

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 706 425**

51 Int. Cl.:

**H01Q 19/17** (2006.01)

**H01Q 19/19** (2006.01)

**H01Q 25/00** (2006.01)

**H01Q 3/26** (2006.01)

**H01Q 15/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.01.2012 E 12153175 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.11.2018 EP 2485328**

54 Título: **Sistema de antenas para satélites de la órbita baja terrestre**

30 Prioridad:

**28.01.2011 IT TO20110074**

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

**28.03.2019**

73 Titular/es:

**THALES ALENIA SPACE ITALIA S.P.A. CON  
UNICO SOCIO (100.0%)  
Via Saccomuro, 24  
Roma, IT**

72 Inventor/es:

**MIZZONI, ROBERTO;  
PERRINI, FRANCO;  
NOSCHESE, PAOLO y  
ZOLESI, MARCELLO**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 706 425 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

Sistema de antenas para satélites de la órbita baja terrestre

5 **Campo técnico de la invención**

En general, la presente invención se refiere a un sistema de antenas para satélites de la órbita baja terrestre (LEO).

10 En particular, la presente invención se refiere a un sistema de antenas de microondas que halla aplicación ventajosa, aunque no exclusiva, en denominados sistemas de "Manejo y transmisión de datos de carga útil" (PDHT) usados para transmitir datos con una distribución de la potencia radiada isotrópica efectiva (EIRP) que es constante a través de toda la Tierra.

15 **Estado de la técnica**

Como es conocido, los satélites LEO están equipados en general con sistemas de observación terrestres, tales como radares de apertura sintética (SAR) y/o instrumentos ópticos, y aprovechan, para transmisión a la Tierra de datos detectados remotamente, antenas de microondas con distribución de la potencia radiada isotrópica efectiva (EIRP) que es constante a través de toda la Tierra. Típicamente los satélites LEO orbitan a una altura desde la Tierra que varía entre 400 y 800 km. En consecuencia, una antena para transmisión a la Tierra de los datos de un satélite LEO tiene un campo de visión muy amplio que puede definirse por un cono centrado con respecto al eje de nadir de la antena y que tiene un semi-ángulo de apertura en la región de 62°-70°. De manera acorde, entonces, hasta la altura exacta del satélite LEO, la antena abordo, para poder mantener una distribución de isoflujo de potencia en la Tierra, debe garantizar un aumento en la ganancia, entre la dirección de nadir y el punto tangencial al borde de la Tierra, típicamente comprendido entre 12 y 15 dB para compensar las pérdidas de trayectoria diferencial debido a la mayor distancia desde el satélite LEO de un usuario localizado en el borde de la Tierra en comparación con un usuario localizado en la dirección de nadir.

30 Actualmente, en satélites LEO se usan antenas fijas de haces conformados con baja ganancia en la banda X, que permite una cobertura casi-hemisférica (con aproximadamente 65° de semi-ángulo). Los problemas que pueden encontrarse con este tipo de antenas son la baja ganancia, limitada a aproximadamente 6 dBi en el borde de cobertura, y una capacidad limitada de discriminación de la polarización, que no es compatible con una reutilización de la frecuencia.

35 Una antena de satélite conocida para iluminación de flujo constante de la Tierra a partir de órbitas bajas se desvela en Roth et al: "HIGHLY SHAPED SATELLITE ANTENNA FOR CONSTANT FLUX ILLUMINATION OF THE EARTH FROM LOW ORBITS", Proceedings of the 23<sup>rd</sup> European Microwave Conference, Madrid, 6 de septiembre de 1993. En particular, este artículo desvela una antena de satélite, que comprende un sistema de reflector dual o sencillo y un único alimentador frontal, y que permite conseguir una iluminación de flujo constante en la Tierra en un ángulo de elevación amplio (+/- 60 grados) alrededor del nadir.

45 Además, son conocidos también los sistemas de antena para satélites geosíncronos, en particular sistemas de antena reflectora que proporcionan una pluralidad de haces de antena para cobertura de campos de visión de la Tierra (EFOV) total desde una órbita geosíncrona. Por ejemplo, el documento EP 1 020 950 A2 desvela un sistema de antena para satélites geosíncronos, sistema de antenas que comprende un conjunto de alimentación, un sub-reflector y un reflector principal que está orientado para definir una geometría de antena de reflector dual de alimentación frontal. El conjunto de alimentación está comprendido de una pluralidad de alimentaciones separadas que están alineadas en un contorno predeterminado. Cada conjunto de alimentación está acoplado a una red de alimentación que actúa para combinar los haces de iluminación de grupos de un número preseleccionado de alimentaciones para producir una pluralidad de haces de iluminación compuestos. Cada haz de iluminación compuesto se dirige para que sea incidente sobre una localización predeterminada separada en el sub-reflector que dirige los haces de iluminación compuestos hacia el reflector principal. Cada haz de iluminación compuesto se refleja por el reflector principal en una dirección preseleccionada de modo que cada haz de iluminación compuesto forma un haz de antena que incide en un área de cobertura predeterminada en la Tierra. Cada haz de antena define una célula de cobertura separada en el área de cobertura, en la que la posición y orientación de las alimentaciones, el sub-reflector y el reflector principal proporcionan haces de antena a través de un área de cobertura EFOV completa donde cada haz de antena está conformado aproximadamente de manera simétrica (en particular, cubriendo dichos haces de antena un ángulo de semi-cono de 8,7 grados aproximadamente para cubrir la extensión completa de EFOV desde un satélite en una órbita geosíncrona).

60 Como es conocido, los sistemas de PDHT futuros tendrán que garantizar un aumento significativo en la tasa de transmisión de datos. Este aumento en la tasa y cantidad de datos transmitidos puede obtenerse:

- aumentando la ganancia de antena mediante haces directivos que pueden redirigirse, en lugar de haces de baja ganancia fijos; y/o
- 65 • aumentando la potencia transmitida; o si no
- aumentando el ancho de banda, por ejemplo reutilizando el espectro disponible a través de una reutilización de la

polarización.

En consecuencia, a la luz de lo que se ha expuesto anteriormente, las antenas de cobertura fija no pueden cumplir este requisito de aumento en la capacidad de transmisión de datos. Actualmente, más sistemas de antenas directivas con haz que pueden redirigirse mecánica o electrónicamente están en consecuencia bajo estudio.

En este sentido, sin embargo, debería destacarse que en satélites equipados con sistemas de observación de la Tierra ópticos es fundamental evitar posibles micro-vibraciones inducidas por antenas de redirección mecánica. En consecuencia, los sistemas de antenas que pueden redirigirse electrónicos se ven favorecidos sobre los que pueden redirigirse mecánicos.

Estos sistemas de antena que pueden redirigirse electrónicos están basados en conjuntos planares y/o conformados de elementos de radiación suministrados por desplazadores de fase variables con redes de distribución de potencia de un tipo activo, semi-activo y/o pasivo. Un ejemplo de antena de conjunto planar directo de un tipo activo en la banda Ka se describe por J.D. Warshowsky, J.J. Whelehan, R.L. Clouse, *High Rate User Phased Array Antenna for Small Leo Satellites*, Fourth Ka-Band Utilization Conference, 2-4 de noviembre de 1998, Venice, mientras que un ejemplo de una antena de conjunto planar de banda X activa puede hallarse en *X-Band Phased Array Antenna Validation Report*, 1 de marzo de 2002, por Kenneth Perko *et al.*, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771. Los conjuntos planares con exploración electrónica del haz requieren muchos elementos de radiación y tienen un campo que puede redirigirse limitado, típicamente de hasta  $60^\circ$  en la dirección normal al conjunto planar, en concreto, "puntería", la razón para esto son las pérdidas de exploración muy altas ensayadas también adoptando espaciados reducidos a  $0,5 \lambda$  del conjunto. Dichas antenas además requieren un gran número de elementos de radiación para cumplir la demanda para una ganancia mucho más alta/EIRP en el borde de cobertura a pesar de las elevadas pérdidas sufridas en comparación con el nadir o puntería de antena puesto que dichas antenas producen "naturalmente" en la dirección de puntería la máxima ganancia/EIRP. Por lo tanto, sucede que estas antenas proporcionan una variación relativa de la ganancia del nadir que tiene un comportamiento exactamente opuesto a lo que es deseable para el servicio requerido. El documento WO2010056029 desvela una antena que comprende un reflector principal y un sub-reflector iluminados por una pluralidad de alimentaciones.

En consecuencia, las antenas de conjunto planar directas conocidas no son muy adecuadas para satélites que orbitan a una altura desde la Tierra inferior a  $1000 \text{ km}$ .

Las antenas de conjunto conformado potencialmente eliminan estas limitaciones. En el pasado, se han desarrollado prototipos de antenas de conjunto conformado de un tipo semi-activo, con amplificación distribuida y basándose en el uso de matrices de Butler, y de un tipo pasivo, con amplificación centralizada y desplazadores de fase variables. En este sentido, puede hacerse referencia, por ejemplo, a E. Vourch, G. Caille, M.J. Martin, J.R. Mosig, A. Martin, P.O. Iversen, *Conformal array antenna for LEO observation platforms*, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, junio de 1998, vol. 1, págs. 20-23. Hasta el día actual, las antenas de conjunto conformado se están estudiando aún para bandas X- y Ka. Sin embargo dichas antenas de conjunto conformado no parecen constituir soluciones efectivas para el problema de transmisión de datos de satélites LEO a las estaciones de la Tierra. De hecho, en estas antenas el número de elementos de radiación es comparable a o mayor que el de una antena de conjunto planar pero con el factor agravador de que los elementos radiantes de una antena de conjunto conformado no pueden estar dispuestos en un plano. El espaciado de los elementos radiantes en estas antenas debe ser compatible con la longitud axial de los mismos elementos para evitar interferencia mecánica entre ellos. Esto implica un espaciado no mínimo y el posible inicio de "lóbulos de rejilla" o haces falsos a intervalos amplios de exploración de haz. Incluso aunque la asignación de los elementos puede resolverse parcialmente agrupando los elementos juntos en subgrupos o subconjuntos planares, aún así condiciona en gran medida la complejidad de la antena debido a la red de fuente de alimentación, que es típicamente compatible únicamente con cables y con radiadores con menor impedimento axial, por ejemplo del tipo parche.

