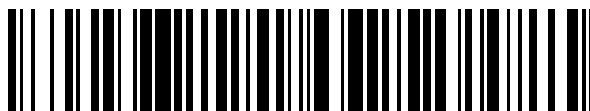


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 728 924**

51 Int. Cl.:

G01S 13/90 (2006.01)

H01Q 19/17 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.02.2014** **E 14156023 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2019** **EP 2775317**

54 Título: **Procedimiento para el funcionamiento de un sistema de radar con apertura sintética en el modo de emisión y recepción**

30 Prioridad:

04.03.2013 DE 102013203657

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

29.10.2019

73 Titular/es:

**DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND
RAUMFAHRT E.V. (100.0%)
Linder Höhe
51147 Köln, DE**

72 Inventor/es:

**LOPEZ-DEKKER, FRANCISCO;
BERTL, SEBASTIAN;
YOUNIS, MARWAN y
KRIEGER, GERHARD**

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 728 924 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para el funcionamiento de un sistema de radar con apertura sintética en el modo de emisión y recepción

5 **[0001]** La invención se refiere a un procedimiento para el funcionamiento de un sistema de radar con apertura sintética en el caso de emisión y en el caso de recepción. El sistema de radar comprende una antena reflectora y un excitador.

[0002] Un sistema de radar con apertura sintética también se designa como sistema SAR de vista lateral. 10 Sistemas SAR (Synthetic Aperture Radar) posibilitan la teledetección de la superficie terrestre para la detección de pulsos de radar reflejados en la superficie terrestre, que se emiten por el sistema SAR, que se mueve sobre una plataforma con velocidad constante sobre la superficie terrestre. En un sistema semejante se aprovecha el conocimiento de que debido a la plataforma móvil se detectan las mismas zonas de la tierra en diferentes posiciones, por lo que se puede obtener una información de amplitud y fase y finalmente una imagen de radar de la superficie 15 terrestre. En un sistema SAR la resolución obtenible y la anchura de banda detectable por el sistema SAR, es decir, la anchura de la banda detectable a través del sistema de radar sobre la superficie terrestre en la dirección perpendicular a la dirección de vuelo de la plataforma, se enfrentan como parámetros concurrentes. Para el aumento de la resolución en el caso de anchura de banda dada de los sistemas SAR se conoce el uso de sistemas de multiapertura, en los que se detectan simultáneamente los ecos de radar mediante varios receptores.

20 **[0003]** También se conoce hacer funcionar de forma interferométrica un sistema SAR reproductor, asistido por satélite. En el caso de un funcionamiento interferométrico del sistema SAR se usan dos o varios centros de fase de emisión y/o recepción. Habitualmente se produce un decalado de los centros de fase de emisión y/o recepción en la dirección de vuelo para la medición de la velocidad. Esto se designa como "*along-track interferometry*". Se puede 25 realizar una medición de altura si los centros de fase de emisión y/o recepción están decalados perpendicularmente a la dirección de vuelo. Esto se designa como "*acrosstrack interferometry*". En las soluciones conocidas actualmente para ello se usan antenas grupales planas para la generación de dos o más centros de fase. El objetivo de la medición en varios centros de fase puede ser una evaluación de la diferencia de fase entre los centros de fase para el uso de los principios de medición interferométricos a lo largo de la dirección de vuelo o la medición simultánea a lo largo de 30 la trayectoria de vuelo con la finalidad de la reducción efectiva de la frecuencia de repetición de pulsos. Para posibilitar el funcionamiento de un sistema de radar interferométrico con apertura sintética, los varios centros de fase se configuran a lo largo de la dirección observada y se explora suficientemente conforme a su magnitud de apertura física efectiva correspondiente.

35 **[0004]** Por aplicaciones del principio de medición en diferentes escenarios apropiados con uno y el mismo sistema de radar se producen distintas distancias predeterminadas para los centros de fase, así como magnitudes de las aperturas de antena correspondientes. La magnitud de la apertura de medición física determina las características esenciales del sistema de radar, como resolución de acimut, frecuencia de repetición de pulsos de acimut y por consiguiente anchura de banda. La magnitud de la apertura de medición física es, asimismo, como la distancia entre 40 los centros de fase, un parámetro esencial que determina la capacidad de medición de un sistema de radar con apertura sintética y dispositivo de medición interferométrico. Por ello en un sistema de radar con apertura sintética es deseable poder configurar estos parámetros de forma flexible durante el funcionamiento del sistema de radar. Para los sistemas de radar con apertura sintética, que usan un grupo de antenas planas, (así llamado "*Direct Radiating Antenna Array*") existen métodos que posibilitan la configuración flexible de los parámetros.

45 **[0005]** El documento US 6,175,326 B1 da a conocer una antena reflectora con una matriz de alimentación y una red de adición, que se compone de interruptores y atenuadoras variables. La red de adición está configurada de manera que no se realiza una distribución de fase de las señales excitadoras. En el caso de recepción la modificación de la dirección de haz de la antena reflector se realiza mediante conmutación entre distintos elementos excitadores. 50 Una iluminación de la antena reflectora se realiza mediante distintos elementos excitadores con diferentes posiciones y diferentes ángulos de incidencia ligados a ellas con el objetivo de la pivotación de la señal de campo lejano. La pivotación conduce a una optimización en referencia a la supresión de ambigüedades.

[0006] El documento US 2009/0262037 A1 da a conocer un procedimiento para el funcionamiento de un 55 sistema de radar asistido por satélite con apertura sintética, donde el sistema de radar comprende una antena reflectora y un excitador, que comprende una pluralidad de elementos excitadores y una red de alimentación digital. Debido a esta distribución de fase dirigida de los elementos excitadores, los haces de diferentes centros de fase presentan diferentes direcciones.

60 **[0007]** El objetivo de la invención es posibilitar esta flexibilidad del ajuste de los parámetros arriba mencionados también en un sistema de radar con una antena reflectora.

[0008] Este objetivo se consigue mediante un procedimiento para el funcionamiento de un sistema de radar asistido por satélite con apertura sintética según las características de la reivindicación 1 y las características de la 65 reivindicación 8. Un sistema de radar configurado correspondientemente se describe por las características de la

reivindicación 12. Configuraciones ventajosas se deducen de las reivindicaciones dependientes.

[0009] A continuación, se considera un sistema de radar multicanal, en el que tanto la amplitud como también la fase de todos los canales de emisión y recepción se pueden controlar individualmente durante el funcionamiento continuo. El control de la amplitud se puede limitar en el caso de emisión a la activación de canales individuales. Las vías de emisión y recepción pueden estar implementadas por separado entre sí o en un módulo de emisión y recepción común. Por consiguientes los canales de emisión y recepción usan distintas o las mismas antenas.

[0010] La invención crea un procedimiento para el funcionamiento de un sistema de radar asistido por satélite con apertura sintética, donde el sistema de radar comprende una antena reflectora y un excitador. El excitador comprende al menos dos elementos excitadores y una red de alimentación digital. En el caso de emisión una distribución de amplitud y fase se varía de manera predeterminada por la red de alimentación digital, a fin de controlar los haces dirigidos desde el excitador hacia la antena reflectora respecto a su superficie de iluminación de la antena reflectora para la generación de haces con la misma dirección en el campo lejano.

[0011] En el caso de recepción se efectúa de manera predeterminada una combinación de las amplitudes y fases de las señales proporcionadas por los elementos excitadores mediante la red de alimentación, a fin de controlar los haces dirigidos desde la antena receptora hacia el excitador en referencia a sus superficies de iluminación de la antena reflectora, que resulta de los haces con misma dirección en el campo lejano.

[0012] En ambos casos se genera un centro de fase sobre el reflector y se varía su posición sobre el reflector por cada pulso de emisión, de modo que se ajusta la distancia entre los centros de fase generados unos respecto a otros a lo largo de una apertura sintética a formar.

[0013] Por consiguiente, se puede ajustar la distancia entre los centros de fase generados unos respecto a otros a lo largo de una apertura sintética a formar. Por ello se producen ventajas si se varía ligeramente la frecuencia de repetición de pulsos usada, pero sin embargo se debe conseguir una exploración espacial uniforme.

