

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 795 045**

51 Int. Cl.:

H01Q 3/46 (2006.01)

H01Q 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.02.2011 PCT/EP2011/052048**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.09.2011 WO11113650**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.02.2011 E 11702668 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2020 EP 2548261**

54 Título: **Antena de red reflectora con compensación de polarización cruzada y procedimiento de realización de tal antena**

30 Prioridad:

19.03.2010 FR 1001100

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

20.11.2020

73 Titular/es:

**THALES, TOUR CARPE DIEM (100.0%)
Place des Corolles, Esplanade Nord
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**BRESCIANI, DANIELE;
LEGAY, HERVÉ;
CAILLE, GÉRARD y
LABIOLE, ERIC**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 795 045 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

Antena de red reflectora con compensación de polarización cruzada y procedimiento de realización de tal antena

La presente invención se refiere a una antena de red reflectora con compensación de polarización cruzada y a un procedimiento de realización de tal antena. Se aplica en particular a las antenas montadas sobre un ingenio espacial tal como un satélite de telecomunicación o antenas de terminales terrestres para sistemas de telecomunicaciones o de difusión por satélite.

Las configuraciones de antena desplazada que constan de un reflector con una superficie formada geoméricamente (en inglés, offset shaped reflector antenna) y una fuente primaria desfasada con respecto al eje normal al reflector, generan radiaciones en una polarización cruzada inducida por la curvatura geométrica del reflector y cuyo nivel depende directamente de la relación focal del reflector, estando la relación focal definida por la relación entre la longitud focal y el diámetro del reflector. Cuanto mayor sea la relación focal, menor es el nivel de polarización cruzada. Sin embargo, cuando la antena se implanta sobre una cara de un satélite orientado hacia la Tierra, la estructura de la antena debe ser compacta y las relaciones focales son bajas, lo que induce un nivel de polarización cruzada elevado.

En el caso de una antena que consta de un reflector iluminado por una fuente primaria centrada, el nivel de polarización cruzada es cero en la dirección normal a la antena, pero puede haber lóbulos de polarización cruzada axisimétricos debido a la curvatura de las líneas de campo en los extremos del reflector.

Por otra parte, la fuente primaria usada puede, cuando consta de bajo rendimiento, generar ella misma componentes de campo que consta de una polarización cruzada.

Para responder a especificaciones de bajo nivel de polarización cruzada, las antenas montadas sobre satélites y apuntando en dirección de la Tierra a menudo tienen una estructura de doble reflector montada en una configuración gregoriana. El uso de dos reflectores permite definir la geometría del reflector auxiliar con respecto a la geometría del reflector principal para que la polarización cruzada inducida por la curvatura del reflector auxiliar cancele la polarización cruzada inducida por la curvatura del reflector principal. Sin embargo, la presencia del reflector auxiliar y de su estructura de soporte conduce a un aumento de la masa, del volumen y del coste de la antena en relación con una sola antena reflectora.

Otra solución para disminuir el nivel de polarización cruzada es usar una antena de red reflectora (en inglés: reflectarray antenna) en configuración de desplazamiento. En este tipo de antena, una fuente primaria ilumina una red reflectora bajo una incidencia oblicua. El reflector consta de un conjunto de elementos radiantes elementales ensamblados en una red mono o bidimensional y que forman una superficie reflectante que puede ser plana. Considerando el caso donde los elementos radiantes de la antena son todos idénticos y no inducen individualmente la polarización cruzada, la red reflectora actúa entonces como un espejo y la radiación reflejada por la red reflectora no consta de componente en polarización cruzada si está iluminado por una fuente primaria sin polarización cruzada colocada en su eje de simetría. Sin embargo, los elementos radiantes de una red reflectora generalmente constan de diferencias geométricas para controlar con precisión el desfase que cada elemento radiante produce sobre una onda incidente. Además, la disposición de los elementos radiantes elementales entre sí sobre la superficie del reflector generalmente se sintetiza y optimiza para obtener un diagrama de radiación dado en una dirección de apuntamiento elegida con una ley de fase elegida. Por consiguiente, se ha observado que, aunque el reflector sea plano y que, por lo tanto, no haya polarización cruzada inducida por la curvatura del reflector, debido a la iluminación del reflector por una fuente en configuración de desplazamiento, la red reflectora se comporta en funcionamiento como un reflector con una superficie formada geoméricamente que también induce radiación de polarización cruzada cuyo nivel es del mismo orden de magnitud que un reflector con una superficie formada equivalente. Una antena de red reflectora se desvela en el documento US 6.081.234.

El objeto de la invención es realizar una antena de red reflectora que tenga un diagrama de fase dado y en la que se anule la polarización cruzada generada por una fuente primaria.

Para ello, la invención se refiere a una antena de red reflectora con compensación de polarización cruzada que consta de una red reflectora constituida por una pluralidad de elementos radiantes elementales distribuidos regularmente y que forman una superficie reflectante y una fuente primaria destinada a iluminar la red reflectora, teniendo la red reflectora un diagrama de radiación según dos polarizaciones ortogonales principales en una dirección de propagación elegida con una ley de fase elegida, estando cada elemento radiante elemental realizado en tecnología planar y constando de un motivo grabado constituido por al menos un parche metálico que consta, en una configuración simétrica que tiene una forma geométrica cuadrada, de al menos cuatro lados opuestos de dos en dos con respecto a un centro del motivo grabado y dispuestos paralelos a dos direcciones X, Y del plano XY del elemento radiante, caracterizada porque al menos un elemento radiante de la red reflectora consta de un parche metálico que tiene una forma geométrica asimétrica con respecto a al menos una de las direcciones X y/o Y del plano XY del elemento radiante, consistiendo las asimetrías angulares en una inclinación angular de al menos dos lados opuestos, del parche metálico de los elementos radiantes en el mismo sentido o, en sentidos opuestos para transformar la forma cuadrada respectivamente en un trapecio o en un paralelogramo.

De este modo, para cada elemento radiante de la red reflectora, la asimetría del motivo grabado se calcula

individualmente para cada elemento radiante a partir de un elemento radiante simétrico del mismo motivo y consiste en una inclinación angular de al menos una dirección del motivo. El valor angular del ángulo de inclinación se determina de modo que el elemento radiante genere una onda reflejada que tenga una despolarización controlada que se oponga a una despolarización generada en el plano normal a la dirección de propagación por la red reflectora iluminada por la fuente primaria. La despolarización controlada del elemento radiante corresponde a una matriz de reflexión individual que tiene coeficientes de reflexión principales de amplitud similares a los del elemento radiante del mismo motivo y de forma geoméricamente simétrica según ambas direcciones X e Y, y coeficientes de reflexión cruzada de amplitud distinta de cero superior a la de dicho elemento radiante del mismo motivo simétrico.

Ventajosamente, el motivo grabado comprende al menos una ranura radiante que comprende en una configuración simétrica del elemento radiante, al menos dos ramas diametralmente opuestas con respecto al centro del motivo grabado y dispuestas paralelas a al menos una de las direcciones X y/o Y del elemento radiante, la asimetría del motivo grabado del elemento radiante además consiste en una inclinación angular de cada rama, con respecto a las direcciones X y/o Y del plano del elemento radiante.

Ventajosamente, en el caso de un motivo grabado que consta de un parche metálico y al menos dos ranuras grabadas en el parche metálico, formando las ranuras al menos cuatro ramas principales orientadas respectivamente, dos a dos, en paralelo a las direcciones X e Y en una configuración simétrica del elemento radiante, las asimetrías angulares además consisten en rotaciones angulares de las cuatro ramas principales de las ranuras, alrededor del centro del motivo grabado, en el plano XY.

Ventajosamente, el motivo grabado asimétrico consta de un parche metálico y de ranuras grabadas en el parche metálico, formando las ranuras una cruz central que tiene cuatro ramas principales opuestas dos a dos, las ramas principales situadas en direcciones opuestas con respecto al centro del motivo grabado, estando inclinadas en sentidos opuestos.

Según un modo de realización, varios elementos radiantes adyacentes de la red reflectora constan de un motivo grabado que tiene una forma geométrica asimétrica con respecto a al menos una dirección X y/o Y del plano XY de cada uno de dichos elementos radiantes, formando las inclinaciones angulares del lado o de la rama de la forma geométrica del motivo grabado de cada uno de dichos elementos radiantes un ángulo de valor continuamente progresivo de un elemento radiante a otro elemento radiante adyacente sobre la superficie reflectante.

En un modo de realización, que la red reflectora consta de varias facetas planas orientadas según diferentes planos, constando cada faceta plana de una pluralidad de elementos radiantes elementales, y porque al menos un elemento radiante de cada faceta plana de la red reflectora consta de un motivo grabado que tiene una forma geométrica asimétrica con respecto a al menos una dirección X y/o Y del plano XY de la faceta a la que pertenece el elemento radiante correspondiente.

La invención se refiere también a un procedimiento de realización de una antena de red reflectora con compensación de polarización cruzada que consiste en realizar una red reflectora (11) constituida por una pluralidad de elementos radiantes elementales (20) distribuidos regularmente y que forman una superficie reflectante y a iluminar la red reflectora (11) por una fuente primaria (13), caracterizado porque consiste en elaborar una red reflectora en la que cada elemento radiante elemental se realiza en tecnología planar y consta de un motivo grabado constituido de al menos un parche metálico (15) que consta, **en una configuración simétrica que tiene una forma geométrica cuadrada**, de al menos cuatro lados opuestos dos a dos con respecto a un centro (50) del motivo grabado y dispuestos en paralelo a dos direcciones X e Y del plano XY del elemento radiante, constando al menos un elemento radiante (20) de la red reflectora (11) de un parche metálico que tiene una forma geométrica asimétrica con respecto a al menos una de las direcciones X y/o Y del plano XY del elemento radiante, las asimetrías angulares consisten en una inclinación angular de al menos dos lados opuestos (81, 82), (83, 84) del parche metálico de los elementos radiantes en el mismo sentido o, en sentidos opuestos para transformar la forma cuadrada respectivamente en un trapecio o en un paralelogramo.

Según un modo de implementación, el cálculo de la asimetría a introducir en el elemento radiante consiste en:

- una primera etapa, a partir del diagrama de radiación del campo electromagnético lejano deseado en el que la polarización cruzada es cero, en deducir los componentes de polarización principal y cruzada del campo eléctrico radiado E_r en el plano normal en la dirección de propagación de las ondas reflejadas por la red reflectora,
- una segunda etapa, en calcular, para cada elemento radiante de la red reflectora, los componentes E_{rx} y E_{ry} del campo eléctrico irradiado correspondiente en el plano de la red reflectora,
- una tercera etapa, en calcular los componentes E_{ix} y E_{iy} del campo eléctrico incidente E_i inducido por la fuente primaria sobre cada elemento radiante de la red reflectora,
- una cuarta etapa, a partir de los componentes E_{rx} , E_{ry} , E_{ix} y E_{iy} determinados en la segunda y tercera etapa, en deducir de allí los valores de los principales coeficientes de reflexión R_{xx} , R_{yy} y cruzados R_{xy} , R_{yx} deseados que deben ser inducidos por el elemento radiante asimétrico correspondiente.

