

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 755 897**

51 Int. Cl.:

**H01Q 1/28** (2006.01)  
**H01Q 19/06** (2006.01)  
**H01Q 19/18** (2006.01)  
**H01Q 19/19** (2006.01)  
**H01Q 21/08** (2006.01)  
**G06F 17/50** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2014** **E 14199874 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2019** **EP 2889954**

54 Título: **Procedimiento para definir la estructura de una antena en banda Ka**

30 Prioridad:

**23.12.2013 FR 1303066**

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

**24.04.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**BOUTIGNY, PIERRE;**  
**COLLIN, LAURENT y**  
**BEGUET, LAURENT**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 755 897 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

Procedimiento para definir la estructura de una antena en banda Ka

5 El objeto de la invención se refiere a un procedimiento para definir la estructura, las dimensiones, la geometría de una antena multi-foco plana funcionando en la banda Ka, de reducida altura correspondiente que permita su instalación bajo una cúpula en un portador, por ejemplo. La invención se utiliza principalmente para la definición de antenas que funcionan en la banda Ka utilizando varias fuentes de gran tamaño, superiores a la longitud de onda y dispuestas en una cúpula. La antena y su posicionador se disponen, por ejemplo, bajo una cúpula instalada sobre un avión del tipo de gran capacidad en el que la altura de la cúpula está limitada en general a 30 cm.

10 La banda Ka está en curso de despliegue para comunicaciones por satélite de alta velocidad. Se caracteriza por una frecuencia muy elevada, que induce dificultades de realización tecnológica, una separación de las frecuencias en emisión Tx, de aproximadamente 20 GHz y en recepción Rx, de aproximadamente 30 GHz, muy grande y una gran anchura de banda utilizable del orden de 2 GHz. Numerosas industrias desarrollan sistemas de antenas compatibles con aplicaciones móviles, ya sea terrestres, ya sea aeronáuticas.

15 La utilización de parábolas en los sistemas de comunicación no conviene para las móviles porque su altura es excesiva, lo que provoca restricciones en los desplazamientos, imposibilidades de utilización cuando estos sistemas salen fuera del contorno, etc. Por otra parte, en el campo de las comunicaciones por satélite de alta velocidad, es importante el entorno normativo. La densidad de potencia emitida fuera del eje está reglamentada con el fin de evitar interferir a otros satélites. Esto impone a la antena tener un diagrama con unos lóbulos secundarios o de red bajos.

20 La mayor parte de las soluciones desarrolladas por la técnica anterior son imperfectas y presentan en general elevaciones de lóbulos secundarios en ciertas direcciones. Estas soluciones se basan en redes densas de fuentes, pero la frecuencia muy elevada de la banda Ka, emisión a 30 GHz, impone compromisos en términos de densidad de las fuentes. Una de las soluciones ofrecidas se basa en una red al tresbolillo más fácil de construir pero que presenta importantes lóbulos de red.

25 En la técnica anterior conocida por el presente solicitante, las antenas utilizadas funcionan en la banda Ku. En la banda Ku, se utilizan dos tipos de soluciones para realizar dichas antenas.

30 Un primer tipo es el tipo A, tal como se describe en la solicitud de patente US 2011/0267250 en la que las redes densas de fuentes elementales son de tipo bocina o ranura. El segundo tipo de solución es el tipo B en el que las redes se basan en unas fuentes de gran tamaño, por ejemplo según la patente US 6.563.473. Para evitar la presencia de lóbulos de red, la distancia entre las fuentes elementales debe ser inferior a la longitud de onda, por ejemplo 1 cm en la banda Ka. Esta condición es suficiente pero no necesaria. Es necesario generalmente, además, que la densidad de potencia en toda la superficie de la apertura de la antena corresponda a unas leyes matemáticas precisas y se puede utilizar para esto, por ejemplo, una ley uniforme que no dará lóbulos de red.

Las soluciones de tipo A son aplicaciones complejas y costosas en banda Ka porque:

- 35 • el paso de red de 1 cm deja muy poco lugar para realizar las funciones,
- el número de fuentes es muy elevado (1408) para una antena típica de 22 cm por 64 cm,
- la desviación de 10 GHz entre la frecuencia de TX y RX así como la anchura de banda de 2 GHz impone soluciones de banda muy ancha (banda relativa del 30 %).

Las soluciones de tipo B son más simples de realizar porque incluyen menos fuentes. Como la desviación entre fuentes es superior a la longitud de onda, la presencia de lóbulos de red está generalmente admitida.

40 La patente US 6.563.473 describe un sistema de antenas que trabajan la banda Ku cuya banda de frecuencia es dos veces menor y en la que la desviación entre fuentes es irregular para dos o más de dos fuentes.

La solicitud de patente US 2011/0267250 presenta una solución que consiste en aproximar las fuentes truncando los reflectores de manera asimétrica. Esta solución funciona con dos fuentes.

45 El documento de Strickland titulado "contiguous paraboloid arrays for mobile satellite communications", 2002 DIGEST, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 16-21 de junio de 2002, XP010592527, divulga una antena de dos elementos para la función "full-duplex" y una antena de cuatro elementos para la que los lóbulos secundarios no están controlados. Este documento indica que la versión "half-duplex" tiene unos lóbulos secundarios a -10 dB, no estando controlada la concepción de la antena. Por otra parte, la banda Ku de funcionamiento para esta antena es más fácil de gestionar en modo "full-duplex".

50 La patente CA 385262 describe la puesta en fase de una red de antenas así como la posibilidad de apuntar ligeramente el haz ajustando las fases de excitación de los elementos. Se indica también la separación óptima entre antenas que permite limitar los lóbulos de red. No hay ninguna indicación sobre el tipo de antena elemental a utilizar así como sobre su optimización para tener una ganancia "Gumbra!" así como una forma de reflector que permita limitar la amplitud de los lóbulos secundarios.

