

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 759 013**

51 Int. Cl.:

H01Q 3/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.12.2013 PCT/GB2013/053260**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.06.2014 WO14091229**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.12.2013 E 13805498 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019 EP 2932561**

54 Título: **Calibración del sistema de antena**

30 Prioridad:

14.12.2012 GB 201222609
14.12.2012 EP 12275207

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.05.2020

73 Titular/es:

BAE SYSTEMS PLC (100.0%)
6 Carlton Gardens
London SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es:

CLARK, MARCUS, EDWARD;
SCOTT, MICHAEL, ANDREW y
EADE, JAMES

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 759 013 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

Calibración del sistema de antena

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a sistemas de antena con juntas rotativas.

Antecedentes

10

La calibración de un sistema de antena requiere típicamente el uso de una fuente de señal de calibración RF (radiofrecuencia) externa que se dispone para transmitir una señal predefinida de forma conocida y para recibir esa señal a través del sistema de antena que se está calibrando.

15

Al comparar la forma conocida de la señal de calibración transmitida con la forma detectada de la señal de calibración recibida, uno puede calibrar el sistema de antena receptora de acuerdo con las diferencias entre las dos. Se supone que estas diferencias son el resultado, en gran parte, de los errores del sistema y de las características del sistema de antena receptora y pueden invertirse para determinar un factor de corrección o un proceso que se aplicará a las señales recibidas subsecuentemente. De esta manera, los errores y características del sistema pueden tenerse en cuenta y cancelarse, al menos en cierta medida, para mejorar la precisión del sistema de antena.

20

Esta necesidad de calibración es particularmente importante en los sistemas de antenas giratorias con juntas rotativas, tal como la mayoría de los sistemas de radar.

25

Una junta rotativa típica es un dispositivo electromecánico que proporciona la interfaz de transferencia de la señal requerida entre las secciones estacionarias y giratorias de un sistema de antena giratoria. Permite que las señales de radiofrecuencia (RF) se transmitan de un lado a otro entre la antena y otros componentes de un aparato de antena.

30

Las juntas rotativas de RF se usan en muchas industrias. Estas industrias incluyen comunicación, satélites, control aeroespacial y de tráfico aéreo, sistemas de a bordo del avión, sistemas de a bordo del barco, radar en tierra.

35

Una junta rotativa es una línea de transmisión pasiva giratoria que tiene la capacidad de pasar señales de RF con una degradación mínima. Sin embargo, cuantos más canales de RF se requieran para transmitir, generalmente más larga debe ser la junta rotativa. Una junta rotativa puede ser tan simple como un dispositivo de transmisión de un canal que es típicamente pequeño (unos pocos cm de longitud), o tan complicado como, por ejemplo, un dispositivo de transmisión de 73 canales que es mucho más largo (aproximadamente 5 metros de largo).

40

Las juntas rotativas de RF pueden estar hechas de cobre, bronce, aluminio, acero inoxidable, aceros especiales, plata y aleaciones especialmente revestidas o bimetálicas. Las especificaciones importantes para las juntas rotativas de RF incluyen tamaño, longitud y peso. Claramente, la naturaleza metálica de las juntas rotativas de RF las hace relativamente pesadas.

45

La transferencia de una señal de radiofrecuencia (RF) a través de la junta rotativa de una antena giratoria, tal como un arreglo de antenas de radar, puede requerir juntas rotativas de RF grandes y pesadas cerca de la antena y típicamente en lo alto de un mástil de antena, por ejemplo, el mástil de un barco. Esto se convierte en un problema particular cuando se consideran conjuntos de antenas que tienen muchos canales de RF, que requieren una junta rotativa de RF larga y pesada.

50

La invención aborda este problema. El documento publicado de solicitud de patente de los Estados Unidos US2005/0140546A1 describe un aparato y un procedimiento de transmisión y recepción para un sistema de antena de matriz adaptativa capaz de calibración de errores en tiempo real.

Sumario de la invención

55

La invención es para emplear una señal de calibración de RF generada internamente, en lugar de una señal de calibración generada y transmitida externamente, para calibrar un sistema de antena contra errores y características del sistema. En particular, aunque no exclusivamente, la invención en algunas realizaciones preferentes es para modular la energía de una señal óptica mediante el uso de una señal eléctrica analógica desde un receptor de RF o una fuente de señal de una antena para transferir la señal óptica analógica, transmitiendo la información desde dentro de la señal eléctrica de RF, a través de una junta rotativa óptica del sistema de antena giratoria. Después de la transferencia, la señal óptica analógica modulada puede convertirse en una señal analógica eléctrica y subsecuentemente procesarse digitalmente. Hay una mayor dificultad para mantener con suficiente precisión la amplitud/energía de la señal óptica de un canal de señal óptica dado en todo el intervalo de rotación de la junta rotativa. Se ha encontrado que una variación de la ganancia/nivel generalmente sinusoidal tiende a ocurrir en una señal transferida ópticamente sobre este intervalo de acimut. Se ha encontrado efectivo el emplear la señal de calibración

60

65

"simulada externamente" aplicada internamente, que no se aplica a través de los elementos de antena radiante, para calibrar el sistema de antena contra los errores del sistema y las características de la junta rotativa óptica.

Por ejemplo, una unidad transmisora puede alimentar internamente una señal de calibración de RF predefinida directamente (es decir, sin irradiarla desde una ubicación externa) en un receptor de la antena del sistema. La señal de calibración imita lo que el receptor "vería" si los elementos de antena del sistema hubieran recibido una señal de RF externa predeterminada, y la hubieran alimentado al receptor de la manera habitual y tradicional. La respuesta de cada canal receptor, tal como cada canal óptico en el prisma Dove, puede caracterizarse y calibrarse. Esto permite que se aplique una calibración controlada en cualquier momento sin la necesidad de una fuente de RF de calibración externa.

En realizaciones preferentes, la invención puede incluir una calibración de una señal de RF analógica recibida a través de una junta rotativa óptica en la que se calculan correcciones separadas para valores separados de la posición rotacional de la junta rotativa óptica, preferentemente se determina un intervalo de correcciones que abarca todo el intervalo de diferentes posiciones de rotación de la junta. Las correcciones pueden ser para variaciones en el nivel de la señal y/o la fase de señal, y/o nivel de ruido de la señal (por ejemplo, la relación señal/ruido) que pueden variar de acuerdo con la posición rotacional de la junta rotatoria óptica.

Puede aplicarse una corrección de dos partes en la que las correcciones que representan las variaciones en los niveles de ruido de la señal en diferentes posiciones rotacionales de la junta rotativa óptica, se aplican a las señales ópticas cuando están en forma analógica - por ejemplo, a través de un procesador de señal analógica, mientras que las correcciones que representan las variaciones en los niveles y/o fase de la señal en diferentes posiciones rotacionales de la junta rotativa óptica, se aplican subsecuentemente a las señales ópticas cuando están en forma digital - por ejemplo, a través de un procesador de señal digital.

La transmisión de la señal analógica a través de la junta rotatoria óptica elimina la necesidad de procesadores analógicos a digitales en el conjunto de antena. Se ha encontrado posible transferir ópticamente datos analógicos dentro de señales analógicas eléctricas de este modo, de manera que la amplitud de la señal analógica transferida se transfiere y recupera con precisión cuando se convierte de nuevo en una señal de salida analógica eléctrica, particularmente cuando la junta rotativa se calibra como se describió en la presente memoria.

Este es un resultado sorprendente, ya que en el campo técnico de la invención, existe la percepción de que la transferencia óptica de datos en los sistemas de comunicaciones de RF siempre debe ser digital ya que las señales de datos digitales en general a menudo son menos susceptibles a la pérdida de datos o errores durante la transmisión, y mucho más susceptible de corrección de errores. Se percibe que generalmente habría una dificultad insuperable para controlar con suficiente precisión los niveles de amplitud/energía de la señal óptica necesarios para lograr la precisión deseada en la transferencia de datos por señales analógicas, especialmente cuando se transfieren múltiples canales de señal.

La invención en realizaciones preferentes emplea preferentemente un prisma "Dove", o un prisma "Abbe-Konig", ambos conocidos además como un prisma de reversión dentro de la junta rotativa óptica. Cuando tal prisma gira alrededor de su eje longitudinal, una imagen vista a través del prisma gira al doble de la velocidad de rotación del prisma, pero la posición de salida permanece sin cambios y un rayo de salida es paralelo al rayo de entrada en todos los ángulos de rotación del prisma.

Pueden transferirse múltiples canales al prisma de reversión en una multitud correspondiente de fibras ópticas de entrada, o guías de onda, que giran con la antena, y después de haber transferido a través del prisma de reversión, cada canal puede salir del prisma de reversión a otra multitud correspondiente de fibras ópticas, o guías de onda, que no giran.