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

- figura 1: un esquema de un ejemplo de una antena de red reflectora, según la invención;
- figura 2: un esquema de un ejemplo de elemento radiante elemental, según la invención;
- figura 3: un esquema de un ejemplo de disposición de elementos radiantes de una antena de red reflectora, según la invención;
- 5 - figura 4a: un esquema que ilustra el trayecto de una onda incidente oblicua sobre una red reflectora, según la invención;
- figura 4b: un esquema que ilustra la orientación de los componentes del campo en diferentes planos sobre el trayecto de una onda incidente y de una onda reflejada, según la invención;
- 10 - figuras 5a y 5b: dos esquemas que ilustran la distribución del campo eléctrico en el plano de la apertura radiante en el caso donde la radiación conste de un componente en polarización cruzada y, respectivamente, en caso donde la radiación esté perfectamente polarizada sin un componente cruzado, según la invención;
- figura 6a: un ejemplo de elemento radiante simétrico que consta de un parche metálico y de ranuras grabadas en el parche metálico, la matriz de reflexión correspondiente y la matriz de reflexión deseada, según la invención;
- 15 - figuras 6b a 6e: el elemento radiante de la figura 6a en el que se introducen diferentes tipos de rotaciones y los diagramas relacionados con las evoluciones de la amplitud y de la fase de los coeficientes cruzados correspondientes, según la invención;
- figura 7: un ejemplo de un conjunto de elementos radiantes simétricos sucesivos que constan de una fase evolutiva continua entre dos elementos radiantes consecutivos, constando cada elemento radiante de un motivo constituido por un parche metálico de forma cuadrada y una apertura radiante hecha en el parche metálico, según la invención;
- 20 - figuras 8a, 8b, 9a, 9b: un elemento radiante de la figura 7 en el que se introducen diferentes tipos de rotaciones y los diagramas relacionados con las evoluciones en la amplitud y la fase de los coeficientes cruzados correspondientes, según la invención.

Una antena de red reflectora 10 tal como se ha representado, por ejemplo, en la figura 1, consta de un conjunto de elementos radiantes elementales 20 ensamblados en una red reflectora 11 mono o bidimensional y que forman una superficie reflectante 14 que permite aumentar la directividad y la ganancia de la antena 10. La red reflectora 11 está iluminada por una fuente primaria 13. Los elementos radiantes elementales 20, también llamados celdas elementales, de la red reflectora 11, constan de motivos grabados de tipo parches metálicos y/o ranuras. Los motivos grabados tienen parámetros variables, tales como, por ejemplo, las dimensiones geométricas de los motivos grabados (largo y ancho de los "parches" o de las ranuras), que se configuran para obtener un diagrama de radiación elegido. Como se ha representado, por ejemplo, en la figura 2, los elementos radiantes elementales 20 pueden estar constituidos por parches metálicos cargados con ranuras radiantes y separados de un plano de masa metálico por una distancia típica entre $\lambda g/10$ y $\lambda g/4$, donde λg es la longitud de onda guiada en el medio espaciador. Este medio espaciador puede ser un dieléctrico, pero también un sándwich compuesto realizado por una disposición simétrica de un separador de tipo de panal de abejas y de pieles dieléctricas de espesores finos.

En la figura 2, el elemento radiante elemental 20 tiene forma cuadrada que tiene lados de longitud m , que consta de un parche metálico 15 impreso sobre una cara superior de un sustrato dieléctrico 16 provisto de un plano de masa metálico 17 sobre su cara inferior. El parche metálico 15 tiene una forma de un cuadrado que tiene lados de dimensión p y consta de dos ranuras 18 de longitud b y ancho k practicadas en su centro, las ranuras están dispuestas en forma de cruz. En una referencia tridimensional XYZ, el plano de la superficie reflectante del elemento radiante es el plano XY. La forma de los elementos radiantes elementales 20 no se limita a un cuadrado, también puede ser rectangular, triangular, circular, hexagonal, en forma de cruz, o cualquier otra forma geométrica. Las ranuras también se pueden realizar en un número diferente de dos y su disposición puede ser diferente de una cruz. En lugar de ranuras centrales, el elemento radiante también podría constar de un motivo constituido por un parche central en forma de cruz y una o varias ranuras periféricas. Como alternativa, el elemento radiante podría incluir un motivo compuesto de varios parches metálicos anulares concéntricos y de varias ranuras anulares o no anulares.

Para que la antena 10 sea eficiente, la celda elemental debe poder controlar con precisión el desfase que produce sobre una onda incidente, para las diferentes frecuencias del ancho de banda.

La disposición (en inglés, lay-out) de los elementos radiantes elementales entre sí para constituir una red reflectora se sintetiza para obtener un diagrama de radiación dado en una dirección de puntería elegida y con una ley de fase predeterminada. La figura 3 muestra un ejemplo de disposición de elementos radiantes de una antena de red reflectora, que permite obtener un haz directivo apuntado en una dirección lateral con respecto a la antena. Debido a la planitud de la red reflectora y las diferencias en las longitudes de trayecto de una onda emitida por una fuente primaria 13 a cada elemento radiante 7, 8 de la red, la iluminación de la red reflectora por una onda incidente procedente de la fuente primaria 13 provoca una distribución de fase del campo electromagnético por encima de la superficie reflectante 14. Por lo tanto, los motivos grabados de cada elemento radiante 7, 8 tienen dimensiones geométricas definidas de modo que la onda incidente se refleja en la red 11 con un desfase que compensa la fase relativa de la onda incidente.

La forma geométrica del motivo grabado de cada elemento radiante se elige generalmente para que sea simétrica con respecto a los dos ejes ortogonales X e Y del plano de cada elemento radiante. Un elemento radiante simétrico aislado apenas despolariza una onda incidente normal a su plano y, por lo tanto, la matriz de reflexión asociada consta de coeficientes de reflexión cruzada muy bajos, generalmente inferiores a 30 dB. Estos niveles pueden aumentar para una incidencia oblicua, particularmente superior a 40° en comparación con lo normal. Los elementos radiantes están dispuestos sobre la superficie del reflector para realizar una ley de fase específica sobre el conjunto de la superficie,

en una polarización principal correspondiente a la polarización emitida por la fuente primaria. Los fenómenos de despolarización son fenómenos considerados como parásitos que deterioran el rendimiento de la antena, pero generalmente no se tienen en cuenta durante la realización de la disposición de la red reflectora.

5 Cuando la red reflectora 11 está iluminada por una onda oblicua incidente en una polarización lineal, genera una onda reflejada que consta de dos componentes de campo según dos direcciones X e Y ortogonales. En la figura 4a, la superficie de la red reflectora 11 está parcialmente esquematizada por líneas discontinuas y se representan cuatro elementos radiantes 20, constanding cada elemento radiante 20 de un parche metálico de forma cuadrada. Una fuente primaria 13 colocada en una configuración de desplazamiento, ilumina la red reflectora 11 según una dirección oblicua formando un ángulo θ con respecto a la dirección normal n a la red reflectora 11. El campo electromagnético incidente E_{inc} emitido por la fuente primaria se puede polarizar linealmente, por ejemplo, según una dirección vertical en una referencia ortonormal vinculada a la fuente. Debido a su incidencia oblicua, el campo incidente E_{inc} , polarizado linealmente en el plano vinculado a la fuente, inducido, en una referencia XY vinculado al plano del elemento radiante, un campo incidente E_i que consta de dos componentes de campo E_{ix} y E_{iy} según las dos direcciones X e Y del plano del elemento radiante, los dos componentes E_{ix} y E_{iy} corresponden a la proyección del campo oblicuo incidente E_{inc} en el plano de la red reflectora. La red reflectora entonces irradia, según una dirección de propagación principal, un campo electromagnético reflejado E_r que consta de dos componentes de campo E_{rx} y E_{ry} . Por lo tanto, el campo incidente E_{inc} polarizado linealmente en la referencia vinculado a la fuente primaria 13 genera en un plano XY paralelo al plano de la red reflectora 11, un componente de campo polarizado cruzado.

20 Para una red reflectora plana y en la dirección normal al plano de la red reflectora, los componentes de polarización cruzada inducidos al nivel de los elementos radiantes se compensan entre sí. Para una ley de fase impuesta para lograr un haz en una dirección dada o una cobertura específica, como se ilustra en la figura 4b, la dirección normal n al plano de la red reflectora es generalmente diferente del plano normal 44 a la dirección de propagación 45. Los componentes de polarización cruzada se suman con ponderación de fase y ya no se compensan entre sí.

25 Por lo tanto, la invención consiste en sintetizar una red reflectora de acuerdo con la técnica anterior, es decir, al preocuparse solo por los diagramas de radiación requeridos en las dos polarizaciones ortogonales principales y, por lo tanto, solo interesarse en los coeficientes de reflexión principales R_{xx} y R_{yy} . Para que el diagrama de radiación de la red reflectora sea eficiente, es importante que los principales coeficientes de reflexión R_{xx} y R_{yy} tengan amplitudes cercanas a 1. La invención consiste entonces en perturbar ligeramente la polarización inducida por al menos un elemento radiante de la red reflectora para compensar los componentes de polarización cruzada inducidos por la red reflectora. La perturbación a introducir en los elementos radiantes se determina individualmente, para cada uno de los elementos radiantes de la red reflectora. La ligera despolarización de las ondas reflejadas por cada elemento radiante corresponde a la aparición, en el plano de la red reflectora, de una radiación en polarización cruzada, a baja amplitud, al nivel de los elementos radiantes individuales. La ligera despolarización es tal que permite obtener, en el plano normal 44 a la dirección de propagación 45 de las ondas reflejadas por la red reflectora 11, llamado plano de apertura de la red reflectora o plano de apertura radiante, una distribución de campo eléctrico sin un componente cruzado. La despolarización introducida debe ser baja y no perturbar el modo fundamental de radiación del elemento radiante, ni su fase. Por ejemplo, los coeficientes de reflexión cruzada introducidos por cada elemento radiante elemental serán preferentemente inferiores a -15 dB.

40 Para estimar la cantidad de despolarización necesaria para lograr sobre cada elemento radiante individual, la invención consiste, en una primera etapa, en definir el diagrama de radiación del campo electromagnético lejano 46 deseado y en imponer como condición de inicio, que los componentes de polarización cruzada sean cero para este campo lejano. Con este campo electromagnético lejano 46 se asocia una distribución única de un campo electromagnético cercano sobre una apertura radiante infinita definida por un plano normal 44 en la dirección de propagación 45 de las ondas reflejadas por la red reflectora 11. Automáticamente, los componentes de polarización cruzada son cero en el campo lejano, también son cero en un plano normal a la dirección de propagación de las ondas reflejadas por la red reflectora y, por lo tanto, son cero en el plano de apertura 44 de la red reflectora 11. A partir del diagrama de radiación del campo electromagnético lejano 46 deseado, es posible deducir de esto, por medio de una transformada de Fourier, los componentes de polarización principal del campo cercano irradiado correspondiente, en el plano de apertura 44 de la red reflectora,

50 También es posible reconstruir el campo cercano irradiado sobre una superficie limitada correspondiente a la red reflectora. Para que haya equivalencia entre el campo cercano reconstruido y el campo lejano deseado, el campo cercano debe estar confinado en el interior de la superficie de la red reflectora.