[0014] De este modo son posibles un posicionamiento flexible del centro de fase, así como una configuración flexible de la magnitud de apertura de antena efectiva correspondiente en un sistema de radar basado en reflectores tanto en el caso de emisión como también de recepción. Cuando en la presente descripción se trata de un centro de fase, entonces se debe entender con ello el punto de referencia electrónico de una antena, respecto al que se realizan las mediciones del tiempo de tránsito y de fase. Los procedimientos posibilitan adaptar los sistemas SAR asistidos por satélite con antenas reflectoras de forma flexible a los distintos requerimientos respecto al número de los centros de fase y la magnitud de las aperturas correspondientes durante el funcionamiento.

[0015] Las siguientes configuraciones se refieren al caso de emisión:

Según una configuración, para la generación de un centro de fase, que está configurado en medio de la antena reflectora, se ilumina parcial o totalmente la antena reflectora, donde los elementos excitadores controlados de forma activa se controlan por la red de alimentación con una señal de emisión con la misma fase. La iluminación completa de las antenas reflectoras se corresponde a este respecto con el funcionamiento convencional de un sistema de radar basado en reflectores. Bajo el medio de la antena reflectora se debe entender el medio geométrico del reflector.

[0016] Asimismo, para la generación de un centro de fase, que está desviado del medio de la antena reflectora en una dirección de extensión e ilumina una sección de la antena reflectora, se controlan los elementos excitadores controlados de forma activa con una señal de emisión con diferente fase. Si el sistema de radar asistido por satélite se debe usar para las mediciones interferométricas, entonces la dirección de extensión se sitúa preferentemente en la dirección de movimiento de la plataforma, en la que está dispuesto el sistema de radar.

[0017] La medida de la desviación se puede controlar mediante la diferencia de fase de la señal de emisión entre los, en particular entre los respectivos dos elementos excitadores adyacentes. Para N elementos, cuyo haz conformado conjuntamente, dirigido hacia el reflector debe estar desviado en el ángulo θ , se produce una distribución de fase de los elementos $\Phi(n)$ de

$$\Phi(n) = 2\pi/\lambda \cdot \Delta x \cdot \sin(\theta) \cdot n, \quad n = 0, 1, \dots, N-1.$$

[0018] A este respecto λ designa la longitud de onda en el caso de la frecuencia de funcionamiento usada f , Δx la distancia entre dos elementos excitadores y n el índice de los elementos correspondientes de un excitador con N elementos.

[0019] La sección iluminada de la antena reflectora se puede controlar mediante el número de los elementos excitadores controlados de forma activa, es decir, solicitados con una señal de emisión.

[0020] En otra configuración está previsto que se generen varios centros de fase con apertura correspondiente, en tanto que se controla un grupo correspondiente de los elementos excitadores mediante la red de alimentación, es decir se solicita con una señal de emisión, donde a cada centro de fase está asociado un grupo con al menos dos elementos excitadores. En la presente descripción se usa el término de la apertura de forma equivalente a la sección
5 iluminada de la antena reflectora o al término de la apertura de antena o magnitud de la apertura de antena.

[0021] Bajo ciertas suposiciones respecto a los objetos a medir, según otra configuración, las señales suministradas a un grupo correspondiente de elementos excitadores pueden estar formadas de manera que también se puede separar entre sí durante la irradiación simultánea de distintos centros de fase. En un funcionamiento, en el
10 que se generan varios centros de fase en distintos instantes, es suficiente la separación temporal durante la recepción de las señales dispersas, a fin de separar las señales suministradas durante la emisión a los grupos correspondientes de los elementos excitadores.

[0022] Las variantes de configuración descritas a continuación se refieren al caso de recepción:
15 Según una configuración, para la generación de un centro de fase, que está desviado del medio de la antena reflectora en una dirección de extensión e ilumina una sección de la antena reflectora, se combinan las señales de elementos excitadores con diferente fase.

[0023] La sección iluminada (es decir, la apertura) de la antena reflectora se puede controlar mediante el número de las señales combinadas entre sí de los elementos excitadores.

[0024] En otra configuración se generan varios centros de fase con apertura correspondiente, en tanto que se combinan las señales de un grupo correspondiente de los elementos excitadores mediante la red de alimentación,
25 donde a cada centro de fase está asociado un grupo con al menos dos elementos excitadores.

[0025] La distancia entre los centros de fase se puede adaptar a este respecto igualmente a una frecuencia de repetición de pulsos recién usada.

[0026] Los procedimientos arriba descritos se pueden llevar a cabo mediante un sistema de radar con apertura sintética, donde el sistema de radar comprende una antena reflectora y un excitador, donde el excitador comprende al menos dos elementos excitadores y una red de alimentación digital. El sistema de radar está configurado para, en el caso de emisión, variar una distribución de amplitud y/o fase de los elementos excitadores de manera predeterminada por la red de alimentación, a fin de controlar los haces dirigidos desde el excitador hacia la antena
35 reflectora respecto a su superficie de iluminación de la antena reflectora para la generación de haces con la misma dirección en el campo lejano y/o, en el caso de recepción, efectuar una combinación de las amplitudes y fases de las señales preparadas por los elementos excitadores de manera predeterminada mediante la red de alimentación, a fin de controlar los haces dirigidos desde la antena reflectora al excitador en referencia a la superficie de iluminación de la antena reflectora, que resulta de los haces con misma dirección en el campo lejano,

[0027] A este respecto se genera un centro de fase sobre el reflector y se varía su posición sobre el reflector por cada pulso de emisión, de modo que se ajusta la distancia entre los centros de fase generados unos respecto a otros a lo largo de una apertura sintética a formar.

[0028] En el sistema de radar según la invención, la antena reflectora puede presentar a este respecto sólo un único reflector. Sólo gracias al control correspondiente de la red de alimentación digital del excitador se pueden controlar el número y el o los lugares de los centros de fase, así como la magnitud de las aperturas de antena correspondientes.

[0029] Preferentemente el reflector presenta las propiedades de un reflector parabólico en una sección en la dirección longitudinal, es decir, en una dirección de movimiento del sistema de radar o una dirección en la que se sitúan los varios centros de fase.

[0030] Opcionalmente el reflector es una matriz reflectante a partir de una pluralidad de reflectores individuales, donde los reflectores individuales desplazan las fases de ondas electromagnéticas incidentes de manera predeterminada, a fin de reproducir las propiedades del reflector parabólico. Alternativamente el reflector comprende un único espejo principal, en particular curvado, cuya superficie presenta una curvatura parabólica en la sección. En particular no se requiere que el reflector presente un diseño simétrico en rotación. La zona iluminada por el excitador sólo debe presentar en la sección la curvatura parabólica requerida.

[0031] El generador está dispuesto preferentemente en el punto focal de la antena reflectora.

[0032] La invención presenta una serie de ventajas. Por ejemplo, la interferometría se puede realizar con un único reflector. Frente a la realización de varios centros de fase con un sistema de antenas, que se basa en antenas
65 grupales, es posible un posicionamiento más flexible de los centros de fase, dado que la posición se puede conseguir

a través de un decalado de fase ajustable finamente entre los elementos excitadores individuales del excitador controlable de forma digital, en lugar de a través de aperturas de antena discretas de la antena grupal. El dispositivo necesario para la realización del procedimiento se puede proporcionar usando los sistemas conocidos de manera sencilla. Además, el procedimiento también se puede usar para la supresión de perturbaciones.

5

[0033] Debido a la excitabilidad digital del excitador es posible simultáneamente una formación de varios centros de fase en el caso de recepción o en el caso de emisión con separación presente de las señales mediante ortogonalización.

10 **[0034]** La magnitud de la apertura, que pertenece al centro de fase, se puede variar en etapas discretas, en función del número de los elementos excitadores del excitador. Los elementos excitadores del excitador pueden estar dispuestos en forma lineal o en una matriz.

[0035] La realización de un sistema de radar con una antena reflectora ofrece las ventajas en el caso de pérdidas en flujos de señales HF (alta frecuencia) y en el caso de ponderación. Esto posibilita la implementación de dimensiones de apertura muy grandes.

[0036] El modo de proceder descrito posibilita una iluminación flexible de un reflector, a fin de generar opcionalmente en el caso de iluminación total del reflector un lóbulo de antena fuertemente focalizado o formar varios lóbulos de antena preparados con diferentes centros de fase en el caso de conformación de varios centros de fase y menores secciones del reflector ligadas con ello, iluminadas por el excitador.