En un primer aspecto, la invención proporciona un procedimiento para calibrar un sistema de antena de acuerdo con la reivindicación 1 en la presente memoria. El procedimiento es aplicable a un sistema de antena que incluye un(os) elemento(s) de antena conectado(s) a una(s) unidad(es) receptora(s) de señal en un puerto de entrada de la señal de RF del mismo y el procedimiento incluye, generar una señal de calibración de RF, aplicar la señal de calibración de RF al puerto de entrada de la señal de RF de la(s) unidad(es) receptora(s) de señal sin aplicar la señal de calibración a través del elemento(s) de antena, midiendo la respuesta del sistema de antena a la señal de calibración, calculando una corrección de señal de acuerdo con la respuesta medida, aplicando la corrección de señal a la respuesta del sistema de antena a las señales recibidas subsecuentemente en tal(es) unidad(es) receptora(s) de señal a través del elemento(s) de antena del sistema de antena.

El procedimiento puede incluir generar la señal de calibración de RF mediante el uso de un transmisor de la señal de RF y transmitir la señal de calibración de RF al puerto de entrada de la señal de RF directamente a través de una línea de transmisión de señal que conecta el transmisor de la señal de RF al puerto de entrada de la señal de RF del receptor de señal.

Puede calcularse un valor de la corrección de la señal de acuerdo con el inverso de un valor de la respuesta medida.

- 5 El procedimiento se aplica a un sistema de antena que comprende una antena giratoria, y puede comprender, emitir desde la(s) unidad(es) receptora(s) de señal una señal analógica de RF como respuesta a la señal de calibración de RF aplicada, recibir la señal de RF analógica en un(os) modulador(es) óptico(s) y modular una señal óptica con el mismo para producir una señal o señales ópticas analógicas moduladas, transmitir ópticamente la(s) señal(es) óptica(s) analógica(s) modulada(s) a un convertidor optoelectrónico a través de una junta rotativa óptica que incluye un prisma de inversión, convertir la(s) señal(es) óptica(s) analógica(s) modulada(s) en una(s) señal(es) eléctrica(s) analógica(s) mediante el uso del(los) convertidor(es) optoelectrónico(s) y calcular una(s) corrección(es) de señal de acuerdo con la(s) señal(es) eléctrica(s) analógica(s).
- 10 El procedimiento puede incluir rotar la antena giratoria a través de 720 grados de ángulo/posición de rotación (por ejemplo, acimut), aplicar la señal de calibración de RF continuamente, o a intervalos regulares adecuados, durante los 720 grados de ángulo/posición de rotación, y calcular una pluralidad de corrección(es) de la señal correspondiente a una pluralidad de ángulos/posiciones de rotación que abarcan los 720 grados. Se apreciará que una rotación de 720 grados de la antena giratoria da como resultado una rotación de 360 grados del prisma de reversión dentro de la junta rotativa.
- 15 El procedimiento puede incluir convertir la(s) señal(es) eléctrica(s) analógica(s) en señales eléctricas digitales y calcular la(s) corrección(es) de la señal de acuerdo con la(s) señal(es) eléctrica(s) digital(es).
- 20 El procedimiento puede incluir aplicar una corrección de señal a la(s) señal(es) eléctrica(s) analógica(s) para reducir los efectos de los niveles de ruido en la misma, y subsecuentemente convertir la(s) señal(es) eléctrica(s) analógica(s) en señal(es) eléctrica(s) digital(es). El procedimiento puede incluir convertir estas señales eléctricas analógicas con corrección de ruido en señal(es) eléctrica(s) digital(es) y calcular la(s) corrección(es) de señal de acuerdo con esa(s) señal(es) eléctrica(s) digital(es) con corrección de ruido.
- 25 En un segundo aspecto, la invención proporciona un sistema de antena de acuerdo con la reivindicación 7 en la presente memoria. El sistema incluye un(os) elemento(s) de antena conectado a una(s) unidad(es) receptora(s) de señal en un puerto de entrada de la señal de RF del mismo, que comprende un transmisor de la señal de RF de calibración que se dispone para generar una señal de calibración de RF y para aplicar la señal de calibración de RF al puerto de entrada de la señal de RF de la(s) unidad(es) receptora(s) de señal sin aplicar la señal de calibración a través de los elementos de antena, un controlador de calibración que se dispone para medir la respuesta del sistema de antena a la señal de calibración, para calcular una corrección de señal de acuerdo con el respuesta medida, y para aplicar la corrección de señal a la respuesta del sistema de antena a señales recibidas subsecuentemente en tal(es) unidad(es) receptora(s) de señal a través del elemento(s) de antena del sistema de antena. El controlador de calibración puede ser un procesador de señal, que incluye un procesador de señal digital, o un procesador de señal analógico o ambos.
- 30 El transmisor de señal de calibración de RF se conecta preferentemente al puerto de entrada de la señal de RF directamente a través de una línea de transmisión de señal que conecta el transmisor de la señal de RF al puerto de entrada de la señal de RF del receptor de señal.
- 35 El controlador de calibración puede disponerse para calcular un valor de la corrección de la señal de acuerdo con el inverso de un valor de la respuesta medida.
- 40 El sistema de antena comprende una antena giratoria óptica y la(s) unidad(es) receptora(s) de señal se dispone(n) preferentemente para emitir una señal analógica de RF como respuesta a la señal de calibración de RF aplicada para su transmisión óptica a través de la junta rotativa óptica para caracterizar/calibrar la junta. El sistema de antena puede incluir uno(s) modulador(es) óptico(s) que se disponen para recibir la señal analógica de RF y modular una señal óptica con el mismo para producir una(s) señal(es) óptica(s) analógica(s) modulada(s), un convertidor optoelectrónico que se dispone para convertir la(s) señal(es) óptica(s) analógica(s) modulada(s) en una(s) señal(es) eléctrica(s) analógica(s), una junta rotativa óptica que incluye un prisma de reversión que se dispone para transmitir ópticamente la(s) señal(es) óptica(s) analógica(s) modulada(s) desde el(los) modulador(es) óptico(s) al convertidor optoelectrónico. El controlador de calibración se dispone preferentemente para calcular una(s) corrección(es) de señal de acuerdo con la(s) señal(es) eléctrica(s) analógica(s). Esto puede procesar directamente las señales analógicas con un procesador de señales analógicas y/o procesar digitalmente las señales después de que se hayan convertido en señales digitales (por ejemplo, después de un procesamiento analógico inicial).
- 45 El controlador de calibración se dispone preferentemente para aplicar la señal de calibración de RF continuamente durante una rotación de 720 grados (por ejemplo, ángulo de acimut) de la posición angular de la junta rotativa y para calcular una pluralidad de corrección(es) de señal correspondientes a una pluralidad de posiciones angulares abarcando los 720 grados.
- 50 El sistema de antena puede incluir un convertidor analógico a digital (A/D) que se dispone para convertir la(s) señal(es) eléctrica(s) analógica(s) en señales eléctricas digitales y el controlador de calibración puede disponerse para calcular la(s) corrección(es) de señal de acuerdo con la(s) señal(es) eléctrica(s) digital(es).
- 55
- 60
- 65

El sistema de antena puede incluir un procesador de señal analógica que se dispone para recibir las señales eléctricas analógicas, y el controlador de calibración puede disponerse para controlar el procesador de señal analógica para aplicar una corrección de reducción de ruido a la(s) señal(es) eléctrica(s) analógica(s).

5 En otro aspecto, la invención puede proporcionar un programa informático o una pluralidad de programas informáticos que se disponen de manera que cuando se ejecutan mediante un sistema informático provocan que el sistema informático funcione para controlar un aparato de transmisión de la señal óptica de acuerdo con el procedimiento descrito anteriormente, o un medio de almacenamiento legible por máquina que almacena tal programa informático o al menos uno de la pluralidad de programas informáticos.

10 En un tercer aspecto, la invención puede proporcionar un aparato de transmisión de la señal óptica para una antena giratoria que comprende una pluralidad de moduladores ópticos que se disponen para recibir una respectiva pluralidad de señales de RF analógicas y para modular una pluralidad respectiva de señales ópticas con la misma para producir una pluralidad de señales ópticas analógicas moduladas, una pluralidad de convertidores optoelectrónicos para convertir una señal óptica analógica modulada respectiva en una señal eléctrica analógica, en el que la pluralidad de moduladores ópticos se acoplan rotacionalmente en comunicación óptica con la pluralidad de convertidores optoelectrónicos a través de un junta rotativa óptica que incluye un prisma de reversión. El prisma de reversión puede ser un prisma Dove de un prisma Abbe-Konig.

15 Los moduladores ópticos incluyen preferentemente un láser, tal como un láser de onda continua, para generar una señal portadora óptica y una unidad moduladora óptica (por ejemplo, un modulador Mach-Zehnder (MZ)) que se dispone para modular la señal portadora de acuerdo con la señal analógica de RF.

20 La unidad moduladora óptica incluye preferentemente un componente polarizable que puede configurarse para polarizarse mediante la aplicación de una tensión de polarización de manera que el modulador funcione en cuadratura.