55 En una segunda etapa, en el caso general donde el plano de apertura 44 es diferente del plano de la red reflectora 11, la invención consiste entonces en calcular, por una técnica de retropropagación, para cada elemento radiante de la red reflectora, los componentes del campo eléctrico irradiado correspondiente en el plano de la red reflectora. La técnica de retropropagación consiste en un cambio de la referencia desde el plano de apertura 44 al plano de la red reflectora 11. Los componentes del campo eléctrico irradiado en el plano de la red reflectora son los componentes E_{rx} y E_{ry} reflejados por el elemento radiante correspondiente según las direcciones respectivas X e Y. El componente E_{ry} es débil pero no cero si el plano de la red reflectora es diferente del plano de apertura.

60 En una tercera etapa, la invención consiste, en calcular los componentes del campo eléctrico incidente E_{ix} y E_{iy}

inducido por la fuente primaria 13 sobre cada elemento radiante de la red reflectora. Para una fuente primaria de tipo de cuerno radiante, el cuerno se define por un conjunto de coeficientes modales de ondas esféricas con las cuales es posible calcular el campo irradiado cercano o lejano como se describe, por ejemplo, en el libro de G. Franceschetti, "Campi Elettromagnetici", Bollati Boringhieri editore s.r.l., Torino 1988 (II edizione), incorporado por referencia.

- 5 En la cuarta etapa, a partir de los componentes E_{rx} y E_{ry} determinados en la segunda etapa y los componentes E_{ix} y E_{iy} determinados en la tercera etapa, la invención consiste, para cada elemento radiante, en deducir de allí los coeficientes de reflexión principales R_{xx} y R_{yy} y los coeficientes de reflexión cruzada R_{xy} y R_{yx} correspondientes.

10 En efecto, los componentes E_{rx} y E_{ry} del campo reflejado E_r generados por la red reflectora según las direcciones respectivas X e Y se expresan en función de los componentes E_{ix} y E_{iy} del campo incidente E_i inducido por la fuente mediante las siguientes ecuaciones:

$$E_{rx} = R_{xx} E_{ix} + R_{xy} E_{iy}$$

$$E_{ry} = R_{yx} E_{ix} + R_{yy} E_{iy}$$

15 Si la onda oblicua incidente E_{inc} se polariza según dos direcciones principales ortogonales X e Y, los componentes del campo reflejado generado según las direcciones X e Y están conectados al campo incidente mediante dos ecuaciones para la polarización según la dirección X y dos ecuaciones adicionales para la polarización según la dirección Y.

La matriz de reflexión de cada elemento radiante de la red reflectora comprende, por lo tanto, coeficientes de reflexión R_{xx} en la dirección X, R_{yy} en la dirección Y y dos coeficientes de reflexión cruzados R_{xy} y R_{yx} correspondientes a una polarización cruzada.

20 Para que los principales coeficientes de reflexión R_{xx} y R_{yy} tengan amplitudes cercanas a 1, es necesario que el campo irradiado lejano esté muy fuertemente correlacionado con el campo radiado cercano reconstruido en el plano virtual de la apertura radiante. Esta es la razón por la cual la invención consiste en primer lugar en sintetizar una red reflectora al preocuparse solo por los diagramas de radiación requeridos en las dos polarizaciones principales ortogonales según las direcciones X e Y y, por lo tanto, solo interesarse en aquellas los principales coeficientes de reflexión R_{xx} y R_{yy} , luego en perturbar ligeramente la polarización de al menos un elemento radiante para compensar la polarización cruzada inducida por la red reflectora en la dirección de propagación de las ondas reflejadas.

Aplicando este método que permite estimar la cantidad de despolarización necesaria para lograr sobre cada elemento radiante individual, elemento radiante por elemento radiante, los valores de los coeficientes de reflexión principales y cruzada se deducen para cada uno de los elementos radiantes correspondientes.

30 Según la posición del elemento radiante 20 sobre la superficie reflectante, el ángulo de incidencia de la onda emitida en relación con este elemento radiante varía y los coeficientes de reflexión cruzada también varían. La despolarización es tanto más importante a medida que aumenta el ángulo θ de la onda incidente con respecto a la dirección normal n a la red reflectora.

35 De este modo, por ejemplo, en el caso de una red reflectora 11 que consta de varias facetas planas, como se representa en la figura 4b donde el reflector consta de tres facetas planas 41, 42, 43 orientadas según tres planos diferentes, los componentes E_{rx} y E_{ry} del campo radiado E_r deben determinarse para cada elemento radiante, en el plano XY de la faceta a la que pertenece este elemento radiante. Por lo tanto, se deben considerar diferentes referencias XY según el elemento radiante considerado y la faceta en la que se encuentra. El método que permite estimar la cantidad de despolarización necesaria para lograr sobre cada elemento radiante individual, debe aplicarse, por lo tanto, faceta a faceta para reconstruir, según el método presentado anteriormente, los componentes E_{rx} y E_{ry} del campo irradiado en el plano XY correspondiente al elemento radiante considerado.

40 Una red reflectora sintetizada, de acuerdo con la técnica anterior, solo interesándose en los coeficientes de reflexión principales R_{xx} y R_{yy} , consta generalmente, por razones de simplicidad de realización, de elementos radiantes que tienen un motivo grabado simétrico según sus ejes principales en las direcciones ortogonales X e Y del plano de la red reflectora. En el caso donde se requieren las mismas radiaciones para las dos polarizaciones ortogonales, los elementos radiantes también tienen dimensiones idénticas según las direcciones X e Y.

Por lo tanto, las dimensiones precisas de los motivos grabados de cada elemento radiante se deducen de los coeficientes principales R_{xx} y R_{yy} . La polarización cruzada en la técnica anterior se considera repentina, incluso si se han propuesto dispositivos para limitar los efectos.

50 Cuando los componentes E_{rx} y E_{ry} que permiten eliminar la polarización cruzada se han determinado para todos los elementos radiantes de la red reflectora, la invención consiste entonces en introducir, en los elementos radiantes individuales 20 de la red reflectora 11, una despolarización controlada, diferente de un elemento radiante a otro elemento radiante, permitiendo obtener la totalidad de los coeficientes de reflexión correspondientes a los valores deseados. Esta despolarización introducida individualmente en los elementos radiantes es tal que luego compensa la despolarización inducida por una onda oblicua incidente sobre la red reflectora final.

La figura 5a ilustra la distribución del campo eléctrico en el plano de la apertura radiante en el caso donde la red reflectora se ha sintetizado sin tener en cuenta los fenómenos parásitos vinculados a la polarización cruzada y donde la radiación consta de un componente en la polarización cruzada, y La figura 5b ilustra el caso donde se ha sintetizado la red reflectora para cancelar el componente de polarización cruzada y donde la radiación está perfectamente polarizada sin un componente cruzado.

Según la invención, la despolarización introducida en al menos un elemento radiante individual de la red reflectora consiste en romper la simetría del motivo de este elemento radiante mientras se conserva la misma fase de los coeficientes de reflexión principales inducidos por este elemento radiante, para no perturbar su radiación en la polarización principal. De este modo, se actúa sobre la amplitud y la fase de los coeficientes de reflexión cruzados. Para ello, se introducen asimetrías angulares en los motivos de los elementos radiantes que generan polarización cruzada, ciertos elementos radiantes que no generan polarización cruzada, por ejemplo, aquellos ubicados en el eje de simetría de la red reflectora, que pueden permanecer simétricos. Estas asimetrías angulares consisten en inclinaciones angulares de al menos una dirección principal del motivo o rotaciones angulares de las cuatro direcciones principales X, X', Y, Y' de los motivos, alrededor del centro 50 del motivo, en el plano XY. Las rotaciones angulares se realizan con ángulos que pueden ser diferentes o idénticos para todas las direcciones y en sentidos que pueden ser idénticos o diferentes. Cuando varios elementos radiantes adyacentes de la red reflectora constan de un motivo grabado que tiene una forma geométrica asimétrica con respecto a al menos una dirección X y/o Y del plano XY de estos elementos radiantes, la asimetría del motivo de cada uno de dichos elementos radiantes es continuamente progresiva de un elemento radiante a otro elemento radiante adyacente sobre la superficie reflectante.

Un primer ejemplo representado en las figuras 6a a 6d se refiere al caso de un elemento radiante 20 cuyo motivo geométrico consta de un parche de metálico y de ranuras grabadas en el parche. En la figura 6a, las ranuras forman una cruz central simétrica según dos direcciones ortogonales XX' e YY', llamada cruz de Jerusalén. La cruz consta de cuatro ramas principales 62, 63, 64, 65, opuestas dos a dos, orientadas respectivamente según las direcciones X, X', Y, Y', constanding cada rama principal de un extremo provisto de una extensión perpendicular. La matriz de reflexión 60 de este elemento radiante simétrico es tal que los coeficientes de reflexión principales son de amplitudes iguales y cercanas al valor máximo 1, correspondiente a 0 dB, y los coeficientes de reflexión cruzados tienen amplitudes muy bajas, típicamente del orden de -29 dB. La matriz de reflexión deseada 61 consta de coeficientes de reflexión principales que están muy poco modificados en comparación con los del elemento simétrico y coeficientes de reflexión cruzados ligeramente degradados, que tienen una amplitud del orden de -21 dB, sin embargo, esta amplitud degradada siempre se sitúa en un nivel correspondiente al ruido. En las figuras 6b, 6c, 6d, cada rama principal de la cruz central ha sufrido diferentes tipos de rotaciones angular con respecto al centro 50 del elemento radiante. Las rotaciones angulares consisten en modificar la inclinación de cada una de las ramas principales, independientemente uno del otro, desde un ángulo diferente y en un sentido positivo o negativo.

En las dos configuraciones 20a, 20b de la figura 6b, las ramas principales de la cruz situadas según direcciones diametralmente opuestas XX', YY' se inclinan simultáneamente, en un mismo ángulo, siendo la inclinación en un sentido positivo para dos ramas opuestas y en un sentido negativo para las otras dos ramas. Los diagramas de amplitud y de fase de los coeficientes de reflexión cruzada correspondientes muestran que esta configuración tiene un fuerte impacto sobre la amplitud de los coeficientes de reflexión cruzada mientras su fase, módulo 180°, no evoluciona cuando el ángulo de inclinación de las ramas principales de la cruz varía entre -10° y +10°.