Una posible solución adicional actualmente bajo estudio pero lejos de la madurez está basada en el uso de antenas de conjunto reflector. En este sentido, puede hacerse referencia, por ejemplo, a C. Apert, T. Koleck, P. Dumon, T. Dousset, C. Renard, *ERASP: A New Reflect Array Antenna for Space Applications*, EuCap, noviembre de 2006. Las antenas de conjunto reflector que actualmente se están estudiando están constituidas por elementos, por ejemplo guías de onda o radiadores impresos, establecidos en una malla triangular en una superficie plana y controlable mediante desplazadores de fase variables integrados en los elementos radiantes, es decir, empaquetados, y basados en diodos PIN (Positivo-Intrínseco-Negativo) o en membranas MEMS (Sistemas Micro Electro-Mecánicos). El conjunto está iluminado por un iluminador externo, y la onda está puesta en fase apropiadamente después del reflejo por el conjunto de tal manera que genera un haz de exploración similar al de los conjuntos planares activos previamente descritos.

Otras soluciones que se están estudiando actualmente están basadas en segmentación de la cobertura de servicio y en el uso de una pluralidad de antenas, cada una diseñada para cubrir un sector angular específico respectivo. Sin embargo, estas soluciones sufren no únicamente de los problemas previamente descritos sino también de la segmentación del servicio como una función de la órbita del satélite y de la posición de la estación de la Tierra que debe recibir los datos del satélite.

Finalmente, debería destacarse que la transmisión de datos de satélites LEO a las estaciones de la Tierra debe respetar un requisito importante adicional vinculado a las densidades de potencia máximas permitidas en la Tierra hacia las estaciones de la Tierra y, en particular, hacia las denominadas Redes del Espacio Profundo (DSN), que constituyen las infraestructuras de comunicaciones de satélite a un nivel mundial para sondas interplanetarias.

5

**Objeto y sumario de la invención**

El objetivo de la presente invención es por lo tanto proporcionar un sistema de antenas para satélites LEO que posibilite el alivio, al menos en parte, de las desventajas anteriormente descritas y que posibilitará que se cumplan los requisitos de transmisión a los que se ha hecho referencia anteriormente.

10

El objetivo anteriormente mencionado se consigue por la presente invención hasta ahora en lo que respecta a un sistema de antenas para satélites LEO de acuerdo con lo que se define en las reivindicaciones adjuntas.

15

**Breve descripción de los dibujos**

Para un mejor entendimiento de la presente invención, se ilustrarán ahora algunas realizaciones preferidas, proporcionadas puramente por medio de ejemplos explicativos y no limitantes, con referencia a los dibujos adjuntos (no a escala), en los que:

20

- La Figura 1 es una vista en sección lateral esquemática de un sistema de antenas de acuerdo con una primera realización preferida de la presente invención, donde también se muestra esquemáticamente un trazado en óptica geométrica de señales transmitidas por el sistema de antenas;

25

- La Figura 2 es una ilustración esquemática de cómo se define un perfil lateral de un reflector del sistema de antenas de acuerdo con la primera realización preferida de la presente invención;

- La Figura 3 es una vista en sección lateral esquemática del perfil lateral final del reflector del sistema de antenas de acuerdo con la primera realización preferida de la presente invención, donde también se muestra esquemáticamente un trazado en óptica geométrica de las señales transmitidas por el sistema de antenas;

30

- La Figura 4 es una vista en planta superior esquemática del sistema de antenas de acuerdo con la primera realización preferida de la presente invención;

- La Figura 5 es una vista en sección lateral esquemática de un sistema de antena de acuerdo con una segunda realización preferida de la presente invención, donde también se muestra esquemáticamente un trazado en óptica geométrica de señales transmitidas por el sistema de antenas;

35

- La Figura 6 es una vista tridimensional esquemática del sistema de antenas de acuerdo con la segunda realización preferida de la presente invención;

- La Figura 7 es una vista en perspectiva, obtenida por CAD (Diseño Asistido por Ordenador), del sistema de antenas de acuerdo con la segunda realización preferida de la presente invención;

- La Figura 8 es una vista en perspectiva tridimensional, con partes eliminadas por claridad, del sistema de antenas de acuerdo con la segunda realización preferida de la presente invención que comprende además un radomo;

40

- La Figura 9 es una vista lateral, con partes en vista transparente, del sistema de antenas de la Figura 8;

- Las Figuras 10 y 11 son ilustraciones esquemáticas de dos disposiciones de elementos preferidas de radiación del sistema de antenas de acuerdo con la presente invención;

45

- La Figura 12 es una ilustración esquemática de una arquitectura de suministro pasiva para el sistema de antenas de acuerdo con la segunda realización preferida de la presente invención;

- La Figura 13 es una ilustración esquemática de una arquitectura de suministro activa con amplificación distribuida para el sistema de antenas de acuerdo con la segunda realización preferida de la presente invención; y

- La Figura 14 ilustra la máscara de ganancia típica como una función del ángulo con respecto al nadir requerido de una antena instalada a bordo de un satélite LEO que orbita a una altura de 500 km desde la Tierra.

50

**Descripción detallada de realizaciones preferidas de la invención**

La presente invención se describirá ahora en detalle con referencia a las figuras adjuntas para posibilitar a un experto en la materia en el sector que la reproduzca y la use. Serán evidentes inmediatamente diversas modificaciones a las realizaciones descritas para los expertos en la materia en el sector, y los principios genéricos podrían aplicarse a otras realizaciones y aplicaciones.

55

La presente invención se refiere a sistemas de antenas de microondas para satélites LEO configurados para producir, usando un sistema óptico con reflector único o doble y con simetría rotacional, un haz electrónicamente explorado con uno o dos grados de libertad, cuando se ilumina apropiadamente por un conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente. Las características de ganancia que pueden obtenerse como una función de la distancia del eje de nadir son tal como para respetar la máscara de ganancia requerida para garantizar una distribución de isoflujo de la potencia en la Tierra. La antena EIRP puede adaptarse a diferentes valores absolutos a medida que varían las dimensiones del reflector/reflectores y/o el número de elementos de radiación del conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente y/o la potencia de transmisión de los mismos elementos radiantes, mientras que mediante conformación apropiada del reflector/reflectores es posible dirigir la distribución de la potencia de acuerdo con la ley deseada y la distancia del satélite desde la Tierra.

65

En particular, el sistema de antenas comprende un conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente que comprende elementos de radiación, o radiadores, controlados de manera conveniente por desplazadores de fase, y una óptica de antena que comprende uno o dos reflectores con simetría rotacional, el perfil de la cual está optimizado de tal manera para distribuir la potencia a la Tierra con características de isoflujo, es decir, con distribución de ganancia que comprensa, como una función del ángulo desde el nadir, la atenuación espacial diferente de la trayectoria satélite-Tierra. Cambiando la ley de los desplazadores de fase que controlan los elementos radiantes, el sistema de antenas puede transmitir un haz electrónico que gira con respecto al eje de nadir (que puede redirigir del haz con un grado de libertad). De manera conveniente, la redirección del haz puede conseguirse también en elevación (redirección del haz con dos grados de libertad).

El sistema de antenas puede configurarse fácilmente para obtener el pico del haz en un intervalo típico de valores de  $54^\circ$  a  $90^\circ$  de tal manera que puede usarse por satélites LEO que tienen una altura desde la Tierra de 0 a 1500 km aproximadamente.

La Figura 1 es una ilustración esquemática de una sección transversal de un sistema de antenas 1, obtenido de acuerdo con una primera realización preferida de la presente invención, junto con un trazado en óptica geométrica de señales transmitidas por el sistema de antenas 1.

En particular, como se ilustra en la Figura 1, el sistema de antenas 1, que está diseñado para instalarse en un satélite LEO, comprende:

- un reflector 11 con simetría rotacional con respecto a un eje de simetría 12 que, en uso, coincide con el nadir del sistema de antenas 1 instalado en el satélite LEO (no ilustrado en la Figura 1); y
- un conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 13 que comprende elementos de radiación, o radiadores, dispuestos en un plano focal del reflector 11 y configurados para iluminar el reflector 11 por señales de radiación, que tiene de manera conveniente frecuencias que pertenecen a la banda X y/o a la banda Ka, de tal manera que las señales radiadas se propagan en lo que respecta al reflector 11 y se reflejan por lo tanto de manera apropiada por dicho reflector 11, como se describirá en detalle en lo sucesivo.

En detalle, puesto que la Figura 1 representa una sección transversal del sistema de antenas 1, muestra el perfil lateral del reflector 11 con simetría rotacional después de conformación, y la disposición de los elementos radiantes con plano de apertura en un foco 14 del reflector 11. Además, la Figura 1 muestra también esquemáticamente un trazado de las señales que, en uso, están radiadas por los radiadores que pueden estar dispuestos para formar una malla equiangular, o estar dispuestos a iguales distancias alejados a lo largo de circunferencias con radio creciente para obtener una simetría rotacional completa con respecto al eje de simetría 12. Como se ilustra en la Figura 1, las señales radiadas por los radiadores se reflejan por el reflector 11 de tal manera que la energía de dichas señales se enfoca, en el campo lejano, de manera prevalente en una dirección identificada por un ángulo predefinido  $\theta_{max}$  con respecto al eje de simetría 12. Además, considerando la estructura del sistema de antenas 1 ilustrada en la Figura 1 desde un punto de vista tridimensional, hallamos que las señales radiadas por los radiadores se reflejan por el reflector 11 de tal manera que la energía de dichas señales se enfoca, en el campo lejano, a diferentes niveles de intensidad en direcciones identificadas en el espacio por el mismo ángulo máximo predefinido de la transmisión  $\theta_{max}$  con respecto al eje de simetría 12.

Más específicamente, la Figura 2 es una ilustración esquemática de cómo se define analíticamente el perfil del reflector 11. En particular, también la Figura 2 es una vista en sección lateral del sistema de antenas 1 durante la definición del perfil del reflector 11, y en dicha figura los elementos que son los mismos que los ya descritos e ilustrados en la Figura 1 se identifican por los mismos números de referencia.