25 El aparato de transmisión de la señal óptica puede incluir un medio de control de polarización que se dispone para variar la tensión de polarización aplicada al componente polarizable hasta que el valor de la tensión de polarización sea el valor más cercano a una tensión de polarización (por ejemplo, 0 (cero) Voltios) en el que opera el modulador en cuadratura. Esto permite que el aparato mantenga el funcionamiento de las unidades moduladoras ópticas con una característica de transferencia de modulación más consistente, manteniendo de esta manera una precisión deseada en los niveles de señal óptica analógica modulada en un intervalo dinámico más amplio.

30 El prisma de reversión preferentemente se acopla rotacionalmente a la pluralidad de moduladores ópticos y a la pluralidad de convertidores optoelectrónicos para que puedan girar con relación a ambos a una velocidad angular de rotación que es sustancialmente la mitad de la velocidad angular de rotación a la que la pluralidad de moduladores ópticos son simultáneamente giratorios con relación a la pluralidad de convertidores optoelectrónicos. Por lo tanto, los moduladores ópticos pueden disponerse en una parte giratoria de un ensamble de antena y los convertidores optoelectrónicos pueden disponerse en una parte estacionaria del ensamble junto con los componentes de procesamiento de señales eléctricas y los componentes de control del ensamble. Los medios de engranaje pueden acoplar una carcasa que contiene los moduladores ópticos a una carcasa que contiene el prisma de reversión y pueden disponerse para transferir la fuerza motriz rotativa a la carcasa que contiene el prisma de reversión desde la carcasa que contiene los moduladores ópticos en sustancialmente la mitad (1/2) del velocidad angular.

35 El aparato de transmisión de la señal óptica puede comprender una primera unidad colimadora óptica que se dispone para recibir y colimar dicha pluralidad de señales ópticas analógicas moduladas para la entrada al prisma de reversión, y una segunda unidad colimadora óptica que se dispone para recibir y colimar la pluralidad de señales ópticas analógicas moduladas que salen del prisma de reversión, en el que la primera y la segunda unidad colimadora comparten ejes de colimación sustancialmente paralelos. Preferentemente, la primera unidad colimadora óptica se dispone para recibir señales ópticas analógicas de la segunda unidad colimadora óptica, es decir, operando recíprocamente, o como una configuración de transferencia óptica bidireccional.

40 El aparato de transmisión de la señal óptica puede comprender al menos 20 moduladores ópticos y 20 convertidores optoelectrónicos, o al menos 30. Por lo tanto, pueden proporcionarse muchos canales de señal analógica óptica para transferir ópticamente a través de la junta rotativa óptica. Las primera y segunda unidades colimadoras óptico pueden comprender cada una un número correspondiente de fibras ópticas que terminan en ellas y están en comunicación óptica con uno de los respectivos moduladores ópticos y convertidores optoelectrónicos, respectivamente, del aparato. Los ejes ópticos de las fibras ópticas en sus extremos terminales en cada una de las primera y segunda unidades colimadoras son preferentemente paralelas al eje óptico del prisma de reversión entre ellas. De esta manera, cualquier extremo de terminal de fibra óptica en una de las primera y segunda unidades colimadoras se mantiene, mediante el prisma de reversión, en comunicación óptica con el mismo extremo de terminal de fibra óptica en la otra de las primera y segunda unidades colimadoras, independientemente del estado de rotación relativa de las dos unidades colimadoras.

45 En un cuarto aspecto, la invención puede proporcionar un procedimiento para la transmisión de la señal óptica para una antena giratoria que comprende, recibir una pluralidad de señales de RF analógicas en una pluralidad respectiva

5 de moduladores ópticos y modular una pluralidad respectiva de señales ópticas con la misma para producir una pluralidad de señales ópticas analógicas moduladas, que transmiten ópticamente la pluralidad de señales ópticas analógicas moduladas a una pluralidad de convertidores optoelectrónicos a través de una junta rotativa óptica que incluye un prisma de reversión, convirtiendo cada señal óptica analógica modulada en una señal eléctrica analógica respectiva mediante el uso de la pluralidad de convertidores optoelectrónicos.

10 Los moduladores ópticos incluyen preferentemente un láser para generar una señal portadora óptica y una unidad moduladora óptica (por ejemplo, un modulador Mach-Zehnder (MZ)), y el procedimiento incluye preferentemente modular la señal portadora mediante el uso de la unidad moduladora óptica de acuerdo con la señal de RF analógica. La señal de RF analógica puede aplicarse a la unidad moduladora óptica como una señal de modulación.

15 La unidad moduladora óptica incluye preferentemente un componente polarizable, y el procedimiento incluye preferentemente polarizar el componente polarizable mediante la aplicación de una tensión de polarización de manera que el modulador funcione en cuadratura.

El procedimiento puede incluir variar la tensión de polarización aplicada al componente polarizable hasta que el valor de la tensión de polarización sea el valor más cercano a una tensión de polarización (por ejemplo, 0 (cero) Voltios) en la que el modulador opera en cuadratura.

20 El procedimiento puede incluir girar, durante el uso, la pluralidad de moduladores ópticos con relación a la pluralidad de convertidores optoelectrónicos a una velocidad angular de rotación, y girar simultáneamente el prisma de reversión con relación a la pluralidad de moduladores ópticos y la pluralidad de convertidores optoelectrónicos a una velocidad de rotación angular que es sustancialmente la mitad de la velocidad de rotación angular.

25 El procedimiento puede comprender colimar la pluralidad de señales ópticas analógicas moduladas de acuerdo con un primer eje de colimación, introducir la pluralidad colimada de señales ópticas analógicas moduladas en el prisma de reversión, y recibir y colimar la pluralidad de señales ópticas analógicas moduladas que salen del prisma de reversión de acuerdo con el segundo eje de colimación sustancialmente paralelo al primer eje de colimación. El procedimiento puede incluir la colimación de esta manera para la transferencia óptica en cualquier dirección a través del prisma de reversión.

30 El procedimiento puede incluir recibir, modular ópticamente, transmitir ópticamente y subsecuentemente demodular al menos 20, o al menos 30, señales de RF analógicas simultáneamente.

35 En otro aspecto, la invención proporciona un programa informático o una pluralidad de programas informáticos que se disponen de manera que cuando se ejecutan mediante un sistema informático hacen que el sistema informático funcione para controlar un aparato de transmisión de la señal óptica de acuerdo con el procedimiento de cualquiera de los aspectos anteriores.

40 En otro aspecto adicional, la invención proporciona un medio de almacenamiento legible por máquina que almacena un programa informático o al menos uno de la pluralidad de programas informáticos de acuerdo con el aspecto anterior.

45 El aparato en el tercer aspecto puede comprender el aparato de acuerdo con el segundo aspecto de la invención. El procedimiento en el cuarto aspecto puede comprender el procedimiento en el primer aspecto de la invención.

Breve descripción de los dibujos

50 La Figura 1 ilustra esquemáticamente un sistema de antena de radar que comprende un conjunto de antena de radar acoplado rotacionalmente a un sistema de procesamiento de señal de radar a través de una junta rotativa óptica;

la Figura 2 muestra una sección transversal esquemática de una junta rotativa óptica;

55 las Figuras 3A y 3B muestran un modulador óptico Mach-Zehnder y la función de transferencia de un modulador óptico activado;

la Figura 4 muestra esquemáticamente el modulador óptico de la Figura 3A en combinación con los elementos de entrada y de control que se muestran en la Figura 1;

60 la Figura 5 muestra gráficamente la variación en la respuesta de dos canales de la junta rotativa óptica en función de la posición rotacional de la junta a través de un intervalo angular (acimut) que abarca 720 grados correspondiente a un intervalo rotativo completo de 360 grados del prisma de reversión dentro de la junta rotativa;

65 la Figura 6 muestra esquemáticamente un atenuador escalonado empleado en un procesador de señal analógica de una realización de la invención;

la Figura 7 muestra un extremo de una de las primera y segunda unidades colimadoras de la Figura 1 o 2, que muestra un conjunto de 24 canales de transmisión óptica separados dentro de la junta rotativa óptica.

Descripción detallada

5 En los dibujos acompañantes, los cuales ilustran una o más realizaciones ilustrativas, los elementos similares se asignan con símbolos de referencia similares para mayor consistencia.

10 La Figura 1 muestra un sistema de radar 1 que comprende un conjunto de antena 2 que tiene cuatro elementos radiantes de antena separados 3 (o subconjuntos de elementos radiantes múltiples) cada uno servido por una respectiva de cuatro unidades transmisoras/receptoras de RF separadas 4. Debe observarse que si bien aquí solo se muestran cuatro canales de señal, esto es puramente para fines ilustrativos, y muchos más de tales canales pueden estar presentes en otras realizaciones. Cada unidad transmisora/receptora contiene un aparato receptor para recibir señales de RF, tales como señales de retorno de radar (eco), desde un elemento radiante de antena respectivo y para generar señales eléctricas de RF amplificadas típicamente a través de un superheterodino o similar tal como sería fácilmente evidente para la persona experta. Además, cada unidad transmisora/receptora contiene un aparato transmisor para generar señales de salida de radar RF para la radiación por un elemento radiante de antena respectivo. Cada uno de los aparatos transmisores y receptores se conecta a un elemento radiante común a través de un duplexor (no se muestra) que protege al aparato receptor de las señales generadas por el aparato transmisor y dirige las señales de radar recibidas al aparato receptor. Estos componentes del aparato pueden ser tales como serían fácilmente evidentes para la persona experta.

