamiento de varias capas de formadores de haces unidireccionales. Para combinar ortogonalmente dos conjuntos de formación de haces, además es necesario habilitar unas interfaces de conexión, en particular, de los conectores de entrada/salida, en cada conjunto de formación de haces, luego conectar de dos en dos las diferentes entradas y salidas correspondientes de los dos conjuntos de formación de haces por medio de unos cables de interconexión dedicados, como se ha representado, por ejemplo, en el documento US 5.936.588 para unos formadores de haces de lente. Esta arquitectura es satisfactoria para la formación de un pequeño número de haces, pero se vuelve muy compleja y con un tamaño demasiado grande cuando aumenta el número de haces.

No existe ningún dispositivo de formación de haces plano que permita formar haces según dos dimensiones espaciales. Por otra parte, tampoco existen soluciones simples de interconexión de dos formadores de haces unidireccionales que permita prescindir de las interfaces de conexión y de los cables de interconexión.

El objetivo de la invención consiste en realizar una nueva arquitectura de antena activa reconfigurable que incluya un formador de haces electrónico más simple que los formadores de haces electrónicos conocidos, que permita reducir el número de señales a controlar en fase y en amplitud, reducir el número de señales a recombinar electrónicamente para cada haz y realizar un gran número de haces a partir de un gran número de elementos radiantes.

Para ello, la invención se refiere a una arquitectura de antena activa reconfigurable de formación de haces, que consta de un formador de haces híbrido constituido, por una parte,

- por N_y formadores de haces cuasi-ópticos planos apilados, donde N_y es un número entero superior a uno, incluyendo cada formador de haces cuasi-óptico una guía de onda de placas paralelas que tienen dos extremos provistos respectivamente de una abertura lineal radiante y de M_y puertos de acceso de haces, una lente integrada en la guía de onda de placas paralelas, unas bocinas internas distribuidas periódicamente lado a lado a lo largo de un eje focal de la lente, estando los puertos de acceso asociados respectivamente a las bocinas internas, siendo cada formador de haces cuasi-óptico adecuado para formar unos haces en dos bandas de frecuencias separadas, respectivamente, de emisión y de recepción, según una primera dirección espacial paralela al plano de las guías de onda de placas paralelas y, por otra parte,
- por al menos un formador de haces electrónico plano que incluye N_y cadenas de control de fase y de amplitud y un dispositivo de combinación que incluye N_y entradas respectivamente conectadas a las N_y cadenas de control de fase y de amplitud y al menos una salida de haces, estando cada cadena de control de fase y de amplitud conectada a un puerto de acceso de haces respectivo de cada formador de haces cuasi-óptico, siendo el formador de haces electrónico adecuado para formar unos haces según una segunda dirección espacial, ortogonal a la primera dirección.

Ventajosamente, la arquitectura de antena además puede incluir unos conmutadores adecuados para seleccionar, en cada formador de haces cuasi-óptico, un puerto de entre todos los puertos de acceso de haces disponibles, constando cada conmutador de una entrada conectada a una cadena de control de fase y de amplitud del formador de haces electrónico y de varias salidas conectadas respectivamente a varios puertos de acceso de haces respectivos del formador de haces cuasi-óptico correspondiente.

Ventajosamente, los puertos de acceso de haces pueden estar constituidos por una primera fila de puertos de emisión dispuestos lado a lado a lo largo del eje focal de la lente y por una segunda fila de puertos de recepción dispuestos lado a lado a lo largo del eje focal de la lente, estando la primera y segunda filas apiladas la una encima de la otra, siendo los puertos de emisión y los puertos de recepción distintos y de tamaños diferentes, estando cada puerto de emisión, respectivamente, de recepción, provisto de un filtro respectivo en la banda de frecuencias de emisión, respectivamente, de recepción.

Ventajosamente, las aberturas lineales radiantes de los diferentes formadores de haces cuasi-ópticos pueden conectarse en red a un radomo parcialmente reflectante único, común a todos los formadores de haces cuasi-ópticos, el radomo consta de una primera superficie parcialmente reflectante dimensionada para la sub-banda de frecuencias de recepción y una segunda superficie parcialmente reflectante dimensionada para la sub-banda de frecuencias de emisión, estando las superficies parcialmente reflectantes, primera y segunda, dispuestas respectivamente a la salida de las aberturas lineales radiantes, a una distancia que corresponde a una longitud de onda central respectiva de las dos sub-bandas de frecuencias de emisión y de recepción.

Ventajosamente, el formador de haz híbrido puede incluir un formador de haces cuasi-óptico común en la emisión Tx y en la recepción Rx, dos formadores de haces electrónicos específicos distintos, respectivamente dedicados a la emisión y a la recepción y unos conmutadores que incluyen diferentes posiciones respectivamente adecuadas para seleccionar un puerto de acceso de haces de entre varios, conectando cada conmutador selectivamente, según su posición, una cadena de control de fase y de amplitud del formador de haces electrónico dedicado a la emisión, respectivamente, a la recepción, a uno de los puertos de emisión, respectivamente, de recepción, de cada formador de haces cuasi-óptico.

Ventajosamente, los puertos de acceso de haces, seleccionados por los conmutadores en todos los formadores de haces cuasi-ópticos apilados y conectados a un mismo formador de haces electrónico, pueden tener una dirección de orientación idéntica y cubrir un sector geográfico idéntico.

Como alternativa, una primera parte de los puertos de acceso de haces, seleccionados por los conmutadores en los formadores de haces cuasi-ópticos apilados, puede cubrir un primer sector geográfico y una segunda parte de los puertos de acceso de haces, seleccionados por los conmutadores en los formadores de haces cuasi-ópticos apilados, puede cubrir un segundo sector geográfico adyacente al primer sector geográfico.

- 5 Ventajosamente, el dispositivo de combinación puede estar constituido por un combinador/divisor que incluye N_x entradas respectivamente conectadas a las N_x cadenas de control de fase y de amplitud y una salida de haces.

Ventajosamente, el dispositivo de combinación puede constar de una derivación para escindir cada cadena de control de fase y de amplitud en varias vías diferentes, incluyendo cada vía un desfaseador dedicado.

- 10 Ventajosamente, el dispositivo de combinación puede estar constituido por un formador de haces cuasi-óptico de tecnología PCB que incluye N_x entradas respectivamente conectadas a las N_x cadenas de control de fase y de amplitud y varias salidas de haces.

Otras particularidades y ventajas de la invención se apreciarán claramente en la siguiente continuación descripción aportada a modo de ejemplo meramente ilustrativo y no limitativo, con referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos que representan:

- 15 - figura 1: un esquema sinóptico de un ejemplo de formador de haces electrónico, según la técnica anterior;
 - figura 2: un cuadro sinóptico, en una vista de perfil, de un ejemplo de formador de haces híbrido de múltiples haces, según la invención;
 - figura 3: un esquema, en perspectiva, de cuatro formadores de haces cuasi-ópticos apilados, según la invención;
 20 - figura 4: un esquema, en una vista superior, de un formador de haces cuasi-óptico, según la invención;
 - figura 5: un esquema sinóptico parcial de un ejemplo de formador de haces híbrido en el que se detallan las funciones de los formadores de haces electrónicos, según la invención;
 - figuras 6a, 6b, 6c: tres esquemas, respectivamente en corte longitudinal, en una vista en planta y en una vista desde abajo, de un formador de haces cuasi-óptico que incluye unos puertos dedicados a la recepción Rx y unos puertos dedicados a la emisión Tx, según la invención;
 25 - figura 7: una vista en corte longitudinal, de un ejemplo de tres formadores de haces cuasi-ópticos apilados provistos de un radomo común equipado con dos superficies parcialmente reflectantes, según la invención;
 - figura 8a: arquitectura de antena para un terminal de usuario instalado en un satélite, adecuada para formar un haz de emisión y un haz de recepción con selección de la dirección de orientación del haz, según la invención;
 30 - figura 8b: un ejemplo de haces formados por el formador de haces híbrido, en el caso de la selección, en dos formadores de haces cuasi-ópticos adyacentes, de puertos de acceso de haces que cubren unos sectores geográficamente adyacentes, según la invención;
 - figura 9: arquitectura de antena de múltiples haces de emisión y de recepción con selección de la dirección de orientación de los haces, en caso de que los haces cubran un sector geográfico predeterminado, según la invención;
 35 - figura 10: arquitectura de antena de múltiples haces de emisión y de recepción con selección de la dirección de orientación de los haces, en caso de que cada formador de haces electrónico incluya varias vías de desfase diferentes, según la invención;
 - figura 11: arquitectura de antena de múltiples haces de emisión y de recepción con selección de la dirección de orientación de los haces, en caso de que cada formador de haces electrónico incluya un formador de haces cuasi-óptico de tecnología PCB, según la invención.
 40

- La nueva arquitectura de antena activa de formación de haces reconfigurable según la invención incluye un formador de haces híbrido constituido por al menos dos formadores de haces cuasi-ópticos planos apilados los unos encima de los otros y por al menos un formador de haces electrónico plano conectado en un puerto respectivo de cada formador de haces cuasi-óptico plano. Cada formador de haces cuasi-óptico es adecuado para formar unos haces según una primera dirección espacial paralela al plano del formador de haces cuasi-óptico. El formador de haces electrónico es adecuado para formar los haces según una segunda dirección espacial, ortogonal a la primera dirección.
 45