La patente US 6268835 describe una red de reflectores (2D) controlados en fase/amplitud con el fin de poder ajustar ligeramente la dirección del haz. No se describe ninguna optimización de la forma de los reflectores.

La técnica anterior conocida por el presente solicitante no describe antenas de lóbulos reducidos que posean más de dos fuentes.

- 5 Uno de los objetivos de la presente invención es proporcionar una antena de tipo B antes mencionada de lóbulos secundarios reducidos que posea al menos dos fuentes, en la que las fuentes estén repartidas de manera regular y los reflectores tengan formas adaptadas, obtenidas mediante la implementación de un algoritmo específico, siendo iluminados los reflectores por unas fuentes constituidas por una única pieza. La antena obtenida ofrecerá una ganancia próxima a cero en la dirección de los lóbulos de red, de modo que estos serán tan bajos como sea posible.
- 10 El objeto se refiere a un procedimiento para determinar la geometría de una antena de red multi-foco plana para la banda Ka que comprende al menos dos elementos de antena, comprendiendo cada elemento de antena un reflector y un sub-reflector, alimentando al menos una fuente dichos elementos de antena, estando el procedimiento caracterizado porque incluye al menos las siguientes etapas:
- definir un valor de umbral  $G_{\text{umbral}}$  de ganancia de la antena,
  - 15 • representar la superficie del sub-reflector y la superficie del reflector mediante un conjunto de puntos  $(X_S, Z_S)$  para el sub-reflector y  $(X_{SR}, Z_{SR})$  para el reflector,
  - generar a partir de un módulo de simulación electromagnética adaptado un conjunto de pares de valores  $\{(\theta_1, G_1) \dots (\theta_n, G_n)\}$  correspondientes a la dirección de radiación y a la ganancia de la antena, para cada elemento de antena y para cada conjunto de puntos elegidos para representar la superficie del sub-reflector y del reflector según una posición de la fuente,
  - 20 • determinar para cada par de valores y del diagrama de una fuente elemental considerada, el valor de la ganancia máxima de la antena en la dirección de los lóbulos de red,
  - comparar el valor de la ganancia máxima obtenida y, si este valor es superior a un valor de umbral, entonces hacer variar al menos uno de los parámetros  $(X_{SR}, Z_{SR})$  para el sub-reflector y  $(X_R, Z_R)$  para el reflector,
  - 25 • determinar la forma de la antena a partir de los puntos que verifican los valores de umbral.

Según una variante de realización, se utiliza un reflector que tenga una revolución alrededor de un eje z para definir los puntos que verifican los valores de umbral y que definen la antena, posteriormente se ejecuta una etapa en la que se truncan los reflectores a una anchura correspondiente a la distancia entre dos fuentes consideradas según un eje y.

- 30 El procedimiento puede incluir también las siguientes etapas, se sitúan cuatro alimentaciones sobre una pieza que contiene el reflector principal multi-foco, cuatro sub-reflectores fijados a cada alimentación por medio de una pieza de sujeción, dos combinadores que alimentan en polarización circular derecha o circular izquierda un puerto de 20/30 GHz en polarización LHCP, un puerto de 20/30 GHz en polarización RHCP y una fibra de diplexor por puerto con el fin de obtener dos entradas de emisión Tx para dos polarizaciones.
- 35 Según un modo de realización, se truncan a una anchura D correspondiente a la distancia entre dos fuentes consideradas según un eje y a los reflectores de revolución alrededor de un eje z.

Otras características y ventajas del dispositivo según la invención surgirán mejor con la lectura de la descripción que sigue de un ejemplo de realización dado a título ilustrativo y en ningún caso limitativo adjunto de las figuras que representan:

- 40 • la figura 1, una representación de la formación de lóbulos de red,
- la figura 2, un ejemplo dado para una antena de cuatro elementos,
- la figura 3, una vista de la antena de la figura 2,
- la figura 4, una representación de puntos de control para la definición del sub-reflector,
- la figura 5, una definición de una fuente elemental después de la ejecución del procedimiento según la invención,
- 45 • las figuras 6 y 7, el diagrama de emisión obtenido en el plano H y el plano V,
- la figura 8, una variante de realización de la antena de la figura 2,
- la figura 9 y la figura 10, un esquema que muestra la conexión de los elementos de antena.

- Con el fin de comprender mejor el objeto de la invención, se da la descripción detallada en el caso de una antena que comprende cuatro elementos de fuente. La figura 1 esquematiza la dirección  $\theta$  de la radiación de una fuente en una red de N fuentes  $E_i$  separadas por una distancia D. Una red de ese tipo generará lóbulos de red en los que las posiciones angulares vienen dadas por:
- 50

$$\text{sen } \theta = N \lambda / D$$

N: entero > 0  
 $\lambda$ : longitud de onda

D: distancia entre fuentes

Por ejemplo, para una frecuencia  $G = 30$  GHz y una distancia  $D$  de 16 cm, los primeros lóbulos de red son múltiplos de  $3,6^\circ$ . La amplitud de estos lóbulos se determina por la ganancia de la fuente elemental en la dirección del lóbulo de red, es decir en las direcciones de  $3,6^\circ, 7,2^\circ, 10,8^\circ$  en este ejemplo de realización.

5 La figura 2 y la figura 3 esquematizan un ejemplo de sistema de antenas  $A$  que comprende cuatro elementos  $A_1, A_2, A_3, A_4$ . Un elemento  $A_i$  está constituido principalmente por una fuente  $E_i$ , un reflector  $R_i$  de onda que iluminará un satélite en el infinito, un sub-reflector  $SR_i$  cuya función es iluminar el reflector.