En detalle, con referencia al sistema de referencia cartesiano tridimensional XYZ ilustrado en la Figura 2 y que tiene el eje Z que coincide, en uso, con el nadir del sistema de antenas 1 instalado en el satélite LEO, es decir, con el eje de simetría 12, el reflector 11 puede crearse definiendo inicialmente en el plano XZ una elipse que tiene un primer foco en el punto 14 en el que se establece el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 13 y un segundo foco 14' que es muy distante del sistema de antenas 1 en la dirección identificada por el ángulo máximo predefinido de transmisión  $\theta_{max}$  y que corresponde a un punto extremo predefinido de la Tierra que debe alcanzarse por las señales transmitidas, en uso, por el sistema de antenas 1 instalado en el satélite LEO.

A continuación, una primera porción 21 de una plantilla 20 usada para obtener el reflector 11 está conformada de acuerdo con la elipse definida. En particular, la primera porción 21 de la plantilla 20 se extiende en el plano XZ de acuerdo con el comportamiento analítico de la elipse definida; específicamente, se extiende lateralmente desde el eje de simetría 12 hasta un primer punto A establecido a una primera distancia  $D_F$ , en la dirección X, desde el eje Z, es decir, desde el eje de simetría 12. En consecuencia, una primera porción del reflector 11 creada basándose en la primera porción 21 de la plantilla 20 es tal como para enfocar una onda esférica radiada, en uso, por los radiadores situados en el primer foco 14 en la dirección de transmisión que se identifica por el ángulo máximo predefinido de transmisión  $\theta_{max}$  y que corresponde angularmente al pico del diagrama de isoflujo deseado, en uso, con respecto al eje de nadir 12.

Una vez más de nuevo con referencia a la Figura 2, en una etapa posterior adicional, una segunda porción 22 de la plantilla 20, que se extiende lateralmente de la primera porción 21, está conformada modificando gradualmente el radio de curvatura de la primera porción 21 de tal manera que, en uso, las señales radiadas por los radiadores que se reflejan por una segunda porción del reflector 11 obtenidas basándose en la segunda porción 22 de la plantilla 20 se dirigirán, de acuerdo con las leyes de la óptica geométrica o si no de la óptica física, en direcciones de transmisión identificadas por ángulos con respecto al eje de simetría 12 que está comprendido entre  $0^\circ$  y  $\theta_{max}$ . En otras palabras, la primera porción 21 de la plantilla 20 se radia con la segunda porción 22, que modifica gradualmente el radio de curvatura de la plantilla 20 hasta que se obtiene que, en uso, las señales radiadas por los radiadores y reflejadas por la segunda porción del reflector 11 obtenidas basándose en la segunda porción 22 de la plantilla 20 se orientarán en direcciones comprendidas entre la dirección identificada por el ángulo máximo predefinido de transmisión  $\theta_{max}$  y el nadir de acuerdo con las leyes de óptica geométrica o física.

En particular, la segunda porción 22 de la plantilla 20, en el plano XZ, se extiende lateralmente del primer punto A hasta un segundo punto B establecido a una segunda distancia  $D_s$ , en la dirección X, desde el primer punto A.

Además, una vez más de nuevo con referencia a la Figura 2, el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 13 tiene de manera conveniente una simetría rotacional alrededor del eje de simetría 12, es decir, el eje Z, y se extiende, en el plano XZ, lateralmente del eje de simetría 12 para una distancia  $D_A/2$  en la dirección X, mientras que tenemos  $D_F > D_A/2$ . En otras palabras, la segunda porción del reflector 11 obtenida basándose en la segunda porción 22 de la plantilla 20 se extiende al exterior del impedimento  $D_A/2$  del conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 13 establecido en el plano focal de tal manera para evitar, en uso, el bloqueo de las señales reflejadas por la segunda porción del reflector 11 por el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 13.

De manera conveniente, la plantilla 20 puede conformarse adicionalmente mediante técnicas convencionales basadas en óptica física de tal manera para obtener la distribución de potencia en el intervalo angular deseado de acuerdo con la distribución de isoflujo de la potencia deseada en la Tierra.

El reflector 11 se obtiene por lo tanto por rotación a través de  $360^\circ$  alrededor del eje de simetría 12, es decir, el eje Z, de la plantilla 20 obteniendo por lo tanto el perfil analítico lateral del reflector 11 ilustrado en la Figura 3, donde los elementos que son los mismos que los ya descritos e ilustrados en las Figuras 1 y 2 se identifican por los mismos números de referencia. En otras palabras, desde un punto de vista tridimensional y con referencia a la Figura 3, puesto que el reflector 11 se obtiene basándose en la plantilla 20 rotada a través de  $360^\circ$  alrededor del eje de simetría 12, es decir, el eje Z, comprende:

- una primera porción, o porción de enfoque, 111 que
  - se extiende alrededor del eje de simetría 12, es decir, el eje Z, en concreto, en uso, el nadir;
  - tiene una simetría rotacional alrededor del eje de simetría 12, es decir, el eje Z, en concreto, en uso, el nadir;
  - está configurada para reflejar las señales radiadas por los radiadores; y
  - está conformada de tal manera para enfocar las señales reflejadas en primeras direcciones de transmisión identificadas en el espacio por el ángulo máximo predefinido de transmisión  $\theta_{max}$  con respecto al eje de simetría 12, en concreto, en uso, el eje de nadir, que corresponde angularmente al máximo del diagrama de isoflujo deseado en uso con respecto al eje de nadir 12; y
- una segunda porción 112 que
  - se extiende alrededor de la porción de enfoque 111;
  - tiene una simetría rotacional alrededor del eje de simetría 12, es decir, el eje Z, en concreto, en uso, el nadir;
  - está configurada para reflejar las señales radiadas por los radiadores; y
  - está conformada de tal manera para dirigir las señales reflejadas gradualmente en segundas direcciones de transmisión identificadas en el espacio por ángulos con respecto al eje de simetría 12, en concreto, en uso, el eje de nadir, que están comprendidas entre  $0^\circ$  y  $\theta_{max}$ .

Además, la Figura 3 también muestra desplazadores de fase variable 15 acoplados a los radiadores del conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 13.

En particular, como se ilustra en la Figura 3, poniendo en fase de manera apropiada los radiadores mediante los desplazadores de fase variable 15, es posible obtener en el plano XZ un haz de antena primaria de un tipo "gaussiano" que puede redirigirse, en el plano XZ, a un ángulo de iluminación  $\psi$  desde el eje Z, en concreto, en uso, desde el eje de nadir 12, que identifica una dirección de iluminación a medio camino entre el eje de nadir 12 y el borde B del reflector 11. En términos más rigurosos, preferentemente el haz de antena primaria, en uso, en la versión de antena con solo un grado de libertad, se apunta en una dirección de iluminación identificada por una bisectriz de un ángulo formado por el eje de simetría 12 y por una dirección que se une al conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 13 al borde B del reflector 11.

Además, dicho haz de antena primaria, como se ilustra en una vista en planta superior del sistema de antenas 1 mostrado en la Figura 4, es sectorial en extensión también en el plano XY, es decir, en  $\varphi$ , de acuerdo con la anchura del haz que puede obtenerse basándose en las dimensiones del conjunto 13 de los radiadores establecidos en el primer foco 14. En uso, después de que se refleja el haz de antena primario por el reflector 11, se obtiene un haz de antena secundario, que tiene un pico en la dirección identificada por el ángulo máximo predefinido de transmisión  $\theta_{max}$  con respecto al nadir 12 y que sigue un perfil descendiente de la ganancia, es decir, adecuado para conseguir la distribución de isoflujo de la potencia radiada hasta la dirección de nadir 12. El haz de antena secundario tiene, en su lugar, una anchura de haz en  $\varphi$ , es decir, en el plano XY, que depende principalmente de las dimensiones del conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 13 en lo que respecta a la óptica que no está enfocando en el plano XY puesto que tiene simetría rotacional con respecto al eje Z. Cambiando linealmente la puesta en fase de los radiadores mediante los desplazadores de fase variable 15 como una función de  $\varphi$  es posible generar una rotación continua del haz con respecto al eje de nadir 12.

Un enfoque alternativo para obtener un haz de punto a punto más directivo consiste, en su lugar, en optimizar el perfil, es decir, la conformación, del reflector 11, que, en cualquier caso, siempre tiene simetría rotacional con respecto al eje de nadir 12, imponiendo simultáneamente optimización del perfil del reflector 11 y de la ley del desplazamiento de fase del conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 13 para un número predeterminado de direcciones en  $\psi$  del haz de antena primario y en  $\theta$  del haz de antena secundario.

La Figura 5 es una ilustración esquemática de una sección transversal de un sistema de antenas 5, obtenido de acuerdo con una segunda realización preferida de la presente invención, junto con un trazado en óptica geométrica de señales transmitidas por el sistema de antenas 5.

En particular, como se ilustra en la Figura 5, el sistema de antenas 5, que está diseñado para instalarse en un satélite LEO, comprende:

- un primer reflector, o sub-reflector, 51 con simetría rotacional con respecto a un eje de simetría 54 que, en uso, coincide con el nadir del sistema de antenas 5 instalado en el satélite LEO (no ilustrado en la Figura 5), comprendiendo dicho sub-reflector 51 una porción central (que también tiene simetría rotacional con respecto al eje de simetría 54) que se extiende alrededor del eje de simetría 54, y una porción lateral (que también tiene simetría rotacional con respecto al eje de simetría 54) que se extiende alrededor de la porción central;
- un segundo reflector, o reflector principal, 52 con simetría rotacional con respecto al eje de simetría 54, comprendiendo dicho reflector principal una porción central 523 (que también tiene simetría rotacional con respecto al eje de simetría 54) que se extiende alrededor del eje de simetría 54 y se establece enfrentándose a la porción central del sub-reflector 51, una primera porción, o porción de enfoque, 521 (que también tiene simetría rotacional con respecto al eje de simetría 54) que se extiende alrededor de la porción central 523 y tiene una subporción que se enfrenta hacia la porción lateral del sub-reflector 51, y una segunda porción 522 (que también tiene simetría rotacional con respecto al eje de simetría 54) que se extiende alrededor de la primera porción 521; y
- un conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 53, que se monta en, o por encima, o dentro de, o soportado por, dicha porción central 523 del reflector principal 52 y está configurado para iluminar el sub-reflector 51 mediante señales de radiación, que tienen de manera conveniente frecuencias que pertenecen a la banda X y/o a la banda Ka, de tal manera que las señales radiadas se propagan en lo que respecta al sub-reflector 51 y se reflejan de manera apropiada por dicho sub-reflector 51, como se describirá en detalle en lo sucesivo.

