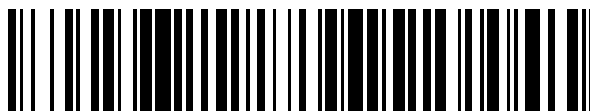


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 710 500**

51 Int. Cl.:

H01Q 3/46 (2006.01)

H01Q 15/06 (2006.01)

H01Q 21/00 (2006.01)

H01Q 25/00 (2006.01)

H01Q 15/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.12.2009 E 09290964 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.11.2018 EP 2221919**

54 Título: **Antena multihaz activa de lente discreta**

30 Prioridad:

18.12.2008 IT RM20080674

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

25.04.2019

73 Titular/es:

**AGENCE SPATIALE EUROPÉENNE (100.0%)
8-10, rue Mario Nikis
75738 Paris Cedex 15, FR**

72 Inventor/es:

**TOSO, GIOVANNI;
ANGELETTI, PIERO;
BELLAVEGLIA, GIANCARLO y
RUGGERINI, GIANFRANCO**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 710 500 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).

DESCRIPCION

Antena multihaz activa de lente discreta

La invención se refiere a una antena multihaz y, en particular, a una antena multihaz de transmisión y de recepción para aplicaciones de satélites, diseñada para funcionar en la parte de microondas del espectro (300 MHz - 300 GHz).

Es bien conocido en la técnica de la ingeniería de antenas que la generación de haces directivos implica utilizar antenas con dimensiones eléctricas grandes, normalmente basadas en reflectores.

Una solución convencional para generar una cobertura caracterizada por haces direccionales contiguos de alta directividad consiste en utilizar varias antenas de reflector – típicamente tres o cuatro en reflexión y el mismo número en transmisión – para generar haces intercalados. Ver S. K. Rao "Parametric Design and Analysis of Multiple-Beam Reflector Antennas for Satellite Communications", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 45, N° 4, Agosto de 2003. Este tipo de arquitectura presenta problemas graves de acomodación cuando se utilizan satélites de a bordo.

Las redes de antenas en fase permiten generar una cobertura multihaz utilizando una sola abertura. Sin embargo, son muy costosas debido al alto número de alimentaciones de radiación que constituyen la matriz y debido a la necesidad de una red compleja de formación del haz.

Otra posibilidad consiste en adoptar un sistema de antenas basado en lentes de microondas. De acuerdo con este método, cada haz es generado por una alimentación individual, que está dispuesta sobre la superficie focal de una lente; el campo generado por cada alimentación es convertido por la lente en un haz directivo. Las lentes dieléctricas convencionales son demasiado pesadas y disipativas para antenas de abertura grande, y requieren al menos una superficie curvada, que las hace difíciles de fabricar. Además, los elementos dieléctricos grandes deberían evitarse con preferencia en satélites.

Las antenas de lente discretas o "restringidas" constituyen una alternativa interesante a las lentes dieléctricas.

Un concepto de lente "discreta" o "restringida" o "lazo" se ilustra en la Artículo de D. McGrath "Planar ThreeDimensional Constrained Lenses", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-34, N° 1, enero de 1986; ver también el documento US 3.984.840.

Una lente discreta está constituida básicamente por una primera matriz de elementos de radiación ("matriz trasera") y una segunda matriz ("matriz delantera") que comprenden el mismo número de elementos de radiación. Cada elemento de la matriz delantera está conectado a un elemento individual de la matriz trasera a través de una guía de ondas o conexión de línea de transmisión respectiva. De esta manera, una señal de micróondas recibida por un elemento de la matriz trasera se propaga hasta la matriz delantera y es reemitida por el elemento correspondiente de la matriz delantera (en el caso de una antena de transmisión; loo recíproco se aplica a una antena de emisión). Las conexiones tienen diferentes longitudes y, por lo tanto, introducen diferentes desviaciones de fases. Si la longitud de las conexiones que van desde el centro hacia los bordes de las matrices está diseñada adecuadamente y si se cumple una relación particular entre las posiciones de elementos de radiación correspondientes en la matriz delantera y la matriz trasera, entonces toda la estructura se comporta como una antena convergente.

Las alimentaciones (por ejemplo, antenas de bocina) están dispuestas sobre la superficie focal de la lente, mirando hacia la matriz trasera. El conjunto puede constituir o bien una antena de transmisión o una antena de recepción, o una antena de transmisión / recepción.

Un inconveniente de las antenas de lentes pasivas de este tipo está asociado con las pérdidas significativas introducidas; en efecto, una gran parte de la potencia que incide sobre la matriz trasera (para una antena de transmisión) o sobre la matriz delantera (para una antena de recepción) no es interceptada por los elementos de radiación de dicha matriz. En recepción, esto reduce la relación señal-a-ruido alcanzable de la señal recibida y en transmisión esto conduce a un derroche inaceptable de potencia eléctrica. Además, exactamente como para antenas de reflector, una parte de la potencia no es interceptada por la abertura de la lente: las pérdidas correspondientes se conocen como pérdidas de "rebosamiento".

La solicitud de patente europea EP 1 041 673 A2 describe una antena de haces múltiples activa que utiliza una lente activa y una matriz de alimentación.

Estos problemas se resuelven, o al menos se alivian, introduciendo elementos activos dentro de las conexiones entre los elementos de radiación delanteros y traseros de la lente discreta (es decir, amplificadores de ruido bajo para lentes de recepción, amplificadores de potencia para una lente de transmisión). De esta manera, la antena de lente se convierte en una Antena de Lente Activa. Esta solución se describe en el Artículo de S. Hollung y Z. B. Popovic "A bi-directional active lens antenna array", Antennas and Propagation Society International Symposium, 1997 IEEE, 1997 Digest Volume 1, 13-18 Julio 1997, página(s): 26-29, vol.1.

Aunque las antenas de lente activa son más sencillas que las antenas de matrices de fases debido a que no requieren una red de formación del haz, carecen de la flexibilidad de las últimas. Además, son todavía bastante complejas y pesadas debido a que se requiere un gran número de elementos de radiación tanto en la matriz delantera como en la matriz trasera.

- 5 La invención tiene la finalidad de proporcionar una estructura mejorada para una antena multihaz de lente activa discreta con mejores actuaciones radiativas y/o volumen, masa, coste y complejidad reducidos.

De acuerdo con la invención, este resultado se consigue por la antena multihaz de la reivindicación 1, que comprende una pluralidad de elementos de alimentación de radiación primarios, cada uno asociado a un haz respectivo; y una estructura de radiación activa que comprende una primera matriz plana ("matriz trasera") de elementos de radiación, una segunda matriz plana ("matriz delantera") compuesta por el mismo número de elementos de radiación, un conjunto de conexiones entre cada elemento de radiación de la primera matriz plana y un elemento correspondiente de la segunda matriz plana, y un conjunto de amplificadores de potencia para amplificar señales transmitidas a través de dichas conexiones; en donde las posiciones relativas de los elementos de radiación de la primera y segunda matrices planas y las demoras de fases introducidas por dichas conexión es son tales que la estructura de radiación forma una lente convergente discreta activa; y dichos elementos de alimentación de radiación primarios son agrupados sobre una superficie focal de dicha lente, que mira hacia la primera matriz plana; caracterizada por que ambas dicha primera y segunda matrices planas son aperiódicas.

Por el contrario, en una antena de lente restringida (o bien activa o pasiva) de acuerdo con la técnica anterior, los elementos de la matriz delantera están equiespaciados.

- 20 Los inventores han partido de la siguiente consideración. En el caso de una antena de transmisión, el campo electromagnético que incide sobre los bordes de la antena es bastante alto (es decir, aproximadamente de -3 a -6 dB con respecto al valor máximo) cuando se utilizan alimentaciones de baja directividad en el área focal.

Tal distribución de la apertura de amplitud está muy lejos de ser óptima, y conduciría a patrones de radiación insatisfactorios con altos niveles de lóbulos laterales.

- 25 En principio, esto podría evitarse utilizando alimentaciones primarias directivas, iluminando la matriz trasera con un cono de borde del orden de -10/-12 dB. Sin embargo, esto no es compatible con una cobertura constituida por múltiples haces direccionales contiguos: en efecto, este tipo de cobertura sólo puede implementarse proporcionando elementos de alimentación primarios con una separación angular pequeña. Pero esto no es posible con alimentaciones directivas, que son necesariamente bastante grandes. De esta manera, es necesario utilizar alimentaciones primarias pequeñas que generan altas pérdidas de rebosamiento.

La antena de lente activa permite solucionar el problema asociado con las pérdidas de rebosamiento debido a que la mayor parte de la potencia RF se genera dentro de la lente. Además, se puede obtener un cono de borde incrementado accionando amplificadores dentro de la lente activa a diferentes niveles de potencia. Sin embargo, esto hace la estructura de la lente más compleja y/o impide el funcionamiento eficiente de los amplificadores.