25 Cada una de las cuatro unidades transmisoras/receptoras tiene una línea de transmisión de RF de salida analógica del receptor 5 conectada a un puerto de señal de modulación de entrada de RF de uno de los cuatro moduladores ópticos 6 de Mach-Zehnder (MZ) respectivos que también tienen un puerto de entrada de la señal portadora óptica conectado para recibir una señal portadora óptica desde una unidad láser 7 que se dispone para generar cuatro señales portadoras ópticas separadas para cada uno de los cuatro moduladores ópticos (MZ) respectivos. La unidad láser puede comprender una o más fuentes de luz láser (por ejemplo, láseres de estado sólido o de cualquier otra manera) controladas para generar una salida óptica de intensidad sustancialmente constante para su uso como señal portadora. Una de estas fuentes de luz láser puede disponerse para generar una señal portadora óptica para dos o más moduladores MZ en común, y puede acoplarse ópticamente a la misma a través de un divisor de energía óptica de manera que dos moduladores MZ sean servidos compartiendo/dividiendo la luz portadora de una fuente láser.

35 Cada modulador óptico MZ se dispone para modular la señal portadora óptica recibida por él con la señal de tensión de RF analógica recibida por el modulador MZ en su puerto de señal de modulación de entrada de RF, y para emitir la señal óptica analógica modulada en una fibra óptica respectiva 8 a un respectivo uno de los cuatro puertos de entrada del colimador de una primera unidad colimadora 9 de una junta rotativa óptica 10, a través de una fibra óptica respectiva. Se aplica una diferencia de potencial a cada modulador MZ para controlar el modulador MZ para que funcione en o cerca de la cuadratura, como se explica con más detalle más abajo, con referencia a las figuras 3A, 3B y 4.

45 La junta rotativa óptica comprende una unidad de prisma 11 que contiene un prisma Dove (puede usarse otro tipo de prisma de reversión, como un prisma Abbe-Konig) que acopla ópticamente las señales ópticas moduladas de cada uno de los cuatro puertos de entrada del colimador a uno respectivo de los cuatro puertos de salida del colimador de una segunda unidad colimadora 12 de la junta rotativa óptica. Cada unidad colimadora se dispone para colimar una señal óptica modulada recibida de esta manera. El eje de colimación de la primera unidad colimadora es paralelo al de la segunda unidad colimadora. Sin embargo, la primera unidad colimadora se fija al cabezal de la antena giratoria del sistema de radar que se dispone para girar alrededor de un eje de rotación paralelo al eje de colimación, a una velocidad de rotación angular dada (ω) y es, por lo tanto, rotativa, mientras que la segunda unidad colimadora se fija a la parte estacionaria del sistema de radar y no gira. La unidad de prisma, ubicada entre la primera unidad colimadora giratoria y la segunda unidad colimadora estacionaria, se dispone para girar con la primera unidad colimadora alrededor del mismo eje de rotación pero a la mitad de la velocidad angular de rotación ($\omega/2$). Por lo tanto, la primera unidad colimadora se dispone para girar con relación a tanto con la unidad de prisma como con la segunda unidad colimadora.

55 De esta manera, las señales ópticas moduladas (analógicas) se transmiten desde un conjunto de elementos de antena giratoria a un sistema de procesamiento de señales estacionarias a través de una junta rotativa óptica. La conversión de señales de analógico a digital (A/D) no es necesaria antes de la transmisión a través de la junta rotativa óptica y puede realizarse después de tal transmisión. De esta manera, se proporciona una junta rotativa óptica compacta que elimina la necesidad de convertidores (A/D) en el cabezal giratorio del sistema de antena.

60 La segunda unidad colimadora posee cuatro puertos de salida de colimador separados, cada uno de los cuales dirige una señal óptica (analógica) de RF modulada y colimada a través de una respectiva de las cuatro fibras ópticas 13, a un respectivo de los cuatro convertidores optoelectrónicos separados 14, cada uno que se dispone para convertir una señal óptica analógica modulada recibida en una señal eléctrica de RF modulada analógica correspondiente. Cada convertidor optoelectrónico puede comprender un fotodiodo con polarización inversa. La luz modulada incidente sobre

el fotodiodo se convierte en una corriente proporcional a la intensidad de la luz incidente. La salida del fotodiodo se conecta eléctricamente en serie a una resistencia (no se muestra) que genera una tensión en proporción a la corriente del fotodiodo. En realizaciones alternativas, la resistencia puede reemplazarse con un amplificador de transimpedancia que puede proporcionar una mayor sensibilidad en la conversión de señales ópticas a valores de tensión.

Las señales eléctricas de RF moduladas analógicamente generadas por los convertidores optoelectrónicos son cada una de ellas ingresadas a un procesador de señal de RF analógico 15 del tipo típicamente usado en un aparato de radar para su procesamiento, tal como amplificación, filtrado o similares, y subsecuentemente se envían a un convertidor de señal analógico a digital (A/D) 20 para la subsecuente salida a una unidad de procesador de señal digital 21 para su análisis, procesamiento y uso general, según lo desee un usuario.

También se proporciona una unidad de control del transmisor 16 que se dispone para generar señales de control digital para controlar el funcionamiento del aparato transmisor dentro de las unidades transmisoras/receptoras, y también señales para controlar el funcionamiento de una unidad transmisora de la señal de calibración 61 separada de las unidades transmisoras/receptoras. La unidad de control del transmisor se dispone para emitir señales de control del transmisor eléctrico digital 17 a una unidad de conversión de señal electroóptica 18 que se dispone para convertir las señales eléctricas digitales en señales ópticas digitales de una manera que esté fácilmente disponible para el experto en la técnica. Por ejemplo, el convertidor de señal electroóptico puede ser un diodo láser que se dispone para accionarse por una señal de activación que contiene las señales de control de la transmisión/calibración eléctrico digital de manera que se genera una señal óptica digital que transmite las señales eléctricas digitales en cuestión. Esta señal óptica digital se introduce en la segunda unidad colimadora óptica (estacionaria) 12 y subsecuentemente se transmite a través del prisma Dove 11 a la primera unidad colimadora óptica 9, con lo cual la primera unidad colimadora la envía a un convertidor optoelectrónico 18 (siendo cualquier variedad adecuada, tal como sería fácilmente disponible y evidente para la persona experta) que se dispone para convertir las señales ópticas digitales en señales eléctricas digitales y emitir el resultado. Esto puede comprender una señal de control del transmisor 19 para ingresar a cada una de las cuatro unidades transmisoras/receptoras 4 para controlar la operación (por ejemplo, energía del transmisor, temporización) de las unidades transmisoras a través de las señales de control del transmisor, o para controlar la operación de las unidades receptoras. Alternativamente, puede comprender una señal de control del transmisor de calibración 60 para controlar el funcionamiento de la unidad transmisora de calibración 61 como se describe más abajo con referencia a las Figuras 5, 6 y 7.

La transferencia óptica de las señales de control a través de la junta rotativa óptica puede ser como se describió anteriormente con relación a la transmisión óptica de las señales del receptor modulado 8, pero en dirección inversa a través de una quinta trayectoria de transmisión óptica (no se muestra). Las primera y segunda unidades colimadoras pueden comprender cada una trayectorias de transmisión óptica adicionales como las ilustradas, para canales ópticos adicionales.

La Figura 2 muestra una vista esquemática en sección transversal de la junta rotativa óptica descrita anteriormente con referencia a la Figura 1.

La junta rotativa óptica 10 comprende una unidad de prisma que incluye un prisma Dove 22 montado dentro de una unidad de montaje de prisma 23 fijada dentro del orificio 25 de una parte de la carcasa del prisma 24. El orificio de la parte de la carcasa del prisma es un orificio pasante que se extiende desde un extremo de la parte de la carcasa al otro extremo axialmente a lo largo del eje central 26 de la carcasa del prisma. El prisma Dove es un prisma de reversión trapezoidal que define un eje óptico longitudinal 26 a través del mismo y que tiene caras extremas opuestas 27 que se disponen en ángulos opuestos pero iguales (por ejemplo, 45 grados) con relación al eje óptico. Como resultado, las señales ópticas 28 emitidas en paralelo al eje óptico se reciben en una en una superficie extrema angulada (entrada/salida) del prisma Dove y se refractan hacia la superficie de base trapezoidal más larga 29 del prisma donde se reflejan totalmente internamente en la segunda superficie extrema angulada opuesta (entrada/salida) del prisma con lo cual se refractan a medida que salen del prisma a lo largo de una dirección paralela al eje óptico. La superficie de base más larga del prisma Dove es plana y paralela al eje óptico del prisma. Cada una de las dos superficies extremas anguladas del prisma Dove se expone completamente y es ópticamente accesible a través de un orificio pasante y respectivo de la carcasa del prisma.