[0037] La invención se explica a continuación más en detalle mediante ejemplos de realización en el dibujo. Muestran:

25

Fig. 1 una comparación esquemática de un sistema SAR basado en reflectores con un sistema SAR con antena grupal plana, donde los centros de fase están configurados respectivamente a modo de ejemplo a lo largo de la apertura global disponible,

30 Fig. 2 una representación esquemática de un sistema de radar según la invención, en el que un reflector parabólico con un centro de fase desviado del medio de la antena reflectora está irradiado con pequeña apertura por el excitador,

Fig. 3 una representación esquemática de un sistema de radar según la invención, en el que un reflector parabólico con un centro de fase desviado del medio de la antena reflectora está irradiado con gran apertura por el excitador,

35

Fig. 4 una representación esquemática de un sistema de radar según la invención, en el que sobre un reflector parabólico se generan cuatro centros de fase en el caso de recepción mediante formación de haz digital,

Fig. 5 una representación esquemática de un sistema de radar según la invención, en el que sobre un reflector parabólico se generan dos centros de fase en el caso de recepción,

40

Fig. 6 a 10 respectivamente para diferentes configuraciones de centros de fase las corrientes superficiales que se producen sobre el reflector y los diagramas de campo lejano que se configuran correspondientemente, y

45 Fig. 11 un diagrama de bloques a modo de ejemplo de un sistema de radar, que posibilita un funcionamiento según la invención.

[0038] Para la mejor comprensión a continuación se explica el principio de una medición SAR mediante la radiación de radar emitida por un sistema SAR asistido por satélite. El sistema SAR (a continuación, también designado como satélite) se mueve en una dirección que se designa como dirección de acimut. El satélite, cuya altura sobre la superficie terrestre se conoce, emite de forma continua pulsos de radar durante su movimiento en una dirección de acimut a través de una antena emisora en la dirección hacia la superficie terrestre. De cada pulso de radar emitido se detecta el eco de radar, en tanto que la radiación de radar reflejada en la superficie terrestre en la dirección de rango, que se extiende perpendicularmente a la dirección de vuelo del satélite, se explora temporalmente con un receptor.

55

[0039] Como consecuencia se obtiene una pluralidad de exploraciones, donde cada exploración se corresponde con el eco de radar de un pulso de radar determinado y una posición de rango. La asociación de una exploración a un pulso de radar se representa a este respecto mediante una posición de acimut, que es el centro geométrico entre la posición de acimut del emisor durante la emisión del pulso de radar y la posición de acimut del receptor durante la recepción del eco de radar del pulso de radar. A este respecto, el emisor y el receptor son p. ej. parte de una antena de emisión - recepción combinada, que representa el emisor en el modo de emisión y el receptor en el modo de recepción. En este caso en el sistema SAR es un así denominado sistema de apertura individual, en el que los ecos de radar sólo se detectan por un receptor individual, es decir, no simultáneamente por varios receptores.

65 **[0040]** Durante la evaluación sólo se detectan informaciones de la radiación de radar dentro de una banda de

suelo iluminada por el pulso de radar emitido (inglés: Swath), que puede presentar una anchura de varios kilómetros, p. ej. algunas decenas o centenas de kilómetros.

[0041] El principio de la medición SAR se basa ahora en que los puntos correspondientes sobre la superficie terrestre se detectan varias veces desde diferentes ángulos de observación debido al movimiento del satélite. Debido al efecto Doppler conocido se produce un desplazamiento de frecuencia en el caso de la detección del eco de radar, desplazamiento que se puede evaluar de forma apropiada, por lo que finalmente para los puntos de la superficie terrestre en los que se reflejan los pulsos de radar se obtiene una información de amplitud y fase y por consiguiente un píxel de la superficie terrestre. El cálculo correspondiente de los píxeles de la superficie terrestre a partir de los datos SAR se conoce por el especialista y por tanto no se explica posteriormente en detalle. Con el procedimiento SAR mediante una pluralidad de pulsos de radar de un emisor de radar de pequeña apertura se simula una apertura sintética mayor conforme a la extensión del pulso de radar sobre la superficie terrestre.

[0042] Habitualmente en un sistema SAR de este tipo se emiten los pulsos de radar con una tasa de repetición de pulsos fija PRF (*Pulse Repetition Frequency*). La tasa de repetición de pulsos depende de la apertura del receptor y de la velocidad con la que se mueve el satélite en la dirección de acimut. La tasa de repetición PRF se debe seleccionar lo más pequeña posible a fin de detectar una banda ancha sobre la superficie terrestre con un sistema de radar de apertura individual. No obstante, esto tiene de nuevo la desventaja de que por ello la resolución en la dirección de acimut se vuelve cada vez más pequeña.

[0043] Para conseguir una resolución elevada en la dirección de acimut con simultáneamente gran distancia entre las zonas, por el estado de la técnica se conoce usar, así denominados, sistemas de radar de multiapertura, en los que la señal de radar se detecta simultáneamente por varios receptores. No obstante, este sistema conduce a una antena más larga en la dirección de acimut.

[0044] Además, eventualmente se puede elevar la tasa de repetición de pulsos, donde aquí se origina el peligro de la aparición de ambigüedades. Una ambigüedad se produce, por ejemplo, luego cuando el eco de radar de un pulso de radar enviado anteriormente todavía no se ha recibido completamente antes de que se haya enviado otro pulso de radar por parte del sistema SAR.

[0045] El sistema SAR según la invención, descrito más en detalle a continuación, posibilita más allá del funcionamiento descrito arriba también el uso opcional de la interferometría conocida suficientemente por el especialista mediante una única antena reflectora, en la que se evalúan informaciones de dos o varios centros de fase de emisión y/o recepción. Típicamente en este caso se puede usar un decalado en la dirección de vuelo, es decir, en la dirección de acimut, para la medición de la velocidad (inglés: *along-track interferometry*) o perpendicularmente a la dirección de vuelo para la medición de altura (inglés: *across-track interferometry*).

[0046] Se posibilita la formación de varios centros de fase con distintas posiciones y extensiones correspondientes para un sistema de radar basado en reflectores mediante la previsión de un reflector, en cuyo punto focal está dispuesto un excitador (es decir, una parte de emisión y recepción). Mediante una red de alimentación digital es posible efectuar una formación de haz digital, por lo que la antena reflectora se puede iluminar de forma selectiva sólo en partes. En general el excitador comprende junto a la red de alimentación controlable de forma digital una apertura de antena correspondiente. El excitador comprende además al menos dos elementos excitadores, es decir, partes de emisión y recepción. Cada elemento excitador se puede solicitar en la vía de emisión mediante la red de alimentación digital de forma selectiva con señales individuales. A este respecto se aprovecha el hecho de que con el control selectivo de los elementos excitadores se produce una superposición de los campos correspondientes, de modo que se puede realizar una iluminación selectiva del reflector. En la vía de recepción se pueden combinar entre sí las señales proporcionadas por el elemento excitador correspondiente mediante la red de alimentación digital de cualquier manera predeterminada. Gracias a una variación de las amplitudes y la distribución de fase de los elementos excitadores individuales, los haces se pueden formar por consiguiente de forma dirigida hacia el reflector o del reflector hacia el excitador, de modo que se pueden iluminar solo secciones de la "gran" antena reflectora. De este modo se pueden generar los centros de fase deseados de forma simultánea con extensiones correspondientes.

[0047] En los ejemplos de realización descritos a continuación en las figuras 1 a 5, la antena reflectora está caracterizada con las referencias 1. La antena reflectora 1 se compone por un único reflector 2, que, en una sección en la dirección longitudinal, es decir, en la dirección de movimiento (dirección de acimut) del sistema de radar, presenta una curvatura parabólica. En general el reflector 2 debe presentar las propiedades de un reflector parabólico en una sección en la dirección longitudinal. Esta propiedad también se satisface por una pluralidad de reflectores individuales en el caso de una matriz reflectante, cuando los reflectores individuales desplazan las fases de ondas electromagnéticas incidentes de manera predeterminada, a fin de reproducir las propiedades del reflector parabólico. Con presencia de un reflector parabólico, los diagramas de antena generados de los distintos centros de fase tienen idénticas direcciones de haz principal y en el caso de misma anchura de apertura de cada centro de fase también la misma anchura de valor principal. La anchura de apertura es equivalente a una sección iluminada de la antena reflectora.