10 Los elementos de antena  $A_i$  están constituidos, por ejemplo, por antenas de reflectores  $R_i$  cuya parte de excitación está formada por un elemento radiante  $E_i$  de bipolarización en polarización circular izquierda o LHCP por left hand circular polarization y polarización circular derecha o RHCP por right hand circular polarization de dos puertos, como se representa en la figura 2.

Cada conjunto de puertos de la misma polarización se conecta, por ejemplo, mediante un distribuidor  $21$  en guía de ondas para formar el puerto general de la antena  $A$ . De ese modo hay dos puertos principales: un puerto de polarización izquierda LHCP y un puerto de polarización derecha RHCP.

15 El procedimiento según la invención tiene principalmente por objetivo generar una geometría de antena y su antena de dimensiones definidas que permitirá obtener una ganancia  $G$  próxima a 0 en la dirección de los lóbulos de red. La ganancia de la fuente disminuirá en las direcciones deseadas.

Se representará la geometría de las superficies de un elemento de antena  $A_i$  mediante pares de puntos en un diagrama  $X, Z$  (figura 5).

20 Una fuente  $E_i$  se define mediante un punto elemental  $P$ . Se define un conjunto de puntos  $(X_{SR}, Z_{SR})$  llamados puntos de control para un sub-reflector  $SR$  y un conjunto de puntos  $(X_R, Z_R)$  de control para un reflector  $R$ .

25 Se inyectan estos puntos elegidos en un software de simulación electromagnética con el fin de obtener un archivo que contenga los pares de valores  $(\theta, G)$ , correspondientes a la dirección de la radiación y a la ganancia de la antena. Se obtiene un conjunto de pares  $\{(\theta_1, G_1) \dots (\theta_n, G_n)\}$  para cada par del conjunto de puntos seleccionados, esto para los puntos de control relativos al sub-reflector y para los puntos de control para los reflectores.

30 En función del ángulo de apuntado y del diagrama de la fuente elemental, se buscará la ganancia máxima posible. Para ello, se utiliza un software adaptado para determinar la posición de los puntos de modelización antes mencionados que permita anular la ganancia de la fuente en las direcciones deseadas. Se busca optimizar el diagrama de radiación de una fuente con el fin de que la ganancia de la fuente sea reducida en las direcciones de los lóbulos de red. Para ello, se optimizará la posición de cada punto fijado previamente para definir la forma del sub-reflector y la forma del reflector para una posición  $P$  dada de la fuente.

En función de un ángulo  $\theta$  de apuntado, se conoce el diagrama de radiación de la fuente elemental. Se calcula la ganancia máxima de la fuente, se la compara con un valor de umbral  $G_{umbral}$  y si la ganancia sobrepasa este valor de umbral, entonces se hace variar uno de los parámetros  $(X_{SR}, Z_{SR})$  para el sub-reflector y/o  $(X_R, Z_R)$  para el reflector.

35 Los lóbulos secundarios estarán presentes pero reducidos porque la ganancia de cada fuente elemental será reducida en la dirección considerada.

En el ejemplo dado, las variables optimizadas son:

zboquina	posición de la bocina o fuente
$Z_{SR1} \dots Z_{SR7}$	7 puntos de control en $Z$ para el sub-reflector
$Z_{R1} \dots Z_{R4}$	4 puntos de control en $Z$ para el reflector principal

40 Los reflectores son de revolución alrededor del eje  $z$ , posteriormente truncados a la anchura  $D$  (distancia entre dos fuentes) sobre el eje  $y$ . Se obtienen así después de la optimización de la geometría de un elemento de antena, unas formas para los reflectores y los sub-reflectores, que se alejan notablemente de las geometrías convencionales, principalmente la del sub-reflector que presenta ondulaciones marcadas representadas en la figura 5 para los puntos de control elegidos, según la figura 4.

45 Las figuras 6 y 7 muestran los resultados obtenidos para una antena de cuatro fuentes o elementos de antena de tamaño global de 64 cm (plano  $H$ ) por 22 cm (plano  $V$ ). Se hace notar que los lóbulos de la red no aparecen en el plano  $H$ . En el plano  $V$  el diagrama es mayor porque la antena es de tamaño más reducido (22 cm).

A partir del diagrama obtenido para el primer elemento de antena, se deducen los otros diagramas para los otros tres elementos de antena.

Se verifica a continuación que el conjunto del sistema constituido por los cuatro elementos de antena posee una ganancia que es superior a un valor de ganancia mínimo  $G_{\min}$  para un ángulo de apuntado de  $0^\circ$  en el eje de la antena e inferior a un valor  $G_a$  para un ángulo dado, esto para varios valores de ángulo que se habrán elegido anticipadamente según un procedimiento conocido para el experto en la materia.

- 5 Según una variante de realización, con el fin de mejorar los rendimientos de la antena, es posible insertar unas carcasas entre cada fuente. Esto permite evitar la iluminación de una fuente por otra fuente y mejora los lóbulos difundidos.

- 10 Según otra variante de realización la primera fuente y la segunda fuente de la red presentan unos bordes redondeados sobre la parte que no está en contacto con las otras fuentes de la red. Esto permite principalmente una ponderación menos abrupta sobre los bordes y mejora el diagrama de radiación.

Al ser de reducido tamaño la fuente elemental de la antena, en ciertos casos, del orden de 16 cm por 22 cm, se utilizará una fuente de las ondas, más conocido bajo el término anglosajón por "feed", de pequeño tamaño con el fin de iluminar el reflector.

- 15 La fuente de las ondas utilizadas se realiza, por ejemplo, de una única pieza mecánica. Las funciones de esta pieza son principalmente las siguientes: dos puertos de banda ancha de 20 GHz y 30 GHz para dos polarizaciones circulares, una lámina de polarización circular, una bocina corrugada que permite iluminar el sub-reflector, unas fijaciones para montaje de un soporte del sub-reflector y para fijar el feed a la parte trasera de la antena.