Un extremo de la carcasa del prisma se acopla mecánicamente a una primera unidad colimadora 9 que contiene un arreglo de cuatro extremos terminales de fibra óptica 30 mantenidos en un arreglo de lado a lado paralelo dentro de cuatro perforaciones paralelas de la carcasa de fibra óptica respectiva 31 cada una de las cuales aloja un extremo de una de las cuatro fibras ópticas respectivas conectadas a los cuatro moduladores ópticos MZ. El eje de cada orificio de la carcasa de fibra óptica es paralelo al eje óptico del prisma Dove, y cada orificio de la carcasa de fibra termina con una abertura que coloca un extremo terminal de la fibra óptica 32 en la vista de una superficie extrema angulada (entrada/salida) del prisma Dove, a través de una lente de colimación convergente 33 alojada dentro del orificio de la carcasa de fibra respectiva entre el extremo terminal de la fibra alojada y el terminal y el orificio de la carcasa de fibra. Cada lente de colimación se dispone para colimar una salida de la señal óptica de la fibra óptica dentro del orificio de la carcasa de la fibra en un haz óptico colimado paralelo al eje óptico del prisma Dove, y también para recibir una señal óptica colimada del prisma Dove y dirigirla dentro de la fibra óptica dentro del orificio de la carcasa de la fibra, mientras que transmite señales ópticas en la dirección opuesta. En cada una de las primera y segunda unidades colimadoras,

las carcassas adicionales de la fibra óptica alojan fibras ópticas y lentes de colimación adicionales, pero no se muestran en la vista en sección transversal de la Figura 2. Por ejemplo, un quinto orificio de la carcasa de fibra óptica aloja una quinta fibra óptica y una quinta lente de colimación, en cada una de las primera y segunda unidades colimadoras, que están en comunicación óptica a través del prisma Dove y sirven como un canal de transferencia óptica para la(s) señal(es) de control del transmisor (17) enviado a las unidades transmisoras (4). Además, las unidades colimadoras pueden proporcionar tales pares o fibras de comunicación óptica en cualquier patrón dentro de ambas unidades colimadoras, compartidas por cada uno.

El otro extremo de la carcasa del prisma se acopla mecánicamente a una segunda unidad colimadora 12 que contiene un arreglo de cuatro extremos terminales de fibra óptica 34 sustancialmente idénticos a los de la primera unidad colimadora. Las cuatro fibras ópticas se acoplan a la segunda unidad colimadora con sus extremos terminales mantenidos en un arreglo paralelo de lado a lado dentro de cuatro perforaciones paralelas de las respectivas carcassas de fibra óptica 36. El eje de cada orificio de la carcasa de fibra es paralelo al eje óptico del prisma Dove, y cada orificio de la carcasa de fibra termina con una abertura que coloca un extremo terminal del extremo de la fibra óptica en la vista de la otra superficie final angulada (entrada/salida) del prisma Dove, a través de una lente de colimación convergente 37 alojada dentro del orificio de la carcasa de la fibra respectiva entre el extremo terminal de la fibra alojada, y el terminal y el orificio de la carcasa de fibra. Cada lente de colimación se dispone para recibir una señal óptica colimada transmitida desde la primera unidad colimadora a través del prisma Dove y dirigirla hacia la fibra óptica dentro de un orificio de la carcasa de fibra de la segunda unidad colimadora. Por el contrario, cada lente de colimación puede colimar una salida de la señal óptica desde la fibra óptica dentro del orificio de la carcasa de fibra de la segunda unidad colimadora, en un haz óptico colimado paralelo al eje óptico del prisma Dove para su transmisión a una fibra óptica dentro de la primera unidad de colimación, cuando transmite señales ópticas en la dirección opuesta.

La primera unidad colimadora se acopla rotacionalmente a la unidad del prisma para que pueda girar alrededor del eje óptico 26 del prisma Dove a una velocidad angular de rotación seleccionada (ω) correspondiente a la velocidad de rotación del arreglo de antenas a la que la primera unidad colimadora se acopla fijamente. La unidad de prisma se acopla a la primera unidad colimadora para girar a la mitad de la velocidad angular de rotación ($\omega/2$) de la primera unidad colimadora. Este acoplamiento se realiza a través un elemento de reducción de escala u otro mecanismo de engranaje de cambio de velocidad (no se muestra) para transmitir la rotación de la primera unidad colimadora a la unidad de prisma a una velocidad angular de la mitad de la velocidad angular de la primera unidad colimadora. De esta manera, la energía mecánica con la que gira el arreglo de antenas giratorias del aparato de radar se transfiere a la unidad de prisma a la velocidad apropiada y reducida a través de la primera unidad colimadora para impulsar la rotación del prisma Dove a la velocidad apropiada. La unidad de prisma se acopla rotacionalmente a la segunda unidad colimadora no giratoria para que pueda girar alrededor del eje óptico del prisma Dove 26 a la velocidad angular de rotación seleccionada ($\omega/2$).

Cada fibra óptica 30 dentro de la primera unidad colimadora se acopla ópticamente y emparejada a la misma fibra óptica 38 en la segunda unidad colimadora, a través del prisma Dove. Cuando el prisma Dove gira alrededor su eje óptico, la posición de una fibra óptica dentro de la primera unidad colimadora gira con relación a la posición de la fibra óptica correspondiente (emparejada) de la segunda unidad colimadora, al doble de la velocidad de rotación relativa del prisma. Sin embargo, el acoplamiento óptico entre las dos fibras ópticas emparejadas, proporcionado por el prisma Dove, permanece sin cambios en todos los ángulos de rotación del prisma. Esto se ilustra con dos rayos ópticos en la Figura 2 en una posición angular.

De esta manera, las señales ópticas pueden transmitirse a través de la junta rotativa óptica.

Las señales ópticas transmitidas son señales ópticas analógicas moduladas con una señal de RF generada por las unidades receptoras de antena que se ilustran en la Figura 3A. Como se discutió anteriormente, un modulador Mach-Zehnder (MZ) proporciona el mecanismo de manera que una señal portadora óptica de entrada puede modularse con la señal de radar de RF. En esta realización, el modulador óptico es un interferómetro, creado al formar una guía de ondas ópticas en un sustrato adecuado tal como Niobato de Litio (LiNbO₃) o Arseniuro de Galio (GaAs) o Fosfuro de Indio (InP).

Una guía de onda óptica 40 del modulador MZ se divide en dos ramas, 40A y 40B, antes de recombinarse en un acoplador óptico 41. Una señal del portador óptico en forma de un haz de luz procedente de una fuente láser 7 entra en un lado del modulador como se indica mediante una flecha en el lado izquierdo de la Figura 3A, y sale del modulador en el lado opuesto, es decir, en el lado derecho de la Figura 3A, que ha pasado a través de ambas ramas, 40A y 40B, de la guía de ondas.

Una de las ramas de guía de onda 40A incluye una asimetría 42 que funciona para introducir una diferencia de fase entre la luz que viaja hacia las ramas respectivas de la guía de onda. La diferencia de fase se elige para que sea de aproximadamente 90 grados en la longitud de onda de operación, que típicamente se encuentra en la región de 1.300 o 1.550 nanómetros. Esto induce una diferencia de potencial en cuadratura donde la energía de la salida óptica es nominalmente el 50 % de su valor máximo.

El Niobato de Litio (en común con otros materiales similares como GaAs o InP) es un material similar al vidrio con una estructura cristalina que exhibe un efecto electroóptico de esta manera el índice de refracción de la estructura cristalina cambia a medida que se aplica una tensión al mismo. En particular, la dirección del campo eléctrico inducido por la tensión aplicada provoca un aumento o una disminución en el índice de refracción. Un índice de refracción aumentado actúa para ralentizar la luz que viaja a través del cristal, y un índice de refracción disminuido actúa para aumentar la velocidad de la luz que viaja a través del cristal.

Como se muestra en la Figura 3A, se proporciona un electrodo de modulación 43 entre las ramas de la guía de ondas. Cuando el electrodo de modulación es energizado por una señal aplicada (por ejemplo, una señal de radiofrecuencia), se establecen campos eléctricos positivos y negativos entre el electrodo de modulación y, respectivamente, un primer 44 y un segundo 45 plano de tierra. El electrodo de modulación se diseña como una línea de transmisión de esta manera la señal de modulación viaja con la señal portadora óptica a través del modulador MZ, lo que permite lograr altas frecuencias de modulación.

Los campos eléctricos positivo y negativo hacen que cambie el índice de refracción de las dos ramas de la guía de ondas. Un campo positivo causa un aumento en el índice de refracción para una rama, y un campo negativo causa una disminución en el índice de refracción para la otra rama, y las diferentes velocidades de propagación resultantes de la señal portadora óptica a través de cada rama causan un cambio de fase en las señales de salida del combinador óptico 46. Este cambio de fase hace que cambie el nivel de energía de salida de la luz del combinador óptico. En efecto, como los campos eléctricos experimentados por cada rama varían con la señal de RF aplicada al electrodo de modulación, la diferencia de fase entre la luz que pasa a través de las dos ramas cambia y el nivel de energía de salida de la señal óptica de salida del combinador varía en consecuencia. El efecto neto de esto es que la señal portadora óptica de entrada se modula con la señal de RF aplicada al electrodo de modulación.