[0048] El excitador descrito arriba está caracterizado con la referencia 3. Los elementos excitadores ya mencionados del excitador 3 no están representados más en detalle. Estos pueden estar dispuestos de manera conocida por el especialista sobre un eje común, de modo que estos presentan respectivamente la misma distancia respecto al centro del reflector curvado de forma parabólica. Asimismo, con un número correspondiente de elementos excitadores es concebible que estos estén dispuestos en una matriz, es decir, un número determinado en la dirección longitudinal. En principio el procedimiento descrito se puede realizar ya con dos elementos excitadores individuales del excitador. En principio es ventajoso que el número de los elementos excitadores sea mayor. En los ensayos prácticos ha resultado ser conveniente un número de 18. Cuanto mayor es el número de los elementos excitadores del excitador 3, los centros de fase se pueden depositar de forma tanto más flexible. El ajuste del lugar de los centros de fase sobre la antena reflectora se realiza a través de un decalado de fase ajustable entre los elementos excitadores controlados de forma activa. Una representación esquemática de este modo de proceder está representada en la fig. 1.

[0049] En la mitad izquierda de la figura está representada la generación de dos centros de fase 5, 8 de la manera según la invención. En la mitad derecha está representada la generación de los centros de fase 5, 8 en un sistema de radar con antena grupal plana. En referencia a la variante según la invención, con la referencia 2 está representado el reflector curvado de forma parabólica en una sección en la dirección longitudinal, es decir, la dirección de vuelo del sistema de radar. En el punto focal del reflector 2 está dispuesto el excitador 3 con los elementos excitadores no representados más en detalle. La dirección de vuelo está caracterizada con la flecha a la derecha del elemento excitador 3. Gracias al control digital de determinados elementos excitadores del excitador 3 se generan dos haces 4, 7 separados entre sí localmente con centros de fase 5, 8 asociados respectivamente. La superficie iluminada del reflector 2 de los haces 4, 7 está caracterizada con las referencias 6, 9. El término del centro de fase designa el punto de referencia electrónico de la antena, referido al que se realizan las mediciones de tiempo de tránsito y fase. Los lóbulos de haz 4a, 7a reflejados en el reflector 2 presentan direcciones de haz principal idénticas. En este ejemplo de realización representado en la fig. 1 no se irradia toda la superficie del reflector 2. Los centros de fase 5, 8 representados se pueden generar simultáneamente en el caso de emisión, cuando las señales asociadas a los elementos excitadores de un grupo están separadas entre sí mediante ortogonalización. Para la generación de uno correspondiente de los centros de fase 5, 8 se excita un grupo asociado de elementos excitadores mediante la red de alimentación, donde a cada centro de fase 5, 8 está asociado un grupo con al menos dos elementos excitadores.

[0050] Las partes de emisión requeridas para la generación de los lóbulos de haz 4a, 7a en la antena grupal plana de la mitad derecha de la fig. 1 no están representadas en detalle. Dado que la configuración de una antena grupal plana se conoce en principio por el especialista, se prescinde de una descripción detallada en este punto.

[0051] En las figuras 2 a 5 se describen ejemplos de realización de distintas configuraciones del sistema de radar basado en reflectores, según la invención con apertura sintética. Respectivamente en una sección en la dirección longitudinal está representado el reflector parabólico 2 con una longitud 20 en la dirección de acimut, el generador 3 dispuesto en el punto focal del reflector 2, que en la dirección longitudinal (es decir, en la dirección de acimut) presenta una distancia 21 respecto al reflector y tiene una anchura 22. La longitud 20 del reflector es, por ejemplo, de 8 m, la distancia entre el reflector 2 y excitador 3 es de 0,5 m y la anchura del excitador 3 es, por ejemplo, de 1 m. El sistema de radar se hace funcionar, por ejemplo, en la banda Ka para la interferometría a lo largo de la dirección de vuelo del sistema de radar (*along-track interferometry*). Las figuras 2 y 3 muestran un caso de emisión, las figuras 4 y 5 un caso de recepción.

[0052] La fig. 2 muestra un funcionamiento en el que el sistema de radar genera un haz 4. La sección de apertura iluminada por el excitador 3 de la antena reflectora está caracterizada con la referencia 6. El centro de fase se sitúa en el medio de la sección de apertura 6. La sección de apertura presenta p. ej. una anchura de aprox. 2 m. Esta configuración posee una resolución de acimut más elevada que un funcionamiento del sistema de radar según está representado en la fig. 3. En este funcionamiento se usa una sección de apertura 6 de anchura de aprox. 4 m, donde además está generado sólo un centro de fase.

[0053] Por el contrario, en los ejemplos de realización de las figuras 4 y 5 en el caso de recepción están configurados cuatro o dos centros de fase y secciones de apertura asociadas 6, 9, 12 y 15 o 6 y 9. En el ejemplo de realización según la fig. 4 están configurados en este caso cuatro secciones de apertura con anchura de aprox. 2 m, donde respectivamente limitan entre sí dos secciones de apertura adyacentes. En el ejemplo de realización según la fig. 5 están presentes dos secciones de apertura con anchura de aprox. 4 m, que limitan entre sí.

[0054] Las diferentes configuraciones mostradas en las figuras 2 a 5 se pueden implementar mediante formación de haz digital, de modo que se pueden generar secciones de apertura de diferente anchura en puntos deseados del reflector 2. De este modo se originan los centros de fase necesarios para la interferometría. Para la implementación del excitador se usan, por ejemplo, 18 elementos excitadores con una magnitud de respectivamente 0,5 veces la longitud de onda con una frecuencia de, por ejemplo, $f = 35,5$ GHz.

[0055] Las figuras 6 a 10 muestran respectivamente distintas implementaciones de los centros de fase sobre un reflector con anchura de 8 m con distintos centros de gravedad y anchuras. En las figuras 6 a 10 están

representados respectivamente en la mitad izquierda las corrientes de superficie sobre el reflector y en la mitad derecha los diagramas de campo lejano que se configuran. La extensión del reflector está indicada en la dirección del eje x como acimut AZ en metros y en la dirección del eje y como elevación EL en metros. Los diagramas de campo lejano correspondiente muestran la ganancia de antena AG (Antenna Gain) en dB respecto al ángulo de acimut AZW (Azimuth Angle) en grados deg con un ángulo de elevación correspondiente de 0°. El centro de gravedad de las corrientes de superficie que se configuran está representado claro y se corresponde con el centro de gravedad del centro de fase. La anchura de la apertura generada se puede definir respecto a la extensión de las corrientes superficiales. Esto significa que mediante el control correspondiente de un número de elementos excitadores se define la extensión y por consiguiente la sección de apertura.

[0056] Las figuras 6 a 8 muestran diagramas de campo lejano de igual anchura con diferente posición del centro de fase sobre el reflector. Mientras que en la fig. 6 el centro de fase se sitúa en el medio del reflector, el centro de fase está desviado hacia la derecha en la fig. 7 y hacia la izquierda en la fig. 8. Para conseguirlo, los elementos excitadores del excitador se alimentan respectivamente con un decalado de fase definido, por lo que se obtiene el desplazamiento del centro de fase. La variación en la anchura de los centros de fase se consigue mediante ponderación de amplitud de los elementos excitadores. La ponderación de amplitud de los elementos excitadores se puede realizar en este caso de forma digital, es decir, con 0 o 1, o con un valor cualquiera entre 0 y 1. La ubicación del centro de fase se determina por el decalado de fase entre los elementos excitadores. Los diagramas de campo lejano de las figuras 6 a 8 señalan en la misma dirección. Esto significa que la misma zona en el suelo se ilumina con ellos.

[0057] Las figuras 9 y 10 muestran para la comparación la capacidad de excitación de diagramas de campo lejano estrechos mediante la activación de distintos elementos excitadores. De este modo se iluminan distintas zonas en el suelo. Esto se puede observar adecuadamente, por ejemplo, mediante los diagramas de campo lejano, donde el diagrama de campo lejano de la fig. 9 presenta un ángulo de acimut AZW ligeramente positivo, mientras que el ángulo de acimut AZW es "0" en el ejemplo de realización según la fig. 10.

[0058] Para un sistema de radar operado de forma interferométrica es interesante el funcionamiento según las configuraciones representadas en las figuras 6 a 8. Con ellas se puede medir simultáneamente una región sobre el suelo iluminada por todas las tres secciones de apertura y centros de fase ligados con ellas y seguirse evaluando de forma interferométrica la diferencia de fase de las tres mediciones. Las tres zonas del reflector se pueden usar simultáneamente durante la recepción, dado que las señales de los distintos centros de fase se pueden separar entre sí debido al diferente ángulo de incidencia sobre el excitador.