- 20 La figura 9 esquematiza un ejemplo de ensamblaje de la parte radiante de la antena. La antena se obtiene en este ejemplo montando cuatro alimentaciones o feed 92 sobre la pieza 93 que contiene el reflector 94 principal multi-foco. Los cuatro sub-reflectores  $SR_1$ ,  $SR_2$ ,  $SR_3$ ,  $SR_4$  se fijan a cada feed por medio de una pieza de sujeción 97 en epoxi, por ejemplo. Se obtienen sobre la cara posterior de la antena ocho puertos, es decir cuatro para cada polarización. La figura 10 esquematiza la cara posterior de la antena. Cada grupo de cuatro puertos se conecta, por ejemplo, por un combinador obtenido por mecanizado en una placa engrosada cerrada por una cubierta 105 (figura 10) soldada. Utilizando dos combinadores 103, 104 para alimentar en polarización circular derecha o izquierda, se obtienen los dos puertos principales de la antena:

- un puerto de 20/30 GHz en polarización LHCP, 96,
  - un puerto de 20/30 GHz en polarización RHCP, 95.
- Utilizando dos filtros diplexores, uno por puerto, se pueden obtener finalmente:
- dos puertos de emisión Tx (20 GHz) para dos polarizaciones,
  - dos puertos de recepción Rx (30 GHz) para dos polarizaciones.

- 30 El procedimiento y la antena obtenidos mediante la implementación del procedimiento presentan principalmente las siguientes ventajas:

- una antena de reducido coste y banda ancha para el proyector de ondas siendo fácilmente realizables los reflectores y el bloque de alimentación monobloque con reducido coste de ensamblaje,
- una emisión y una recepción simultáneas,
- la elección de las polarizaciones en emisión y recepción,
- un funcionamiento en la cobertura Ka civil y militar,
- una posibilidad de aislar el reflector multi-foco mediante unas carcasas.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para determinar la geometría de una antena de red multi-foco plana para la banda Ka que comprende al menos dos elementos de antena, comprendiendo cada elemento de antena un reflector y un sub-reflector, al menos una fuente que alimenta dichos elementos de antena, estando el procedimiento **caracterizado porque** incluye al menos las siguientes etapas:
- definir un valor de umbral G<sub>umbral</sub> de ganancia de la antena,
  - representar la superficie del sub-reflector y la superficie del reflector mediante un conjunto de puntos (X<sub>S</sub>, Z<sub>S</sub>) para el sub-reflector y (X<sub>SR</sub>, Z<sub>SR</sub>) para el reflector,
  - 10 • generar a partir de un módulo de simulación electromagnética adaptado un conjunto de pares de valores {(θ<sub>1</sub>, G<sub>1</sub>) ... (θ<sub>n</sub>, G<sub>n</sub>)} correspondientes a la dirección de radiación y a la ganancia de la antena, para cada elemento de antena y para cada conjunto de puntos elegidos para representar la superficie del sub-reflector y del reflector según una posición de la fuente,
  - determinar para cada par de valores y del diagrama de una fuente elemental considerada, el valor de la ganancia máxima de la antena en la dirección de los lóbulos de red,
  - 15 • comparar el valor de la ganancia máxima obtenida y, si este valor es superior a un valor de umbral, entonces hacer variar al menos uno de los parámetros (X<sub>SR</sub>, Z<sub>SR</sub>) para el sub-reflector y (X<sub>R</sub>, Z<sub>R</sub>) para el reflector,
  - determinar la forma de la antena a partir de los puntos que verifican los valores de umbral.
2. Procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado porque** se utilizan dos polarizaciones circulares.
- 20 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 2 **caracterizado porque** se utiliza un reflector que tiene una revolución alrededor de un eje z para definir los puntos que verifican los valores de umbral y que definen la antena, posteriormente se ejecuta una etapa en la que se truncan los reflectores a una anchura D correspondiente a la distancia entre dos fuentes consideradas según un eje y.
- 25 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3 **caracterizado porque** incluye las siguientes etapas: se sitúan cuatro alimentaciones (92) sobre una pieza (93) que contiene el reflector (94) principal multi-foco, cuatro sub-reflectores (SR1, SR2, SR3, SR4) fijados a cada alimentación (92) por medio de una pieza (97) de sujeción, dos combinadores (103, 104) que alimentan en polarización circular derecha o circular izquierda un puerto (96) de 20/30 GHz en polarización LHCP, un puerto (95) de 20/30 GHz en polarización RHCP y un filtro diplexor por puerto con el fin de obtener dos puertos de emisión Tx (20 GHz) para dos polarizaciones.
- 30 5. Procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado porque** los reflectores obtenidos son de revolución alrededor de un eje z y **porque** se truncan a una anchura D correspondiente a la distancia entre dos fuentes consideradas según un eje y.