- En el ejemplo representado en la figura 2, el formador de haces híbrido incluye N_y formadores de haces cuasi-ópticos 101, 102,..., 10i,..., 10N_y, apilados los unos sobre los otros y N_x formadores de haces electrónicos 201, ..., 20N_x, donde N_x y N_y son números enteros superiores a uno. Por ejemplo, en la figura 3, N_y es igual a cuatro y en la figura 5, N_x y N_y son iguales a dos.
 50

- Como se ha representado en las figuras 2, 3 y 4, cada formador de haces cuasi-óptico incluye una guía de onda 10 de placas paralelas (en inglés: parallel guide plate) constituida por dos placas 11, 12 metálicas paralelas, separadas entre sí, una lente 13 integrada en la guía de onda 10, entre las dos placas metálicas, M_y bocinas internas 141, 142,..., 14k,...14M_y, distribuidas periódicamente lado a lado a lo largo de un eje focal de la lente 13, donde M_y es superior o igual a 2, M_y puertos de acceso de haces 161, 162,..., 16k,...16M_y, respectivamente asociados a las M_y bocinas internas y conectados a un primer extremo de la guía de onda 10 y una abertura 15 lineal radiante habilitada en un extremo de la guía de onda 10. La abertura 15 lineal radiante puede estar asociada con una bocina lineal o
 55

con un radomo común a todos los formadores de haces cuasi-ópticos del formador de haces híbrido. El formador de haces cuasi-óptico permite enfocar, según la primera dirección espacial, las señales recibidas por la abertura 15 lineal radiante, en los My puertos de acceso de haces 161, 162,..., 16k,...16My, en función de la dirección de llegada de estas señales recibidas. La primera dirección espacial es paralela al plano de las placas metálicas 11, 12 de las guías de onda de los formadores de haces cuasi-ópticos. La lente 13 puede ser una lente óptica distribuida por una gran parte del volumen de la guía de onda 10 de placas paralelas, tal que, por ejemplo, de tipo lente de Rotman o del tipo de lente de gradiente de índice, por ejemplo, una lente de Luneberg. Como alternativa, la lente 13 puede ser una lente metálica de gradiente con retardos localizada en una zona limitada de la guía de onda de placas paralelas como se muestra, por ejemplo, en la lente 13 ilustrada en la figura 2 y en la figura 4, que se extiende transversalmente por una zona de la guía de onda situada delante de la abertura 15 lineal radiante. El formador de haces cuasi-óptico puede además incluir un dispositivo de enfoque, por ejemplo, un reflector parabólico, integrado transversalmente en la guía de onda 10, entre las dos placas paralelas. En este caso, el formador de haces cuasi-óptico tiene una estructura típicamente denominada de pastillero (pillbox).

Cada formador de haces electrónico 201, ..., 20Nx incluye Ny puertos de entrada respectivamente conectados a los Ny formadores de haces cuasi-ópticos 101, 102,..., 10i,..., 10Ny, cada formador de haces electrónico 201,..., 20Nx incluye Mx salidas adecuadas para suministrar Mx haces diferentes, donde Mx es superior o igual a uno. Cada formador de haces electrónico 201,..., 20Nx está conectado a un puerto de acceso de haces seleccionado de cada uno de los Ny formadores de haces cuasi-ópticos y se aplica en las señales procedentes de los Ny puertos de acceso de haces correspondientes, un control de fase y de amplitud, luego recombina electrónicamente las Ny señales suministradas por dicho puerto de acceso de haces de cada uno de los Ny formadores de haces cuasi-ópticos para formar Mx haces según la segunda dirección del espacio ortogonal a la primera dirección. Para realizar la interconexión entre cada uno de los My puertos de acceso de haces de los Ny formadores de haces cuasi-ópticos y los Nx formadores de haces electrónicos, es necesario que el número My de puertos de acceso de haces de cada formador de haces cuasi-óptico sea igual al número Nx de formadores de haces electrónicos. La formación de haces electrónico es reconfigurable modificando la ley de fase y de amplitud aplicada en cada puerto de acceso de haces de los formadores de haces cuasi-ópticos. Los formadores de haces electrónicos permiten una reconfiguración, según la segunda dirección espacial, de los haces formados en la primera dirección por los formadores de haces cuasi-ópticos.

Con respecto a un formador de haces electrónico clásico que abarca una red de elementos radiantes de dos dimensiones, esta formación de haces híbrida permite reducir considerablemente el número de señales en las que debe aplicarse un control de fase y de amplitud, dado que para cada formador de haces electrónico, el control de fase y de amplitud solo abarca Ny puertos de acceso de haces procedentes de cada uno de los Ny formadores de haces cuasi-ópticos en lugar de abarcar Nx*Ny' elementos radiantes de una red de elementos radiantes de dos dimensiones, donde Nx' sería el número de elementos radiantes según un primer eje X y Ny' sería el número de elementos radiantes según un segundo eje Y.

El ejemplo de la figura 5 ilustra un esquema sinóptico simplificado, en recepción, de un ejemplo de formador de haces híbrido en el que solo dos formadores de haces cuasi-ópticos y dos formadores de haces electrónicos están representados y en el que un único haz se suministra a la salida de cada formador de haces electrónico. En este ejemplo, cada formador de haces electrónico 201,..., 20Nx incluye un dispositivo de combinación 34 plano, por ejemplo, un combinador de tipo candelabro, adecuado para funcionar, en recepción, como combinador de potencia y Ny cadenas de control de fase y de amplitud 221, ..., 22Ny respectivamente conectadas a unas entradas del dispositivo de combinación 34 para formar los haces a la salida del dispositivo de combinación 34. Las Ny cadenas de control de fase y de amplitud 221, ..., 22Ny de cada formador de haces electrónico están conectadas respectivamente a un puerto de acceso de haces 161,..., 16Ny correspondiente de cada formador de haces cuasi-óptico 101,..., 10Ny. Este formador de haz electrónico es, por lo tanto, particularmente simple y realizable, ya que no incluye combinaciones de Ny señales suministradas en Ny puertos de acceso de haces de los Ny formadores de haces cuasi-ópticos. Cada cadena de control de fase y de amplitud 221,..., 22Ny incluye, en serie, un filtro 30 conectado a un puerto de acceso de haces 16i,..., 16Ny de un formador de haces cuasi-óptico 101,..., 10Ny, un amplificador 31, así como un atenuador variable 33 y un desfaseador variable 32 que permitan aplicar un control de fase y de amplitud a las señales procedentes del puerto de acceso de haces correspondiente de cada uno de los Ny formadores de haces cuasi-ópticos. En la figura 5, solo hay un único haz formado a la salida del dispositivo de combinación 34, pero, según la aplicación deseada, debe entenderse que es posible formar varios haces utilizando dispositivos de combinación/división más complejos o formadores de haces cuasi-ópticos de tecnología SIW (en inglés: Substrate Integrated Waveguide) realizados en forma de circuitos impresos PCB (en inglés: Printed Circuit Board) tales como los que se ilustran, por ejemplo, en los modos de realización de las figuras 10 y 11, descritas más adelante.

El formador de haces cuasi-óptico presenta la ventaja de funcionar en una banda de frecuencias muy ancha ya que propaga el modo de propagación TEM (Transverse Electro Magnetic) que no es dispersivo en frecuencias. Puede utilizarse, por tanto, para propagar unas señales en dos sub-bandas de frecuencia muy separadas, como, por ejemplo, unas bandas de emisión Tx y de recepción Rx en las bandas Ka y Ku. En ese caso, para realizar una antena de emisión y de recepción, la invención consiste, además, en cada formador de haces cuasi-óptico, en habilitar unos puertos de emisión Tx y de recepción Rx distintos, dedicados respectivamente a la emisión Tx y a la recepción Rx y a proveer cada puerto Tx, Rx de filtros respectivos, centrados respectivamente en las bandas de

frecuencias de emisión y de recepción para separar las señales de emisión y de recepción. La figura 6a representa un ejemplo de habilitación de dos puertos de emisión 16k1 y de recepción 16k2 en el extremo de una guía de onda 10 de un formador de haces cuasi-óptico. En esta figura 6a, los dos puertos Tx, Rx están provistos de filtros 181, 182 correspondientes y la guía de onda está provista de un extremo agrandado que permite alojar los dos puertos Tx y Rx apilados el uno encima del otro. Los dos puertos Tx, Rx distintos pueden estar asociados a unas bocinas distintas, internas al formador de haces cuasi-óptico. El tamaño físico de la abertura de las bocinas internas es diferente para las dos sub-bandas de frecuencias de emisión y de recepción, de manera a tener una misma dimensión normalizada por la longitud de onda central correspondiente a cada sub-banda de frecuencias. A modo de ejemplo no limitativo, para un funcionamiento en la banda Ka, en la que la frecuencia central de recepción Rx es igual a 30 GHz y la frecuencia central de emisión Tx es igual a 20 GHz, es posible disponer una primera fila de tres bocinas de recepción 14k2 lado a lado a lo largo del eje focal de la lente del formador de haces cuasi-óptico y en el mismo volumen, disponer una segunda fila de dos bocinas de emisión 14k1 lado a lado a lo largo del eje focal de la lente del formador de haces cuasi-óptico, como se muestra en las dos disposiciones ilustradas en la figura 6b, estando las filas primera y segunda apiladas en el interior de la guía de onda 10 de placas paralelas. En esta configuración, los haces elaborados en emisión Tx y en recepción Rx se recortan al mismo nivel y hay 3/2 veces más haces de recepción Rx que de haces de emisión Tx en el mismo sector angular cubierto por el formador de haz cuasi-óptico.