En las dos configuraciones 20c, 20d de la figura 6c, las cuatro ramas principales de la cruz están inclinadas independientemente entre sí por el mismo ángulo, estando las ramas ubicadas según direcciones diametralmente opuestas inclinadas en sentidos opuestos, pero estando dos ramas sucesivas inclinadas en un mismo sentido. Los diagramas de amplitud y fase de los coeficientes de reflexión cruzada correspondientes muestran que esta configuración tiene poco impacto sobre la amplitud de los coeficientes de reflexión cruzada cuando el ángulo de inclinación de las ramas principales de la cruz varía entre -4° y +4° mientras su fase está evolucionando mucho.

Las dos configuraciones 20f, 20g de la figura 6d, las cuatro ramas principales de la cruz están inclinadas independientemente entre sí por el mismo ángulo, estando las ramas situadas según direcciones diametralmente opuestas inclinadas en sentidos opuestos como sobre la figura 6c, pero se invierte el sentido de inclinación de dos ramas opuestas. Los diagramas de amplitud y fase de los coeficientes de reflexión cruzada correspondientes muestran que esta configuración tiene mucho impacto sobre la amplitud de los coeficientes de reflexión cruzada cuando el ángulo de inclinación de las ramas principales de la cruz varía entre -10° y +10° mientras su fase no evoluciona.

La figura 6e muestra un ejemplo de un elemento radiante 20i optimizado cuya matriz de reflexión está muy cercana a la matriz deseada 61 indicada en la figura 6a. Este elemento radiante 20i consta de dos ramas que forman un ángulo de 9,35° respectivamente en un sentido de rotación negativo y en un sentido de rotación positivo con respecto a las direcciones Y y X, y dos ramas que forman un ángulo de 6,65° respectivamente un sentido de rotación negativo y en un sentido de rotación positivo con respecto a las direcciones X' e Y'.

Por lo tanto, los diferentes ejemplos de rotación en las figuras 6a a 6e muestran que es posible ajustando el ángulo de inclinación de las cuatro ramas de una cruz orientada según las direcciones principales del elemento radiante, controlar la amplitud y la fase de los coeficientes de reflexión cruzados y, por lo tanto, la despolarización de este elemento radiante.

La figura 7 se refiere a un conjunto de elementos radiantes simétricos sucesivos que constan de una fase continuamente evolutiva entre dos elementos radiantes consecutivos, constando cada elemento radiante 20 de un motivo constituido por un parche metálico de forma cuadrada y una apertura radiante hecha en el parche metálico. Las dimensiones respectivas del parche metálico en relación con la apertura radiante son continuamente evolutivas de un elemento radiante a otro elemento radiante adyacente, lo que permite tener una gran cantidad de fases diferentes entre 0° y 360° , módulo 360° a distribuir sobre una red reflectora en función de la ley de fase radiada deseada. Las diferentes fases sucesivas se obtienen sin una ruptura brusca de las dimensiones del parche con respecto a la apertura radiante gracias a la aparición de la apertura radiante en el centro del parche metálico y al aumento progresivo de las dimensiones de la apertura radiante hasta en la desaparición de dicho parche metálico y luego en la aparición en el centro de la apertura radiante de un nuevo parche metálico cuyas dimensiones aumentan gradualmente hasta la desaparición de la apertura radiante.

Al modificar el ángulo de inclinación de dos lados opuestos del parche metálico de cada uno de estos elementos radiantes para transformar la forma cuadrada en un trapecio, es posible controlar la fase de los coeficientes de reflexión cruzados de estos elementos radiantes sin modificar sustancialmente los coeficientes de reflexión principales. Las figuras 8a y 8b muestran los diagramas de evolución de la fase y de la amplitud de los coeficientes de reflexión cruzados para un elemento radiante sometido a una onda incidente oblicua y que consta de dos lados inclinados 81° , 82° u 83° , 84° según direcciones opuestas para formar un trapecio, el ángulo de inclinación de los lados varía entre -10° y $+10^\circ$ con respecto a la dirección YY' para la figura 8a o con respecto a la dirección XX' para la figura 8b. En estas dos figuras, la amplitud de los coeficientes de reflexión cruzada varía muy poco mientras que la fase evoluciona mucho.

Las figuras 10a y 10b muestran otros diagramas de evolución de la fase y de la amplitud de los coeficientes de reflexión cruzados cuando dos lados opuestos están inclinados por el mismo ángulo según una misma dirección para obtener un paralelogramo.

Aunque se haya descrito la invención con relación a modos de realización particulares, es más que evidente que no se limita de ninguna manera a ellos y que comprende todos los equivalentes técnicos de los medios descritos, así como sus combinaciones si estas entran en el marco de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Antena de red reflectora con compensación de polarización cruzada que consta de una red reflectora (11) constituida por una pluralidad de elementos radiantes elementales (20) distribuidos regularmente y que forman una superficie reflectante y una fuente primaria (13) destinada a iluminar la red reflectora (11), teniendo la red reflectora (11) un diagrama de radiación según dos polarizaciones ortogonales principales en una dirección de propagación elegida (45) con una ley de fase elegida, estando cada elemento radiante elemental (20) realizado en tecnología planar y constando de un motivo grabado constituido por al menos un parche metálico (15) que consta, en una configuración simétrica que tiene una forma geométrica cuadrada, de al menos cuatro lados opuestos de dos en dos con respecto a un centro (50) del motivo grabado y dispuestos paralelos a dos direcciones X, Y del plano XY del elemento radiante (20), caracterizada porque al menos un elemento radiante (20) de la red reflectora (11) consta de un parche metálico que tiene una forma geométrica asimétrica con respecto a al menos una de las direcciones X y/o Y del plano XY del elemento radiante (20), consistiendo las asimetrías angulares en una inclinación angular de al menos dos lados opuestos (81,82), (83, 84) del parche metálico de los elementos radiantes en el mismo sentido o, en sentidos opuestos para transformar la forma cuadrada respectivamente en un trapecio o en un paralelogramo.
2. Antena según la reivindicación 1, en la que el motivo grabado comprende al menos una ranura radiante (18) que comprende en una configuración simétrica del elemento radiante, al menos dos ramas diametralmente opuestas con respecto al centro (50) del motivo grabado y dispuestas paralelas a al menos una de las direcciones X y/o Y del elemento radiante (20), la asimetría del motivo grabado del elemento radiante (20) además consiste en una inclinación angular de cada rama, con respecto a las direcciones X y/o Y del plano del elemento radiante.
3. Antena según la reivindicación 1, caracterizada porque, en el caso de un motivo grabado que consta de un parche metálico y al menos dos ranuras grabadas en el parche metálico, formando las ranuras al menos cuatro ramas principales (62, 63, 64, 65) orientadas respectivamente, dos a dos, en paralelo a las direcciones X e Y en una configuración simétrica del elemento radiante, las asimetrías angulares además consisten en rotaciones angulares de las cuatro ramas principales de las ranuras, alrededor del centro (50) del motivo grabado, en el plano XY.
4. Antena según la reivindicación 1, en la que el motivo grabado asimétrico consta de un parche metálico (15) y de ranuras grabadas en el parche metálico, formando las ranuras una cruz central que tiene cuatro ramas principales (62, 63, 64, 65) opuestas dos a dos, las ramas principales (62, 64), (63, 65) situadas en direcciones opuestas con respecto al centro (50) del motivo grabado, estando inclinadas en sentidos opuestos.
5. Antena según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque varios elementos radiantes adyacentes de la red reflectora (11) constan de un motivo grabado que tiene una forma geométrica asimétrica con respecto a al menos una dirección X y/o Y del plano XY de cada uno de dichos elementos radiantes, formando las inclinaciones angulares del lado o de la rama de la forma geométrica del motivo grabado de cada uno de dichos elementos radiantes un ángulo de valor continuamente progresivo de un elemento radiante a otro elemento radiante adyacente sobre la superficie reflectante.
6. Antena según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la red reflectora (11) consta de varias facetas planas (41, 42, 43) orientadas según diferentes planos, constando cada faceta plana de una pluralidad de elementos radiantes elementales, y porque al menos un elemento radiante de cada faceta plana de la red reflectora consta de un motivo grabado que tiene una forma geométrica asimétrica con respecto a al menos una dirección X y/o Y del plano XY de la faceta a la que pertenece el elemento radiante correspondiente.
7. Procedimiento de realización de una antena de red reflectora con compensación de polarización cruzada que consiste en realizar una red reflectora (11) constituida por una pluralidad de elementos radiantes elementales (20) distribuidos regularmente y que forman una superficie reflectante y a iluminar la red reflectora (11) por una fuente primaria (13), caracterizado porque consiste en elaborar una red reflectora en la que cada elemento radiante elemental se realiza en tecnología planar y consta de un motivo grabado constituido de al menos un parche metálico (15) que consta, en una configuración simétrica que tiene una forma geométrica cuadrada, de al menos cuatro lados opuestos dos a dos con respecto a un centro (50) del motivo grabado y dispuestos en paralelo a dos direcciones X e Y del plano XY del elemento radiante, constando al menos un elemento radiante (20) de la red reflectora (11) de un parche metálico que tiene una forma geométrica asimétrica con respecto a al menos una de las direcciones X y/o Y del plano XY del elemento radiante, las asimetrías angulares consisten en una inclinación angular de al menos dos lados opuestos (81, 82), (83, 84) del parche metálico de los elementos radiantes en el mismo sentido o, en sentidos opuestos para transformar la forma cuadrada respectivamente en un trapecio o en un paralelogramo.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado porque el cálculo de la asimetría a introducir en el elemento radiante consiste en:
- una primera etapa, a partir del diagrama de radiación del campo electromagnético lejano deseado en el que la polarización cruzada es cero, en deducir los componentes de polarización principal y cruzada del campo eléctrico radiado E_r en el plano normal (44) en la dirección de propagación (45) de las ondas reflejadas por la red reflectora (11),
 - una segunda etapa, en calcular, para cada elemento radiante (20) de la red reflectora (11), los componentes E_{rx}

y E_{ry} del campo eléctrico irradiado correspondiente en el plano de la red reflectora (11),

- una tercera etapa, en calcular los componentes E_{ix} y E_{iy} del campo eléctrico incidente E_i inducido por la fuente primaria sobre cada elemento radiante (20) de la red reflectora (11),

5 - una cuarta etapa, a partir de los componentes E_{rx} , E_{ry} , E_{ix} y E_{iy} determinados en la segunda y tercera etapa, en deducir de allí los valores de los principales coeficientes de reflexión R_{xx} , R_{yy} y cruzados R_{xy} , R_{yx} deseados que deben ser inducidos por el elemento radiante (20) asimétrico correspondiente.