[0059] La figura 11 muestra un diagrama de bloques de un sistema de radar hasta los haces individuales de los excitadores, en el que se garantiza la ajustabilidad individual de amplitud y fase en cada canal de emisión y recepción. La estructura muestra en particular la red de alimentación digital, que se puede implementar en el caso de emisión, según está representado aquí, por diferentes desfasadores y atenuadores, y en el caso de recepción mediante una digitalización separada de todos los canales. Es posible otra implementación.

[0060] En el caso de emisión se mezclan las señales generadas en un oscilador controlado por tensión 50 (VCO) con frecuencia variable mediante la mezcla en un mezclador 51 (Mixer) con las señales de un oscilador de frecuencia fija 57 en la frecuencia de emisión y se filtran con un filtro 59 (BPF). A través de un interruptor 52 (SPNT - Single Pole N Throw) con una entrada y N salidas se pueden transmitir las señales de emisión a un número cualquiera de elementos de emisión 56. Las señales de emisión distribuidas sobre las hasta N vías de emisión ($Tx_1, \dots, Tx_N$) se pueden ajustar en amplitud y fase en cada una de estas vías individualmente por un atenuador 53 y un desfasador 54, antes de que se entreguen a través de un amplificador de potencia 55 (PA - Power Amplifier) al elemento emisor 56 correspondiente (antena) del excitador.

[0061] Por ejemplo, para la generación de un centro de fase lo más estrecho posible en un lado derecho del reflector no representado se puede desviar un haz excitador estrecho hacia la derecha. Para la generación de un haz excitador estrecho se activan todos los elementos excitadores (es decir, elementos de emisión 56). El elemento en el borde izquierdo del excitador debe presentar la fase de referencia 0. Con distancia cada vez mayor entre los elementos excitadores se debe agregar una fase inicial positiva (adicional) a las señales, es decir, realizarse un retardo o desplazamiento de fase de las señales de emisión.

[0062] En el caso de recepción se procesan por separado las señales de los distintos elementos excitadores (elementos excitadores 60) de un número N de vías de recepción $Rx_1, \dots, Rx_N$ y se digitalizan por separado. Después de los elementos de recepción 60 de los elementos excitadores individuales se filtran las señales de recepción con un filtro 61 correspondiente, de modo que sólo se procesa el rango de frecuencia usado. En un amplificador 62 de bajo ruido (LNA - Low Noise Amplifier) se amplifican las señales de recepción. A continuación, en el mezclador 63 correspondiente (Mixer) tiene lugar una mezcla aguas abajo en un rango de frecuencias más bajo (típicamente banda base). Para ello, p. ej. la señal del oscilador de frecuencia fija 57 ya usado en la vía de emisión se transmite a través de un acoplador direccional 58 y un divisor de potencia 66 (N-Way Power Divider) hacia los mezcladores 63. Cada canal se mezcla de esta manera por separado en la banda base. Después de un filtrado de paso bajo (referencia 64

o LPF - Low Pass Filter) se digitalizan las señales en un convertidor AD 65 correspondiente (A/D). En el caso de recepción la ponderación de las señales individuales tiene lugar después de la digitalización. Son posibles tanto las ponderaciones de amplitud como también de fase.

5 **[0063]** De igual manera, como en el caso de emisión, se procesan las señales de varios elementos excitadores para un centro de fase estrecho. Mediante la multiplicación de un término de fase, que aumenta o cae linealmente en función de la posición del elemento correspondiente respecto a un elemento de referencia, se puede desviar hacia la izquierda o derecha la ubicación del centro de fase sobre el reflector. Esto se corresponde con el control de matrices de antenas planas, para el caso de que la dirección de haz principal deba señalar en una dirección determinada.

10

[0064] Mediante el uso de un generador excitable digitalmente sobre un reflector se pueden generar simultáneamente varios centros de fase con aperturas físicas de distinto tamaño. De este modo se pueden usar distintas posiciones conforme a los centros de fase sobre el reflector para la medición y procesarse de forma coherente los datos de los centros de fase correspondientes. Un procesamiento coherente significa el procesamiento simultáneo de fase y amplitud. Esto ofrece la posibilidad de implementar las aplicaciones, que necesitan la medición simultánea en varios centros de fase, en un sistema de reflector y adaptar el sistema de radar a los requerimientos variables. Este diseño del sistema requiere una alimentación del reflector a través de una red de alimentación controlable digitalmente del excitador.

15

20

[0065] Una ventaja del modo de proceder consiste en que para la generación de varios centros de fase en el caso de un sistema de antena basado en reflectores sólo se necesita un reflector y no varios reflectores individuales, según es el caso esto en la realización a través de sistemas de antena grupal plana. De este modo se aumenta claramente la flexibilidad del sistema y se pueden usar las ventajas de sistemas de antena basados en reflectores.

25 Lista de referencias

[0066]

- | | |
|-------|---|
| 1 | Antena reflectora |
| 30 2 | Reflector |
| 3 | Excitador |
| 4 | Haz |
| 4a | Lóbulo de haz |
| 5 | Centro de fase del haz 4 |
| 35 6 | Sección de apertura iluminada de la antena reflectora |
| 7 | Haz |
| 7a | Lóbulo de haz |
| 8 | Centro de fase del haz 7 |
| 9 | Sección de apertura iluminada de la antena reflectora |
| 40 10 | Haz |
| 11 | Centro de fase del haz 10 |
| 12 | Sección de apertura iluminada de la antena reflectora |
| 13 | Haz |
| 14 | Centro de fase del haz 13 |
| 45 15 | Sección de apertura iluminada de la antena reflectora |
| 20 | Extensión del reflector en la dirección de acimut |
| 21 | Distancia entre reflector y excitador |
| 22 | Anchura del excitador |
| 50 | Oscilador |
| 50 51 | Mezclador |
| 52 | Interruptor |
| 53 | Atenuador |
| 54 | Desfasador |
| 55 | Amplificador de potencia |
| 55 56 | Elemento emisor |
| 57 | Oscilador de frecuencia |
| 58 | Acoplador direccional |
| 59 | Filtro |
| 60 | Elemento receptor |
| 60 61 | Filtro |
| 62 | Amplificador |
| 63 | Mezclador |
| 64 | Divisor de potencia |
| 65 | Convertidor AD |
| 65 66 | Divisor de potencia |

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el funcionamiento de un sistema de radar asistido por satélite con apertura sintética,
5 donde el sistema de radar comprende una antena reflectora (1) y un excitador (3), donde el excitador (3) comprende al menos dos elementos excitadores y una red de alimentación digital, en la que, en el caso de emisión, una distribución de amplitud y fase de los elementos excitadores se varía de manera predeterminada por la red de alimentación, a fin de controlar los haces dirigidos desde el excitador (3) hacia la antena reflectora (1) respecto a su superficie de iluminación de la antena reflectora (1) para la generación de haces con la misma dirección en el campo lejano,
10 **caracterizado porque**

se genera un centro de fase sobre el reflector y se varía su posición sobre el reflector por cada pulso de emisión, de modo que se ajusta la distancia entre los centros de fase generados unos respecto a otros a lo largo de una apertura
15 sintética a formar.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que, para la generación de un centro de fase, que está configurado en medio de la antena reflectora (1), se ilumina parcial o totalmente la antena reflectora (1), donde los
20 elementos excitadores excitados de forma activa se controlan por la red de alimentación con una señal de emisión con la misma fase.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que, para la generación de un centro de fase, que está desviado del medio de la antena reflectora (1) en una dirección de extensión e ilumina una sección de la antena
25 reflectora (1), se controlan los elementos excitadores controlados de forma activa con una señal de emisión con diferente fase.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que la medida de la desviación se controla por la diferencia de fase de la señal de emisión entre los elementos excitadores, en particular adyacentes.
- 30 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 4, en el que la sección iluminada de la antena reflectora (1) se controla por el número de los elementos excitadores controlados de forma activa.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que se generan varios centros de fase con apertura correspondiente, en tanto que se controla un grupo correspondiente de los elementos excitadores
35 mediante la red de alimentación, donde a cada centro de fase está asociado un grupo con al menos dos elementos excitadores.
7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que las señales asociadas a un grupo correspondiente de elementos excitadores se forman de manera también se separan entre sí durante la irradiación simultánea de
40 distintos centros de fase.
8. Procedimiento para el funcionamiento de un sistema de radar asistido por satélite con apertura sintética, donde el sistema de radar comprende una antena reflectora (1) y un excitador (3), donde el excitador (3) comprende al menos dos elementos excitadores y una red de alimentación digital, en la que, en el caso de recepción, se efectúa
45 una combinación de las amplitudes y fases de las señales proporcionadas por los elementos excitadores de manera predeterminada por la red de alimentación, a fin de controlar los haces dirigidos desde la antena reflectora (1) hacia el excitador (3) en referencia a su superficie de iluminación de la antena reflectora (1) que resulta de los haces con la misma dirección en el campo lejano,
50 **caracterizado porque**