- 35 Una idea en la base de la presente invención es utilizar el espaciamiento de los elementos de radiación sobre la matriz delantera como un grado adicional de libertad para realizar un "estrechamiento virtual" que no juega ningún papel (o no sólo) sobre la amplitud del campo sino (también) sobre la densidad de muestreo de dicho campo realizado por los elementos de radiación ("densidad decreciente"). El principio de la "densidad decreciente" se describe en el Memorandum RM-3530-PR por W. Doyle "On Approximating Linear Array Factors", febrero de 1963, preparado para United States Air Force Proyecto "Rand". Ver también la solicitud de patente europea N° 08290154 presentada el 18 de febrero de 2009, publicada el 19 de Agosto de 2009 con el número de publicación: EP 2 090 995.

Además, una distribución espacial aperiódica adecuada de los elementos de radiación de la matriz delantera permite reducir los lóbulos de retículo en los patrones de radiación, incluso cuando el espaciamiento entre dichos elementos es comparativamente alto en términos de longitudes de onda. Esto permite una reducción del número de elementos de radiación y, por lo tanto, el coste y el peso de la antena, si conducir a una degradación inaceptable de sus propiedades radiativas. La extensión de esta reducción depende del campo de vista de la antena. Por ejemplo, consideremos una antena embarcada en un satélite geoestacionario para implementar una cobertura multihaz europea con haces de 1°. El campo de vista requerido de tal antena está entre +/-3° y +/-4°. EDI uso de una matriz delantera aperiódica permite una reducción de 25% - 50% en el número de elementos de radiación con respecto a una lente discreta totalmente poblada.

Diferentes realizaciones de la antena multihaz de la invención constituyen el objeto de las reivindicaciones dependientes 2-15.

- 55 En una realización particularmente ventajosa de la invención, de acuerdo con las reivindicaciones 12 - 15, se puede obtener una reducción adicional en la masa y peso de la antena utilizando, en la matriz delantera, bocinas de radiación extremadamente compactas y eficientes.

Otro objeto de la invención es un método de fabricación de tal antena multihaz de acuerdo con las reivindicaciones 16 y 17, comprendiendo dicho método: una etapa de diseño; y una etapa de fabricación física; caracterizado por que dicha etapa de diseño comprende las siguientes operaciones:

- 5 (a) determinar, sobre la abertura delantera de la lente a fabricar, una distribución de la intensidad de referencia, asociada a un patrón de radiación objetiva;
- (b) proyectar el patrón de radiación de un elemento de radiación primario sobre la superficie de una primera matriz plana de dicha lente; determinando de esta manera una primera distribución de la intensidad plana continua;
- 10 (c) transformar dicha distribución de la intensidad en la superficie de una segunda matriz plana de la misma lente, determinando de esta manera una segunda distribución de la intensidad plana continua;
- (d) determinar una disposición de la matriz aperiódica de dicha segunda matriz plana, que muestrea dicha segunda distribución de la intensidad plana continua con una densidad de muestreo variable adaptada para aproximarse a dicho patrón de radiación objetiva; y
- (e) determinar una disposición de la matriz correspondiente de dicha primera matriz.

15 Más precisamente, dicha etapa (c) de transformar dicho patrón proyectado en la superficie de la segunda matriz plana puede comprender aplicar a dicho patrón proyectado: una transformación geométrica que enlaza las posiciones radiales de los elementos de radiación de dichas primera y segunda matrices planas; y transformaciones de amplitud y fase asociadas a dichos amplificadores de potencia, variadores de fase y atenuadores.

20 Características y ventajas adicionales de la presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción, tomada en combinación con los dibujos que se acompañan, en los que:

La figura 1 muestra los elementos constitutivos de la lente aperiódica discreta activa.

La figura 2 ilustra el sinóptico de una lente discreta pasiva genérica.

La figura 3 muestra un sinóptico de una lente aperiódica discreta activa de transmisión de acuerdo con una realización de la invención.

25 La figura 4 muestra una bocina tridimensional utilizada en la matriz delantera.

La figura 5 muestra una vista de parte de la matriz trasera de la lente aperiódica discreta activa de la figura 1.

La figura 6 muestra una vista de parte de la matriz delantera de la lente aperiódica discreta activa de la figura 1.

30 Las figuras 7 a 10 ilustran cuatro formas de realización diferentes de una lente aperiódica discreta activa de la invención.

Las figuras 11A y 11B ilustran un método de realización de la dirección del haz con una lente aperiódica discreta activa de acuerdo con la invención; y

La figura 12 ilustra el uso de la "densidad decreciente" para aproximar los patrones de radiación objetiva de una abertura de referencia de acuerdo con la etapa de diseño del método de fabricación de la invención.

35 Para una mejor comprensión de la presente invención y los resultados ventajosos obtenidos con respecto a la técnica anterior, se muestra en la figura 1 un diagrama de bloques ejemplar de una lente discreta pasiva genérica, que trabaja en recepción. Mientras que los elementos de radiación 3 de la matriz delantera forman el lado radiativo de la lente, los elementos 2 de la matriz trasera interactúan con las alimentaciones primarias 1 localizadas en la zona focal de la lente. Cada elemento de radiación de la matriz delantera está interconectado a un elemento homólogo de la matriz trasera a través de líneas de transmisión 5 de diferentes longitudes, de tal manera que una onda plana incidente 6 está enfocada en un punto de la superficie focal G de la lente, donde está localizada una alimentación primaria capaz de recoger la energía de la onda placa incidente.

45 Supongamos que ρ es la coordenada radial de un elemento de radiación de la matriz trasera ($\rho = 0$ en el centro de la matriz), r es la coordenada radial del elemento correspondiente de la matriz delantera y F es la longitud focal de la lente. Entonces, como se muestra en el Artículo referenciado anteriormente de D. T. McGrath, debe satisfacerse la ecuación siguiente:

$$\rho = r \frac{F}{\sqrt{F^2 - r^2}} \quad [1]$$

La longitud W de la línea de transmisión que conecta los elementos de radiación identificados por coordenadas radiales ρ y r se da por

$$W = F + W_0 - 1/2 \sqrt{F^2 + \rho^2} \quad [2]$$

5 siendo W_0 un constante arbitraria.

Una lente restringida que satisface las ecuaciones 1 y 2 tiene dos puntos focales superpuestos, localizados sobre su eje óptico a una distancia F desde la superficie de la matriz trasera, sobre la que se enfocaría una onda plana que incide perpendicularmente sobre la matriz delantera. Una onda plana que incide sobre la matriz delantera con un ángulo $\theta \neq 0$ estaría enfocada aproximadamente sobre un "punto focal" que se encuentra sobre la superficie focal $G(\theta)$ dada por:

$$G(\theta) = F \left[1 + \frac{1}{2} \frac{\text{sen}^2 \alpha \cdot \text{sen}^2 \theta}{(1 - \text{sec} \alpha)(1 + \text{sen} \alpha \cdot \text{sen} \theta)} \right] \quad [3]$$

donde

$$\alpha = \text{sen}^{-1} \left(\frac{\max(r)}{F} \right)$$

15 Como se ilustra en la figura 3, una lente discreta aperiódica activa de acuerdo con la presente invención está compuesta esencialmente de:

- una matriz de alimentaciones primarias 1, tales como antenas de bocina simple, con un número de alimentaciones M igual a número de haces de la cobertura;
- una primera matriz plana aperiódica, llamada "matriz trasera", compuesta de elementos de radiación pequeños;
- 20 - una segunda matriz plana aperiódica, llamada "matriz delantera", compuesta de elementos de radiación 3 con diferente espaciamiento con respecto a la matriz trasera;
- una estructura de sándwich 4 (ver las figuras 4 y 5), preferiblemente de alta conductividad térmica, capaz de combinar la funcionalidad de soporte estructural con la del control térmico, que se puede mejorar eventualmente por medio de un hardware de control térmico pasivo o activo 10 (ver la figura 6 para una vista más detallada); esto es de particular importancia para antenas de transmisión.
- 25 - las interconexiones 5 entre los elementos de radiación de las matrices delantera y trasera para la transmisión de cada una de las dos polarizaciones ortogonales (ver la figura 5 para una vista más próxima), que comprenden varios componentes: amplificadores 9 (ver la figura 3), elementos de control variable, tales como atenuadores 8 y variadores de fases y/o líneas de demora verdadera 7 (por ejemplo, para permitir el señalamiento electrónico del sistema de antenas como se ilustra en las figuras 11A y 11B, los efectos de envejecimiento de componentes de compensación, etc.), líneas de transmisión, etc. En una realización preferida de la invención, se proporcionan dos líneas de transmisión separadas para cada pareja de elementos de radiación, es decir, una línea de transmisión por polarización. En una realización simplificada de proporciona una conexión individual para ambas polarizaciones, o la antena es accionada en una polarización individual.
- 30
- 35

Para una antena de transmisión, cada uno de los M haces de la cobertura general es generado excitando una alimentación primaria individual 1 que, a su vez, excita todos los N elementos de radiación de la matriz trasera. Las interconexiones 5, incluyendo elementos activos y de control, elaboran y transmiten esas excitaciones a los N elementos de radiación de la matriz delantera aperiódica que contribuyen juntos a formar los patrones de antenas radiados.