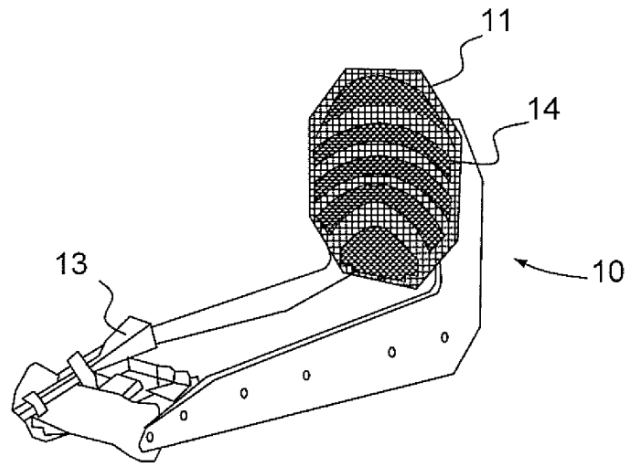


FIG. 1

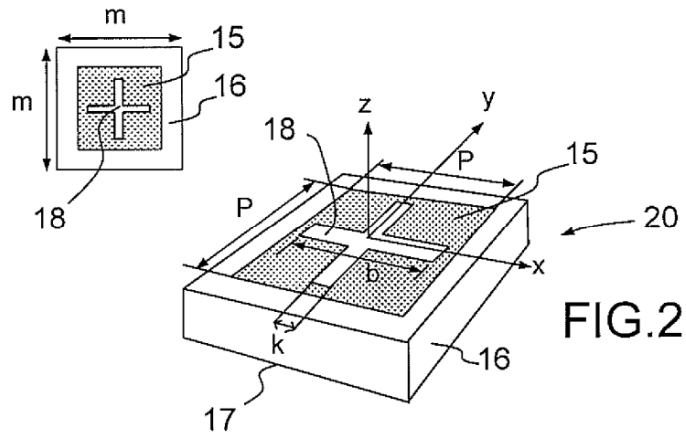


FIG. 2

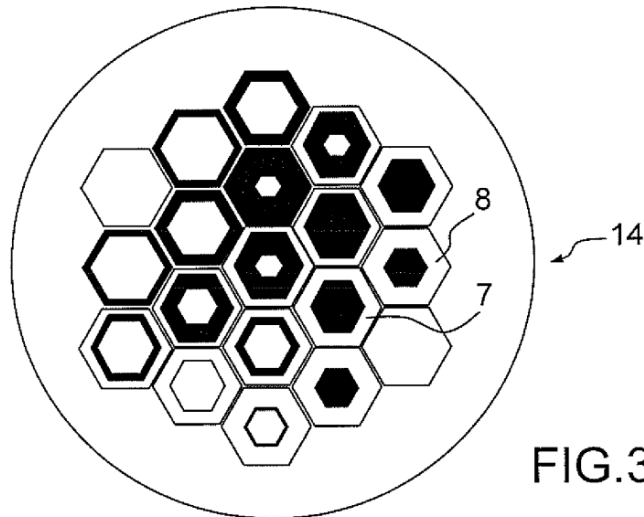


FIG. 3

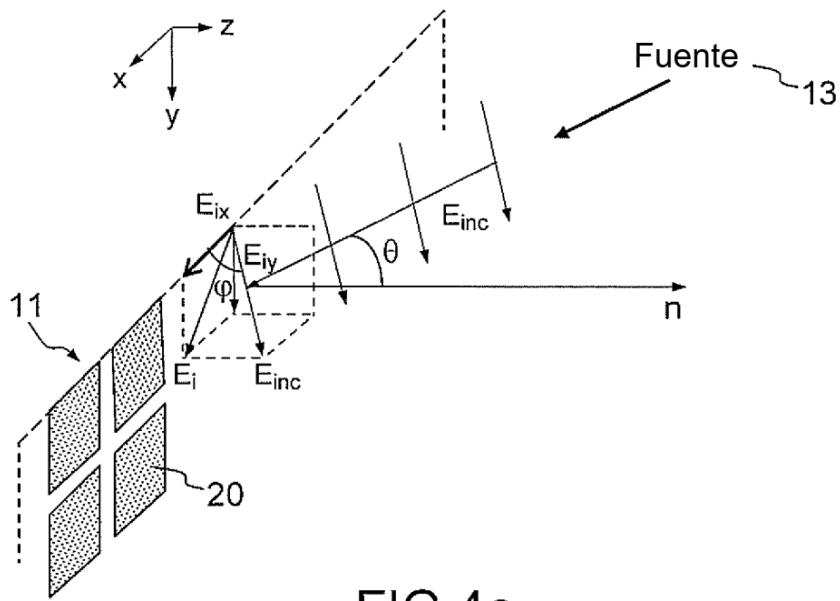


FIG.4a

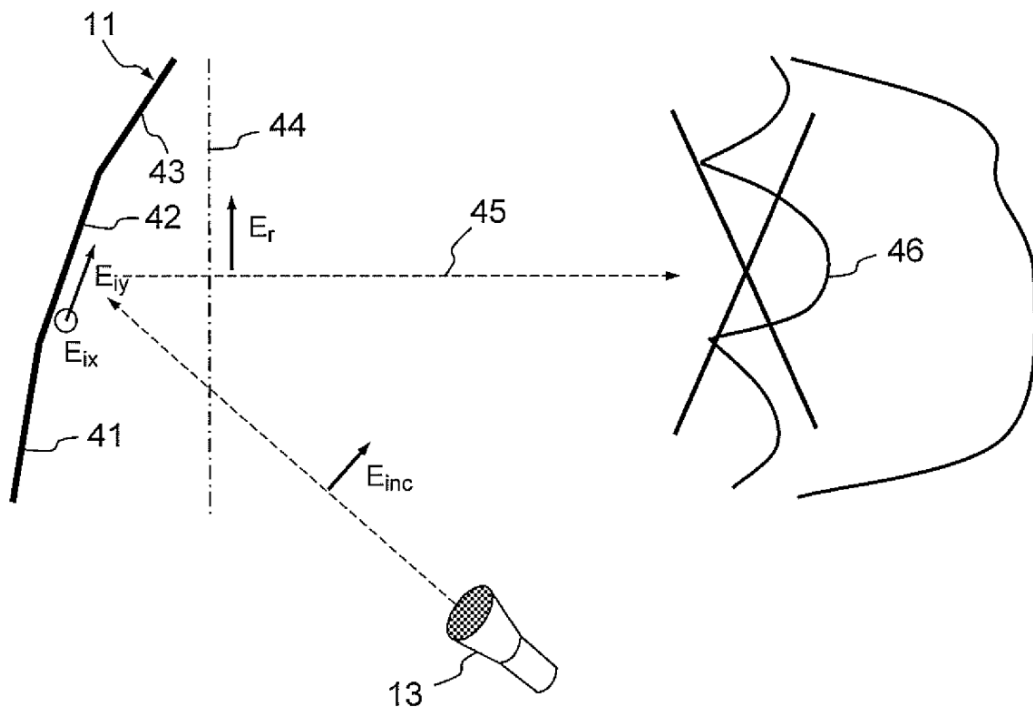


FIG.4b

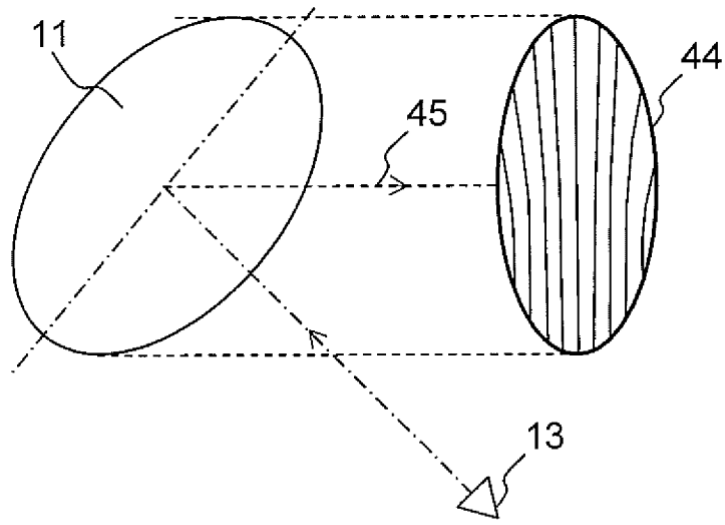


FIG. 5a

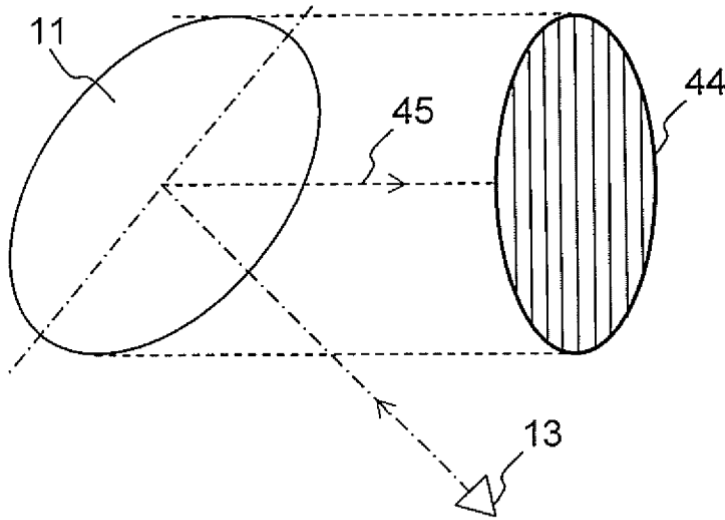


FIG. 5b

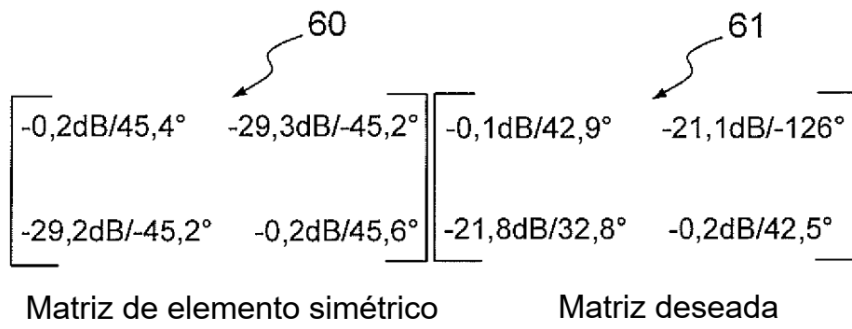
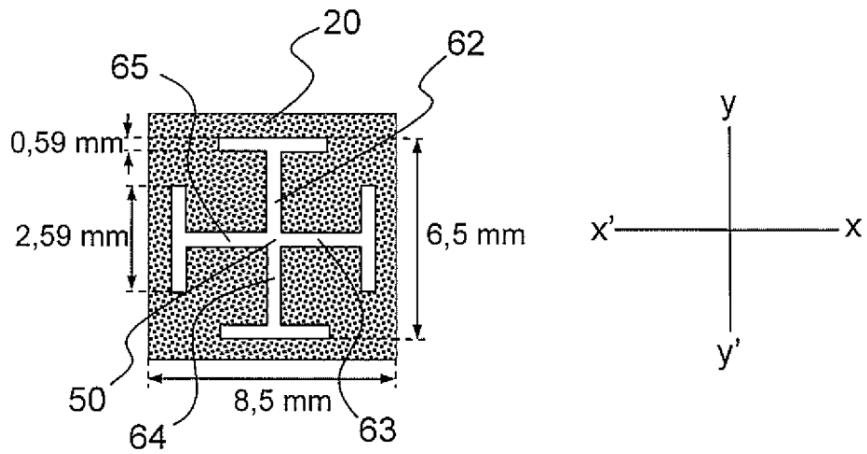