Cuando las sub-bandas de frecuencias de emisión y de recepción están muy separadas la una de la otra, pueden aparecer lóbulos de red durante la formación electrónica de los haces. Este problema se debe a la anchura de la abertura a la salida de las bocinas lineales del formador de haces cuasi-óptico, que deben tener una abertura cuyo tamaño máximo se corresponda a una fracción de la longitud de onda y que no están adaptadas, por tanto, para un funcionamiento en las dos sub-bandas de frecuencia diferentes Rx, Tx cuando están muy alejadas. Para dimensionar de manera óptima las aberturas lineales radiantes de cada formador de haces cuasi-óptico, la invención puede consistir, además, en suprimir las bocinas lineales y sustituirlas por un único radomo parcialmente reflectante, común a todos los formadores de haces cuasi-ópticos y conectado a todas las aberturas lineales radiantes de los formadores de haces cuasi-ópticos, como se ha representado en el ejemplo de la figura 7 que se refiere al caso de una colocación en red de tres formadores de haces cuasi-ópticos. En esta figura 7, el radomo 70 consta de una primera superficie 71 parcialmente reflectante dimensionada para la sub-banda de frecuencias de recepción y de una segunda superficie 72 parcialmente reflectante dimensionada para la sub-banda de frecuencias de emisión. Las dos superficies parcialmente reflectantes están dispuestas respectivamente a la salida de las aberturas lineales radiantes de los diferentes formadores de haces cuasi-ópticos, a una distancia correspondiente a la longitud de onda central respectiva de las dos sub-bandas de frecuencia. Las dos superficies reflectantes distribuyen las señales de radiofrecuencia, respectivamente, en recepción Rx y en emisión Tx. Con el fin de obtener la misma directividad en recepción y en emisión, a la salida de las dos superficies reflectantes las aberturas radiantes son de anchuras diferentes para las dos sub-bandas de frecuencia Rx y Tx, siendo la abertura radiante en emisión más grande que la abertura radiante en recepción.

Además, la arquitectura de antena puede ser diferente dependiendo de si el funcionamiento es en emisión o en recepción. En concreto, en el ejemplo de la figura 7, solo dos formadores de haces cuasi-ópticos de tres incluyen dos puertos de acceso de haces equipados con filtros 181, 182 respectivos y funcionan, por tanto, en las dos sub-bandas Rx, Tx. El formador de haces cuasi-óptico intermedio solo incluye un único puerto de acceso de haces equipado con un filtro 182 dedicado a la recepción y por tanto solo funciona en la sub-banda Rx. Este formador de haces cuasi-óptico intermedio, incluye un segundo filtro 182 alojado en la abertura 15 lineal radiante con el fin de seleccionar, al nivel de la abertura lineal radiante correspondiente, únicamente la banda de recepción.

Diferentes aplicaciones son posibles. Se puede utilizar el formador de haces híbrido de la invención en una antena para un terminal de usuario, instalado en un satélite, que necesite suministrar un haz. Para reducir el coste de esta aplicación, resulta particularmente interesante que la antena funcione en emisión Tx y en recepción Rx. En la figura 8a se ha representado un ejemplo de arquitectura de tal antena. Solo se han ilustrado dos formadores de haces cuasi-ópticos 101, 102, pero puede haber muchos más de dos. En este ejemplo, el formador de haz híbrido incluye al menos dos formadores de haces cuasi-ópticos comunes a la emisión Tx y a la recepción Rx, dos formadores de haces electrónicos específicos distintos, respectivamente dedicados a la emisión 201 y a la recepción 203 y de los conmutadores 211, 212, 231, 232 que incluyen diferentes posiciones respectivamente adecuadas para seleccionar, según su posición, un puerto de acceso de haces de entre varios de ellos, conectando los conmutadores selectivamente, el formador de haces electrónico 201, 203 dedicado a la emisión, respectivamente a la recepción, a uno de los puertos de emisión, respectivamente, de recepción, de cada formador de haces cuasi-óptico 101, 102 del formador de haces híbrido. El formador de haces cuasi-óptico, común a la emisión Tx y a la recepción Rx, forma previamente los haces según la primera dirección espacial, los dos formadores de haces electrónicos específicos 201, 203, respectivamente dedicados a la emisión y a la recepción, forman los haces según la segunda dirección espacial, ortogonal a la primera dirección. En la figura 8a, cada formador de haces electrónico específico 201, 203 incluye dos cadenas 221, 222, 242, 243 de control de fase y de amplitud respectivamente dedicadas a los dos formadores de haces cuasi-ópticos 101, 102, estando cada cadena de control de fase y de amplitud selectivamente conectada, por medio de un conmutador de varias posiciones 211, 212, 231, 232, a un puerto de acceso de haces seleccionado del respectivo formador de haces cuasi-óptico. Cada conmutador incluye una entrada conectada a una cadena de control de fase y de amplitud de un formador de haces electrónico y varias salidas respectivamente

conectadas a diferentes puertos respectivos de las diferentes bocinas internas de un formador de haces cuasi-óptico correspondiente.

5 Los haces previamente formados por el formador de haz cuasi-óptico y suministrados en los diferentes puertos de acceso de haces del formador de haz cuasi-óptico tienen unas direcciones de orientación diferentes las unas de las otras. Por consiguiente, se puede seleccionar la dirección de alineación del haz engendrado por el formador de haces híbrido, según la posición del conmutador, mediante la selección de un puerto del formador de haz cuasi-óptico de entre varios.

10 Los puertos de acceso, seleccionados por los conmutadores en todos los formadores de haces cuasi-ópticos apilados y conectados a un mismo formador de haces electrónico, pueden tener una dirección de orientación idéntica y cubrir un sector geográfico idéntico. En ese caso, el formador de haces híbrido se alinea hacia el sector geográfico cubierto por los puertos de acceso correspondientes de cada formador de haces cuasi-óptico. Como, para cada formador de haces cuasi-óptico, los sectores geográficos cubiertos por dos puertos de acceso adyacentes se recortan con unas atenuaciones que pueden alcanzar entre 3 dB y 6 dB, entonces el formador de haz híbrido presentará asimismo una atenuación de un mismo orden de magnitud en las dos direcciones correspondientes. Para mejorar la ganancia de la antena incluyendo el formador de haces híbrido, es posible alinear un haz en una dirección intermedia situada entre dos sectores geográficos adyacentes. Para ello, la invención consiste en alternar los puertos de acceso seleccionados en diferentes formadores de haces cuasi-ópticos sucesivos de manera que una primera parte de los puertos de acceso seleccionados cubra un primer sector geográfico y una segunda partes de los puertos de acceso seleccionados cubra un segundo sector geográfico, adyacente al primer sector geográfico. El número de puertos de acceso seleccionados en cada uno de los sectores geográficos adyacentes, depende de la dirección intermedia de alineación deseada para el haz correspondiente. La figura 8b ilustra un ejemplo de alineación intermedia del haz situado entre dos haces adyacentes. En esta figura 8b, las dos elipses 81, 82 representadas en trazos de puntos representan los dos haces engendrados en una primera dirección espacial, por dos formadores de haces cuasi-ópticos adyacentes y los tres círculos 83, 84, 85 en trazos continuos representan los haces suministrados a la salida del formador de haces híbrido, tras la formación de haces electrónico en la segunda dirección espacial, ortogonal a la primera dirección. Cada uno de los dos círculos 83, 84 exteriores se obtiene mediante la selección, para los dos formadores de haces cuasi-ópticos, de los puertos de acceso que cubren un primer sector geográfico, respectivamente, un segundo sector geográfico adyacente al primer sector geográfico. Los dos círculos exteriores corresponden, por tanto, a dos sectores geográficos adyacentes. El círculo 85 intermedio situado entre los dos círculos 83, 84 exteriores se obtiene mediante la selección, para una primera mitad, de los puertos de acceso que cubren el primer sector geográfico y para una segunda mitad, de los puertos de acceso que cubren el segundo sector geográfico adyacente al primer sector geográfico.

35 Además, en caso de que se desee una desalineación importante, a esta desalineación del haz por selección de los puertos del formador de haz cuasi-óptico, es posible añadirle una desalineación mecánica del formador de haces cuasi-óptico con el fin de posicionar el formador de haces cuasi-óptico en la dirección correcta y reducir así la complejidad de la formación de haces electrónicos.