se genera un centro de fase sobre el reflector y se varía su posición sobre el reflector por cada pulso de emisión, de modo que se ajusta la distancia entre los centros de fase generados unos respecto a otros a lo largo de una apertura
55 sintética a formar.
9. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que, para la generación de un centro de fase, que está desviado del medio de la antena reflectora (1) en una dirección de extensión e ilumina una sección de la antena
60 reflectora (1), se combinan las señales de elementos excitadores con diferente fase.
10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que la sección iluminada (apertura) de la antena reflectora (1) se controla por el número de las señales combinadas entre sí de los elementos excitadores.
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 10, en el que se generan varios centros de fase con apertura correspondiente, en tanto que se combinan las señales de un grupo correspondiente de los elementos
65 excitadores mediante la red de alimentación, donde a cada centro de fase está asociado un grupo con al menos dos

elementos excitadores.

12. Sistema de radar de apertura sintética, donde el sistema de radar comprende una antena reflectora (1) y un excitador (3), donde el excitador (3) comprende al menos dos elementos excitadores y una red de alimentación digital, donde el sistema de radar está configurado para, en el caso de emisión, variar una distribución de amplitud y/o fase de los elementos excitadores de manera predeterminada por la red de alimentación, a fin de controlar los haces dirigidos desde el excitador (3) hacia la antena reflectora (1) respecto a su superficie de iluminación de la antena reflectora (1) para la generación de haces con la misma dirección en el campo lejano y/o, en el caso de recepción, efectuar una combinación de las amplitudes y fases de las señales preparadas por los elementos excitadores de manera predeterminada por la red de alimentación, a fin de controlar los haces dirigidos desde la antena reflectora (1) hacia el excitador en referencia a la superficie de iluminación de la antena reflectora (1), que resulta de los haces con misma dirección en el campo lejano,

caracterizado porque

- 15 se genera un centro de fase sobre el reflector y se varía su posición sobre el reflector por cada pulso de emisión, de modo que se ajusta la distancia entre los centros de fase generados unos respecto a otros a lo largo de una apertura sintética a formar.
- 20 13. Sistema de radar según la reivindicación 12, en el que el sistema de radar está configurado además para realizar el procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 11.
14. Sistema de radar según la reivindicación 12 o 13, en el que la antena reflectora (1) presenta un único reflector (2).
- 25 15. Sistema de radar según la reivindicación 14, en el que el reflector (2) presenta las propiedades de un reflector parabólico en una sección en la dirección longitudinal.
16. Sistema de radar según la reivindicación 15, en el que el reflector (2) es una matriz reflectante a partir de una pluralidad de reflectores individuales, donde los reflectores individuales desplazan la fase de ondas electromagnéticas incidentes de manera predeterminada, a fin de reproducir las propiedades del reflector parabólico.
- 30 17. Sistema de radar según la reivindicación 15, en el que el reflector (2) comprende un único espejo principal, en particular curvado, cuya superficie presenta una curvatura parabólica en la sección.
- 35 18. Sistema de radar según una de las reivindicaciones 12 a 17, en el que el excitador (3) está dispuesto en el punto focal de la antena reflectora (1).