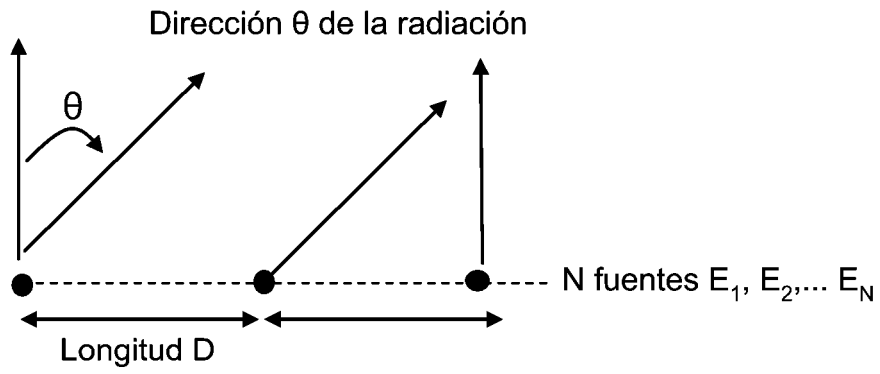


FIG.1

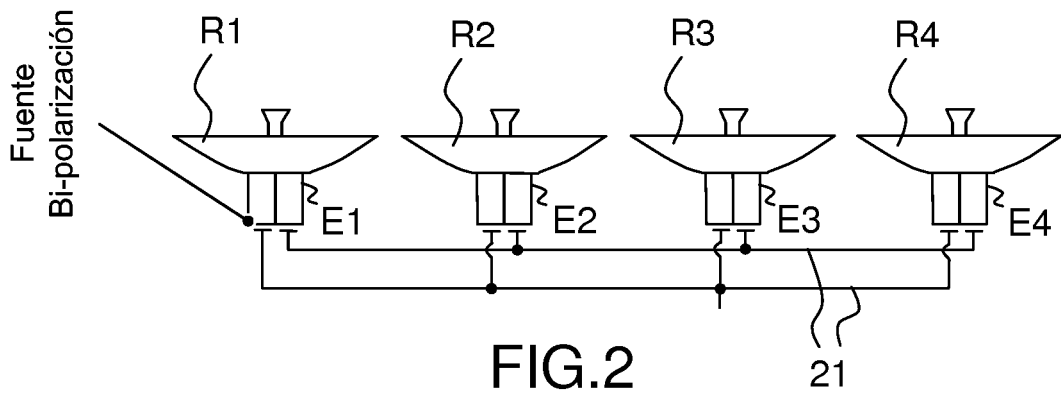


FIG.2

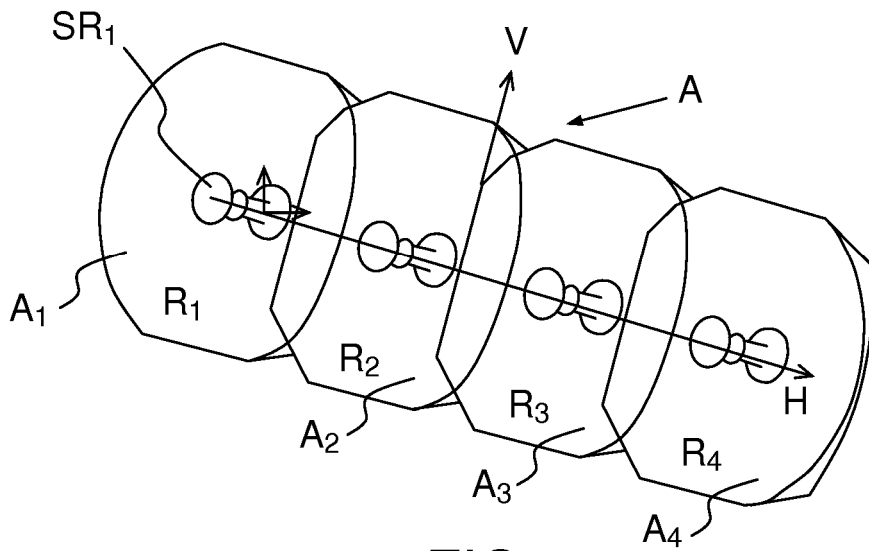