La Figura 3B es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra la función de transferencia del modulador MZ. Esta característica de transferencia del modulador MZ es aproximadamente sinusoidal. La modulación más lineal tiende a lograrse dentro y alrededor del punto de cuadratura (también conocido simplemente como "cuadratura"). El punto de cuadratura es el punto donde hay una relación de fase de 90 grados entre la luz que viaja a través de las ramas respectivas de la guía de onda del modulador MZ. La función de transferencia es una función repetitiva y, como tal, hay muchos puntos de cuadratura a diferentes tensiones de polarización pero todos con la misma energía de salida. En la Figura 3B se indica por el signo de referencia "Cuad" un primer punto de cuadratura. En este primer punto de cuadratura "Cuad", la energía de salida aumenta con la tensión de polarización, y por lo tanto este punto de cuadratura "Cuad" se conoce como un punto de polarización de cuadratura de pendiente positiva. Otros puntos de cuadratura (por ejemplo, mostrados como "x" e "y" en la Figura 3B) ocurren a ambos lados del "Cuad", donde la energía de salida disminuye con la tensión de polarización. Estos puntos de cuadratura se denominan puntos de polarización de cuadratura de pendiente negativa.

En la práctica, el cambio de fase preferido de 90 grados rara vez se logra. Para compensar esto, el modulador MZ de acuerdo con las realizaciones preferentes de la invención incluye un componente polarizable 47, como se muestra en la Figura 3A. Se aplica una tensión de polarización de DC al componente polarizable para devolver el modulador MZ a o cerca de uno de los puntos de cuadratura mencionados anteriormente. En el arreglo que se representa en la Figura 3A, el componente polarizable comprende un electrodo de polarización discreto (esto es meramente ilustrativo ya que las personas expertas en la técnica conocen varias disposiciones alternativas). Por ejemplo, puede aplicarse una tensión de polarización directamente al electrodo de modulación por medio de una denominada T de polarización. En tal arreglo, la polarización de DC puede acoplarse al electrodo a través de un inductor, y la señal aplicada (señal de RF) se acoplaría al electrodo a través de un condensador.

Se ha descubierto que el punto de polarización, es decir, la tensión que debe aplicarse al componente polarizable para devolver el modulador MZ al punto de cuadratura o cerca de él, tiende a cambiar con el tiempo. Por ejemplo, las llamadas cargas atrapadas (por ejemplo, que existen en las regiones entre electrodos, por ejemplo en una capa de amortiguación de dióxido de silicio en la superficie del dispositivo) y las variaciones de temperatura pueden hacer que el punto de polarización cambie a una velocidad de pocos milivoltios por hora a varios voltios por hora. Como tal, es preferible proporcionar un control de polarización dinámica para permitir que se mantenga la linealidad del modulador durante un período prolongado de tiempo.

En el dominio analógico, se ha descubierto que esto es importante para permitir una transmisión óptica analógica precisa de señales de RF.

Una unidad de control de polarización 48 se dispone con los elementos de antena giratoria para aplicar un procedimiento de control de una tensión de polarización suministrado a cada modulador óptico, por separado. Cada modulador MZ comprende un componente polarizable 47 que es configurable para polarizarse mediante la aplicación de la tensión de polarización 49 de manera que el modulador funcione en cuadratura. El controlador de polarización se dispone para proporcionar un objetivo para la energía óptica de salida del modulador MZ, que es una energía de salida correspondiente al modulador que funciona en cuadratura. La unidad de control de polarización aplica al componente polarizable una tensión de polarización que tiene un valor inicial de 0 V, y luego, varía la tensión de polarización hasta que el valor de la tensión de polarización sea el valor más cercano al valor inicial y polarice el

componente polarizable de manera que la energía óptica de salida del modulador esté dentro de un intervalo predefinido de la energía de salida objetivo.

5 La unidad de control de polarización monitorea la energía óptica de salida del modulador MZ y, si se determina que la energía de salida del modulador está fuera del intervalo predefinido de la energía de salida objetivo, se varía aún más el valor de la tensión de polarización para restablecer la energía óptica de salida del modulador dentro del intervalo predefinido de la energía de salida objetivo.

10 Esta etapa de variar aún más el valor de la tensión de polarización puede incluir comparar la energía óptica de salida del modulador con la energía óptica de salida objetivo para determinar si la energía óptica de salida del modulador MZ es mayor o menor que el intervalo predefinido de la energía de salida objetivo. La unidad de control de polarización puede determinar una dirección de una pendiente de la energía óptica de salida del modulador con relación a (en función de) la tensión de polarización aplicada, y en dependencia de la dirección de la pendiente determinada y si la energía de salida del modulador es mayor o más baja que el intervalo predefinido de la energía de salida objetivo, se aumenta o se disminuye la tensión de polarización en una cantidad predeterminada (por ejemplo, en pasos de entre 15 75mV y 150mV, por ejemplo 125mV).

20 El tamaño de la cantidad predeterminada por la cual la tensión de polarización aumenta o disminuye puede seleccionarse o dependiente de cuánto tiempo ha estado funcionando el modulador en cuadratura.

La etapa de variar la tensión de polarización puede comprender comparar la energía de salida del modulador con la energía de salida objetivo para detectar cuándo la energía de salida del modulador está dentro del intervalo predefinido de la energía de salida objetivo (por ejemplo, dentro del 5 %, o preferentemente 2 %, o con mayor preferencia 1 %), o si la energía de salida del modulador es sustancialmente igual a la energía de salida objetivo.

25 La etapa de variar la tensión de polarización puede incluir comenzar en el valor inicial y luego barrer la tensión de polarización en un patrón en zigzag (temporal) con una amplitud gradualmente creciente. Es decir, por ejemplo, aplicando tensiones de polarización sucesivas de signo opuesto y opcionalmente de magnitud creciente. Este puede ser un patrón asimétrico de manera que los valores de polarización positiva de la tensión de polarización dentro del patrón tienen magnitudes que no se repiten en la magnitud de los valores negativos. La variación de la tensión de polarización se realiza preferentemente de manera que la tensión de polarización se limite a estar dentro de un intervalo de tensión de polarización predefinido.

30 La Figura 4 es una ilustración esquemática (no a escala) de un ejemplo de un controlador de polarización implementado en cada línea de transmisión de la señal de RF 8 desde las cuatro unidades receptoras de la antena de la Figura 1.

35 El controlador de polarización 48 se acopla al modulador MZ 6 que es accionado por un láser de onda continua 7 operable para proporcionar una señal portadora óptica con la cual se modula una señal de RF de la unidad transmisora/receptora. En este ejemplo, el modulador incluye un electrodo de polarización separado 47 como se muestra en la Figura 3A, sin embargo, son posibles otros arreglos.

40 El controlador de polarización comprende un fotodiodo (no se muestra) que se acopla a la salida del modulador por medio de un acoplador óptico 50. El acoplador de derivación óptico funciona para controlar la salida de la señal óptica del modulador MZ y pasar aproximadamente del 1 al 5 % de esa salida al fotodiodo. El fotodiodo tiene polarización inversa. La luz incidente en el fotodiodo se convierte en corriente, proporcional a la luz incidente, que pasa a través de una resistencia (no se muestra). La resistencia convierte la corriente pasada a la resistencia en una tensión. La caída de tensión a través de la resistencia se compara con una tensión objetivo, que es una tensión que es indicativa de una energía óptica objetivo para el modulador para la cuadratura. Esto se hace para determinar si la tensión de referencia (es decir, la tensión suministrado por la resistencia) es demasiado alta, demasiado baja o aceptable con relación a la tensión objetivo. La terminología "aceptable" puede usarse, por ejemplo, para referirse a tensiones de referencia dentro del 1 % de la tensión objetivo. La terminología "demasiado alta" puede usarse, por ejemplo, para referirse a tensiones de referencia que son mayores o iguales a la tensión objetivo más 1 %. La terminología "demasiado baja" puede, por ejemplo, usarse para referirse a tensiones de referencia que son menores o iguales a la tensión objetivo menos 1 %. La unidad de control de polarización en consecuencia varía (o mantiene), como se describió anteriormente, la tensión de polarización aplicada al modulador MZ.

45 El sistema de antena puede comprender muchas más líneas/canales de transmisión de la señal de RF que los cuatro que se muestran en las Figuras 1 y 2, y puede comprender al menos 20 a 30 moduladores ópticos y 20 a 30 convertidores optoelectrónicos, con la junta rotativa óptica que comprende las primero y las segundas unidades colimadoras que tienen sus correspondientes 20 a 30 perforaciones de colimación que se acoplan ópticamente a través del prisma Dove.