40 Se puede apreciar que una antena de lente activa como se ilustra en la figura 3 tiene las siguientes ventajas:

- Modularidad / escalabilidad: la arquitectura de la antena se basa en un bloque de construcción común (es decir, los elementos de radiación y su módulo T/R asociado).
- Reserva de potencia-RF y flexibilidad de potencia-RF-a-haz: todos los amplificadores de alta potencia (HPA) contribuyen a la formación de cualquier haz individual que implica que la potencia RF general puede ser compartida dinámicamente entre los haces ofreciendo una capacidad de reconfiguración intrínseca del tráfico.
- Degradación sutil: como un sub-producto de la distribución de los HPAs a los elementos de radiación, un fallo de un número de ellos no causaría la pérdida de toda la función de la antena, sino que degradará sutilmente su actuación.

La antena de transmisión de la figura 3 puede ser transformada en una antena de recepción

- sustituyendo amplificadores de alta potencia (por ejemplo, Amplificadores de Tubo de Onda Progresiva, o TWTA) por amplificadores de ruido baja; e
- invirtiendo la salida y las entradas de los conectores (las entradas de los amplificadores tienen que conectarse a elementos de la matriz delantera; los atenuadores y variadores de fases tienen que disponerse preferiblemente delante de la entrada del amplificador).

Un aspecto innovador de la invención es el hecho de que ambas la matriz delantera y la matriz trasera de la lente discreta son aperiódicas; en la figura 3 se puede ver fácilmente que el espaciamiento de los elementos de la matriz delantera 3 varía con su posición radial. Por el contrario, en la lente discreta conocida en la técnica anterior, la matriz delantera es periódica mientras que la lente trasera es necesariamente aperiódica debido a la no linealidad de la ecuación [1]. Este aspecto se describirá con referencia a cuatro realizaciones es diferentes de la invención, ilustradas en las figuras 7 a 10.

Más precisamente, de acuerdo con realizaciones particulares de la invención, el espaciamiento de los elementos de la matriz delantera o bien se puede aumentar monótonamente desde el centro de la matriz hacia los bordes, o se puede aumentar desde el centro hacia la periferia y entonces reducir de nuevo hacia los bordes.

En una primera realización (figura 7), los elementos activos que conectan los elementos receptores de la matriz trasera a los elementos de transmisión respectivos de la matriz delantera son todos idénticos. En esta realización, el patrón de alimentación incidente sobre la matriz trasera actúa como un estrechamiento cónico de la amplitud, que debe considerarse en la optimización conjunta de las posiciones tanto de elementos de la matriz delantera como también de la matriz trasera. El estrechamiento cónico intrínseco de la amplitud se puede aprovechar para ayudar a cumplir las actuaciones de los patrones en términos de niveles de lóbulos laterales. En esta realización, los amplificadores trabajan a un nivel diferente de potencia de RF (Radio-Frecuencia) de entrada y, por lo tanto, con diferentes eficiencias.

En una segunda realización (figura 8), todos los amplificadores son idénticos y todos trabajan al mismo nivel de potencia RF de salida, garantizando de esta manera una eficiencia óptima en términos de conversión de potencia DC a RF. Esta configuración permite desacoplar el diseño de la matriz delantera y trasera. La síntesis de la matriz delantera se realiza optimizando sus actuaciones radiativas de acuerdo con un perfil de excitación de amplitud uniforme (ver más abajo). Las posiciones de los elementos delanteros están determinadas de esta manera y proyectadas sobre la matriz trasera de acuerdo con la longitud focal de la lente seleccionada. Las señales recibidas desde la matriz trasera, que exhibe un nivel variable, son ecualizadas a un nivel constante por medio de atenuadores antes de entrar en los amplificadores (es decir, que el valor de atenuación disminuye con la distancia desde el eje de la lente y es cero para elementos que se encuentran en la circunferencia periférica).

En una tercera (figura 9) realización de la invención, se seleccionan diferentes regímenes de potencia de los amplificadores para facilitar la satisfacción de requerimientos estrictos de lóbulos laterales. En particular, se seleccionan dos (o eventualmente más) clases de amplificadores y la síntesis de la matriz delantera se realiza de acuerdo con el principio de que amplificadores de la misma clase trabajan en el mismo nivel de potencia. La optimización de la matriz delantera aperiódica se realiza independientemente de la matriz trasera. Las posiciones de los elementos de la matriz delantera determinan, junto con la longitud focal seleccionada, las posiciones de los elementos de la matriz trasera. Las señales recibidas desde la matriz trasera son ecualizadas por medio de atenuadores para tener el mismo nivel de la señal de entrada para la misma clase de amplificadores de potencia.

Una cuarta (figura 10) realización de la invención es similar a la tercera, pero las señales de entrada a los amplificadores no son ecualizadas y el estrechamiento cónico diferente en la matriz delantera de tiene en cuenta en la optimización de las actuaciones radiativas. Esta cuarta realización es comparable con la primera en términos de actuaciones de radiación alcanzables, con la excepción de que la diferenciación en clases de amplificadores permite una adaptación mejor del nivel de potencia requerido a la potencia del amplificador, aumentando de esta manera la eficiencia de conversión de DC-a-RF.

Otra diferencia importante entre la segunda y tercera realización está en el hecho de que se pueden esperar mejores actuaciones en el nivel de lóbulos laterales cuando se utiliza la configuración con diferentes clases de amplificadores a expensas de una complejidad aumentada de la fabricación (número aumentado de partes diferentes).

5 Como se ilustra en las figuras 11A y 11B, los desviadores de fases variables dispuestos en las conexiones entre elementos de radiación de las matrices delantera y trasera permiten la dirección del haz introduciendo una desviación de fase variable linealmente. Los desviadores de fases y los atenuadores variables permiten también compensar errores de envejecimiento, tolerancia y despliegue de los elementos del conjunto de antena.

Otro aspecto innovador de la invención es un método de síntesis de tales lentes aperiódicas activas, que se basa en los siguientes puntos fundamentales:

- 10 i) síntesis de una distribución de la corriente de la superficie de referencia que cumple la actuación deseada del haz (tales como ancho de banda y niveles de lóbulos laterales) realizada, por ejemplo, por medio de expansión en polinomios de superficie de Zernike o acuerdo con técnicas de síntesis de matriz bien conocidas (ver, en particular, el Artículo de I. T. T. Taylor, "Design of circular apertures for narrow beamwidth and low sidelobe," IRE Trans. On Antennas and Propagation, Vol. AP-8, 1960, páginas 17-22
- 15 ii) síntesis preliminar de la matriz delantera aperiódica con actuaciones equivalentes a la distribución de la corriente de la superficie de referencia y basada en la geometría de la lente y en las funcionalidades de los elementos activos y de control;
- 20 iii) refinamiento iterativo de las posiciones de los elementos de radiación para obtener las actuaciones de radiación deseadas.

Tanto la síntesis preliminar de la matriz delantera aperiódica como también su refinamiento iterativo se realizan teniendo en cuenta toda la propagación de las señales desde la alimentación primaria 1 hasta la entrada de los varios elementos de radiación de la matriz delantera 3. En el diseño de una antena de transmisión, por ejemplo, es necesario considerar excitaciones reales de los elementos de radiación debidas a: el patrón de radiación de la alimentación primaria 1, los patrones de radiación de los elementos de radiación de la matriz trasera 2, la geometría relativa y las diferentes longitudes de trayectorias entre la alimentación primaria y elementos de radiación de la matriz trasera. Además, es necesario tener en cuenta el procesamiento de las señales a través de los amplificadores y los otros elementos de control entre la salida de los elementos de radiación y los otros elementos de control entre la salida de los elementos de radiación de la matriz trasera 2 y la entrada de los elementos de radiación de la matriz delantera 3.

25

30

Más precisamente, la etapa i.) comprende las siguientes operaciones:

A. Fija los requerimientos técnicos principales para la antena: frecuencia operativa y ancho de banda; polarización, ganancia, aislamiento del nivel de lóbulos laterales, campo de visión, características de los haces, etc.

35 B. Determinar la dimensión de la abertura delantera, y un posible estrechamiento cónico de la abertura de la amplitud (es decir, una distribución de la corriente de la superficie de referencia) que permitan satisfacer los requerimientos del punto A. Este estrechamiento cónico puede ser bastante arbitrario, pero en la mayoría de los casos se considera un estrechamiento de la amplitud positivo real con simetría circular.

Antes de realizar la etapa ii.), se requieren dos operaciones de diseño convencionales:

40 C. Seleccionar la distancia focal F como una función del diámetro de la abertura delantera D . Como un ejemplo se puede considerar una antena con $F/D=2$;

D. Seleccionar las alimentaciones primarias y sus localizaciones sobre la superficie focal de la lente restringida activa. En particular, se puede considerar una antena de Haz Individual de Alimentación Individual (SFSB), en donde cada alimentación genera solamente un haz (número de haces, M , igual al número de alimentaciones;

45 E. Derivar la dimensión de la matriz trasera, partiendo del valor de la distancia focal y de la dimensión de la matriz delantera, la abertura trasera de la lente se deriva utilizando un procedimiento introducido por McGrath (ver el Artículo referenciado anteriormente de este autor).