FIG.3

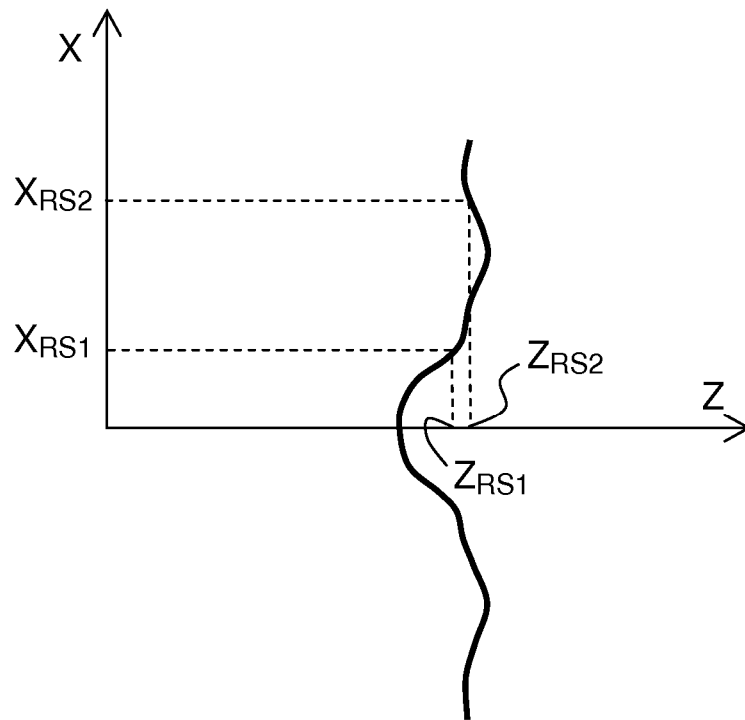


FIG.4



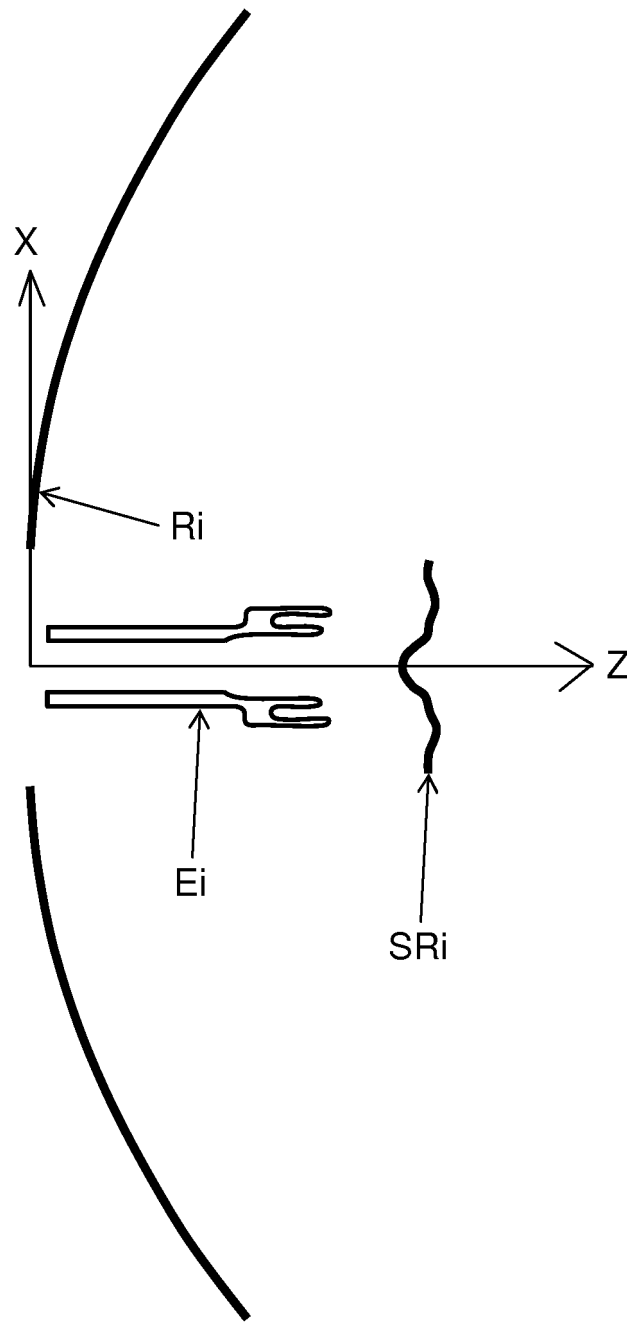


FIG.5