FIG.6a

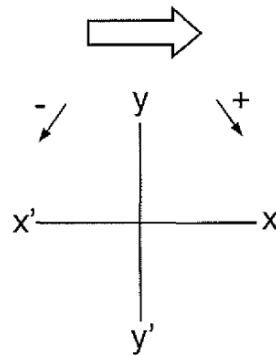
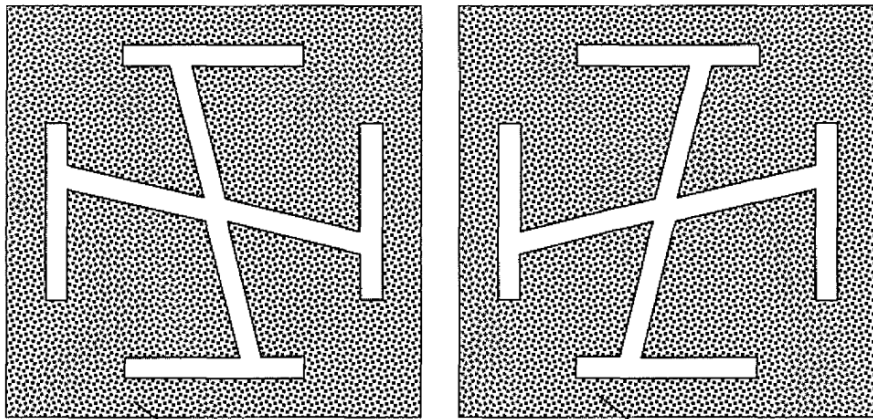
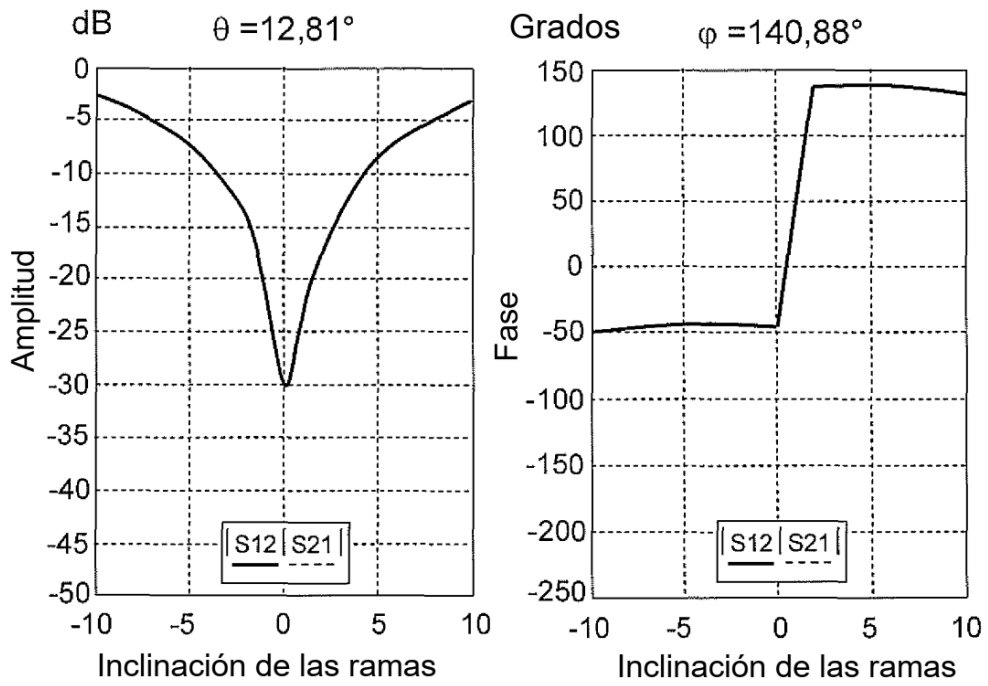


FIG.6b

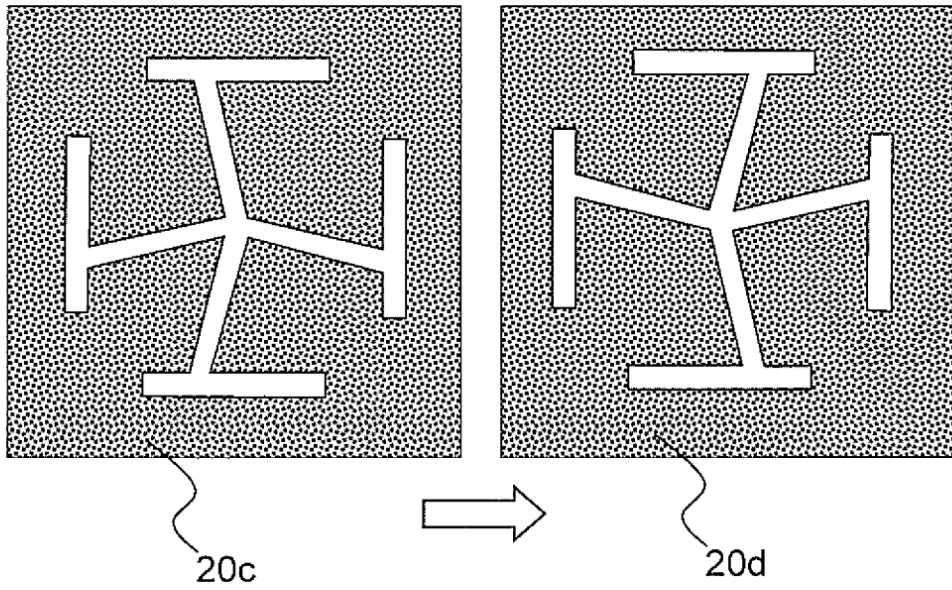
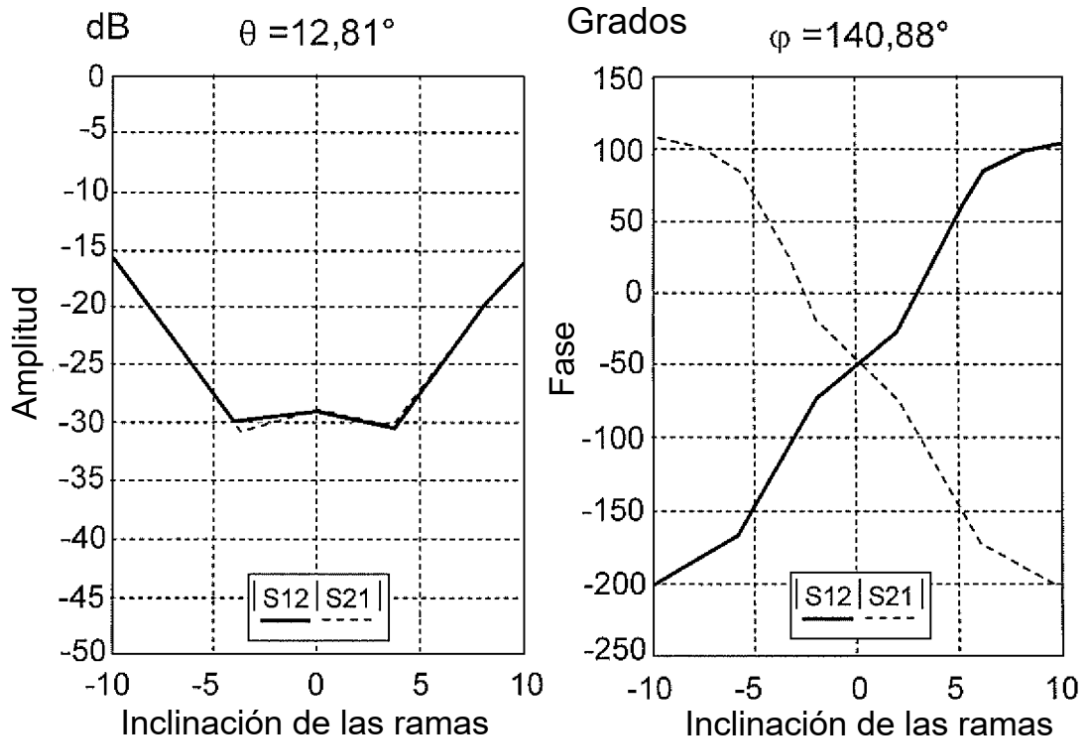