La etapa ii comprende:

50 F. Proyectar los patrones de radiación de las alimentaciones sobre la abertura trasera. Esta proyección tiene en cuenta las diferentes longitudes de las trayectorias de los campos que alcanzan diferente parte de la abertura trasera desde las alimentaciones. Además, la proyección del campo depende de la polarización del campo: la componente de la polarización, cuyo campo eléctrico no está orientado paralelo a la superficie trasera de la lente, se proyecta a través de un término "coseno" dependiendo de la posición considerada sobre la abertura trasera (el término coseno tienen del valor 1 cuando se mira el centro de la abertura trasera, y tiende a ser mínimo en los

bordes de la abertura trasera). En la práctica, esta operación se puede simplificar considerando solo el patrón de radiación de una alimentación primaria, en particular la alimentación central.

5 G. Transformar la distribución de campo de la apertura trasera a la apertura delantera. Utilizando de nuevo la ecuación de McGrath, la distribución obtenida en el punto anterior se transforma en la abertura delantera. Esta transformación implica una contracción no lineal de la distribución debido a que, para este tipo de lentes discretas restringidas, la abertura trasera es mayor con respecto a la delantera.

10 La transformación puede tener en cuenta también la transformación de la amplitud y de la fase introducida por dichos atenuadores, desviadores de fases y amplificadores, y que constituyen grados adicionales de libertad para diseñar la lente activa. Por ejemplo en el realización de la figura 7, la distribución de la intensidad sobre la superficie trasera de la lente no sólo está restringida de acuerdo con la ecuación de McGrath, sino que está convertida también en una distribución plana por los atenuadores variables.

Hay que indicar que estamos considerando aberturas continuas: la estructura discreta de la lente no ha sido introducida todavía en el procedimiento de diseño.

15 En este punto se han definido dos distribuciones continuas positivas reales sobre la abertura delantera de la lente activa: la distribución continua de referencia derivada en el punto B, que debe aproximarse para satisfacer los requerimientos de la antena; y la derivada en el punto G, que representa el patrón de una alimentación individual convertida de la abertura trasera a la abertura delantera de la lente.

20 H. Determinar un muestreo aperiódico adecuado de la abertura delantera introduciendo una "densidad decreciente" de acuerdo con una ponderación definida por el patrón objetivo de tal manera que el patrón de radiación de la matriz aperiódica se aproxima al patrón de radiación objetiva.

La etapa esencial del diseño de la lente se puede ilustrar con la ayuda de la figura 12, en la que:

- 25 - La curva de puntos RA representa la distribución de la intensidad del campo de la abertura de referencia. Se supone que la abertura es circular, y que la distribución de la intensidad del campo muestra simetría rotacional; por lo tanto, la curva RA representa, más exactamente, una sección de la distribución a lo lado de un diámetro de la abertura.
- 30 - La curva continua TBA representa la intensidad del campo que incide sobre la matriz trasera, transformada en una distribución de la intensidad de la matriz delantera correspondiente de acuerdo con la ecuación de McGrath. En este caso ejemplar, los amplificadores de potencia de la lente activa introducen una amplificación constante; por lo tanto, no modifican la forma de la distribución de la intensidad del campo sobre la matriz delantera: el presente caso corresponde a la realización de la figura 7. Debería indicarse que la curva TBA representa una distribución del campo continuo (conceptual), ya que la estructura discreta de la lente no ha sido introducida todavía.
- 35 - Los puntos negros rotulados como EDAA representan las posiciones de los elementos de radiación de una matriz aperiódica de equi-amplitud hipotética que se aproxima al patrón de radiación de la abertura de referencia RA. Esta posición se puede determinar utilizando técnicas conocidas, incluyendo métodos numéricos, el método de área igual descrito por el Artículo referenciado anteriormente de W. Doyle (generalizado a una geometría bidimensional con simetría rotacional) y el método gráfico descrito por la Solicitud Europea EP 2 090 995 citada anteriormente. Más precisamente, se supone que los elementos de radiación están equi-espaciados a lo largo de anillos, cuyos radios se representan por los puntos EDAA.
- 40 - Los puntos blancos rotulados como DPA muestrean periódicamente la curva RA. Corresponden a las posiciones de los elementos de radiación de una matriz periódica de no equi-amplitud hipotética que se aproxima al patrón de radiación de la abertura de referencia RA. La amplitud asociada a cada elemento de radiación se determina por la curva RA. Similar al caso considerado anteriormente, se supone que los elementos de radiación están equi-espaciados a lo largo de anillos, cuyos radios se representan por lo
- 45 - Los cuadrados blancos rotulados como DAA corresponden a las posiciones de los elementos de radiación de una matriz aperiódica que muestrea la distribución del campo continuo representado por la curva TBA para aproximarse al patrón de radiación de referencia. De nuevo, se supone que los elementos de radiación están equi-espaciados a lo largo de anillos, cuyos radios se representan por los puntos DAA. Estas posiciones se pueden obtener gráficamente como las intersecciones entre la curva TBA y las líneas rectas que conectan cada punto EDAA con un punto DPA correspondiente.
- 50

La síntesis de la matriz delantera aperiódica de la lente discreta podría detenerse aquí, conduciendo a una matriz formada por elementos de radiación colocados sobre anillos concéntricos de radios variables.

55 También es posible utilizar la matriz obtenida de esta manera como un punto de partida para un refinamiento iterativo basado en métodos numéricos. Por ejemplo, el radio de un anillo se puede cambiar ligeramente en cada

iteración y se puede evaluar la derivada correspondiente de una función objetiva adecuada. La función objetiva puede ser, por ejemplo, un error medio cuadrático (ponderado) entre el patrón de radiación actual y el objetivo. Después de repetir esta operación para todos los anillos, se puede aplicar un procedimiento de optimización de Quasi-Newton para hallar radios mejorados reduciendo el valor de la función objetiva.

- 5 Como otro refinamiento, se pueden optimizar las posiciones de los elementos de radiación individualmente, conduciendo de esta manera a una matriz que no está constituida ya por elementos dispuestos sobre anillos concéntricos.

10 El procedimiento de diseño es global en el sentido de que las características de los elementos de cada subsistema (matriz delantera, matriz trasera, matriz de alimentación, líneas de transmisión, elementos activos) se derivan y se compensan teniendo en cuenta el acoplamiento con otros subsistemas de toda la antena.

El procedimiento de diseño descrito anteriormente se refiere más particularmente a la realización de la figura 7.

En el caso de la realización de la figura 8, donde la eculización de la intensidad se realiza utilizando atenuadores variables, la matriz delantera se define directamente por los puntos EDAA (rechazando un posible refinamiento iterativo).

- 15 En el caso de las realizaciones de las figuras 9 y 10, los puntos EDAA deberían corresponder a la posición de los elementos de radiación de una matriz periódica de amplitud escalonada (en lugar de una equi-amplitud).

20 Un aspecto adicional de la invención es la estructura de soporte de sándwich, que se puede realizar con materiales de alta conductividad térmica y combina funcionalidades de soporte estructural y de gestión térmica, simplificando de esta manera el sistema de lente activa y haciéndolo relativamente simple, fino y fácil de acomodar a bordo del satélite.

Más precisamente, la estructura de sándwich puede comprender un núcleo de panal de abejas metálico (por ejemplo, aluminio) entre dos revestimientos compuestos reforzados con fibras. En particular, el núcleo puede estar hecho de aluminio y los revestimientos de CFRP (Plástico Reforzado con Fibras de Carbono).

- 25 El núcleo de metal ayudará al equilibrio térmico de los revestimientos delantero y trasero del sándwich. Todavía más importante, la expansión del núcleo se adaptará a la expansión de la estructura que soporta los elementos de radiación, evitándose tensiones térmicas críticas.

30 Los revestimientos pueden estar fabricados por varias capas de materiales compuestos de fibras mono-direccionales de módulo ultra alto con diferentes orientaciones de las fibras, siendo elegida la secuencia de apilamiento de las capas para proporcionar un comportamiento casi isotrópico del revestimiento (típicamente +60°, 0, -60°, repetido por el número de veces identificadas por análisis para conseguir las actuaciones de rigidez requeridas). Las fibras Thornel K-1100 disponibles recientemente son particularmente bien adecuadas para esta aplicación.

- 35 El uso de material de alta conductividad térmica CFRP conduce a un sándwich con propiedades térmicas que pueden ser incluso mejores que las de aluminio y cobre. Esto es importante para disipar el calor generado por el elemento activo de la lente restringida, particularmente en antenas de transmisión.

40 En la antena de transmisión, la gestión térmica puede ser autorizada por dispositivos de control térmico pasivos y/o activos. Estos dispositivos pueden ser, por ejemplo, tubos de calor (referencia 10 en la figura 6) con una configuración casi radial para disipar el calor desde el centro de la lente discreta. Moviéndose desde el centro hasta la periferia, se pueden añadir tubos de calor radiales adicionales para conseguir una relación casi uniforme de área activa del tubo de calor frente a superficie refrigerada. Ventajosamente, los tubos de calor se pueden doblar para encaminarlos entre los elementos activos.