En detalle, con referencia al plano de referencia cartesiano XZ ilustrado en la Figura 5 y que tiene el eje Z que coincide, en uso, con el nadir del sistema de antenas 5 instalado en el satélite LEO, es decir, con el eje de simetría 54, el sub-reflector 51 se extiende lateralmente desde el eje Z, es decir, desde el eje de simetría 54, en concreto, en uso, desde el nadir, para una distancia  $D_R/2$  en la dirección X, la porción de enfoque 521 del reflector principal 52 termina a una distancia  $D_F > D_R/2$ , en la dirección X, desde el eje Z, es decir, desde el eje de simetría 54, en concreto, en uso, desde el nadir, y la segunda porción 522 del reflector principal 52 se extiende lateralmente desde la porción de enfoque 521 para una distancia  $D_s$  en la dirección X.

Entrando incluso en mayor detalle, el sub-reflector 51 está configurado para reflejar las señales radiadas por los radiadores 53 y está conformado de tal manera para dirigir las señales reflejadas hacia la primera porción 521 y la segunda porción 522 del reflector principal 52.

Además, la primera porción, o porción de enfoque, 521 del reflector principal 52 está configurada para:

- reflejar las señales reflejadas por el sub-reflector 51; y
- enfocar las señales reflejadas en primeras direcciones de transmisión identificadas en el espacio por un ángulo máximo predefinido de transmisión  $\theta_{max}$  con respecto al eje de simetría 54, en concreto, en uso, el eje de nadir, que corresponde de manera angular al máximo del diagrama de isoflujo deseado en uso con respecto al eje de nadir 54.

A su vez, la segunda porción 522 del reflector principal 52 está configurada para:

- reflejar las señales reflejadas por el sub-reflector 51; y

- dirigir gradualmente las señales reflejadas en segundas direcciones de transmisión identificadas en el espacio por ángulos con respecto al eje de simetría 54, en concreto, en uso, el eje de nadir, que está comprendido entre  $0^\circ$  y  $\theta_{max}$ .

Más específicamente, puesto que la Figura 5 ilustra una sección transversal del sistema de antenas 5, que muestra el perfil lateral de los reflectores 51 y 52 con simetría rotacional después de conformar y la disposición de los elementos radiantes con plano de apertura al que se ha hecho traslación con respecto al foco de antena primaria 55. Además, la Figura 5 es una ilustración esquemática también de un trazado de las señales que, en uso, se radian por los radiadores, se reflejan por el sub-reflector 51, y se reflejan de nuevo a continuación por el reflector principal 52, en particular por la porción de enfoque 521 y por la segunda porción 522, de acuerdo con la distribución de potencia deseada. Como se ilustra en la Figura 5, el sistema de antenas 5, y en particular el sub-reflector 51 y el reflector principal 52, están configurados de tal manera que, en uso, las señales reflejadas por el reflector principal 52, en particular por la segunda porción 522 del reflector principal 52, no se bloquean por el sub-reflector 51.

Preferentemente, el haz de antena primario radiado por el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 53, en uso, en la versión de antena con solamente un grado de libertad, se apunta a medio camino entre el eje de simetría 54 y el borde del sub-reflector 51, es decir, en términos más rigurosos, en una dirección de iluminación identificada por una bisectriz de un ángulo formado por el eje de simetría 54 y por una dirección que se une al conjunto planar 53 al borde del sub-reflector 51.

La óptica canónica de inicio para un sistema de doble reflector puede construirse, por ejemplo, con referencia a configuraciones conocidas en la bibliografía como "Elipse Desplazada Axial" (ADE) de primeras o segundas especies. En este sentido, puede hacerse referencia, por ejemplo, a F.J.S. Moreira, J.R. Bergmann, *Classical Axis-Displaced Dual-Reflector Antennas for Omnidirectional Coverage*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 54, N.º 10 de octubre de 2006.

Como es conocido, una óptica de antena ADE hace posible obtener un iluminador fijado establecido en el foco de la antena, por ejemplo el punto 55 en la Figura 5, un haz toroidal secundario que se enfoca en una dirección  $\theta_{max}$  el valor angular y la ganancia pico del cual pueden parametrizarse basándose en los parámetros geométricos de la óptica de la antena (focos primario y secundario, perfiles y diámetros de los reflectores).

En consecuencia, el sub-reflector 51 y el reflector principal 52 pueden, de manera conveniente, obtenerse inicialmente empezando desde un sistema de doble reflector de ADE canónico. La geometría final de los reflectores puede obtenerse posteriormente adaptado, es decir, extrapolando a partir de los mismos, las dimensiones y optimizando los perfiles, es decir, las conformaciones, de los mismos de una manera similar a la construcción del reflector 11 anteriormente descrita en relación con el sistema de antenas de único reflector 1. El procedimiento de conformación y extrapolación del reflector principal 52 será dependiente y funcional de la ley de iluminación del conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 53 en la proximidad del plano focal.

El sistema de antenas de doble reflector 5 es más práctico, en términos de construcción e instalación a bordo de un satélite LEO, en comparación con el sistema de antenas de único reflector 1. De hecho, el sistema de antenas de doble reflector 5 evita la carga de tener que mantener y suministrar el conjunto 13 de los radiadores (y los respectivos desplazadores de fase 15) dispuestos en el plano focal del único reflector 11 del sistema de antenas 1.

La Figura 6 ilustra una vista tridimensional del sistema de antenas 5 en la que la distribución de las señales radiadas en uso por el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 53 y reflejadas por el sub-reflector 51 y por el reflector principal 52 se ilustran con mayor claridad.

La Figura 7 es una vista en perspectiva, obtenida por medio de diseño asistido por ordenador (CAD), del sistema de antenas de doble reflector 5, donde el conjunto planar 53 en este caso comprende siete radiadores, junto con el sistema de referencia asociado en coordenadas polares.

Además, las Figuras 8 y 9 ilustran una realización preferida del sistema de antenas 5 que prevé un cono truncado, o radomo, 60 de material dieléctrico, que soporta el sub-reflector 51 y alojado dentro del cual se encuentra el reflector principal 52 y el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 53. En particular, la Figura 8 es una vista en perspectiva tridimensional, con partes eliminadas por claridad, del sistema de antenas 5 que comprende el cono truncado 60, y la Figura 9 es una vista lateral, con partes en vista transparente, del sistema de antenas 5 que comprende el cono truncado 60. Además, en las Figuras 8 y 9 también se ilustra una red de fuente de alimentación 70 acoplada al conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 53 y operable para controlar apropiadamente dicho conjunto planar 53.

Por otra parte, las Figuras 10 y 11 ilustran dos posibles disposiciones para los elementos radiantes de los conjuntos de radiación planar dirigibles electrónicamente 13 y 53 establecidos, respectivamente, en el plano focal de la antena 14 y 55. En particular, la Figura 10 ilustra una disposición de los elementos radiantes con malla triangular equilátera, mientras que la Figura 11 muestra una distribución de los elementos radiantes establecidos a distancias equiangulares espaciados en circunferencias de diferentes diámetros, es decir, una distribución con paso equidistante de los elementos radiantes dispuestos en circunferencias de diferentes diámetros.

Además, en lo que respecta a la red de fuente de alimentación 70, son posibles diferentes esquemas. En este sentido, la Figura 12 ilustra un diagrama de bloques del sistema de antenas 5 basado en una arquitectura de suministro pasiva. En particular, como se ilustra en la Figura 12, la red de fuente de alimentación 70, en este caso pasiva, comprende un amplificador de potencia 71 conectado en manera en cascada a una red de formación de haces pasiva 72 conectada a una salida de desplazadores de fase de potencia variable 73, por ejemplo con ferrita, que puede controlarse electrónicamente y acoplarse al conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 53 por medio de guías de onda y/o cables de RF 74. Como se ha descrito anteriormente, en uso, el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 53 radia un haz primario hacia la mitad del sub-reflector 51, que refleja la energía hacia el reflector principal 52, que vuelve a radiar el haz en el campo lejano. En la realización de la red de fuente de alimentación 70 ilustrada en la Figura 12, el esquema de amplificación del sistema de antenas 5 es de un tipo centralizado puesto que comprende solamente un amplificador proporcionado en la entrada a la red de fuente de alimentación 70.

La Figura 13 ilustra, en su lugar, un diagrama de bloques del sistema de antenas 5 basándose en una arquitectura de suministro activa con amplificación distribuida mediante el uso de módulos de estado sólido 75 que forman una parte integral del iluminador del sistema de antenas 5, es decir, del conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 53. En particular, en la realización ilustrada en la Figura 13, puesto que la red de fuente de alimentación 70 comprende una red pasiva de divisores 76 y cables 77, presenta baja potencia con incluso altas pérdidas. El control de las fases, en esta realización, puede obtenerse de manera conveniente directamente en el nivel de los módulos activos 75 mediante, por ejemplo, desplazadores de fase de múltiples bits 78 obtenidos basándose en circuitos integrados de microondas monolíticas (MMIC) e incluirse en los módulos activos 75. Como alternativa, en la arquitectura de suministro activo, los desplazadores de fase variable pueden sustituirse de manera conveniente por un número dado de redes de distribución de RF pasiva que forman un número dado de haces fijos (antena de múltiples haces).

Por otra parte, el sistema de antenas 5 puede tener de manera conveniente también una arquitectura de suministro híbrida en la que se establecen unos pocos amplificadores de potencia media a un nivel intermedio entre la entrada y los elementos radiantes.

Además, las arquitecturas de suministro pasivo, activo o híbrido como se han descrito anteriormente pueden aplicarse también de manera conveniente al sistema de antenas de reflector único 1.