FIG.6c

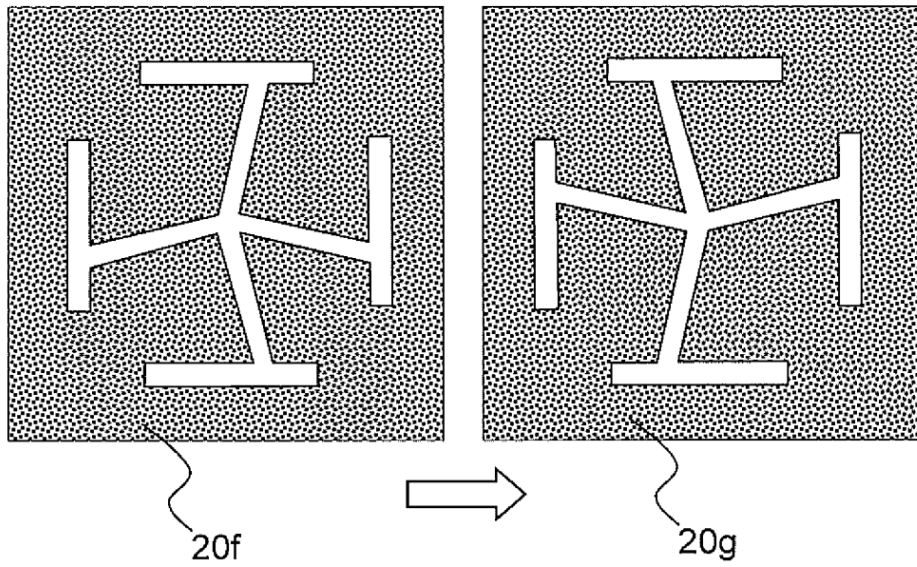
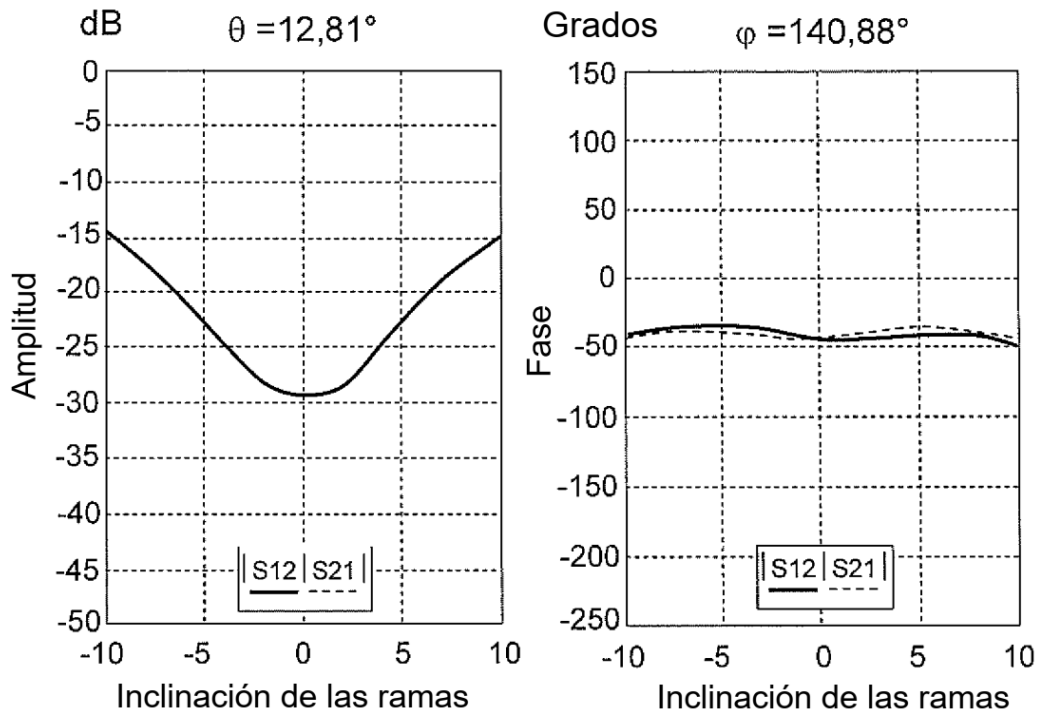