En el borde de la lente discreta, los tubos de calor se pueden conectar a un sistema de radiación térmica que debería diseñarse de acuerdo con la configuración del satélite.

- 45 Una alternativa a los tubos de calor es un sistema de circulación de fluido de circuito cerrado, pero esto haría el sistema más complejo.

Las caras externas de la lente discreta que pueden estar expuestas a radiación solar deberían cubrirse por una protección solar que reduzca la entrada de sol, que permita la emisión de infrarrojos y con impacto aceptable sobre actuaciones de RF.

- 50 Otro aspecto adicional de la invención es el nuevo diseño de los radiadores de antena, que constituyen la matriz delantera.

Las antenas de bocina se utilizan ampliamente como alimentaciones de radiadores individuales para reflectores y antenas de lentes. Las bocinas perfiladas y escalonadas permiten al diseñador tener ciertos grados extra de libertad

para jugar con la optimización de las actuaciones de la bocina. Normalmente las bocinas escalonadas tienen una sección transversal rectangular.

Otro aspecto de la invención es el uso de bocinas nuevas, que son circulares y muy compactas, con una relación típica entre la longitud de la bobina y el diámetro de la abertura comprendida entre 1 y 2 y preferiblemente entre 1 y 1,5 (por ejemplo, igual a 1,35) y un diámetro de $3 - 10\lambda$ y preferiblemente de 3 a 7λ , siendo λ la longitud de onda de la radiación a emitir o recibir, en el dentro de la banda operativa de la antena.

Su diámetro pequeño permite disponer los elementos de radiación unos cerca de los otros, que se puede requerir para conseguir una "densidad decreciente" eficiente y, por lo tanto, un patrón de radiación que se aproxima al patrón de referencia. La longitud pequeña reduce el tamaño y el peso de la lente activa, que es esencial para aplicaciones en el espacio.

Una característica única de las bocinas de la invención es que están optimizadas tanto en términos de eficiencia (> 90% en la banda de frecuencia de 19,7÷20,2 GHz) como también de profundidad longitudinal.

Una bocina de acuerdo con la invención presenta un perfil liso y muy "ondulado" sin discontinuidades para conseguir alta eficiencia (>90%) y de esta manera conversión óptima de modo. Este perfil es continuo:

- es no-monótono, es decir, que el diámetro de la bocina no aumenta monótonamente a lo largo de su eje; y
- comprende un número alto de puntos de inflexión, a saber, 10 o más y preferiblemente 20 o más

El diseño de este elemento de radiación de abertura circular está inspirado uno propuesto, para el diseño de bocinas de abertura rectangular, por T. S. Bird y C. Granet en su Artículo: "Optimization of Profiles of Rectangular Horns for High Efficiency", IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol.55, N° 9, septiembre de 2007.

Las diferencias son:

- la forma de la abertura (circular en lugar de rectangular); y, más importante:
- la eficiencia, la pérdida de retorno y la longitud de la estructura se optimizan conjuntamente.

El diseño de basa en una representación de ranura del perfil de la bocina y la técnica de de adaptación de modo para guía de onda circular. Esta representación de ranura se basa en una serie de puntos (o nodos), típicamente algunas decenas, movidos por el algoritmo de iteración. Una ranura cúbica se ajusta entonces entre estos nodos.

Más precisamente:

- La técnica de adaptación de modo (para estructuras de guía de ondas rectangulares o circulares) es bien conocido por el diseñador de componentes de microondas pasivos para sistemas de alimentación de antenas. Consiste en desarrollar el campo en la estructura de guía en modos con coeficientes desconocidos, en aplicar entonces las condiciones límites apropiadas en las interfaces y en resolver el sistema lineal asociado. Una aplicación típica de esta técnica es el análisis de la discontinuidad formada por dos guías de ondas de diferentes tamaños. La ventaja principal de este análisis modal es la rapidez de sus cálculos y por esta razón se utiliza con frecuencia para diseñar estructuras de microonda con algoritmos de optimización sobre procedimientos iterativos que realizan un análisis de adaptación de modo en cada etapa.
- El diámetro de entrada de la bocina y el diámetro de la abertura de la bocina se asigna de acuerdo con una banda de frecuencia dada y otros aspectos de la antena. Una serie de varios (10 o más, y preferiblemente 20 o más, en el caso de la invención) puntos de control (o nodos) del perfil de la bocina se colocan entre la entrada de la bocina y la abertura de la bocina y se espacian iguales a lo largo del eje de la bobina. En cada iteración del algoritmo de optimización, se cambia la distancia de uno de estos puntos de control desde el eje de la bobina y se modifica el perfil de la bocina en la proximidad de este punto de acuerdo con una representación de ranura que es una función especial definida pieza por pieza por polinomios.
- Una característica única del procedimiento de diseño de las bocinas inventivas se representa por la optimización combinada, que tiene en cuenta ambos ganancia y tamaño. La optimización se basa en el método Quasi-Newton aplicado para minimizar una Función Objetiva. En una realización particular, la función objetiva se define como sigue:

$$f_1 = 1 - \frac{\text{ganancia}}{\text{directividad}_{max}}$$

$$f_2 = \frac{\text{profundidad}_{bocina} - \text{profundidad}_{\acute{o}ptima_bocina}}{\text{profundidad}_{\acute{o}ptima_bocina}}$$

$$\text{Funci3n objetivo} = f_1^2 + f_2^2$$

donde $\text{directividad}_{max}$ es la directividad máxima que se puede obtener para un diámetro de abertura dado y $\text{profundidad}_{\acute{o}ptima_bocina}$ es una profundidad "objetiva" de la bocina (menor que la de la más compacta que se puede esperar actualmente poder disenar).

- 5 El término f_1 permite la optimizaci3n de la Eficiencia de la Abertura de la bocina, minimizando al mismo tiempo la pérdida de retorno de la antena (debido a que la ganancia, en lugar de la directividad, aparece en el numerador). El término f_1 permite minimizar la diferencia entre la profundidad de la bocina y la profundidad mínima objetiva que se busca. El disenador comienza con una bocina c3nica estándar, con un perfil que crece linealmente. Como se ha explicado anteriormente, se seleccionan varios puntos de control equiespaciados (del orden de 10 -20 puntos, a veces más) a lo largo del eje de la bocina. En cada iteraci3n, se perturba localmente la posici3n radial de cada punto a lo largo del perfil, aumentando o reduciendo ligeramente el radio local. Entonces, la derivada de la Funci3n Objetiva es evaluada y almacenada. Después de eso, el punto de control se coloca en la posici3n previa. El procedimiento se repite para todos los puntos de control. Hay que indicar que s3lo el término f_1 se cambia debido a que todos los nodos de control s3lo se modifican en el plano transversal (es decir, que no se cambia la profundidad de la bocina). Al final se evalúa un número de derivadas parciales igual al número de puntos de control. En este punto, la profundidad de la bocina se perturba localmente y se registra la variaci3n correspondiente en la Funci3n Objetiva (ahora se cambia el término f_2). El disenador ha evaluado ahora $N + 1$ derivadas locales (N con respecto a los radios locales asociados con los puntos de control, 1 asociado con la profundidad de toda la bocina). Aplicando un procedimiento de optimizaci3n Quasi-Newton bien conocido (o uno similar) se derivan las nuevas posiciones de los puntos de control y la nueva profundidad de la bocina para minimizar la Funci3n Objetiva. Todo el procedimiento es iterado hasta que se obtienen resultados estables y satisfactorios. Debido a que la antena de bocina ha de respetar las actuaciones asignadas en un ancho de banda de frecuencia entero, es procedimiento es iterado también con respecto a la frecuencia. Si, por ejemplo, la Eficiencia de la Abertura final no excede un valor de 90% en todo el ancho de banda, se aumenta la profundidad deseada (u 3ptima) de la bocina.
- 25 Como es evidente observando la figura 4, el perfil obtenido es localmente liso, pero fuertemente oscilante. Todas las oscilaciones permiten mantener satisfechas las actuaciones con una bocina realmente compacta.

De acuerdo con este método, el algoritmo realiza una configuraci3n compleja del perfil. La figura 4 muestra el modelo 3D de una bocina compacta disenada para la banda de frecuencia 19,7÷20,2 GHz. El diámetro de la abertura es 104 mm (7λ , siendo λ , de nuevo, la longitud de onda a la frecuencia central de la banda operativa de la antena), la longitud de la bocina es 141 mm, mientras que las características eléctricas principales se muestran en la Tabla 1.