Finalmente, la Figura 14 muestra, simplemente por medio de ilustración, un ejemplo típico de máscara de diagrama de radiación diseñado para conseguir una distribución de isoflujo de la potencia para una antena instalada a bordo de un satélite LEO que orbita a una altura  $H=500\text{ km}$  desde la Tierra, es decir, diseñada para compensar la diferencia de atenuación espacial de acuerdo con la siguiente ecuación (Ec. 1)

$$S.A. (dB) = 20 * \log_{10}(r/h) = 20 * \log_{10} \frac{[(H+R)] * \cos(E_1 + \theta)}{[H * \cos(E_1)]}$$

donde

- $S.A. (dB)$  es la diferencia de atenuación espacial en  $dB$  entre la dirección genérica  $r$  de radiación desde el satélite y la dirección del nadir;
- $H$  es la distancia de satélite-Tierra en el nadir, es decir, la altura de la órbita del satélite;
- $R$  es el radio de la Tierra que se supone que es igual a  $6378\text{ km}$ ;
- $E_1$  es el ángulo de elevación de la estación de la Tierra de recepción hacia el satélite (para obtener el diagrama de la Figura 14,  $E_{1min} = 0^\circ$  que se ha supuesto que corresponde al borde de la Tierra); y
- $\theta$  es el ángulo entre el eje de nadir del satélite y la dirección que se une a la estación de la Tierra de recepción con el satélite.

Para resumir, con referencia a las Figuras 5-14 anteriormente descritas, el sistema de antenas de doble reflector 5 presenta las siguientes características:

- el sistema óptico de doble reflector conformado, con simetría rotacional, que comprende el sub-reflector 51 y el reflector principal 52, y, en uso, iluminado por el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 53 en el que puede explorarse el haz electrónico mediante los desplazadores de fase variable 73 o 78 establecidos detrás de los elementos radiantes;
- los perfiles de los reflectores 51 y 52 tales como para convertir, en uso, por medio de reflexión, la onda electromagnética generada por el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 53 en un diagrama secundario con distribución de la ganancia de acuerdo con la Ec. 1, es decir, tal como para obtener una distribución constante de la potencia radiada a la Tierra de acuerdo con la altura de la órbita del satélite LEO en el que está instalado, en uso, el sistema de antenas 5, por ejemplo como se ilustra en la Figura 14;
- el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 53 que, en uso, radia, en la versión de antena con solamente un grado de libertad, un haz primario con inclinación constante a lo largo de un eje  $\psi$  a medio camino entre el borde del sub-reflector 51 y su centro (que coincide con el eje de simetría 54), mientras que la fase de los radiadores puede variarse de manera continua y lineal en  $\phi$  de tal manera para obtener un haz con exploración electrónica continua con respecto al eje de nadir 54;
- el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente 53 establecido en el plano focal, que tiene pequeñas

dimensiones puesto que, típicamente, puede comprender entre siete y treinta y siete elementos de radiación;

- los elementos radiantes establecidos, preferentemente, para formar una malla triangular equilátera, o si no con espaciado regular en circunferencias de diferentes diámetros, como se ilustra en las Figuras 10 y 11, de tal manera para garantizar un haz con simetría rotacional en  $\varphi$  con respecto al eje de nadir 54; y

5 • el soporte del sub-reflector obtenido preferentemente con un radomo dieléctrico fino 60, como se ilustra en las Figuras 8 y 9, tal como para minimizar, en uso, el efecto del bloqueo de las señales reflejadas por el reflector principal 52; como alternativa, el soporte del sub-reflector 51 podría obtenerse mediante un sistema alternativo, por ejemplo basándose en soportes de reflexión de baja RF.

10 Por otra parte, en una realización más avanzada del sistema de antenas 5, el perfil de los reflectores 51 y 52 y la exploración electrónica en un nivel primario podría definirse de manera conveniente en un proceso combinado de síntesis que tiene como objeto obtener un haz electrónico con capacidad de exploración que es discreta en  $\theta$  y continua en  $\varphi$ .

15 En la práctica, el sistema de antenas de acuerdo con la presente invención comprende un conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente ampliado por una óptica de antena que comprende uno o dos reflectores con simetría rotacional, el perfil de los cuales está optimizado para distribuir la potencia en la Tierra con características de isoflujo (es decir, con distribución de ganancia de acuerdo con la Ec. 1). Además, cambiando la ley del desplazador de fases que controla los elementos radiantes del conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente, el sistema de antenas  
20 puede obtener un haz electrónico de isoflujo que gira alrededor del eje de nadir (que puede redirigirse con un grado de libertad). En una versión más compleja, el sistema de antenas también posibilita una redirección discreta en elevación, es decir, con dos grados de libertad.

A partir de la descripción anterior pueden entenderse inmediatamente las ventajas de la presente invención.

25 En particular, el sistema de antenas de acuerdo con la presente invención constituye una solución eficaz a los problemas anteriormente descritos en relación con sistemas de antenas conocidos, puesto que produce, incluso en una realización mínima, un haz de isoflujo con exploración electrónica con solamente un grado de libertad (es decir, alrededor del eje de nadir), la EIRP constante del cual puede obtenerse a niveles absolutos diferentes cambiando las dimensiones de los reflectores y/o el número de los elementos radiantes o si no la potencia de los mismos.  
30

En detalle, la arquitectura de la antena de acuerdo con la presente invención combina las ventajas típicas de los conjuntos de radiación planar dirigibles electrónicamente, tales como flexibilidad de conexión punto a punto, no movimiento mecánico y velocidad de exploración, a aquellas de las antenas de reflector que típicamente presentan un  
35 coste inferior y prueban ser particularmente ventajosas en el caso donde los haces requieren aperturas de enfoque de diversas longitudes de onda. Más específicamente, la arquitectura de antena anteriormente descrita, gracias a la considerable flexibilidad de implementación que la caracteriza, posibilita que se obtengan diferentes soluciones de arquitectura basándose en diferentes soluciones tecnológicas compatibles con costes y rendimiento diversificado.

40 En incluso mayor detalle, es posible resumir las siguientes ventajas de la presente invención sobre las soluciones actualmente disponibles y/o que aparecen en la bibliografía:

1) el sistema de antenas de acuerdo con la presente invención puede dimensionarse de tal manera para conseguir diferentes valores de ganancia con distribución constante de la potencia en la Tierra; en particular, esta característica  
45 puede obtenerse aumentando las dimensiones de los reflectores de la óptica de la antena (de hecho la ganancia de antena y la anchura del haz con respecto a  $\theta$  varían de manera aproximadamente lineal como una función de las dimensiones del único reflector 11 o del reflector principal 52), y/o aumentando el número de elementos de radiación (de hecho, la ganancia de antena y la anchura del haz en  $\varphi$  varían linealmente como una función de las dimensiones del conjunto 13 o 53 de los radiadores en el plano focal); además, la EIRP para soluciones de arquitectura con  
50 amplificación distribuida puede aumentarse también basándose en el número de los módulos activos 75 y de la potencia del módulo activo individual 75;

2) el sistema de antenas de acuerdo con la presente invención elimina las limitaciones intrínsecas de las soluciones con conjunto activo directo, que no posibilitan el manejo de satélites en órbita muy baja (por ejemplo  $< 1000 \text{ km}$ ) puesto que están típicamente limitados a explorar a  $60^\circ$  del nadir; además, los conjuntos planares directos presentan una alta  
55 ganancia en el nadir, donde por otra parte se requiere una ganancia muy baja, mientras que, al alcance de exploración máximo, donde se requeriría una ganancia superior (por ejemplo, en la región de  $12\text{-}15 \text{ dB}$ ), producen una ganancia inferior, de acuerdo con al menos el factor de exploración  $\cos\theta$ ; en su lugar, el sistema de antenas de acuerdo con la presente invención, puede diseñarse para funcionar con satélites muy cerca de la Tierra (por ejemplo, en el límite, a una altitud cerca del  $0 \text{ km}$ , es decir, con  $\theta_{max} = 90^\circ$ ) con cero pérdidas de exploración, en los que, por ejemplo, las  
60 soluciones con conjunto planar directo sufren de manera remarcada de estos límites; en particular, esta característica puede obtenerse funcionando en los parámetros del sistema de reflexión óptica y en los perfiles de los reflectores 11, 51 y 52;

3) el número de elementos del conjunto 13 o 53 puede ser pequeño, típicamente contenido en un intervalo de 7-37  
65 elementos de radiación; por otra parte, por ejemplo, las soluciones con conjunto activo directo requieren un número de elementos de radiación mucho superior; esta característica posibilita una simplificación de arquitectura considerable y una reducción en costes;

- 4) el sistema de antenas de acuerdo con la presente invención es potencialmente compatible con soluciones para la reutilización del espectro por discriminación de la polarización, puesto que es posible minimizar la polarización cruzada mediante control de la rotación de los elementos y de las fases de excitación (conocido en la bibliografía como "rotación secuencial");
- 5) la arquitectura del sistema de antenas de acuerdo con la presente invención puede ser pasiva, por ejemplo basándose en amplificación centralizada y en desplazadores de fase de potencia media, o de lo contrario semi-activa, por ejemplo basándose en un número restringido de amplificadores distribuidos en posiciones intermedias entre los elementos radiantes y la entrada de la antena, o si no activa con alta integración, con los amplificadores y desplazadores de fase integrados directamente detrás de los elementos radiantes; esta característica posibilita que se obtenga una pluralidad de EIRP y dimensiones globales como una función de las dimensiones y de las tecnologías disponibles;
- 6) de acuerdo con una realización preferida, el sistema de antenas produce un isoflujo de haz en  $\theta$  que evita la carga de tener que variar dinámicamente la potencia radiada en la Tierra como una función de la posición del usuario, a medida que tiene lugar, por ejemplo, en soluciones de antena con haz explorado mecánicamente, o si no en soluciones de conjunto planar directo con haz explorado electrónicamente;
- 7) en una realización preferida muy sencilla, el sistema de antenas prevé exploración electrónica con solamente un grado de libertad (rotación del haz de isoflujo alrededor del nadir); en consecuencia, la lógica de redirección del haz en órbita hacia la estación de la Tierra prueba ser sencilla (de hecho, solamente se requiere el conocimiento del ángulo  $\varphi$  comprendido entre el ecuador y el plano que pasa a través del nadir y la estación de la Tierra a alcanzarse); y
- 8) en una realización preferida más compleja, el sistema de antenas puede configurarse de tal manera para manejar también una exploración en  $\theta$ , además de una exploración en  $\varphi$ , posibilitando de esta manera un control adicional de la ganancia y del haz de antena como una función del punto a alcanzarse.