FIG.6d

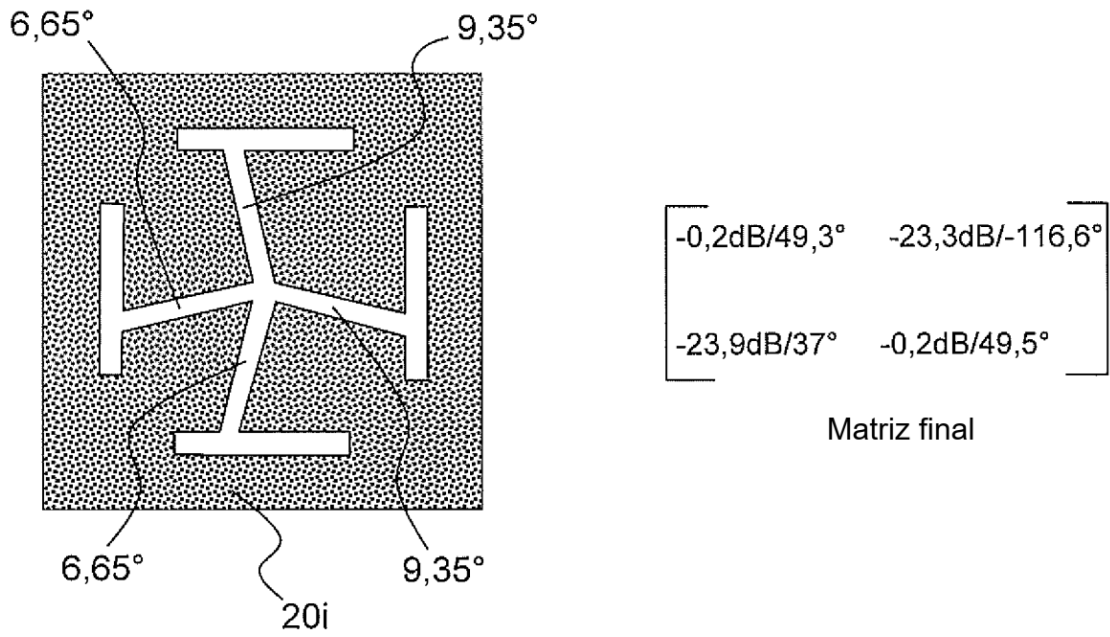


FIG. 6e

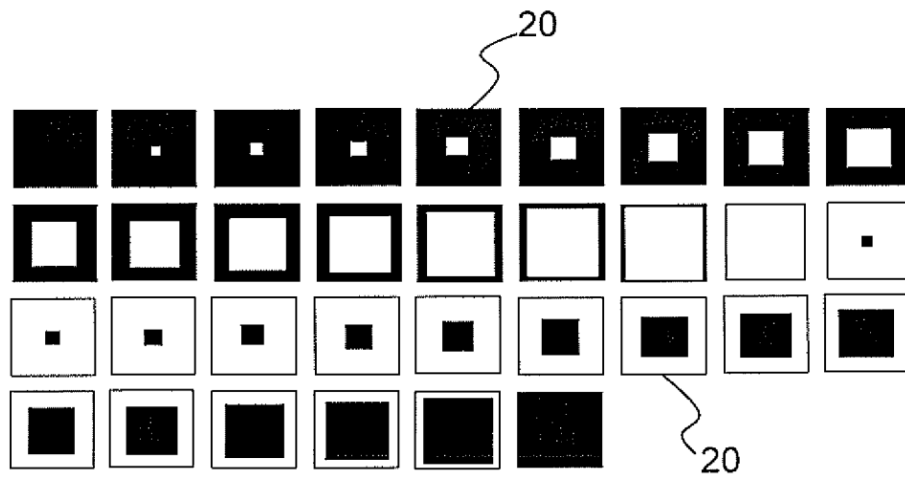


FIG. 7

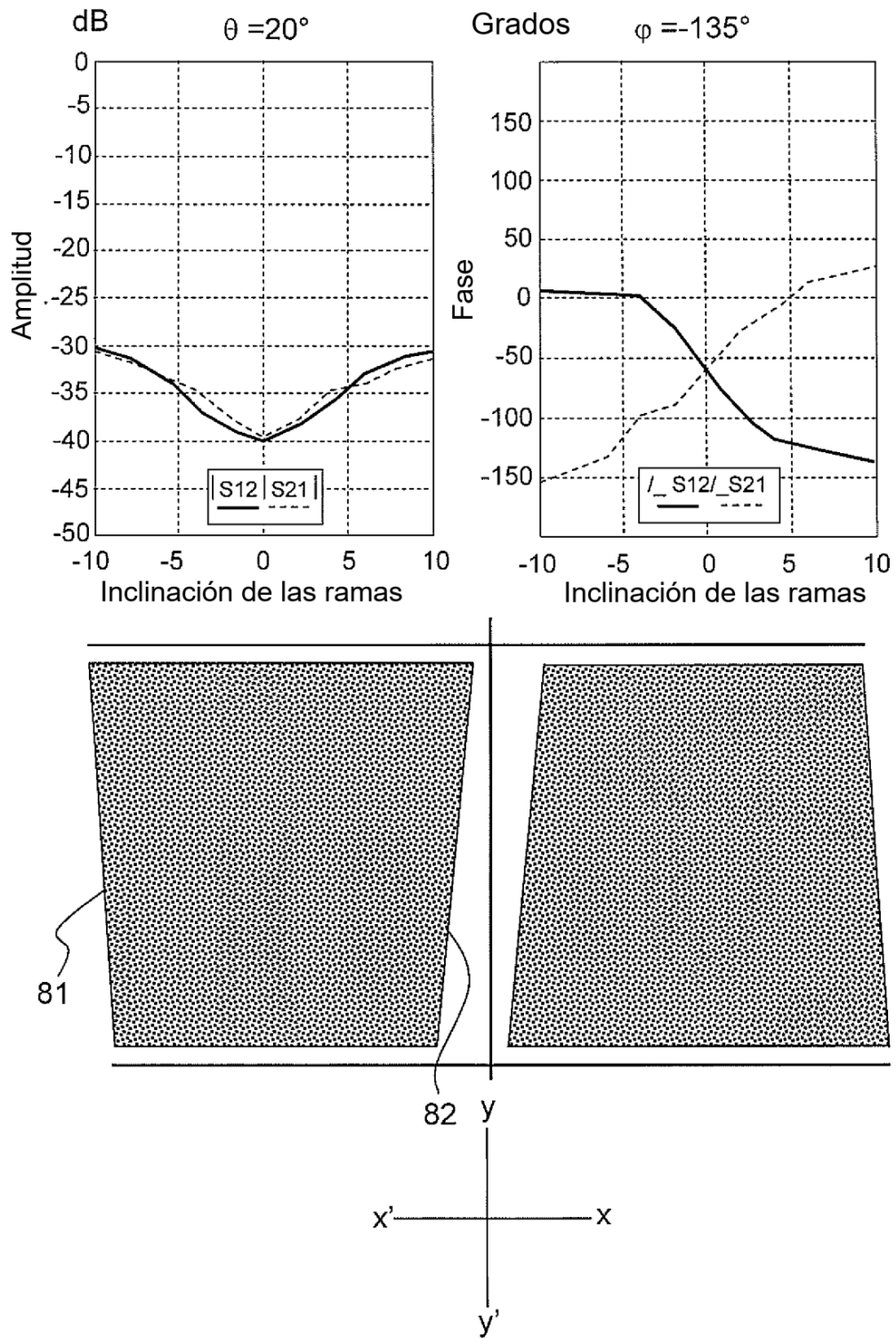


FIG.8a

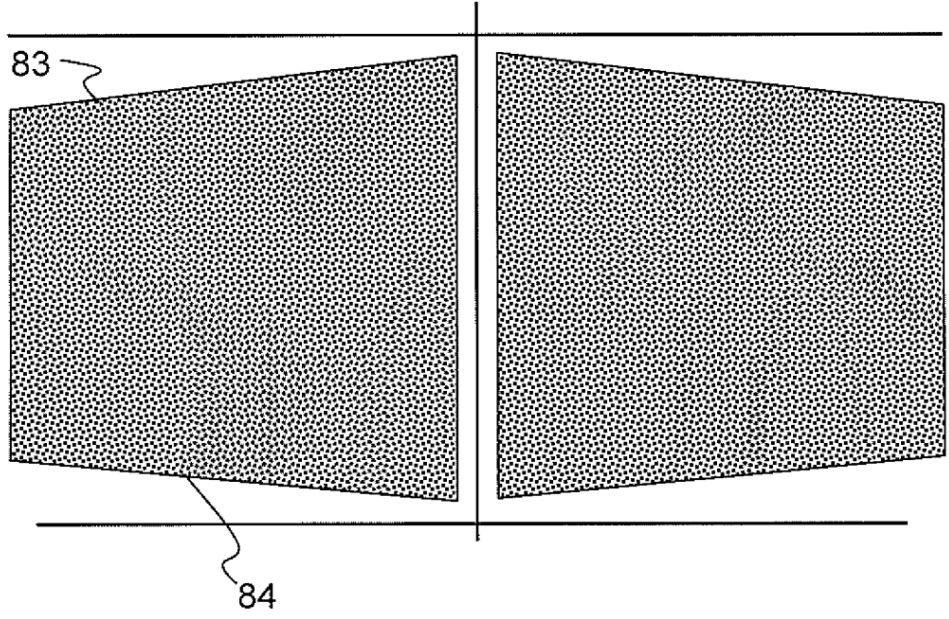
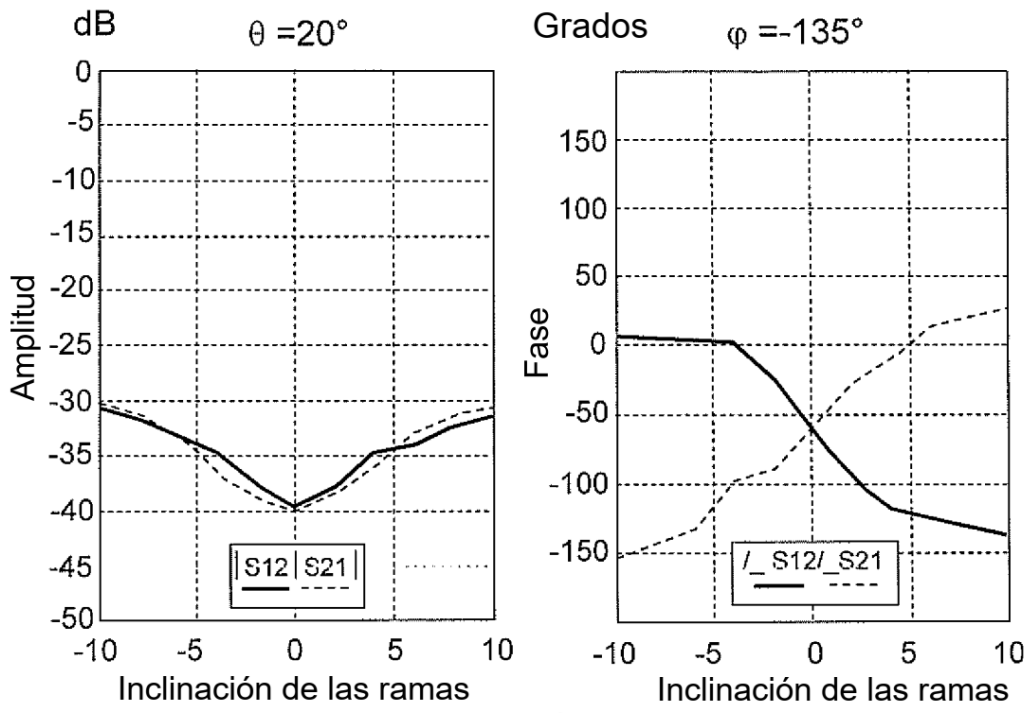


FIG.8b

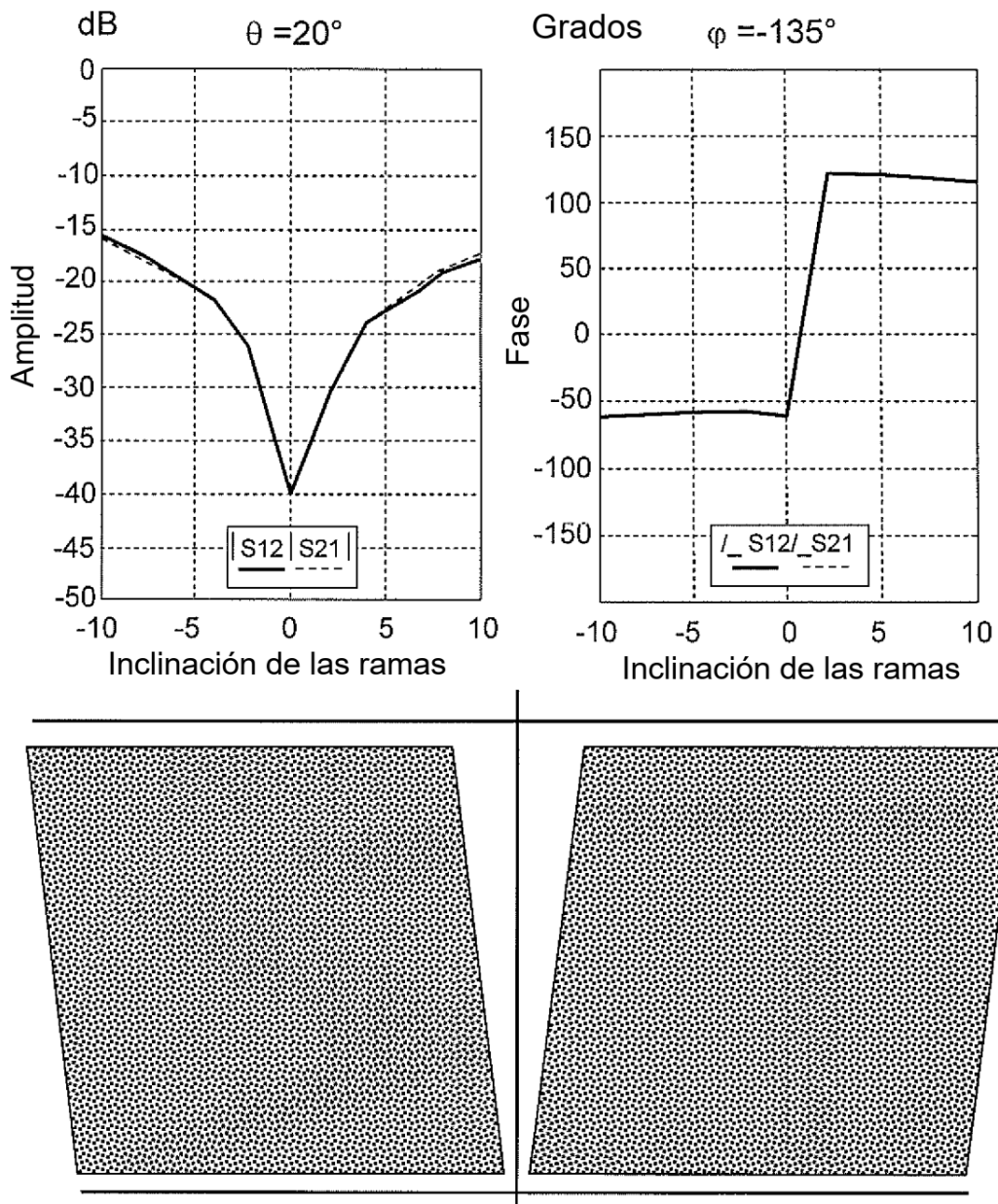


FIG.9a

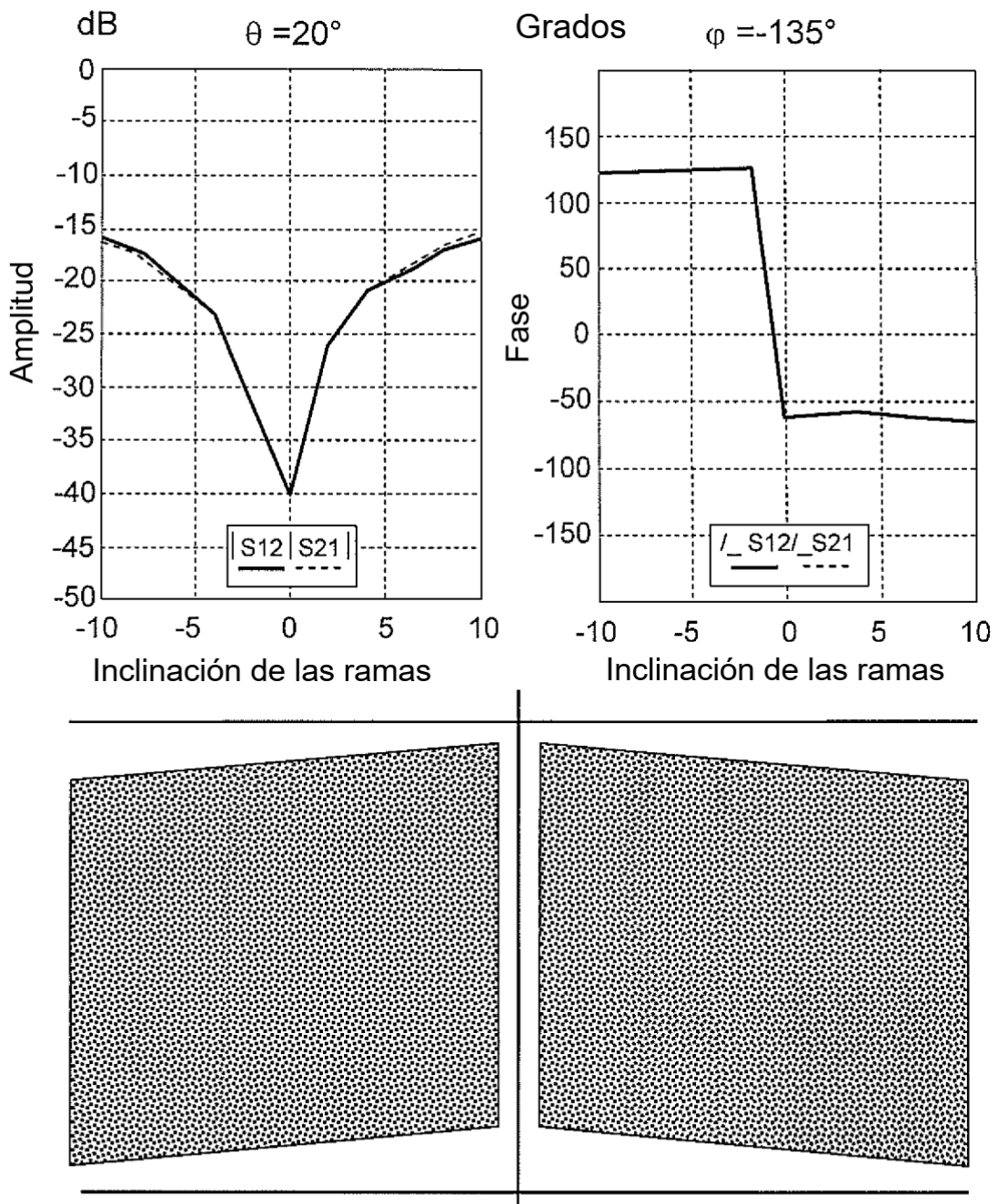


FIG.9b