Debido a la alta eficiencia, la bocina compacta presenta niveles de polarizaci3n transversal bastante pequeños, típicamente no mayores que -30 dB.

| F [GHz] | D [dBi] | Ef. [%] | RL [dB] | Transversal [dBi] |
|---------|---------|---------|---------|-------------------|
| 19,7 | 26,22 | 90,9 | -18,04 | -3,6 |
| 19,95 | 26,52 | 95,0 | -23,07 | -5,0 |
| 20,2 | 26,50 | 92,3 | -20,92 | -4,12 |

Tabla 1. Características de la bocina circular compacta

En la Tabla 1, "D" representa directividad, que expresa la directividad máxima alcanzada con respecto al valor límite asociado a una abertura uniforme, "RL" las pérdidas de retorno, "Ef" la eficiencia de la abertura, "Transversal" el nivel absoluto de la señal polarizada transversal.

Debería entenderse que la arquitectura de la antena de la invención, aunque particularmente adaptada para aplicaciones en el espacio y para funcionamiento en la parte de microondas del espectro, se puede utilizar también en aplicaciones no-espaciales (por ejemplo, terrestres) y en otras regiones del espectro electromagnético.

REIVINDICACIONES

1.- Una antena multihaz, que comprende:

- una pluralidad de elementos de alimentación de radiación primarios (1), cada uno asociado a un haz respectivo; y

5 - una estructura de radiación activa que comprende una primera matriz plana de elementos de radiación (2), una segunda matriz plana compuesta por el mismo número de elementos de radiación (3), un conjunto de conexiones (5) entre cada elemento de radiación de la primera matriz plana y un elemento correspondiente de la segunda matriz plana, y un conjunto de amplificadores de potencia (9) para amplificar señales transmitidas a través de dichas conexiones; en donde:

10 - las posiciones relativas de los elementos de radiación de la primera y segunda matrices placas y las demoras de fases introducidas por dichas conexiones son tales que la estructura de radiación forma una lente convergente discreta activa; y

- dichos elementos de radiación primaria son agrupados sobre una superficie focal (G) de dicha lente, que mira hacia la primera matriz plana;

15 caracterizada por que ambas dicha primera y segunda matrices planas son aperiódicas.

2.- Una antena multihaz según la reivindicación 1, en donde cada conexión de la estructura de radiación activa está provista con un desviador de fases variable (7) respectivo y un atenuador fijo o variable (8).

3.- Una antena multihaz según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en donde el espaciamiento entre elementos de radiación contiguos:

- 20 - o bien aumenta monótonamente con su distancia radial desde un centro de la matriz; o
- aumenta con su distancia radial desde un centro de la matriz, entonces disminuye cerca de un borde de la matriz.

4.- Una antena multihaz según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde:

- dichos amplificadores son idénticos con una misma ganancia; y

25 - dichos atenuadores fijos o variables están configurados para introducir una misma atenuación, o ninguna atenuación.

5.- Una antena multihaz según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde:

- dichos amplificadores de potencia son idénticos con una misma ganancia, y son accionados a un mismo nivel de potencia;

30 - dichos atenuadores fijos o variables están configurados para equalizar las señales en las entradas de dichos amplificadores.

6.- Una antena multihaz según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde dichos amplificadores de potencia son accionados a diferentes niveles de potencia, mostrando o bien una variación continua o escalonada.

7.- Una antena multihaz según la reivindicación 6, en donde:

35 - dichos amplificadores de potencia están divididos en clases, siendo accionados los amplificadores de cada clase a un mismo nivel de potencia y estando asociados a elementos de radiación de dicha segunda matriz que pertenece a un mismo anillo; y

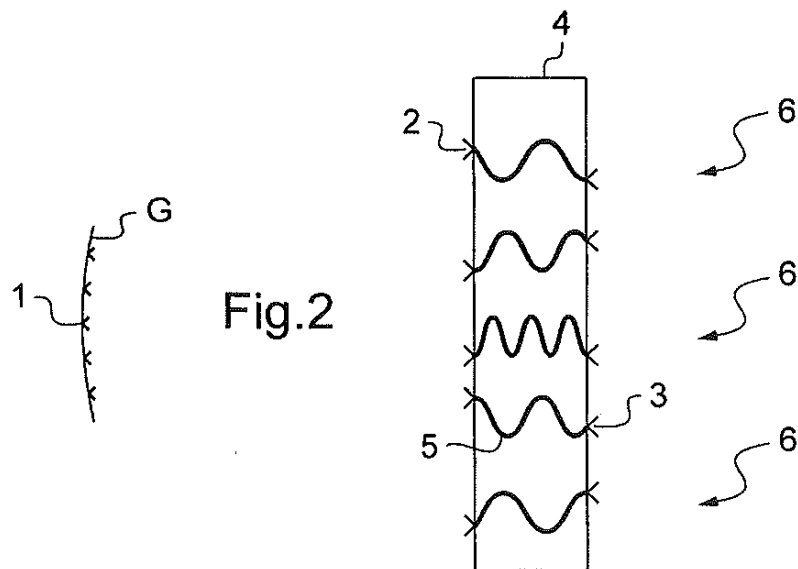
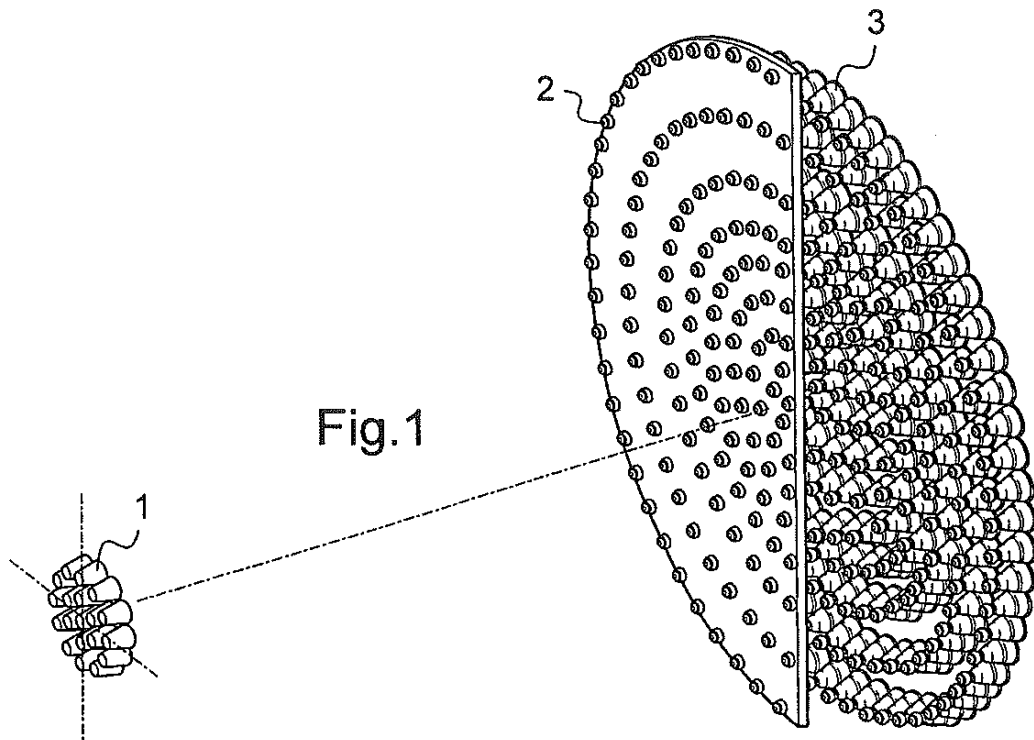
- dichos atenuadores fijos o variables están configurados para introducir una misma atenuación, o ninguna atenuación.

40 8.- Una antena multihaz según la reivindicación 6, en donde:

- dichos amplificadores de potencia están divididos en clases, siendo accionados los amplificadores de cada clase a un mismo nivel de potencia y estando asociados a elementos de radiación de dicha segunda matriz que pertenece a un mismo anillo; y

45 - dichos atenuadores fijos o variables están configurados para equalizar las señales en las entradas de dichos amplificadores.