Por otra parte, el sistema de antenas de acuerdo con la presente invención podría hallar uso también en satélites LEO para telecomunicaciones que requieren un número limitado de haces que están fijos o que pueden redirigirse en la Tierra.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de antenas (5) para transmitir datos desde un satélite a la Tierra, que comprende:

- 5 • un sistema de reflector doble que incluye un sub-reflector (51) y un reflector principal (52); y
- un conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente (53) dispuesto en una región focal (55) del sistema de reflector doble;

en el que:

- 10 • el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente (53) está configurado para radiar señales de radiofrecuencia hacia el sub-reflector (51);
- dicho sub-reflector (51) está configurado para reflejar hacia el reflector principal (52) las señales de radiofrecuencia recibidas desde el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente (53); y
- 15 • el reflector principal (52) está configurado para reflejar en direcciones de transmisión predefinidas las señales de radiofrecuencia recibidas desde el sub-reflector (51);
- el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente (53), el sub-reflector (51) y el reflector principal (52) están centrados en, y tienen una simetría rotacional con respecto a, uno y el mismo eje de simetría (54);
- el sub-reflector (51) se enfrenta al reflector principal (52) y se extiende alrededor del eje de simetría (54) hasta una
- 20 primera distancia del mismo ( $D_R/2$ );

caracterizado por que:

- el reflector principal (52) incluye
- 25 - una porción central (523) que se extiende alrededor del eje de simetría (54),
- una primera porción (521), que se extiende alrededor de dicha porción central (523) hasta una segunda distancia ( $D_F$ ) desde el eje de simetría (54), en el que dicha segunda distancia ( $D_F$ ) es mayor que la primera distancia ( $D_R/2$ ), y
- una segunda porción (522) que se extiende alrededor de dicha primera porción (521);
- 30 • el sub-reflector (51) está configurado para reflejar hacia la primera (521) y segunda (522) porciones del reflector principal (52) las señales de radiofrecuencia recibidas desde el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente (53);
- la primera porción (521) del reflector principal (52) está configurada para reflejar en primeras direcciones de transmisión las señales de radiofrecuencia recibidas desde el sub-reflector (51), en el que dichas primeras direcciones
- 35 de transmisión están todas identificadas por uno y el mismo ángulo de transmisión máximo ( $\theta_{max}$ ) con respecto al eje de simetría (54);
- la segunda porción (522) del reflector principal (52) está configurada para reflejar en segundas direcciones de transmisión las señales de radiofrecuencia recibidas desde el sub-reflector (51), en el que dichas segundas direcciones de transmisión se identifican por diferentes ángulos de transmisión con respecto al eje de simetría (54), diferentes
- 40 ángulos de transmisión que están comprendidos entre el ángulo de cero grados y el ángulo de transmisión máxima ( $\theta_{max}$ ); y
- el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente (53)
- está dispuesto en, o por encima de, o soportado por, la porción central (523) del reflector principal (52),
- se enfrenta al sub-reflector (51), y
- 45 - está configurado para radiar un haz de radiofrecuencia primario hacia un sector del sub-reflector (51), produciendo de esta manera
- un primer haz de radiofrecuencia secundario en las primeras direcciones de transmisión desde un primer sector correspondiente de la primera porción (521) del reflector principal (52), y
- un segundo haz de radiofrecuencia secundario en las segundas direcciones de transmisión desde un
- 50 segundo sector correspondiente de la segunda porción (522) del reflector principal (52),

2. El sistema de antenas de la reivindicación 1, en el que el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente (53) está configurado para:

- 55 • radiar el haz de radiofrecuencia primario en una dirección de iluminación que está inclinada con respecto al eje de simetría (54); y
- girar alrededor del eje de simetría (54) la dirección de iluminación, radiando de esta manera el haz de radiofrecuencia primario hacia diferentes sectores del sub-reflector (51).

60 3. El sistema de antenas de la reivindicación 2, en el que el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente (53) está configurado para cambiar la inclinación de la dirección de iluminación con respecto al eje de simetría (54).

4. El sistema de antenas de acuerdo con cualquier reivindicación 1-3, que comprende adicionalmente un radomo (60) de material dieléctrico que soporta el sub-reflector (51); y en el que el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente (53) y el reflector principal (52) están alojados dentro de dicho radomo (60).

5. El sistema de antenas de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente (53) comprende elementos de radiación dispuestos de acuerdo con una malla triangular equilátera centrada en el eje de simetría (54).
- 5 6. El sistema de antenas de acuerdo con cualquier reivindicación 1-4, en el que el conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente (53) comprende elementos de radiación dispuestos a lo largo de circunferencias de diferentes diámetros centrados en el eje de simetría (54), siendo cada elemento de radiación equidistante de los elementos de radiación adyacentes dispuestos a lo largo de la misma circunferencia que el elemento a lo largo del cual está dispuesto dicho elemento radiante.
- 10 7. El sistema de antenas de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende adicionalmente una red de fuente de alimentación (70) que está acoplada al conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente (53) y está diseñado para controlar dicho conjunto de radiación planar dirigible electrónicamente (53).
- 15 8. Un sistema de manejo y transmisión de datos de carga útil para un satélite, que comprende el sistema de antenas (5) reivindicado en cualquier reivindicación anterior.
9. Un satélite que comprende el sistema de antenas (5) reivindicado en cualquier reivindicación 1-7.