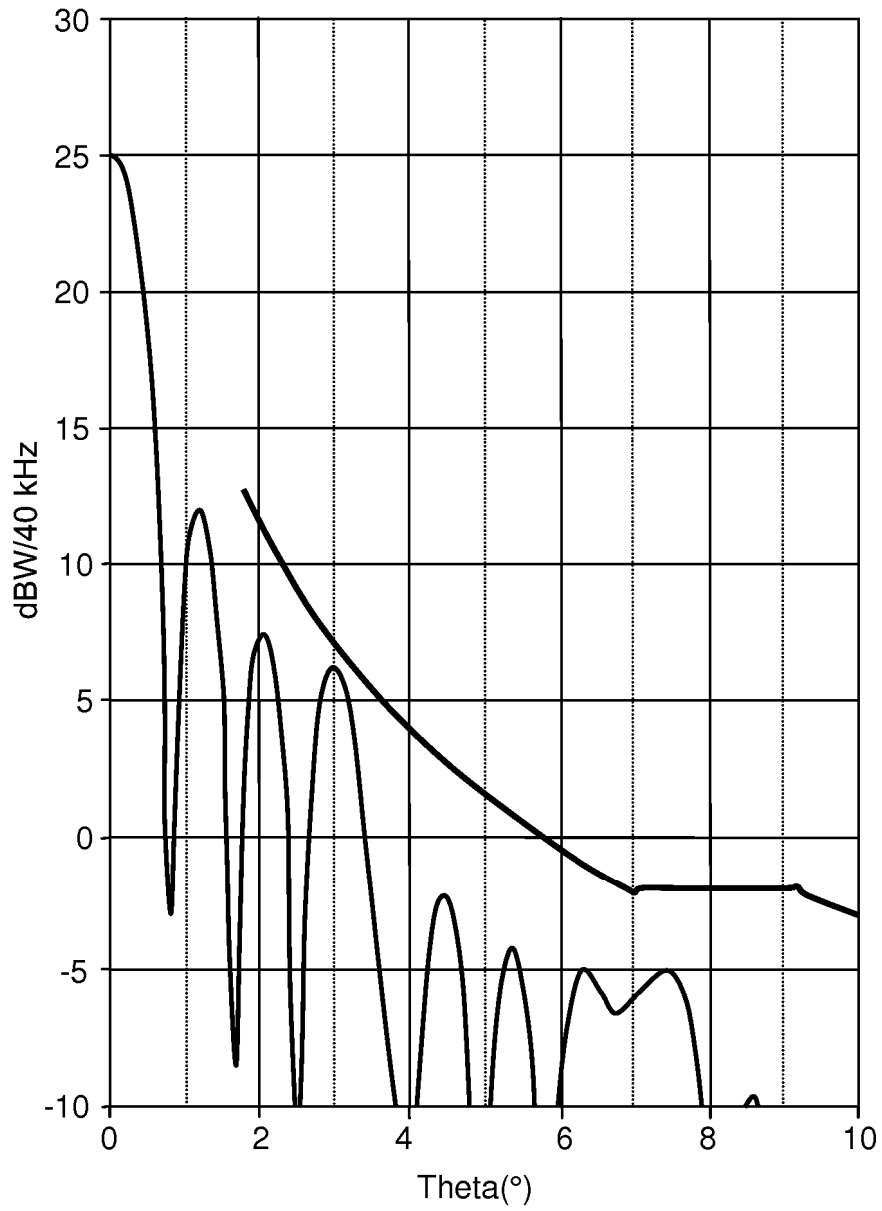


FIG.6

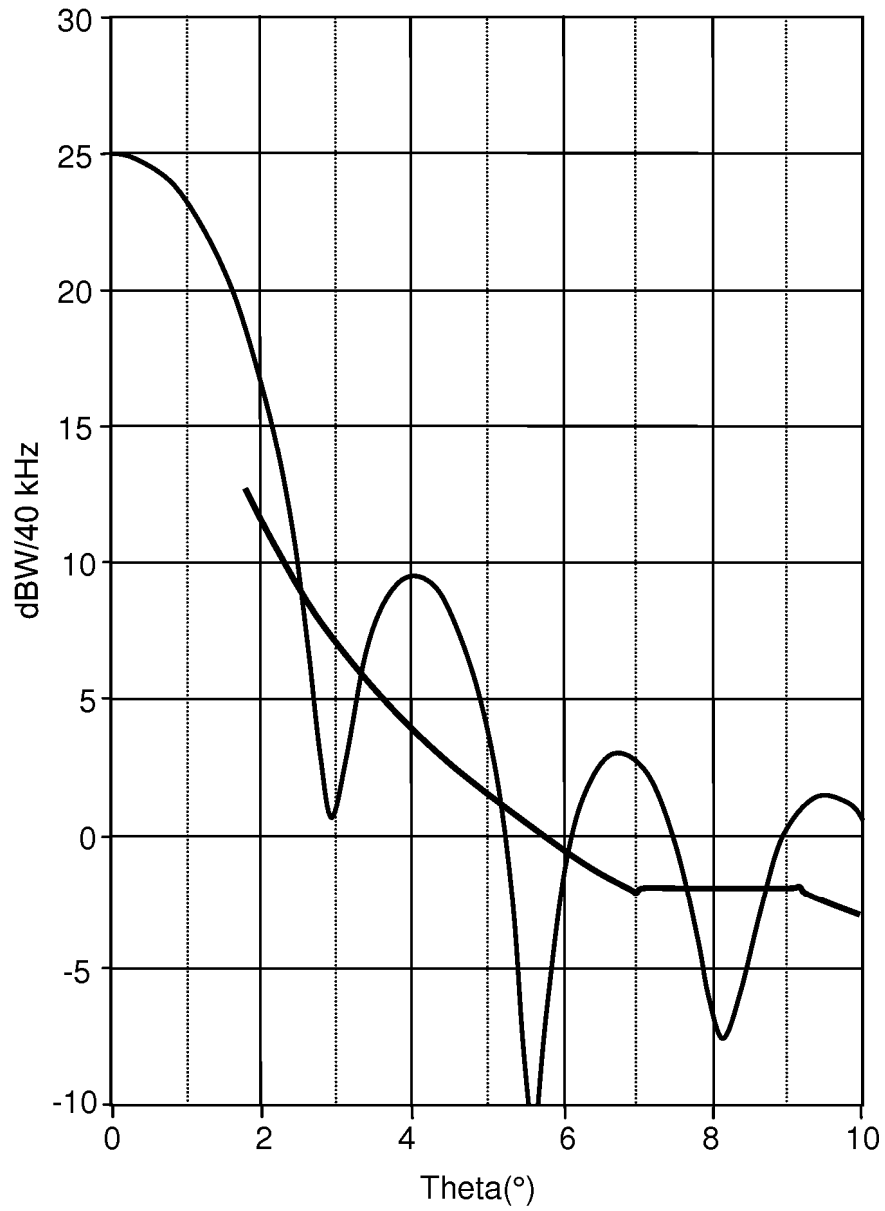


FIG.7

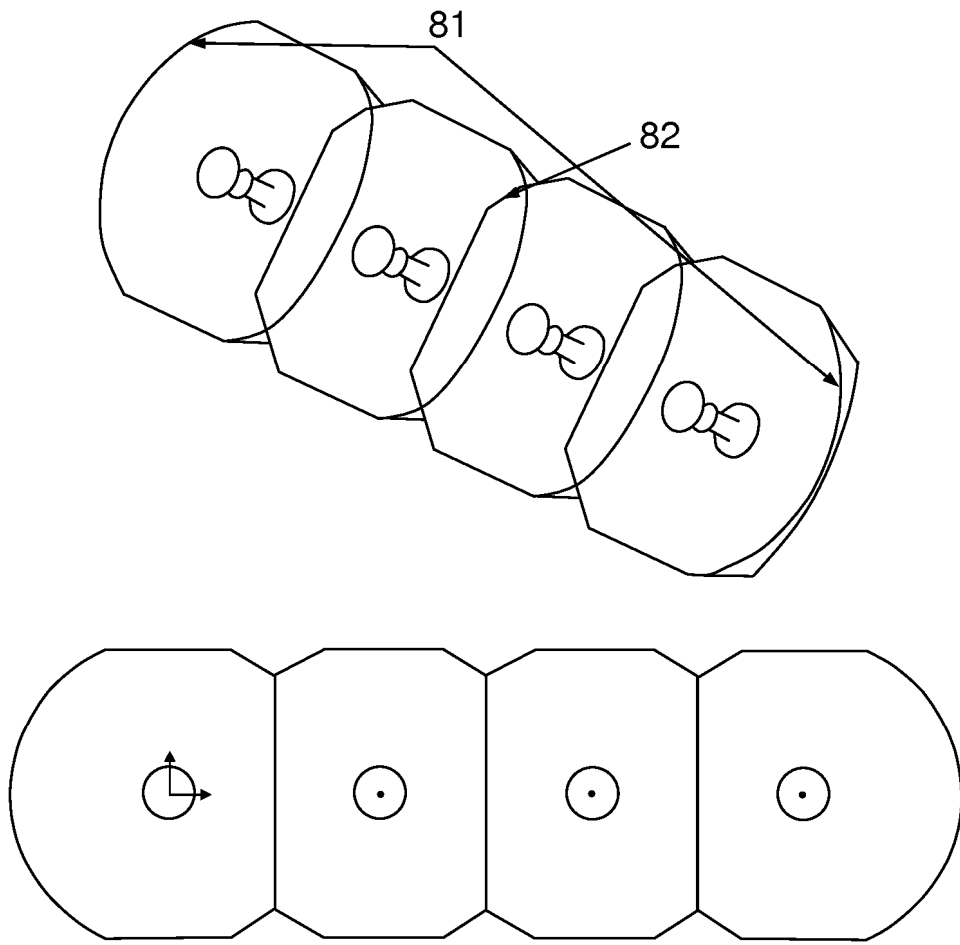