40 El formador de haces híbrido de la invención también puede utilizarse en una antena de múltiples haces de emisión y de recepción como se ha representado en el ejemplo de antena de la figura 9 en caso de que los puntos cubran un sector geográfico predeterminado. En este ejemplo, los formadores de haces cuasi-ópticos son idénticos al descrito con relación a la figura 8a. Solo se aumenta el número de formadores de haces electrónicos específicos dedicados a la emisión y a la recepción en función del número de haces a elaborar. En la figura 9, se elaboran dos haces en la emisión y se elaboran dos haces en la recepción. Para cada haz a elaborar, si el formador de haces cuasi-óptico incluye N_y etapas, con N_y igual a dos en el ejemplo de la figura 8a, el formador de haces electrónico incluye N_y cadenas de control de fase y de amplitud, estando cada cadena de control de fase y de amplitud dedicada a la emisión, respectivamente a la recepción, conectada selectivamente, por medio de un conmutador de diversas posiciones diferentes, por ejemplo, cuatro posiciones en la figura 9, a un puerto seleccionado de un formador de haces cuasi-óptico respectivo, pudiendo seleccionarse los puertos en emisión, respectivamente en recepción, por un primer conmutador, siendo diferentes de los puertos que pueden seleccionarse en emisión, respectivamente en recepción, por un segundo conmutador. En caso de una aplicación para la que sea necesario realizar cualquier alineación a partir de cualquiera de los puertos del formador de haces cuasi-óptico, la selección de los puertos será más importante y los conmutadores serán mucho más complejos. Cuanto más compleja sea la selección de los puertos, más pérdidas de potencia habrá. Para enmascarar las pérdidas de potencia, es entonces posible añadir unos amplificadores distribuidos entre los conmutadores del formador de haces cuasi-óptico.

55 En otra aplicación, en una antena de múltiples haces montada a bordo de un satélite de una constelación de satélites en órbita baja o media, es necesario poder realizar cualquier alineación de la antena a partir de cualquiera de los puertos de acceso de haces de los formadores de haces cuasi-ópticos. En ese caso, se deben formar varios haces a la salida de cada formador de haces electrónico. Para ello, como se ha representado, por ejemplo, en la figura 10, cada cadena de control de fase y de amplitud 221, 222 conectada a los formadores de haces cuasi-ópticos puede incluir una derivación 52 para escindir la cadena de control de fase y de amplitud en varias vías 221a, 221b, 222a, 222b diferentes, incluyendo cada vía un desfasador 50a, 50b, 51a, 51b dedicado. Esto permite atribuir diferentes desfasadores a cada puerto de acceso de haces de un formador de haces cuasi-óptico. A la salida de los desfasadores, un combinador/divisor de potencia recombina las vías de manera a suministrar varios haces

diferentes F_a , F_b correspondiente a unas leyes de fase diferentes. En el ejemplo de la figura 10, se suministran dos haces a la salida de cada formador de haz electrónico, pero, por supuesto, esto no es limitativo, utilizando un número de vías superior a dos, es posible formar un número de haces superior a dos.

5 Como alternativa, como se ha representado en la figura 11, para realizar los haces múltiples a la salida de cada formador de haces electrónico, cada formador de haces electrónico puede incluir un formador cuasi-óptico 60 de tecnología PCB que incluye varias salidas de haces correspondientes a unos desfases diferentes y varias entradas a las que están conectadas las cadenas activas 221, 222. El formador de haces cuasi-óptico de tecnología PCB se utiliza entonces en lugar del combinador/divisor de señales representado en la figura 8.

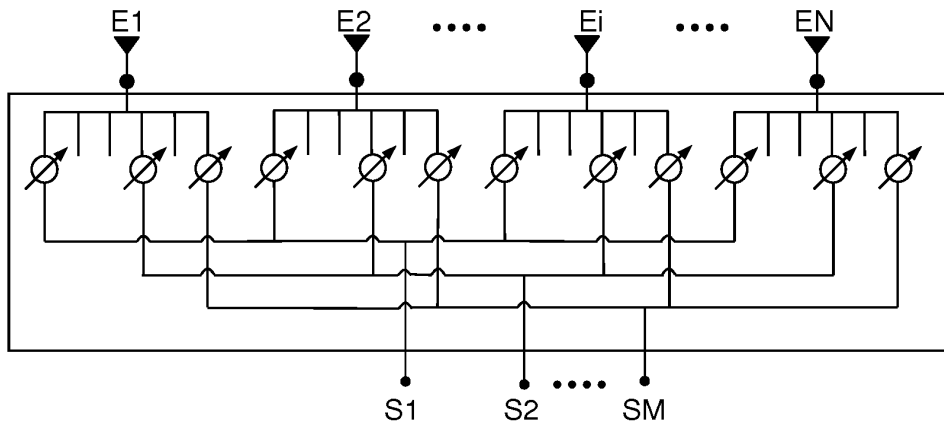
10 En los dos modos de realización representados en las figuras 10 y 11, los haces así obtenidos están entonces inclinados únicamente en función del desfase aplicado en cada vía. En el caso de la figura 10, los haces formados son independientes entre sí y pueden alinearse en cualesquiera direcciones. En el caso de la figura 11, se realiza una agrupación de haces y esta agrupación es orientable y los haces no son independientes entre sí.

15 Los formadores de haces cuasi-ópticos pueden montarse con su eje longitudinal orientado en paralelo al eje ortogonal al desplazamiento del satélite con el fin de formar previamente una fila de haces según este eje ortogonal y de recombinar los puertos de estos formadores de haces cuasi-ópticos con el formador de haces electrónico. Esto permite seguir una misma zona geográfica en tierra en el transcurso del desplazamiento del satélite y permite asimismo desalinear el conjunto de haces formados según el eje de desplazamiento cuando el satélite se desplaza por encima de una zona de poco tráfico, como los océanos.

REIVINDICACIONES

1. Arquitectura de antena activa con formación de haces reconfigurable, **caracterizada porque** comprende un formador de haces híbrido constituido, por una parte,
- 5 - por N_y formadores de haces cuasi-ópticos planos apilados, en la que N_y es un número entero superior a uno, comprendiendo cada formador de haces cuasi-óptico una guía de onda (10) de placas paralelas (11, 12) que tienen dos extremos provistos respectivamente de una abertura (15) lineal radiante y de M_y puertos de acceso de haces (161, 162,..., 16k,...16M_y), de una lente (13) integrada en la guía de onda de placas paralelas, de unas bocinas internas (141, 142,..., 14k,...14M_y) distribuidas periódicamente lado a lado a lo largo de un eje focal de la lente (13), estando los puertos de acceso de haces (161, 162,..., 16k,...16M_y) asociados respectivamente a las bocinas internas (141, 142,..., 14k,...14M_y), siendo cada formador de haces cuasi-óptico adecuado para formar unos haces en dos bandas de frecuencias separadas, respectivamente, de emisión y de recepción, según una primera dirección espacial paralela al plano de las guías de onda de placas paralelas y, por otra parte,
- 10 - por al menos un formador de haces electrónico plano (201, 202, 203,...20N_x) que comprende N_y cadenas de control de fase y de amplitud y de un dispositivo de combinación (34) que comprende N_y entradas, conectadas respectivamente a las N_y cadenas de control de fase y de amplitud y al menos de una salida de haces, estando cada cadena de control de fase y de amplitud conectada a un puerto de acceso de haces respectivo de cada formador de haces cuasi-óptico, siendo el formador de haces electrónico adecuado para formar unos haces según una segunda dirección espacial, ortogonal a la primera dirección.
2. Arquitectura de antena según la reivindicación 1, **caracterizada porque** además comprende unos conmutadores (211, 212, 231, 232) adecuados para seleccionar, en cada formador de haces cuasi-óptico, un puerto de entre todos los puertos de acceso de haces disponibles, comprendiendo cada conmutador una entrada conectada a una cadena de control de fase y de amplitud del formador de haces electrónico y varias salidas conectadas respectivamente a varios puertos de acceso de haces respectivos del formador de haces cuasi-óptico correspondiente.
3. Arquitectura de antena según una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizada porque** los puertos de acceso de haces (161, 162,..., 16k,...16M) están constituidos por una primera fila de puertos de emisión (16k1) dispuestos lado a lado a lo largo del eje focal de la lente (13) y por una segunda fila de puertos de recepción (16k2) dispuestos lado a lado a lo largo del eje focal de la lente (13), estando la primera y segunda filas apiladas una encima de otra, siendo los puertos de emisión (16k1) y los puertos de recepción (16k2) distintos y de diferentes tamaños, estando cada puerto de emisión, respectivamente, de recepción, provisto de un filtro (181, 182) respectivo centrado en la banda de frecuencias de emisión, respectivamente, de recepción.
- 30 4. Arquitectura de antena según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada porque** las aberturas (15) lineales radiantes de los diferentes formadores de haces cuasi-ópticos están conectadas en red a un único radomo (70) parcialmente reflectante, común a todos los formadores de haces cuasi-ópticos, constanding el radomo (70) de una primera superficie (71) parcialmente reflectante dimensionada para la sub-banda de frecuencias de recepción y de una segunda superficie (72) parcialmente reflectante dimensionada para la sub-banda de frecuencias de emisión, estando las superficies parcialmente reflectantes, primera y segunda, dispuestas respectivamente a la salida de las aberturas lineales radiantes, a una distancia que corresponde a una longitud de onda central respectiva de las dos sub-bandas de frecuencias de emisión y de recepción.
- 35 5. Arquitectura de antena según una de las reivindicaciones 3 o 4, **caracterizada porque** el formador de haz híbrido comprende un formador de haces cuasi-óptico (101, 102) común a la emisión Tx y a la recepción Rx, dos formadores de haces electrónicos (201, 203), específicos, distintos, dedicados respectivamente a la emisión y a la recepción y unos conmutadores (211, 212, 231, 232) que comprenden diferentes posiciones respectivamente adecuados para seleccionar un puerto de acceso de haces de entre varios, conectando cada conmutador selectivamente, según su posición, una cadena de control de fase y de amplitud del formador de haces electrónico dedicado a la emisión, respectivamente, a la recepción, a uno de los puertos de emisión, respectivamente, de recepción, de cada formador de haces cuasi-óptico.
- 40 6. Arquitectura de antena según la reivindicación 5, **caracterizada porque** los puertos de acceso de haces, seleccionados por los conmutadores en todos los formadores de haces cuasi-ópticos apilados y conectados a un mismo formador de haces electrónico, tienen una dirección de orientación idéntica y cubren un sector geográfico idéntico.
- 45 7. Arquitectura de antena según la reivindicación 5, **caracterizada porque** una primera parte de los puertos de acceso de haces, seleccionados por los conmutadores en los formadores de haces cuasi-ópticos apilados, cubre un primer sector geográfico y una segunda parte de los puertos de acceso de haces, seleccionados por los conmutadores en los formadores de haces cuasi-ópticos apilados, cubre un segundo sector geográfico adyacente al primer sector geográfico.
- 50 8. Arquitectura de antena según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizada porque** el dispositivo de combinación (34) está constituido por un combinador/divisor que comprende N_x entradas conectadas respectivamente a las N_x cadenas de control de fase y de amplitud y una salida de haces.
- 55