- 9.- Una antena multihaz según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, medios para accionar dichos desviadores de fases variable para dirigir los haces.
- 5 10.- Una antena multihaz según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dichas primera y segunda matrices planas se forman sobre caras opuestas de una estructura sándwich (4), estando localizadas dichas conexiones y amplificadores de potencia dentro de dicha estructura de sándwich, y en donde dicha estructura de sándwich comprende un núcleo de panal de abejas metálico entre dos revestimientos compuestos por una pluralidad de capas de material compuesto reforzado con fibras de carbono con diferentes orientaciones.
- 11.- Una antena multihaz según la reivindicación 10, en donde dicha estructura de sándwich está provista con un sistema de refrigeración (10).
- 10 12.- Una antena multihaz según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los elementos de radiación de dicha segunda matriz plana son bocinas circulares perfiladas con una relación entre la longitud y el diámetro de la abertura comprendido entre 1 y 2 y preferiblemente entre 1 y 1,5 y un perfil no-monótono con al menos 10, y preferiblemente 20, puntos de inflexión.
- 15 13.- Una antena multihaz según la reivindicación 12, en donde el perfil de dichos elementos de radiación de dicha segunda matriz plana se define por una función de ranura.
- 14.- Una antena multihaz según la reivindicación 12 ó 13, en donde dichos elementos de radiación de dicha segunda matriz plana tienen un diámetro de la abertura entre 3 y 10 veces, y preferiblemente entre 3 y 7 veces, la longitud de onda operativa nominal de la antena.
- 20 15.- Una antena multihaz según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, en donde el perfil de dichos elementos de radiación de dicha matriz plana está diseñado para asegurar una eficiencia de radiación mayor o igual a 90% dentro de una banda de frecuencia operativa nominal de la antena.
- 16.- Un método de fabricación de una antena multihaz de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende:
- una etapa de diseño; y
 - 25 - una etapa de fabricación física;
- caracterizado por que dicha etapa de diseño comprende las siguientes operaciones:
- (a) determinar, sobre la abertura delantera de la lente de la antena que se va a fabricar, una distribución de la intensidad de referencia (RA), asociada a un patrón de radiación objetiva;
 - 30 (b) proyectar el patrón de radiación de un elemento de radiación primario sobre la superficie de una primera matriz plana de dicha lente; determinando de esta manera una primera distribución de la intensidad plana continua;
 - (c) transformar dicha distribución de la intensidad en la superficie de una segunda matriz plana de la misma lente, determinando de esta manera una segunda distribución de la intensidad plana continua (TBA);
 - 35 (d) determinar una disposición de la matriz aperiódica (DAA) de dicha segunda matriz plana, que muestrea dicha segunda distribución de la intensidad plana continua con una densidad de muestreo variable adaptada para aproximarse a dicho patrón de radiación objetiva; y
 - (e) determinar una disposición de la matriz correspondiente de dicha primera matriz.
- 17.- Un método de acuerdo con la reivindicación 16, en el que dicha etapa (c) de transformar dicho patrón proyectado en la superficie de la segunda matriz plana comprende aplicar a dicho patrón proyectado:
- 40 - una transformación geométrica que enlaza las posiciones radiales de los elementos de radiación de dichas primera y segunda matrices planas; y
 - transformaciones de amplitud y fase asociadas a dichos amplificadores de potencia, variadores de fase y atenuadores.



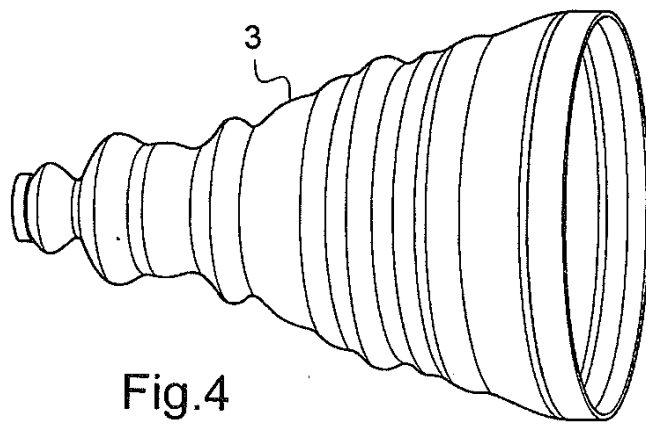
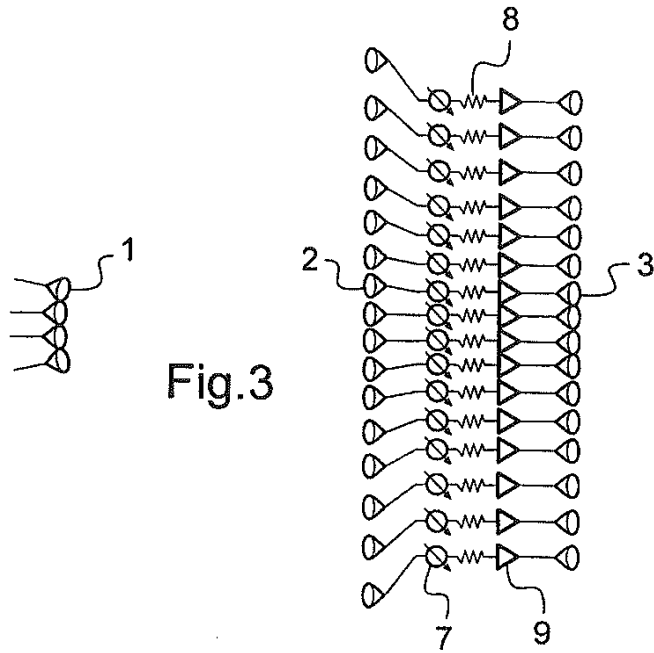


Fig.5

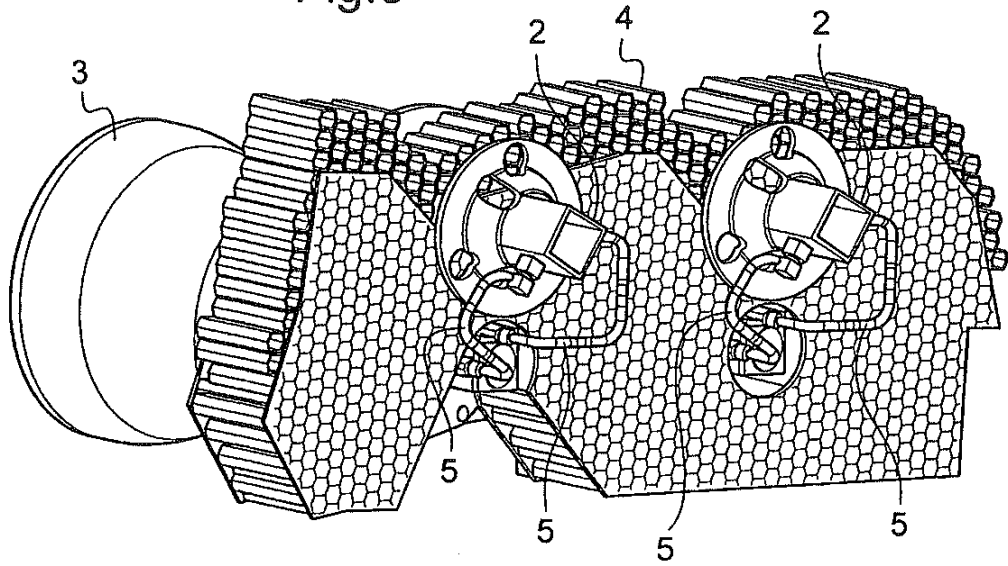
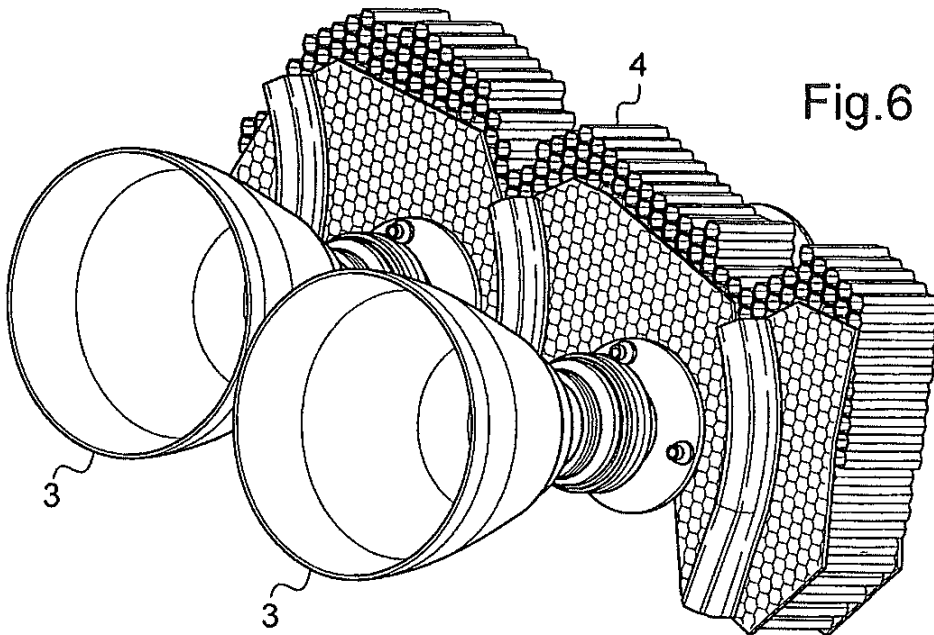