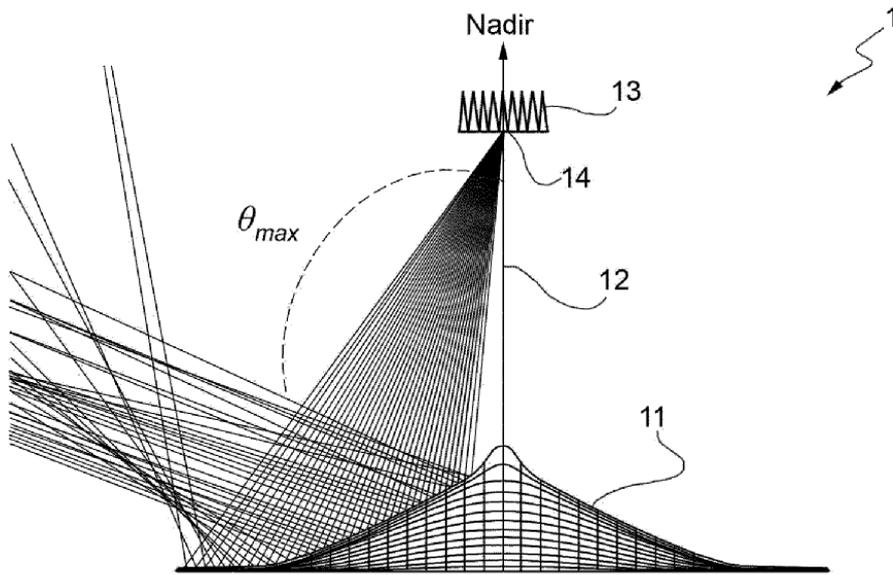


FIG. 1

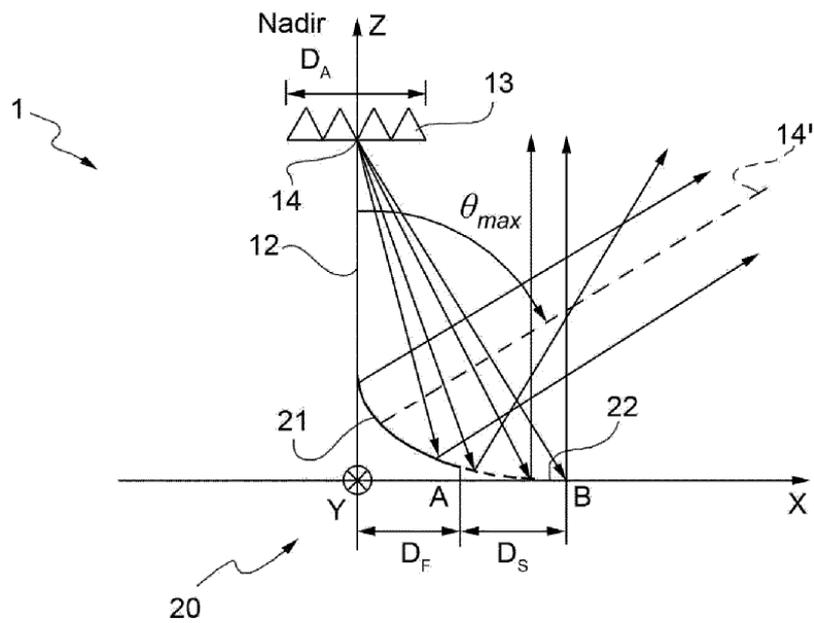


FIG. 2

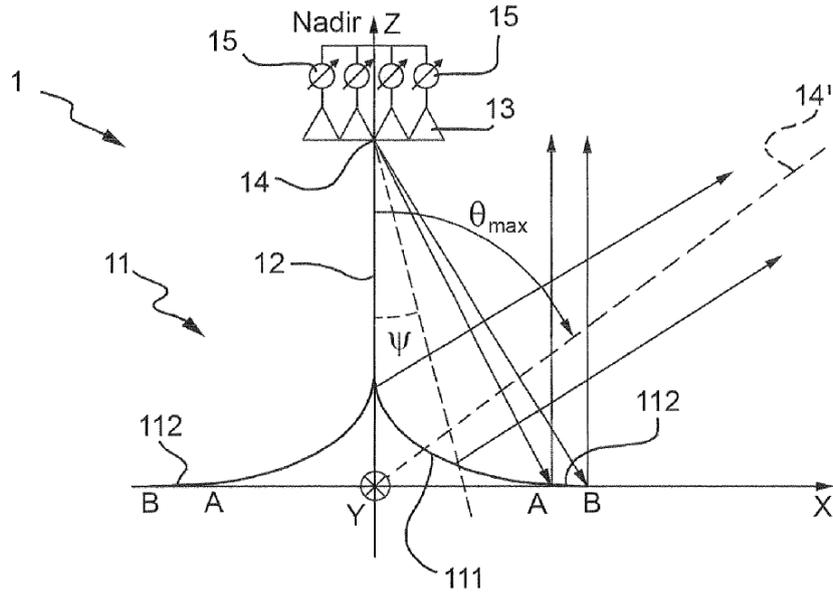


FIG. 3

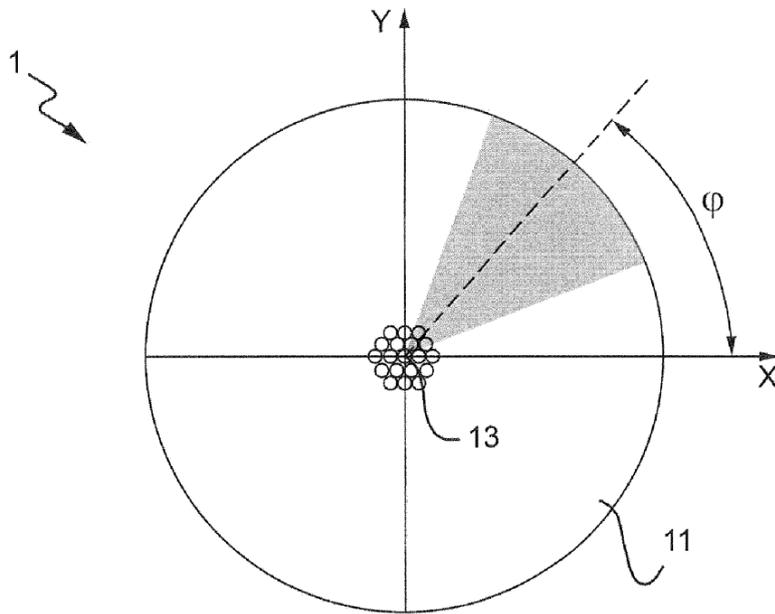


FIG. 4

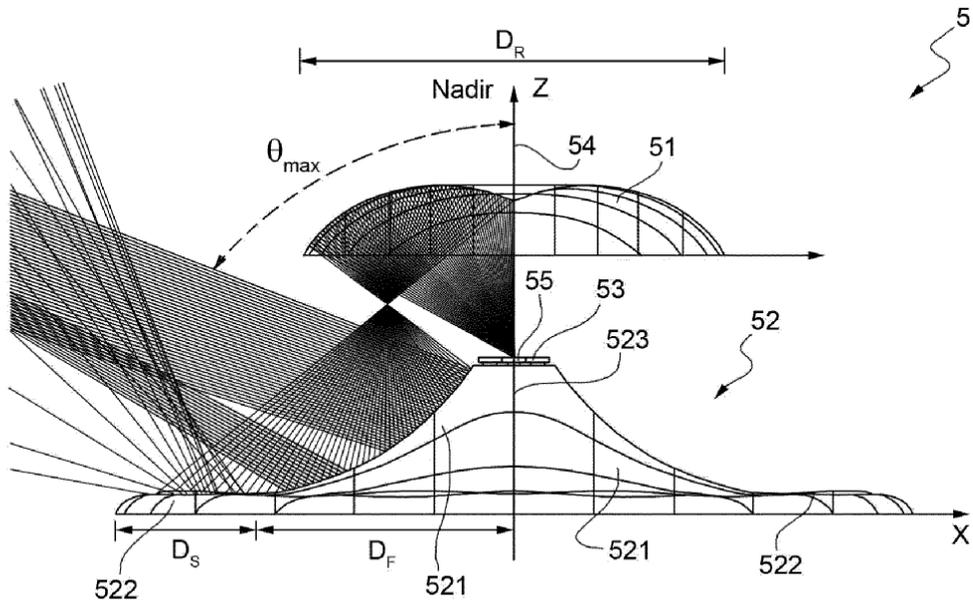


FIG. 5

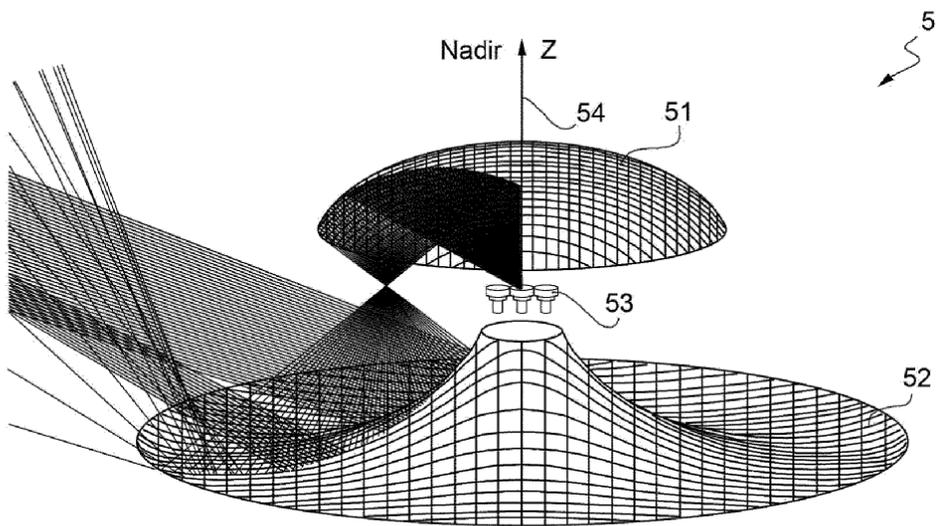


FIG. 6

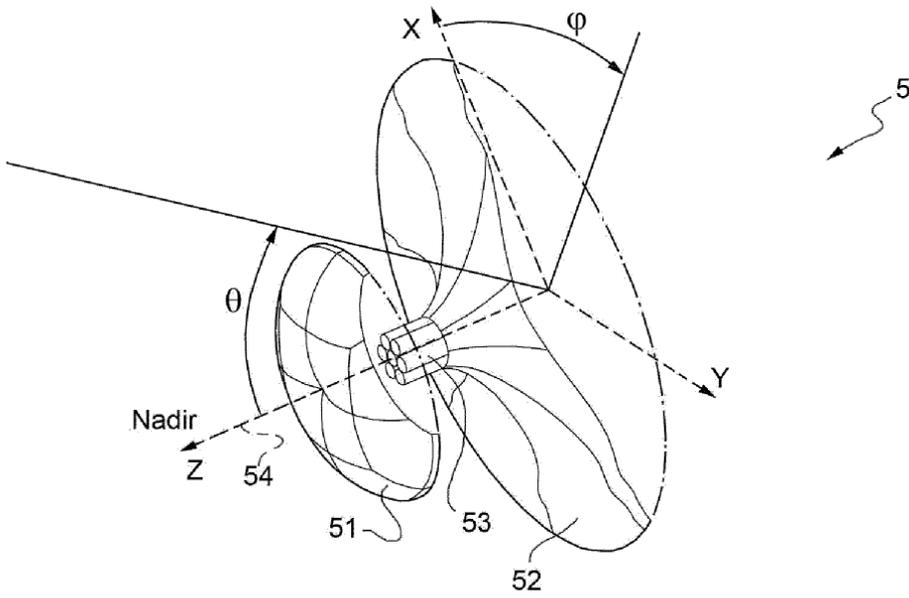


FIG. 7