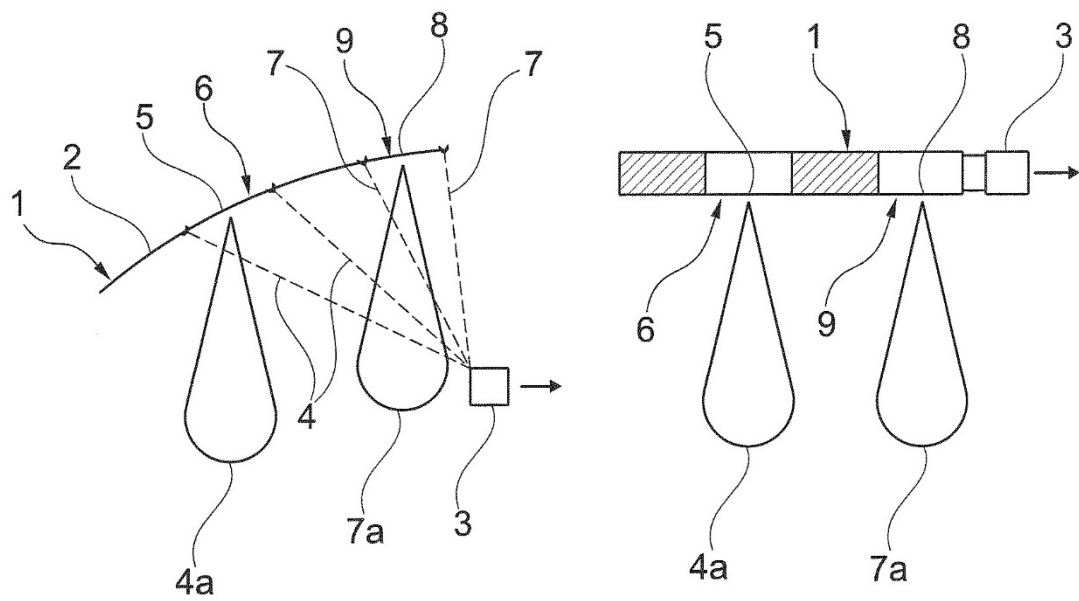


Fig. 1

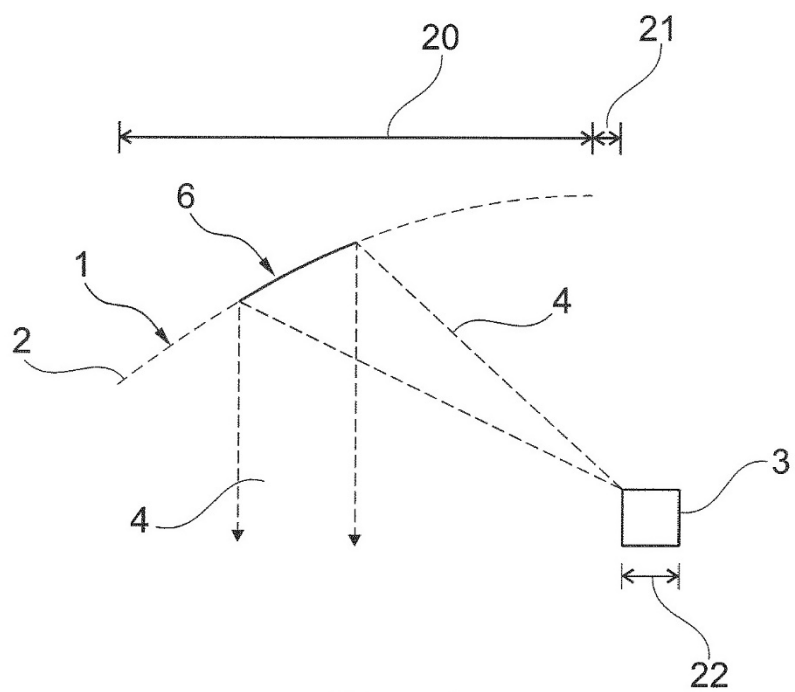


Fig. 2

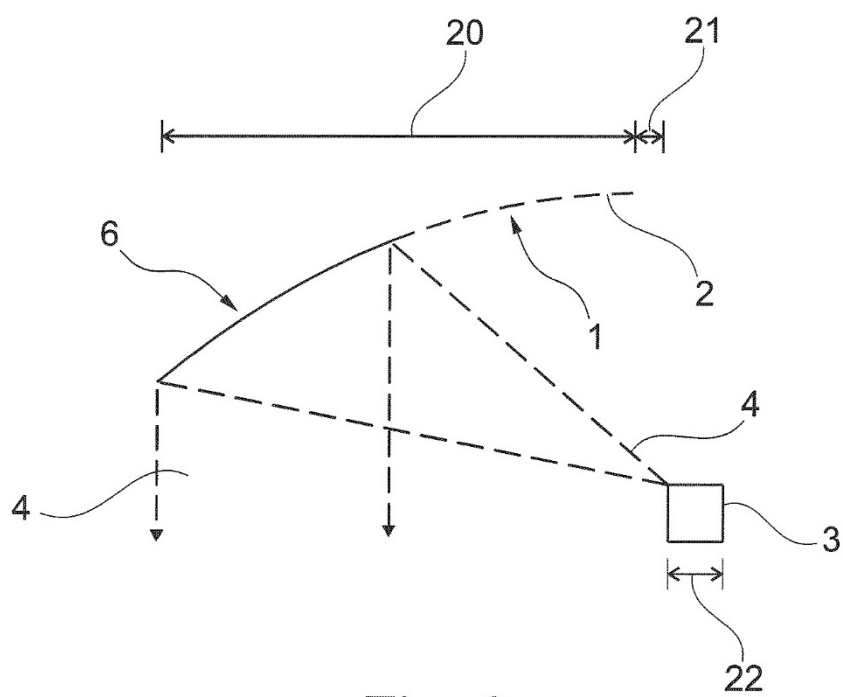


Fig. 3

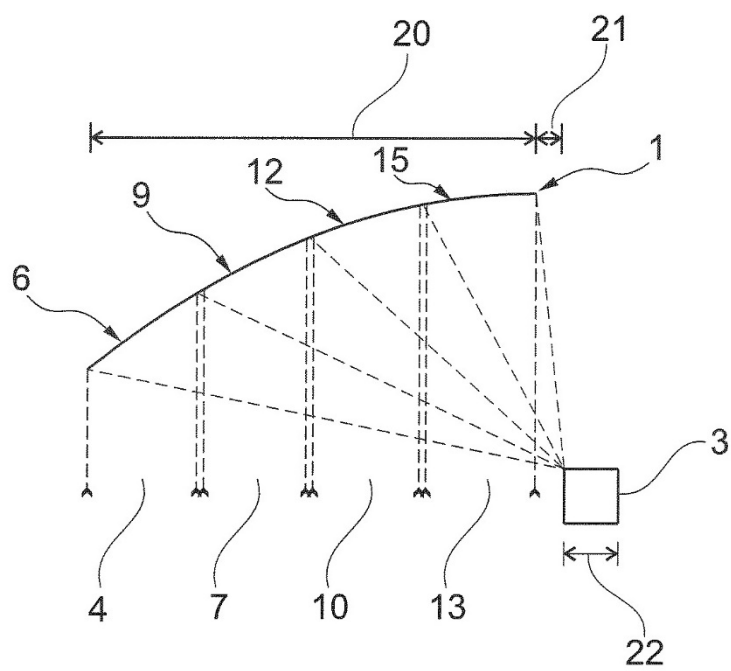


Fig. 4

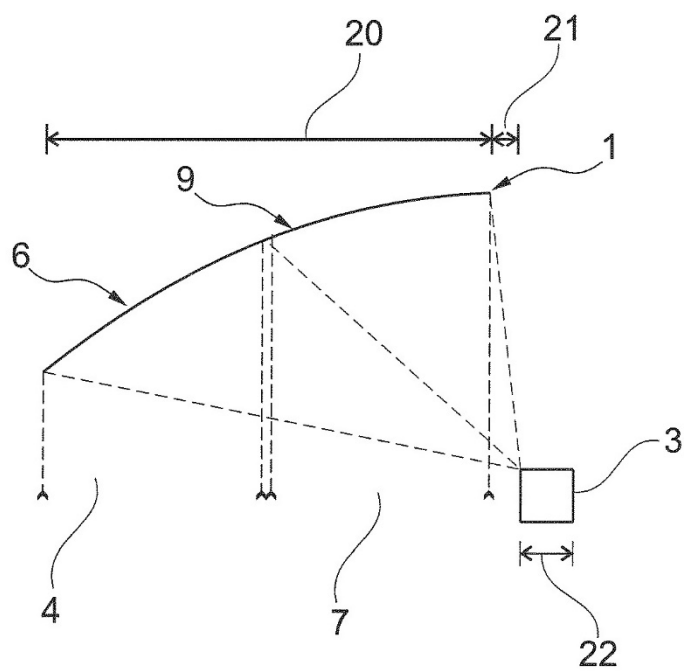


Fig. 5

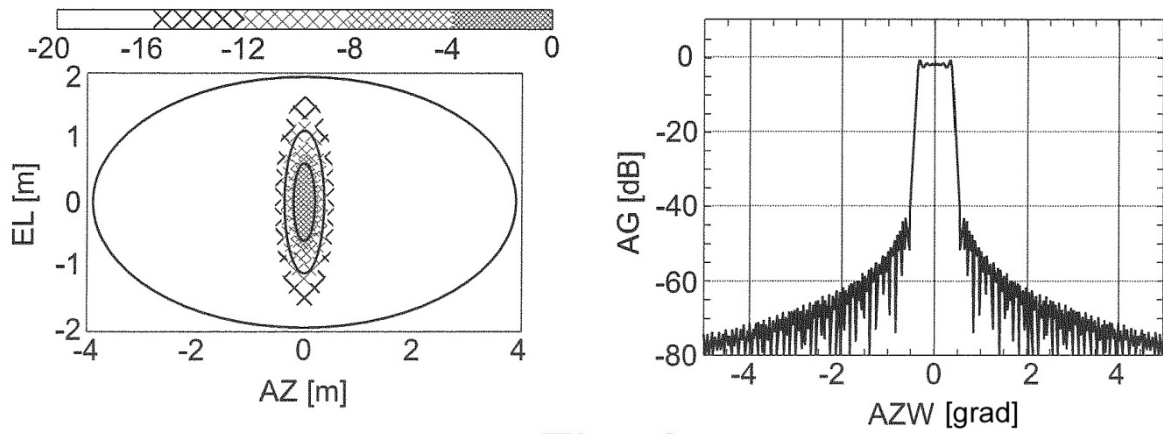