Fig.6



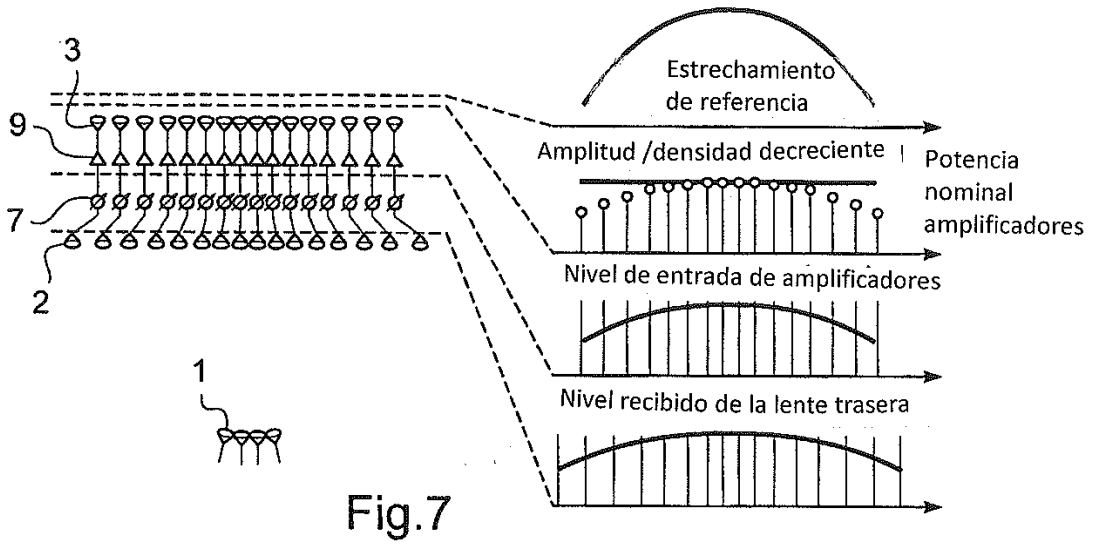


Fig.7

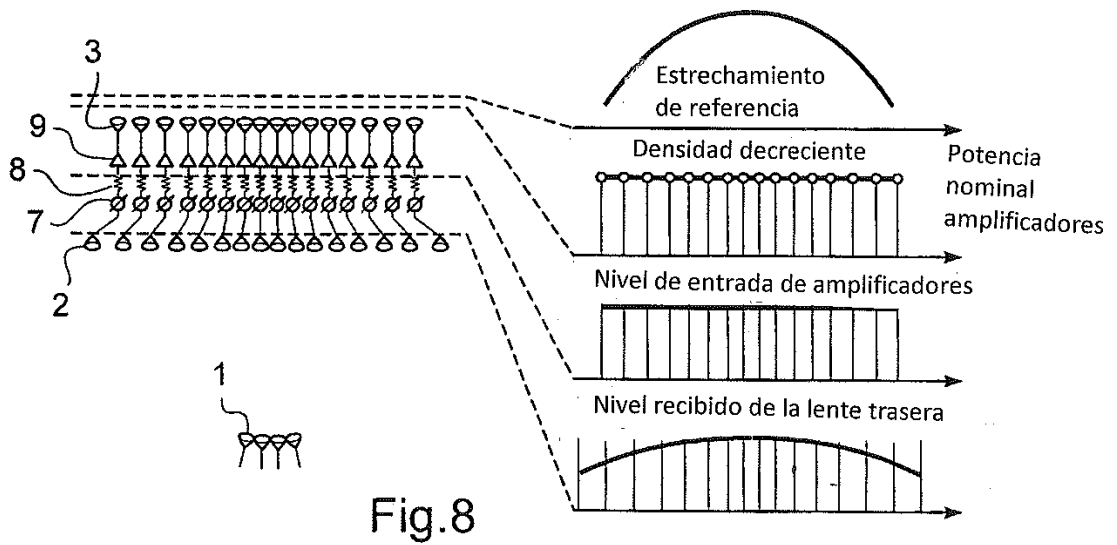
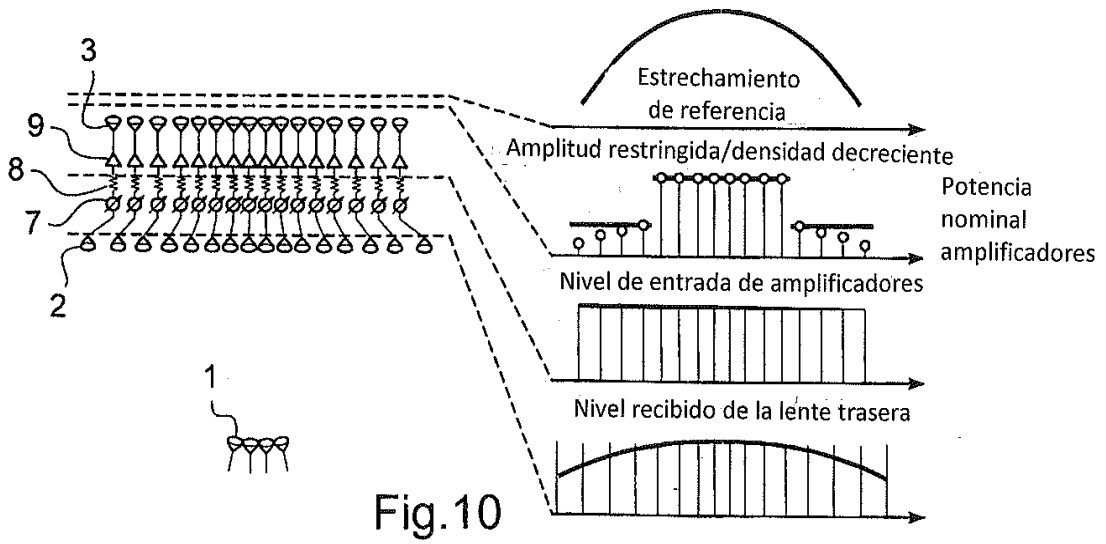
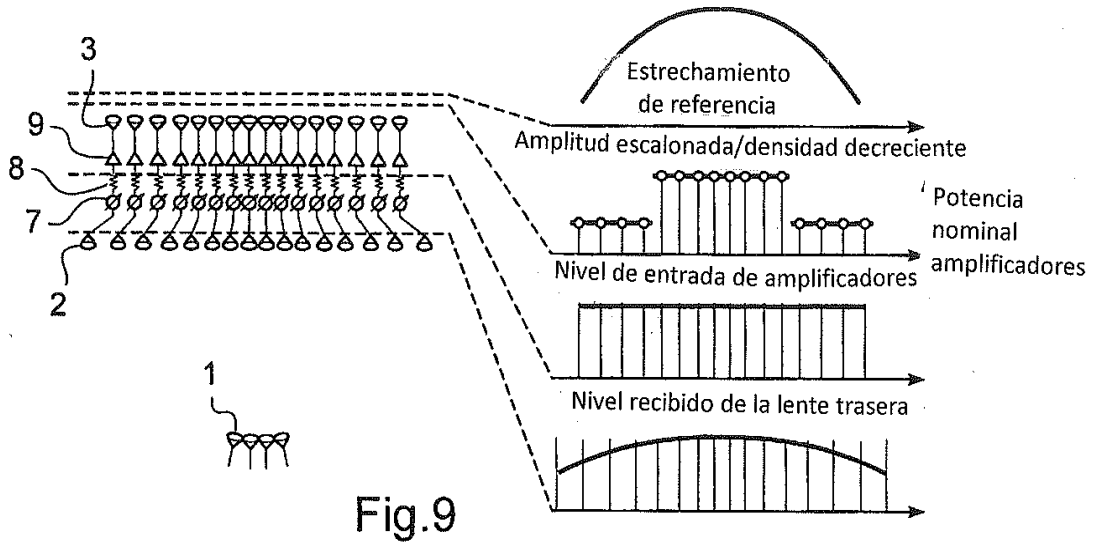


Fig.8



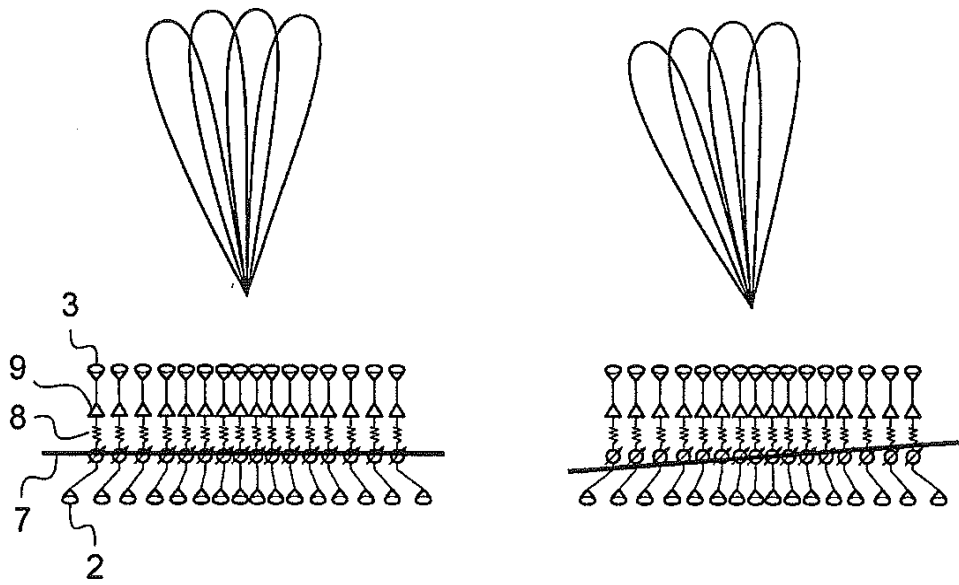


Fig. 11A

Fig. 11B



Fig. 12