FIG.8

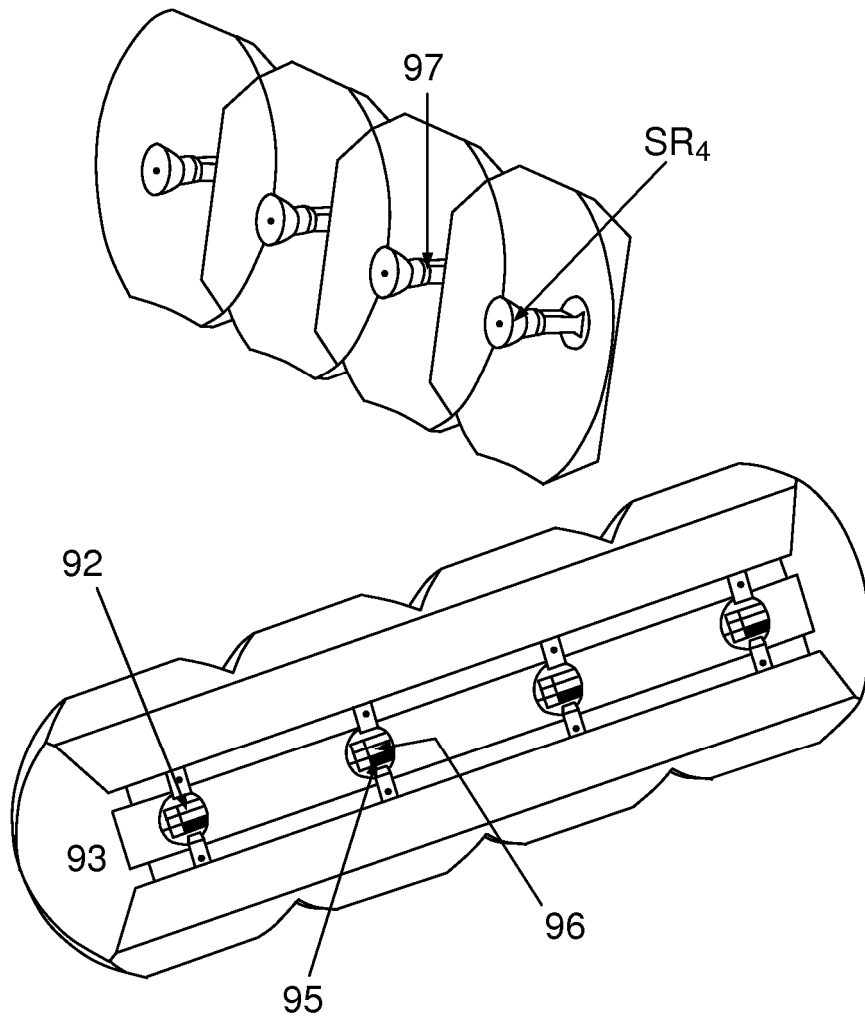


FIG.9

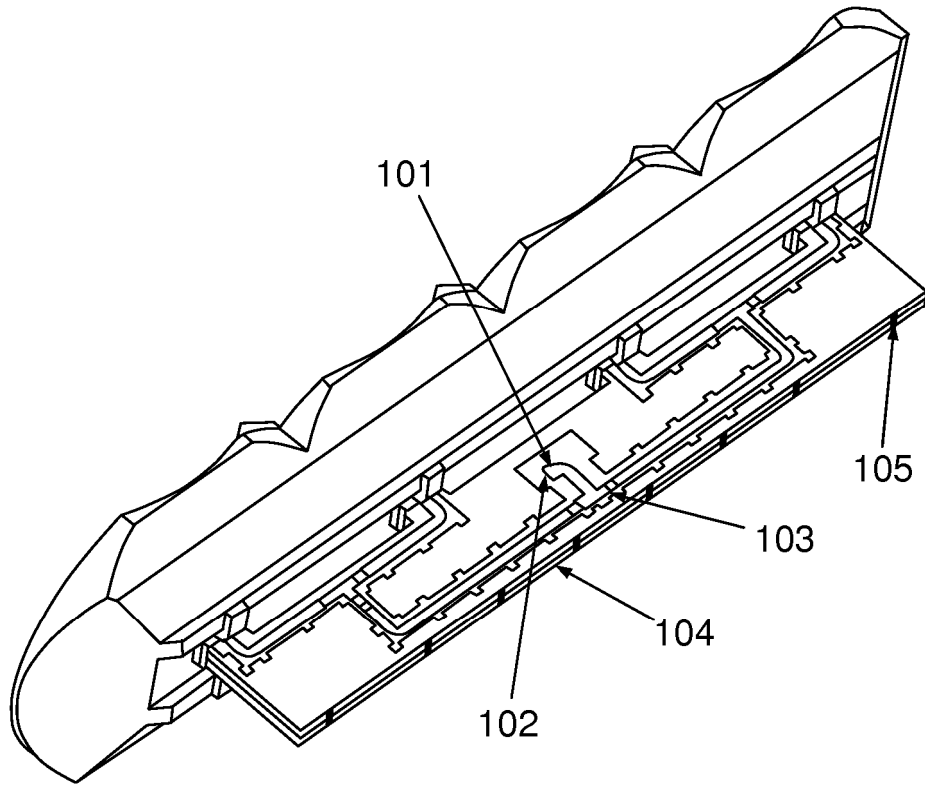


FIG.10