50 La Figura 5 muestra esquemáticamente la variación en el nivel de señal analógica, 72 y 74, de dos canales de señal transferidos a través de la junta rotativa óptica 10, las Figuras 1 y 2, y recibidos por el procesador de señal analógica 15 desde uno de los dos convertidores optoelectrónicos respectivos 14. Cada nivel de señal se representa en función de

la posición angular de la primera unidad colimadora 9 con relación a la segunda unidad colimadora 12 para una multitud de posiciones angulares sucesivas separadas que abarcan el intervalo de 0 (cero) grados a 720 grados (es decir, dos rotaciones completas). El prisma Dove gira completamente una vez (360 grados) con relación a la primera y la segunda unidad colimadora durante esta rotación del intervalo de rotación. Se ha encontrado que, aunque se mantiene la colimación y la comunicación óptica entre los extremos de fibra óptica emparejados, 32 y 34, dentro de las primera y segunda unidades colimadoras, existe una variación en la característica de transferencia óptica del prisma Dove cuando se transfiere una señal de calibración óptica predeterminada entre dos fibras ópticas emparejadas. Esta característica de transferencia varía tanto en función de la posición de rotación (por ejemplo, el ángulo de acimut giratorio) del prisma Dove y, por lo tanto, de la junta rotatoria, como también de la posición lateral de las fibras ópticas emparejadas con respecto al eje óptico 26 del prisma Dove, que coincide con el eje de rotación del mismo.

Se encuentra una variación cuasisinusoidal en el nivel de señal en respuesta a una señal de calibración predeterminada, cuando la señal de calibración se aplica repetidamente sobre cada una de una multitud de posiciones de rotación y se traza como se muestra en la Figura 5. El período de la variación cuasisinusoidal coincide con el período de rotación del prisma Dove, y se repite para cada rotación completa del prisma Dove. La amplitud de la variación tiende a ser mayor para las fibras ópticas emparejadas con una distancia lateral mayor desde el eje óptico 26 del prisma Dove. Por ejemplo, la Figura 7 muestra esquemáticamente un extremo de una de las primeras unidades colimadoras 9 de la Figura 1 o 2, que muestra un arreglo de 24 extremos de fibra óptica separados dentro de la junta rotativa óptica. El nivel de la señal de respuesta resultante de una señal de calibración predeterminada tiene una amplitud mayor (curva 74 de la Figura 5) con respecto a las fibras ópticas más exteriores, pero típicamente es de menor amplitud (curva 72) para las fibras ópticas más cercanas al eje óptico del prisma Dove.

Los niveles de señal de respuesta también tienden a mostrar un nivel de ruido, además de la variación cuasi sinusoidal sistemática subyacente, 73 o 71, que varía según la posición angular del prisma Dove. Cada posición angular muestra un nivel de ruido (por ejemplo, relación señal/ruido) que es específico de esa posición angular. Aunque el ruido en sí varía aleatoriamente, por supuesto, el nivel de ruido general no varía aleatoriamente y puede explicarse o corregirse de acuerdo con la invención en realizaciones preferentes. De hecho, tanto la variación cuasisinusoidal sistemática como el nivel de ruido aditivo pueden corregirse con una corrección de señal calculada, descrita más abajo, con el objetivo de producir un nivel de señal de respuesta corregida 70 que tenga una variación o variación sistemática mucho menor o sustancialmente nula en los niveles de ruido en todo el intervalo de posiciones angulares del prisma Dove.

Con referencia a la Figura 1, se genera una señal de calibración predeterminada generando una señal de control de calibración, 17 y 60, en la unidad de control del transmisor 16 y se transmite la señal de control a la unidad transmisora de la señal RF de calibración 61 ubicada con las unidades de transmisión/recepción 4 del sistema de antena, a través de la junta rotativa óptica. Esto se logra mediante el uso de los convertidores eléctricos/ópticos, 18, descritos anteriormente. La unidad transmisora de la señal de RF de calibración responde a la señal de control de calibración para generar una señal de calibración de RF e ingresarla directamente al puerto de entrada de RF de la unidad receptora de RF en cada una de las unidades de transmisión/recepción 4 a través de una línea de transmisión de la señal de RF, sin pasar por alto los elementos de la antena radiante 3. Las unidades receptoras de RF responden a esta señal de calibración de RF para generar una señal de salida de RF como si hubieran recibido una señal de radio por los elementos radiantes de la antena 3. En este sentido, la señal de calibración de RF es una señal "simulada" que evita la necesidad de generar una señal de calibración externamente.

Los moduladores ópticos 6 de cada canal de señal responden a la salida de las unidades receptoras respectivas generando y emitiendo señales ópticas moduladas nominalmente idénticas 8 para la entrada a la junta rotativa óptica 10 a través de la primera unidad colimadora 9. Las señales ópticas moduladas se transfieren a través de la junta rotativa óptica por el prisma Dove dentro de ella, y se ingresan al procesador de señal analógica 15 como señales eléctricas moduladas a través de los respectivos convertidores optoelectrónicos 14.

La unidad de control transmisora se dispone para repetir este proceso para cada una de una multitud de posiciones angulares sucesivas de la junta rotativa óptica que abarca 720 grados completos. El resultado de cada repetición de este proceso se muestra esquemáticamente para dos canales de señal.

La señal de control de calibración es preferentemente una que hará que las unidades receptoras de las unidades de transmisión/recepción 4 emitan una forma de señal de RF simple y fácilmente reproducible, tal como un pulso cuadrado u otra forma de pulso simple.

El procesador de señal analógica se dispone para aplicar una atenuación apropiada a cada valor de la señal de respuesta medida (72, 74) en una posición giratoria dada, que se determina según un nivel de ruido detectado en esa señal.

Los niveles de ruido se determinan, típicamente, por la sensibilidad de los convertidores analógico a digital (ADC) empleados para convertir señales analógicas en señales digitales antes de la entrada al procesador de señal digital. Las ganancias y el rendimiento de ruido (figura de ruido) de los dispositivos que intervienen entre las antenas y el procesador de señal analógica (principalmente, pero no exclusivamente, amplificadores) son sustancial y típicamente conocidos y pueden seleccionarse/ajustarse para transformar el nivel de ruido de la antena al nivel apropiado de un

5 dispositivo ADC particular. El nivel se elige preferentemente como unos cuantos de bits menos significativos por encima de la señal más baja a la que responderá el ADC. Las ganancias, etc. de los dispositivos que intervienen a menudo están sujetas a variación (o tolerancia) debido a variaciones/tolerancias de fabricación. Se ha encontrado típicamente que la junta rotativa óptica agrega una variación adicional en función de su ángulo de rotación. Se realiza una calibración en el dominio analógico para eliminar la variación inicial, estática, debida a los componentes del receptor (amplificadores, etc.) y se realiza una calibración dinámica (por ejemplo, subsecuentemente) para tener en cuenta la variación rotacional. Ambas calibraciones pueden combinarse en una sola operación.

10 La atenuación apropiada se aplica mediante el uso de un atenuador escalonado con respecto al canal dado que se procesa. La Figura 6 ilustra esquemáticamente el principio de los atenuadores escalonados. Se recibe una señal de respuesta de entrada en un puerto de entrada 83 del atenuador, con lo cual se dirige a una primera unidad de conmutación S1 controlable para conectar el puerto de entrada a una de las dos ramas de transmisión de la señal. Una primera rama contiene una primera unidad atenuadora de señal 80 y una segunda rama no contiene atenuadores. La primera unidad atenuadora de señal se dispone para aplicar 0.25dB de atenuación de señal. Cada rama vuelve a conectarse a la otra en una segunda unidad de conmutación S2. La segunda unidad de conmutación es controlable para conectarse a una de las dos ramas de transmisión de señal posteriores, una de las cuales contiene una segunda unidad de atenuación de señal 81 y la otra no contiene atenuadores. La segunda unidad atenuadora de señal se dispone para aplicar 0.5dB de atenuación de señal. Cada rama vuelve a conectarse a la otra en una tercera unidad de conmutación S3. La tercera unidad de conmutación es controlable para conectarse a una de las dos ramas de transmisión de señal posteriores, una de las cuales contiene una tercera unidad 82 de atenuación de señal y la otra no contiene atenuadores. La tercera unidad atenuadora de señal se dispone para aplicar 1dB de atenuación de señal. Cada rama vuelve a conectarse a la otra en una cuarta unidad de conmutación S4. Este patrón puede repetirse para acomodar unidades atenuantes para la atenuación de la señal de 1dB, 4dB, etc.

25 El procesador de señal analógica 15 se dispone para dirigir las señales que recibe en canales desde la junta rotativa óptica a un atenuador escalonado respectivo tal como se muestra en la Figura 6 y con ello aplicar una atenuación deseada a la señal analógica controlando el estado del interruptor de cada de la primera a la cuarta (o más) unidades de conmutación si el atenuador escalonado alcanza el nivel de atenuación deseado. Al cambiar una unidad de interruptor dada para conectarse a una rama de transmisión que contiene un atenuador, puede aumentarse un nivel de atenuación, mientras que no se aumentará si el interruptor se conmuta de otra manera. Los atenuadores pueden ser tales que serían fácilmente aparentes y disponibles para la persona experta (por ejemplo, atenuadores de tipo serie, escalera o derivación que comprenden conjuntos de resistencias, o de cualquier otra manera).