9. Arquitectura de antena según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizada porque** el dispositivo de combinación (34) comprende una derivación (52) para escindir cada cadena de control de fase y de amplitud en varias vías (221a, 221b, 222a, 222b) diferentes, comprendiendo cada vía un desfasador (50a, 50b, 51a, 51b) dedicado.
- 5 10. Arquitectura de antena según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizada porque** el dispositivo de combinación (34) está constituido por un formador de haces cuasi-óptico de tecnología PCB que comprende Nx entradas conectadas respectivamente a las Nx cadenas de control de fase y de amplitud y varias salidas de haces.



TÉCNICA ANTERIOR

FIG.1

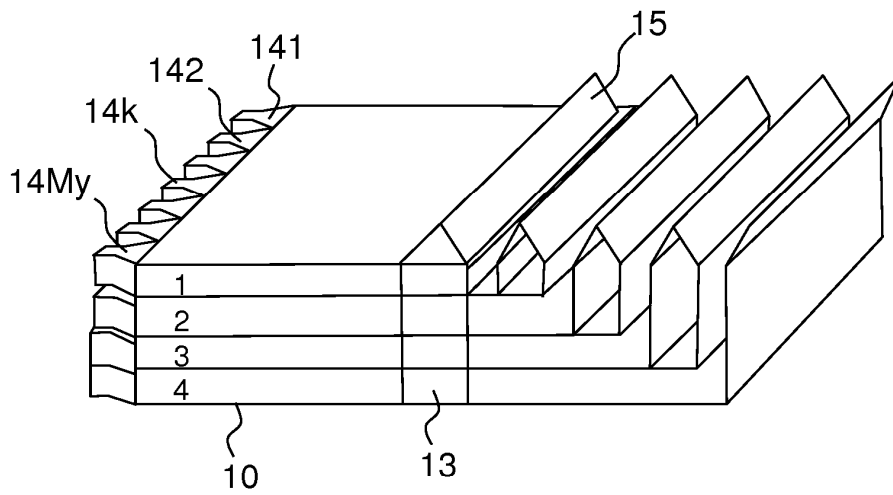


FIG.3

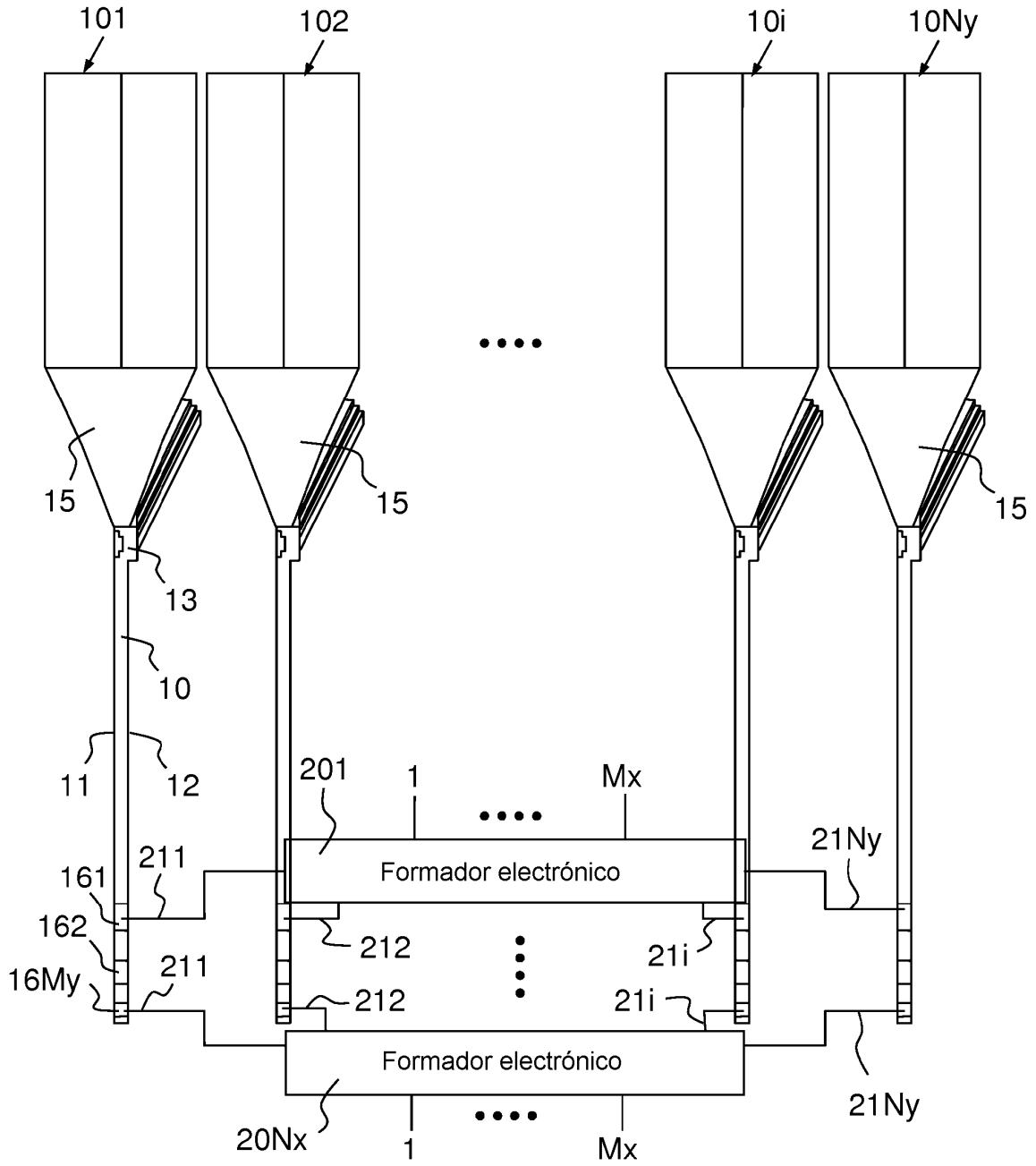


FIG.2

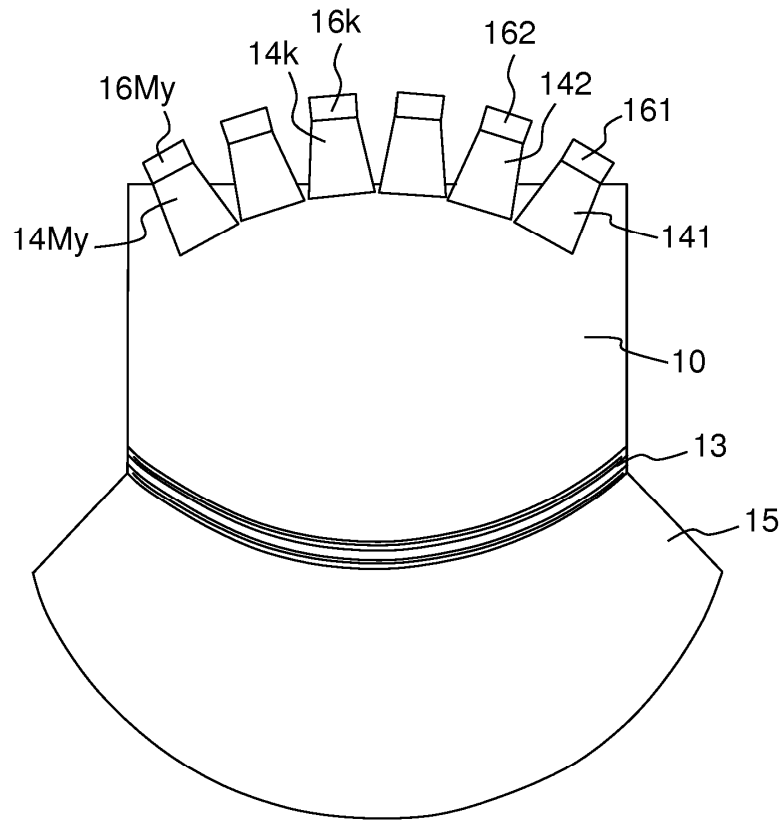


FIG.4

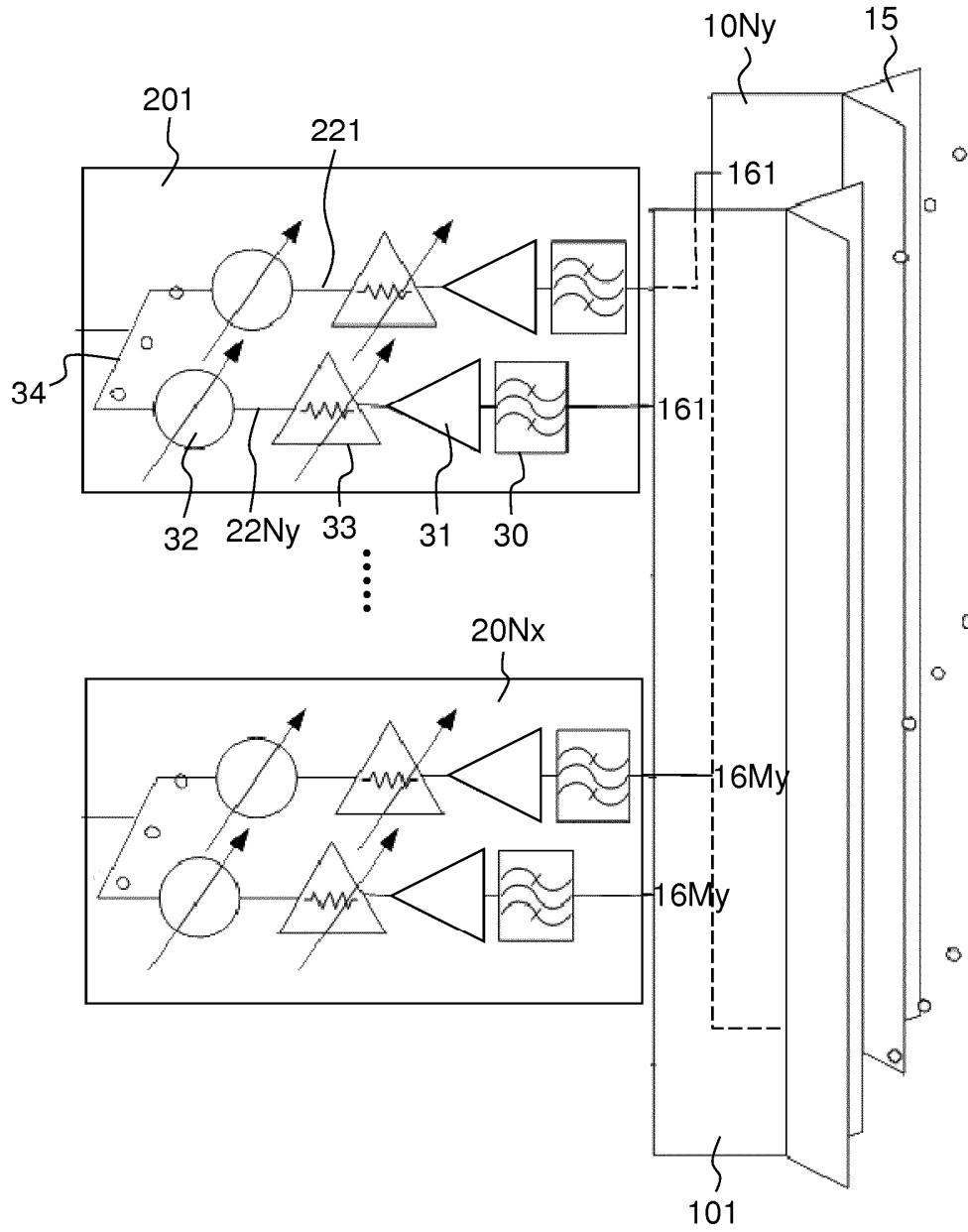


FIG.5

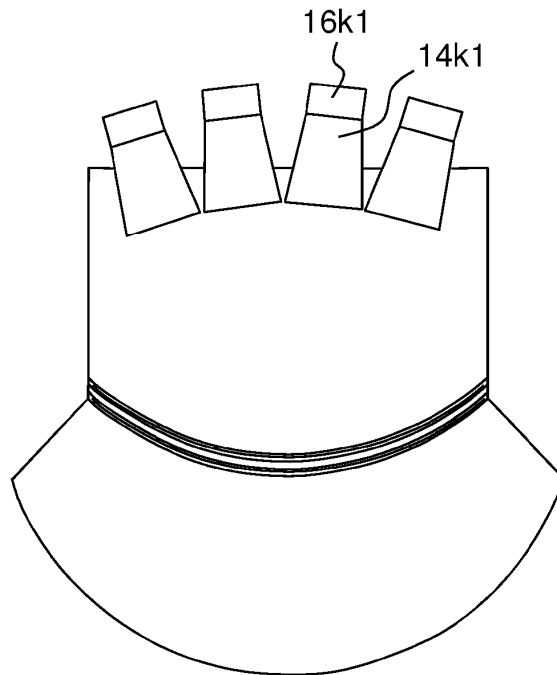


FIG. 6b

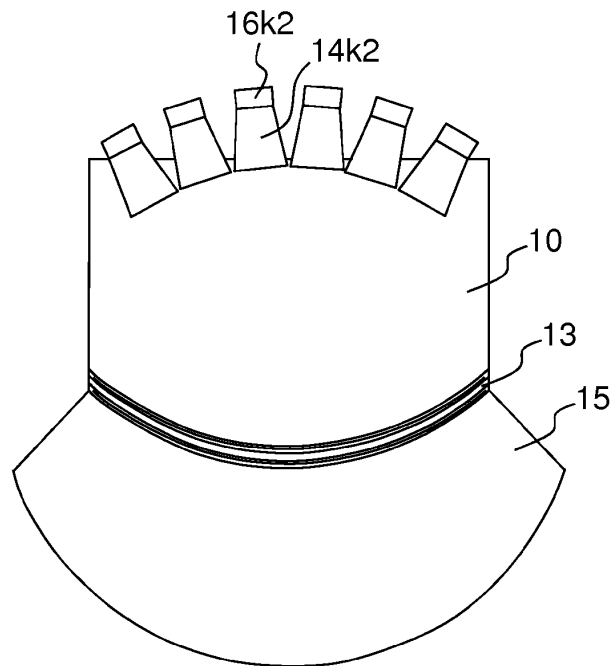


FIG. 6c