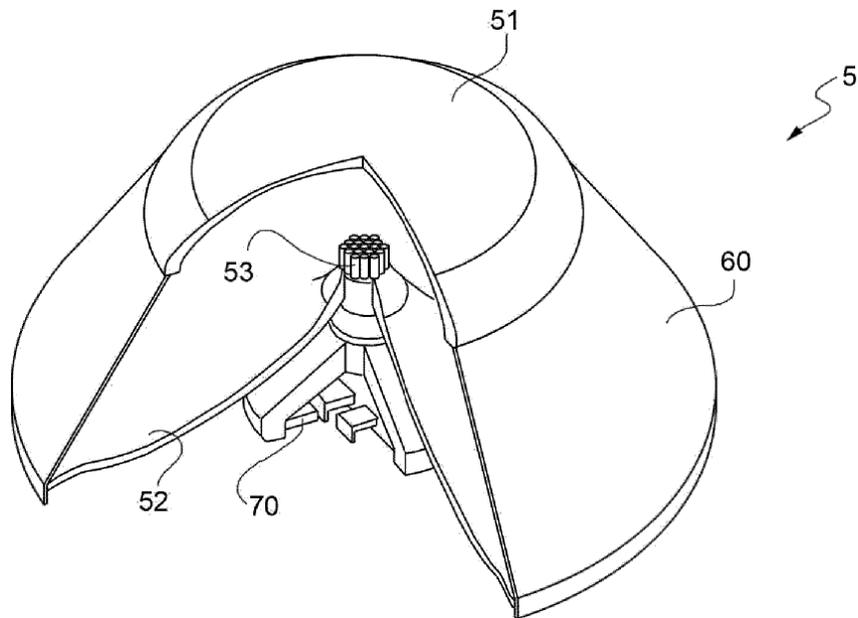


FIG. 8

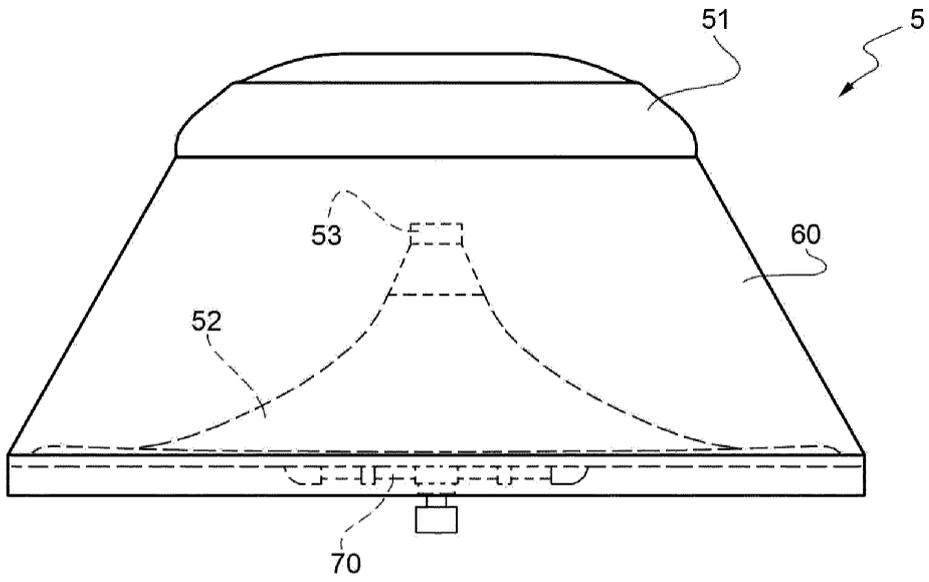


FIG. 9

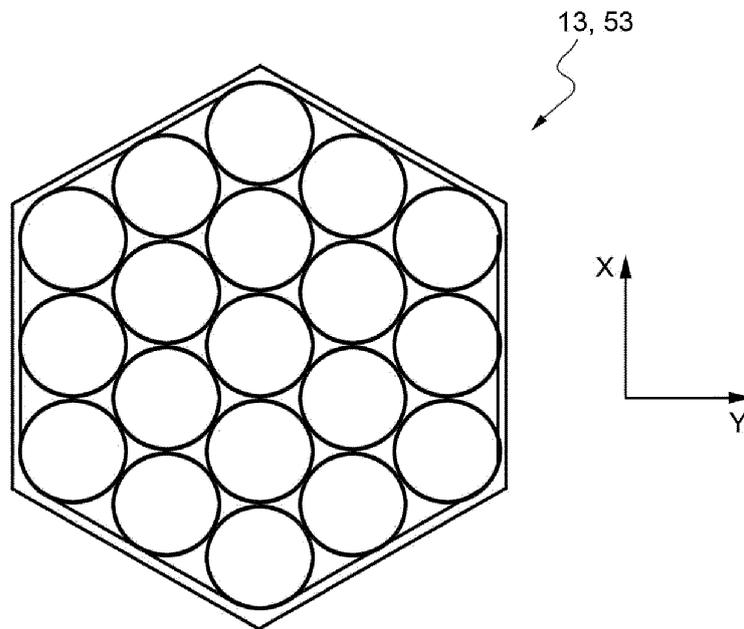


FIG. 10

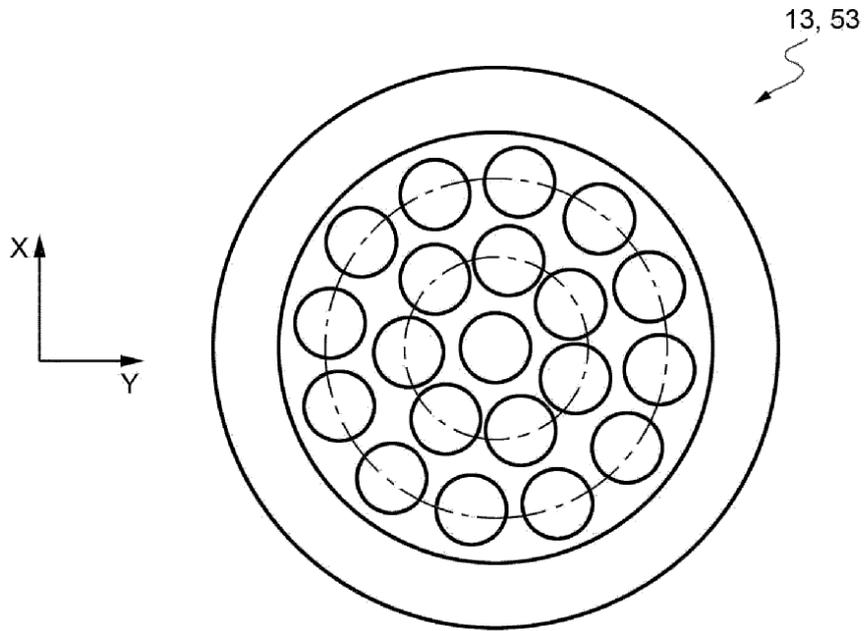


FIG. 11

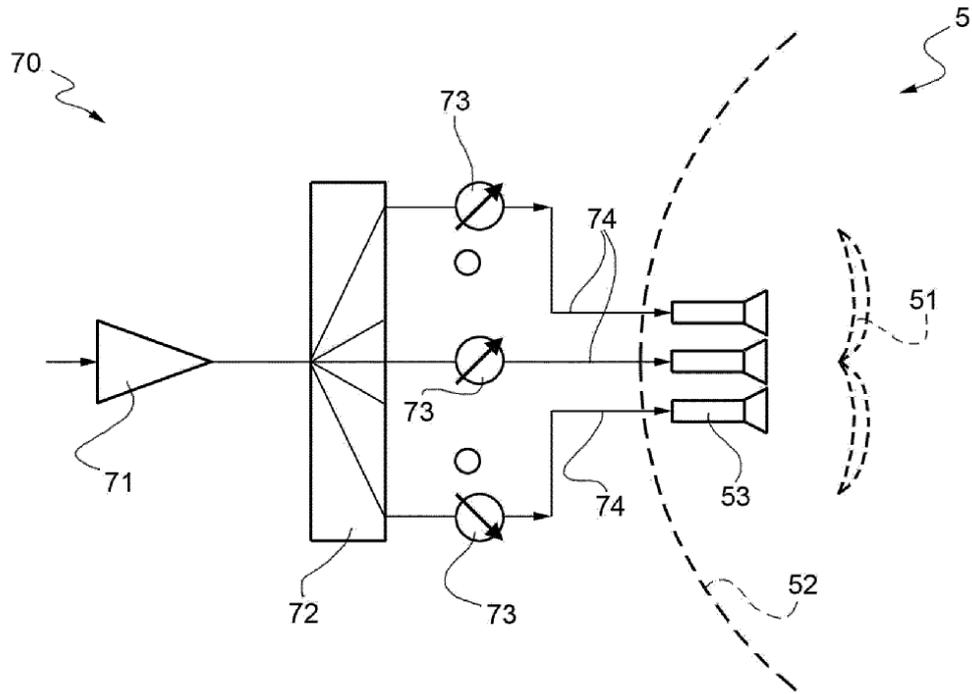


FIG. 12

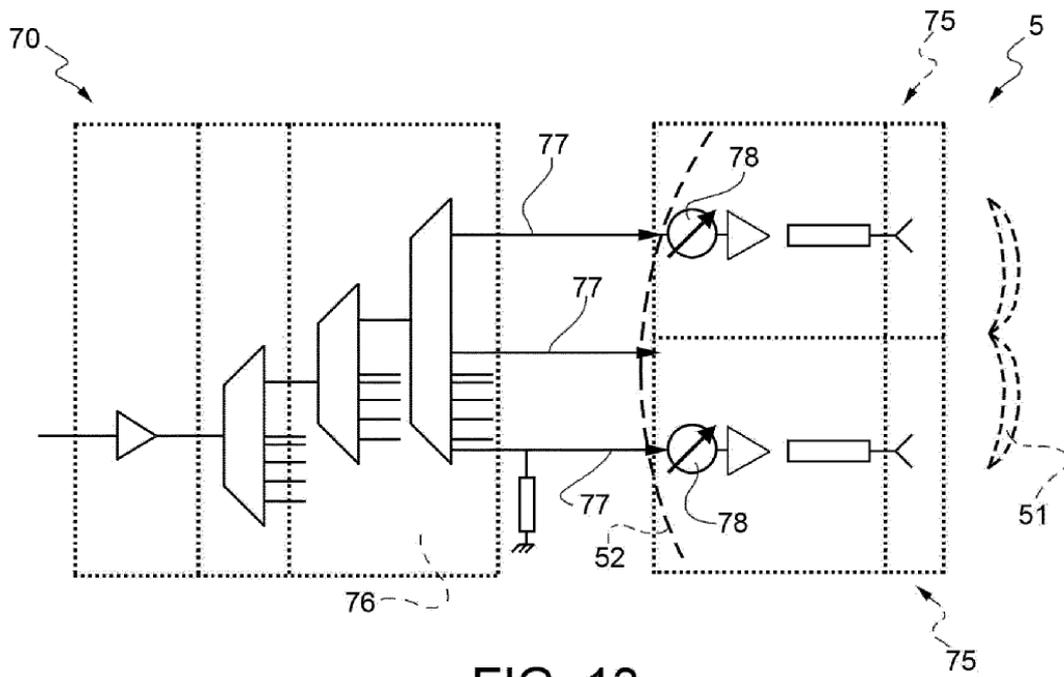


FIG. 13

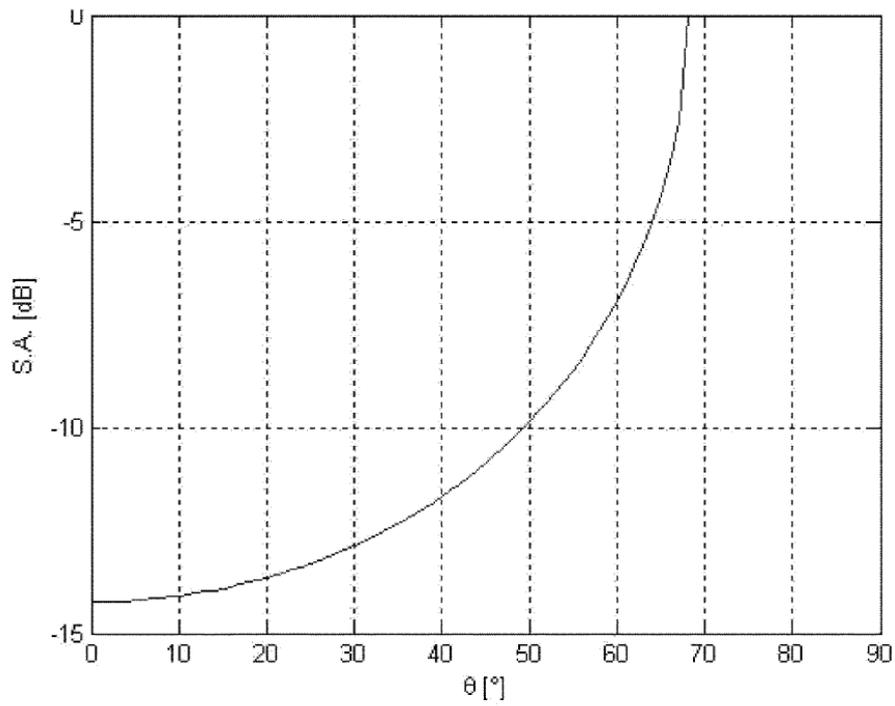


FIG. 14