Fig. 6

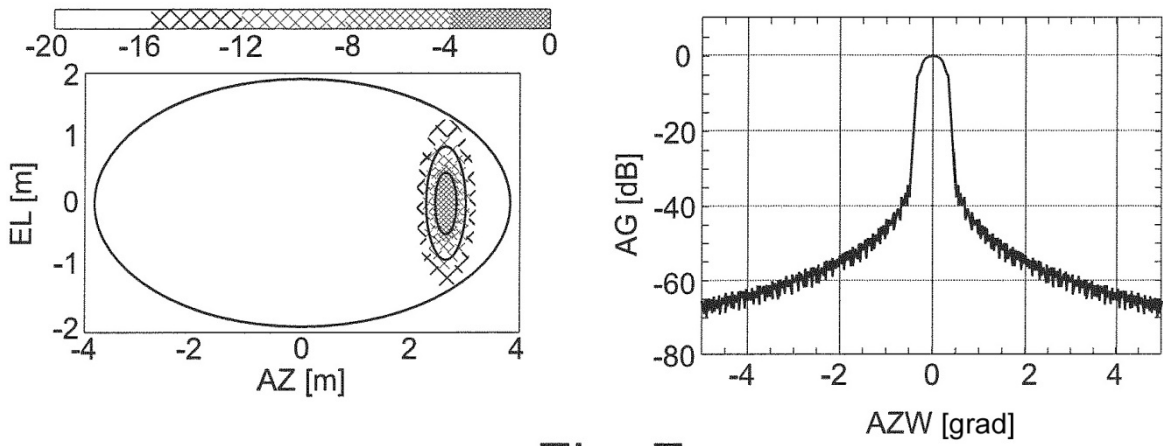


Fig. 7

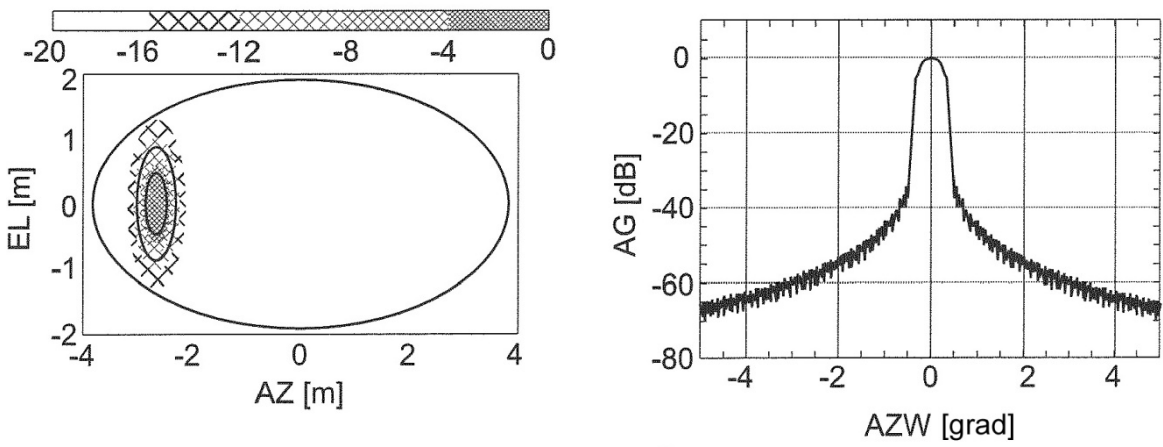


Fig. 8

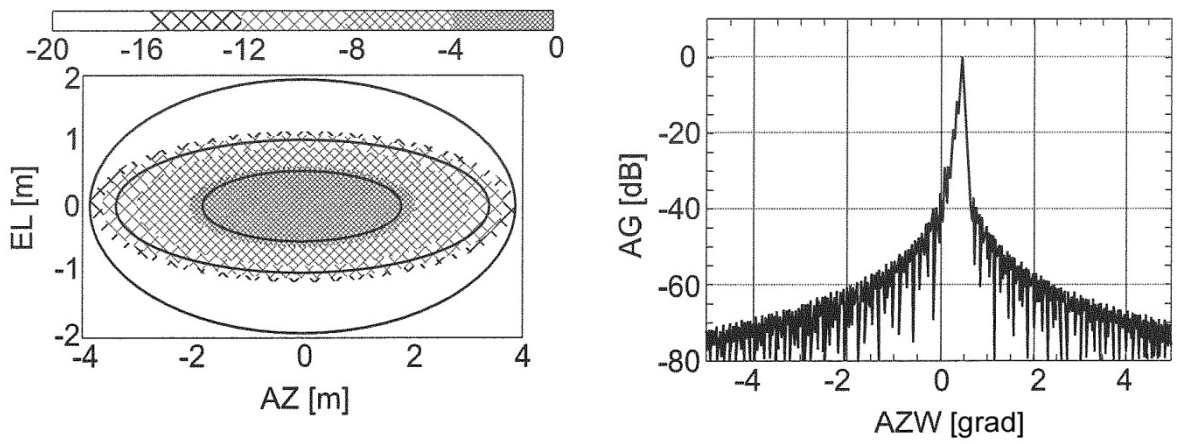


Fig. 9

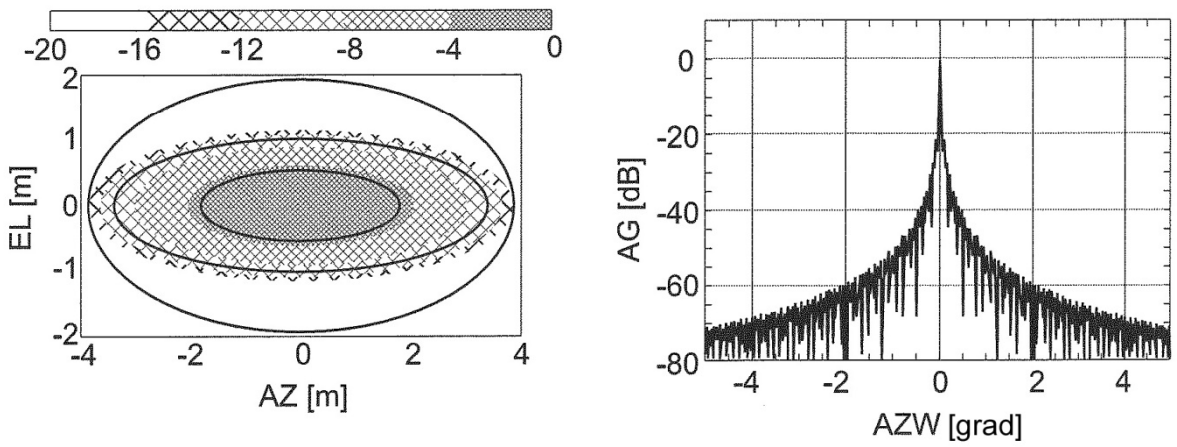


Fig. 10

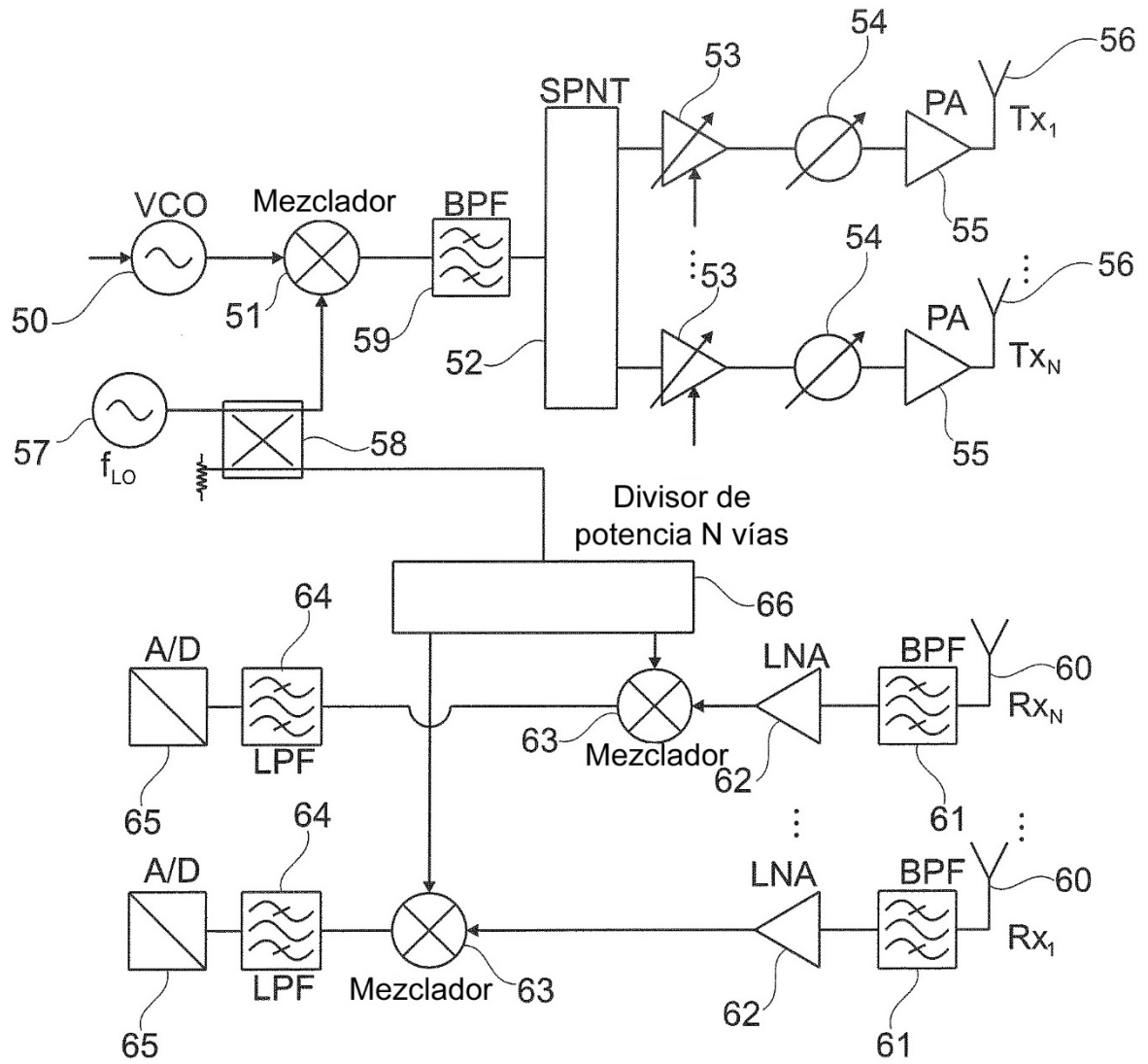


Fig. 11