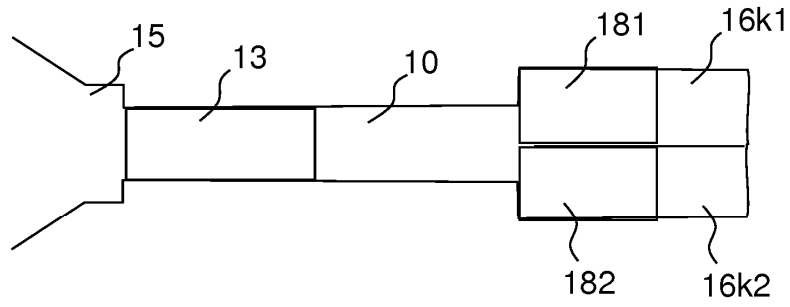


FIG. 6a

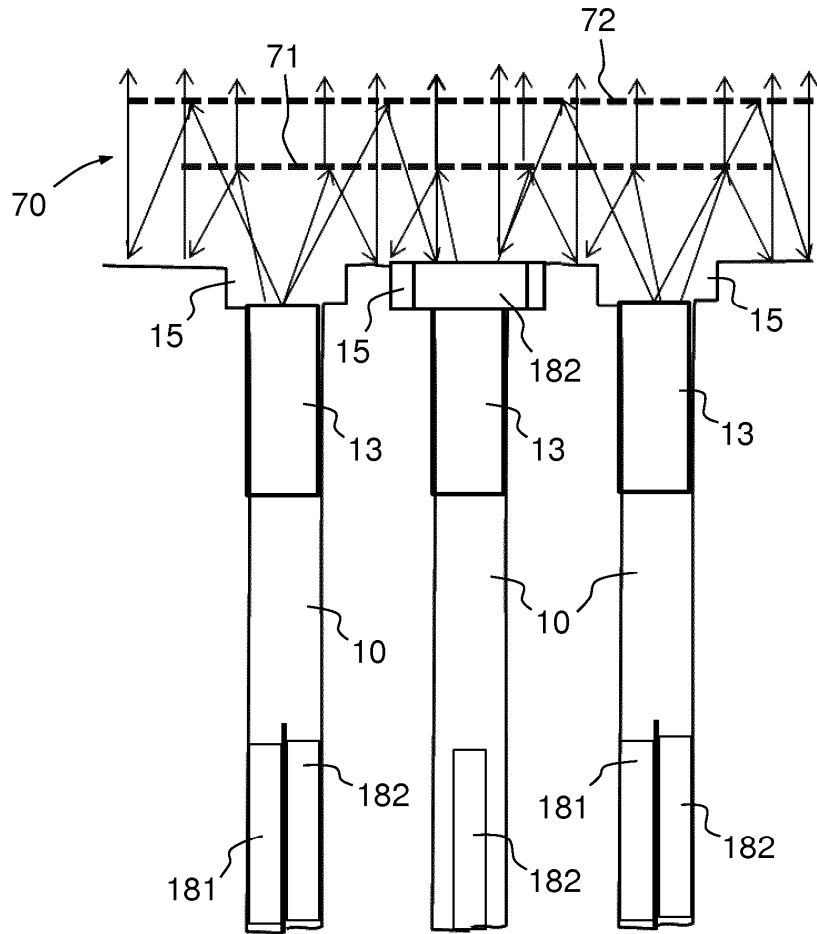


FIG. 7

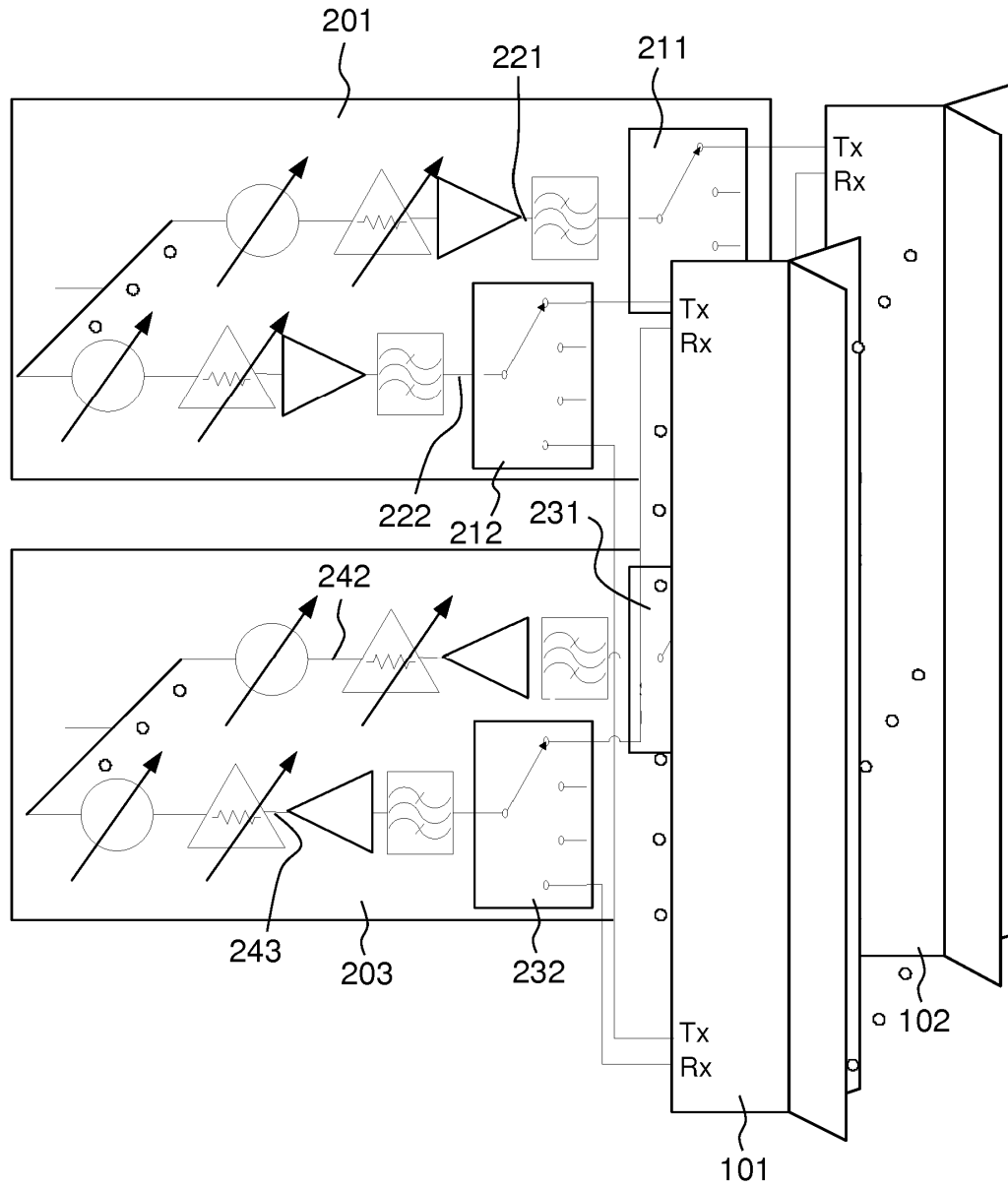


FIG.8a

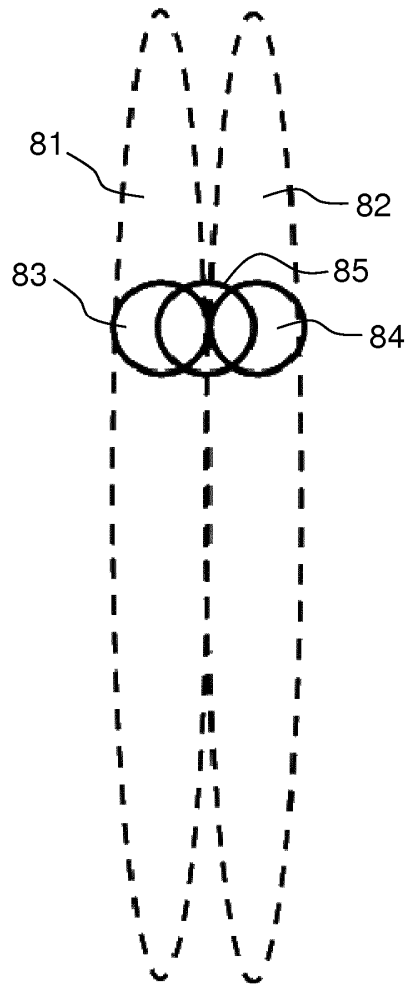


FIG.8b

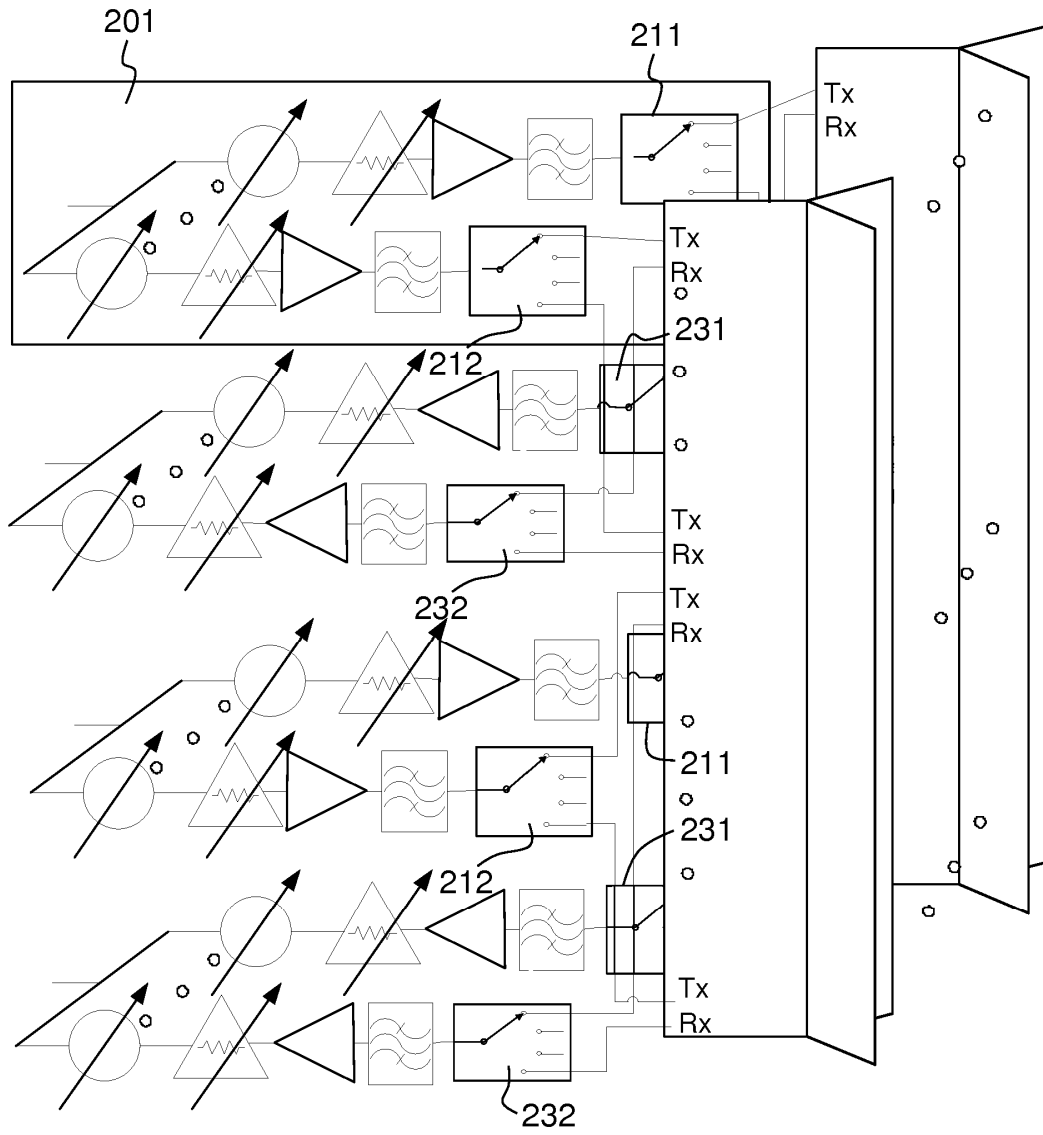


FIG.9

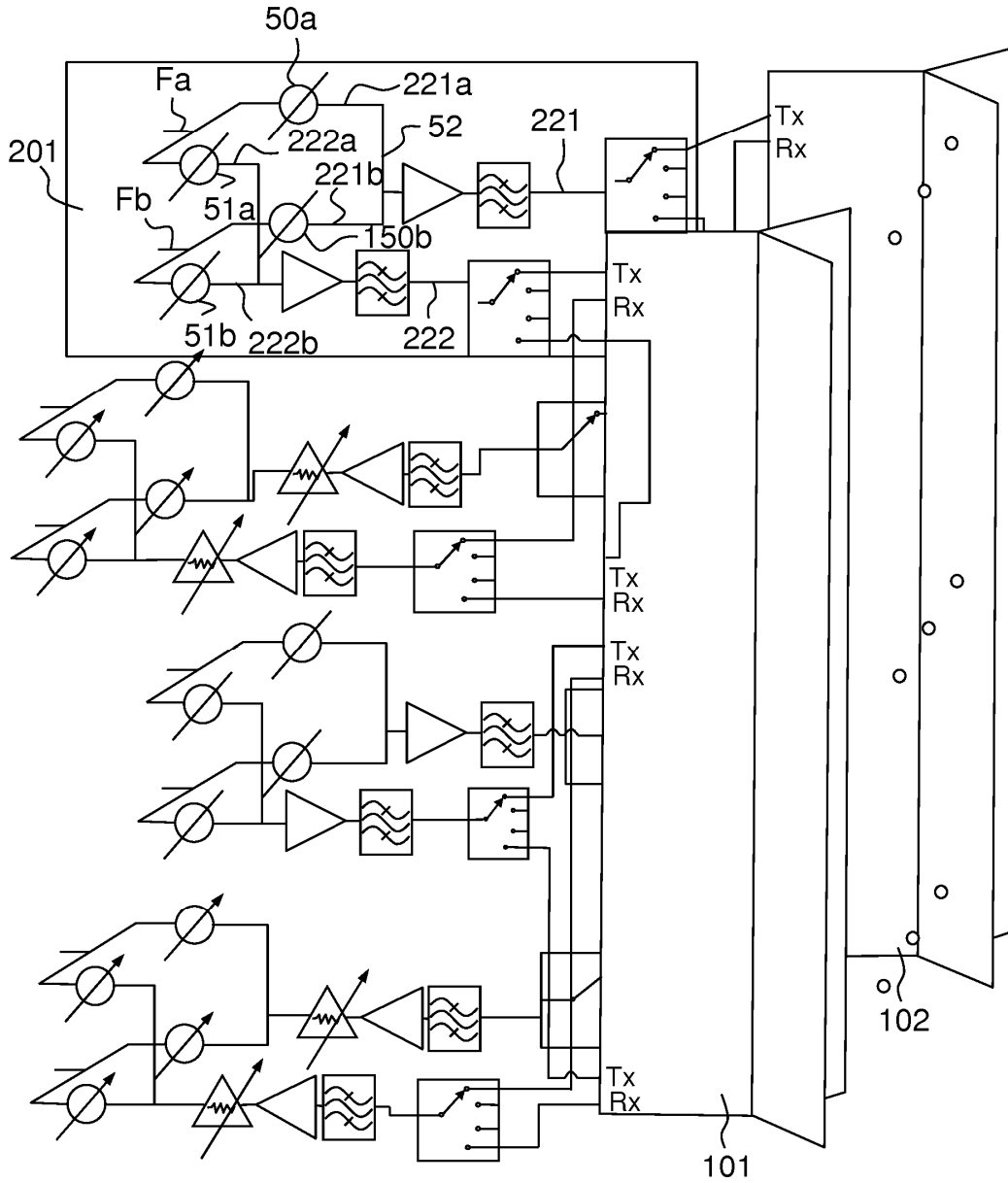


FIG.10

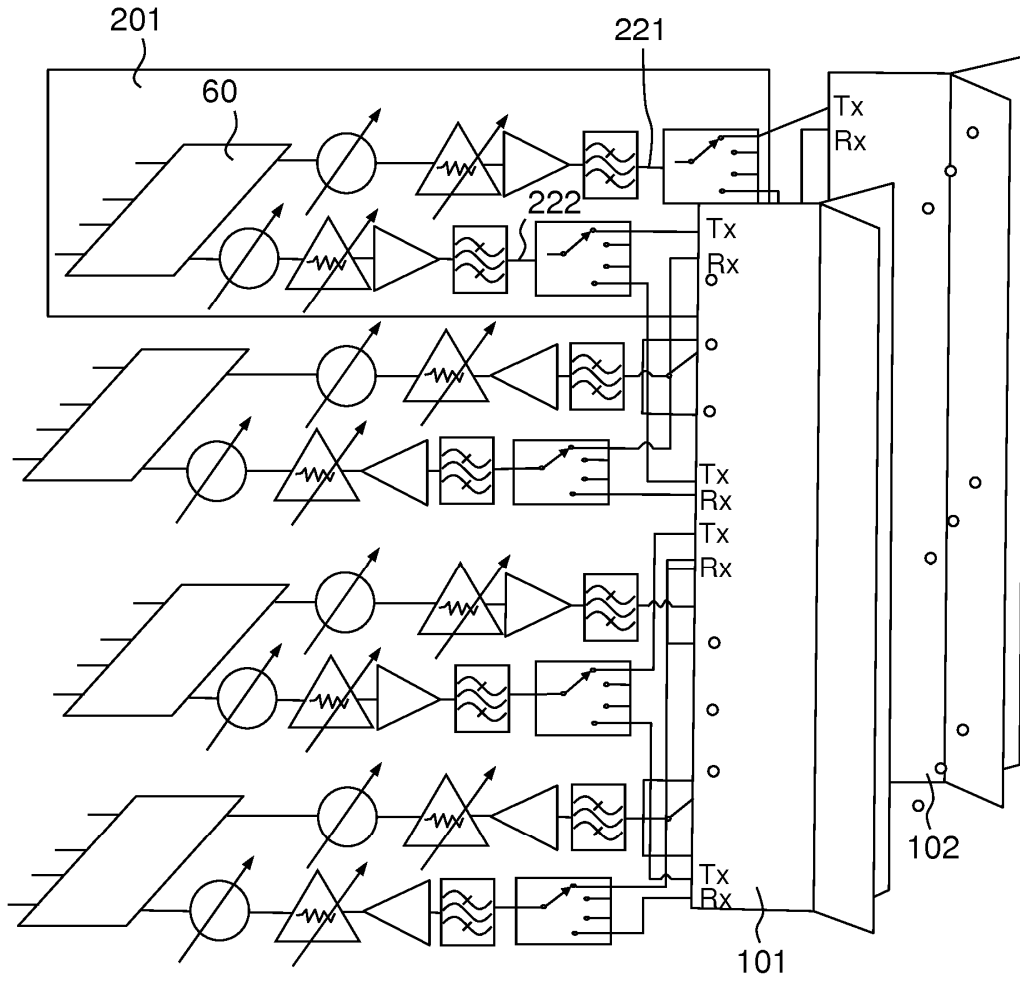


FIG.11