35 El aparato puede almacenar o tabular una atenuación asociada con un canal dado y una posición/ángulo rotatorio dado para que se aplique en cada posicionamiento rotativo repetido de la junta rotativa en el uso posterior, mientras que los niveles de ruido para ese canal y en ese rotativo la posición permanezca lo suficientemente estable, al menos de otro modo, hasta que se considere deseable una recalibración.

40 Se ha encontrado que es beneficioso controlar los niveles de ruido en el dominio de la señal analógica de esta manera para permitir un procesamiento de señal digital posterior más preciso y eficiente como se describe más abajo.

45 El procesador de señal analógica se dispone para emitir al procesador de señal digital 21, a través del convertidor A/D 20, las señales con reducción de ruido producidas de esta manera para cada canal recibido desde la junta rotativa. El procesador de señal digital se dispone para tabular la variación en los niveles de señal de respuesta recibidos para cada canal en el intervalo de 720 grados de posiciones rotativas y para calcular un valor inverso del mismo para aplicar a las señales recibidas subsiguientes para revertir el efecto del cuasi sistemático variación sinusoidal (71, 73) causada por la junta rotativa óptica.

50 Las realizaciones descritas anteriormente se presentan con fines ilustrativos y debe entenderse que las variaciones, modificaciones y equivalentes a las mismas, que serían fácilmente evidentes para la persona experta, están comprendidas dentro del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para calibrar un sistema de antena giratoria (1) que incluye un elemento de antena o elementos de antena (2) conectados a una unidad receptora de señal o unidades receptoras de señal (4) en un puerto de entrada de la señal de RF del mismo, el procedimiento comprende:
- 5
- generar una señal de calibración de RF;
 aplicar la señal de calibración de RF al puerto de entrada de la señal de RF de la unidad receptora de señal o unidades receptoras de señal (4) sin aplicar la señal de calibración a través del elemento de antena o de los
 10 elementos de antena (2);
 emitir una señal analógica de RF desde la unidad receptora de señal o de las unidades receptoras de señal como respuesta a la señal de calibración RF aplicada;
 medir la respuesta del sistema de antena giratoria a la señal de calibración;
 calcular una corrección de señal de acuerdo con la respuesta medida; y
 15 aplicar la corrección de señal a la respuesta del sistema de antena giratoria (1) a las señales recibidas subsecuentemente en dicha unidad receptora de señal o unidades receptoras de señal a través del elemento de antena o de los elementos de antena del sistema de antena giratoria,
 caracterizado porque el procedimiento comprende además:
 recibir la señal analógica de RF en un modulador óptico o moduladores ópticos (6) y modular una señal óptica con el mismo para producir una señal óptica analógica modulada o señales ópticas analógicas;
 20 transmitir ópticamente la señal óptica analógica modulada o las señales ópticas analógicas a un convertidor optoelectrónico o convertidores optoelectrónicos (14) a través de una junta rotativa óptica (10) que incluye un prisma de inversión;
 convertir dicha señal óptica analógica modulada o señales ópticas analógicas en una señal eléctrica analógica o señales eléctricas analógicas mediante el uso de dicho convertidor optoelectrónico o convertidores optoelectrónicos
 25 (14); y
 calcular una corrección de señal o correcciones de señal de acuerdo con la señal eléctrica analógica o las señales eléctricas analógicas.
- 30 2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 que incluye generar dicha señal de calibración de RF mediante el uso de un transmisor de la señal de RF (61) y transmitir dicha señal de calibración de RF (62) a dicho puerto de entrada de la señal de RF directamente a través de una línea de transmisión de señal que conecta el transmisor de la señal de RF al puerto de entrada de la señal de RF del receptor de señal.
- 35 3. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior en el que se calcula un valor de la corrección de la señal de acuerdo con el inverso de un valor de la respuesta medida.
4. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3 que incluye girar el elemento de antena o los elementos de antena de dicho sistema de antena giratoria a través de 720 grados de ángulo de acimut, aplicar dicha señal de calibración de RF (62) continuamente durante dichos 720 grados de rotación de ángulo de acimut, y calcular una pluralidad de dichas correcciones de señal correspondientes a una pluralidad de dichos ángulos de acimut que abarcan dichos 720 grados.
- 40
5. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3 o 4 que incluye convertir dicha señal eléctrica analógica o señales eléctricas analógicas en señal eléctrica digital o señales eléctricas digitales y calcular dicha corrección de señal o correcciones de señal de acuerdo con la señal eléctrica digital o señales eléctricas digitales.
- 45
6. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5 que incluye aplicar una corrección de reducción de ruido a dicha señal eléctrica analógica o señales eléctricas analógicas y subsecuentemente convertir la señal eléctrica analógica o señales eléctricas analógicas en dicha señal eléctrica digital o señales eléctricas digitales.
- 50
7. Un sistema de antena giratoria (1) que comprende:
- un elemento de antena o elementos de antena (2) conectados a una unidad receptora de señal o unidades receptoras de señal (4) en un puerto de entrada de la señal de RF del mismo;
 55 un transmisor de la señal de RF de calibración (61) dispuesto para generar una señal de calibración de RF y para aplicar la señal de calibración de RF al puerto de entrada de la señal de RF de la unidad receptora de señal o unidades receptoras de señal sin aplicar la señal de calibración a través del elemento de antena o elementos de antena, donde la unidad receptora de señal o las unidades receptoras de señal se disponen para emitir una señal analógica de RF como respuesta de la misma a la señal de calibración de RF aplicada; y
 60 un controlador de calibración (15, 16, 21) dispuesto para medir la respuesta del sistema de antena giratoria a la señal de calibración, calcular una corrección de señal de acuerdo con la respuesta medida y aplicar la corrección de señal a la respuesta del sistema de antena giratoria a señales recibidas subsecuentemente en dicha unidad receptora de señal o unidades receptoras de señal a través del elemento de antena o elementos de antena del sistema de antena giratoria,
 65 caracterizado porque la antena giratoria comprende además:

- un modulador óptico o moduladores ópticos (6) dispuestos para recibir la señal analógica de RF y modular una señal óptica con el mismo para producir una señal óptica analógica modulada o señales ópticas analógicas; un convertidor optoelectrónico (14) dispuesto para convertir dicha señal óptica analógica modulada o señales ópticas analógicas en una señal eléctrica analógica o señales eléctricas analógicas; y
- 5 una junta rotativa óptica (10) que incluye un prisma de reversión dispuesta para transmitir ópticamente la señal óptica analógica modulada o las señales ópticas analógicas desde el modulador óptico o moduladores ópticos al convertidor optoelectrónico,
- 10 en la que el controlador de calibración se dispone para calcular una corrección de señal o correcciones de señal de acuerdo con la señal eléctrica analógica o con las señales eléctricas analógicas.
8. Un sistema de antena giratoria de acuerdo con la reivindicación 7 en el que dicho transmisor de señal de calibración de RF se conecta al puerto de entrada de la señal de RF directamente a través de una línea de transmisión de señal que conecta el transmisor de la señal de RF al puerto de entrada de la señal de RF del receptor de señal.
- 15 9. Un sistema de antena giratoria de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores 7 a 8 en el que el controlador de calibración se dispone para calcular un valor de la corrección de la señal de acuerdo con el inverso de un valor de la respuesta medida.
- 20 10. Un sistema de antena giratoria de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9 en el que el controlador de calibración se dispone para aplicar dicha señal de calibración de RF continuamente durante una rotación de 720 grados del ángulo de acimut del elemento de antena o de los elementos de antena (2), y para calcular una pluralidad de dichas correcciones de señal correspondientes a una pluralidad de dichos ángulos de acimut que abarcan dichos 720 grados.
- 25 11. Un sistema de antena giratoria de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10 que incluye un convertidor analógico a digital (A/D) (20) que se dispone para convertir dicha señal eléctrica analógica o señales eléctricas analógicas en una señal eléctrica digital o señales eléctricas digitales, y el controlador de calibración (21) se dispone para calcular dicha corrección de señal o correcciones de señal de acuerdo con la señal eléctrica digital o las señales eléctricas digitales.
- 30 12. Un sistema de antena giratoria de acuerdo con la reivindicación 11 que incluye un procesador de señal analógica (15) que se dispone para recibir dicha señal eléctrica analógica o señales eléctricas analógicas, y el controlador de calibración se dispone para controlar el procesador de señal analógica para aplicar una corrección de reducción de ruido a dicha señal eléctrica analógica o señales eléctricas analógicas.
- 35 13. Un programa informático o una pluralidad de programas informáticos que se disponen para ser ejecutables por un sistema informático para implementar el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, o un medio de almacenamiento legible por máquina que almacena dicho programa informático o dicha pluralidad de programas informáticos.
- 40

Figura 1

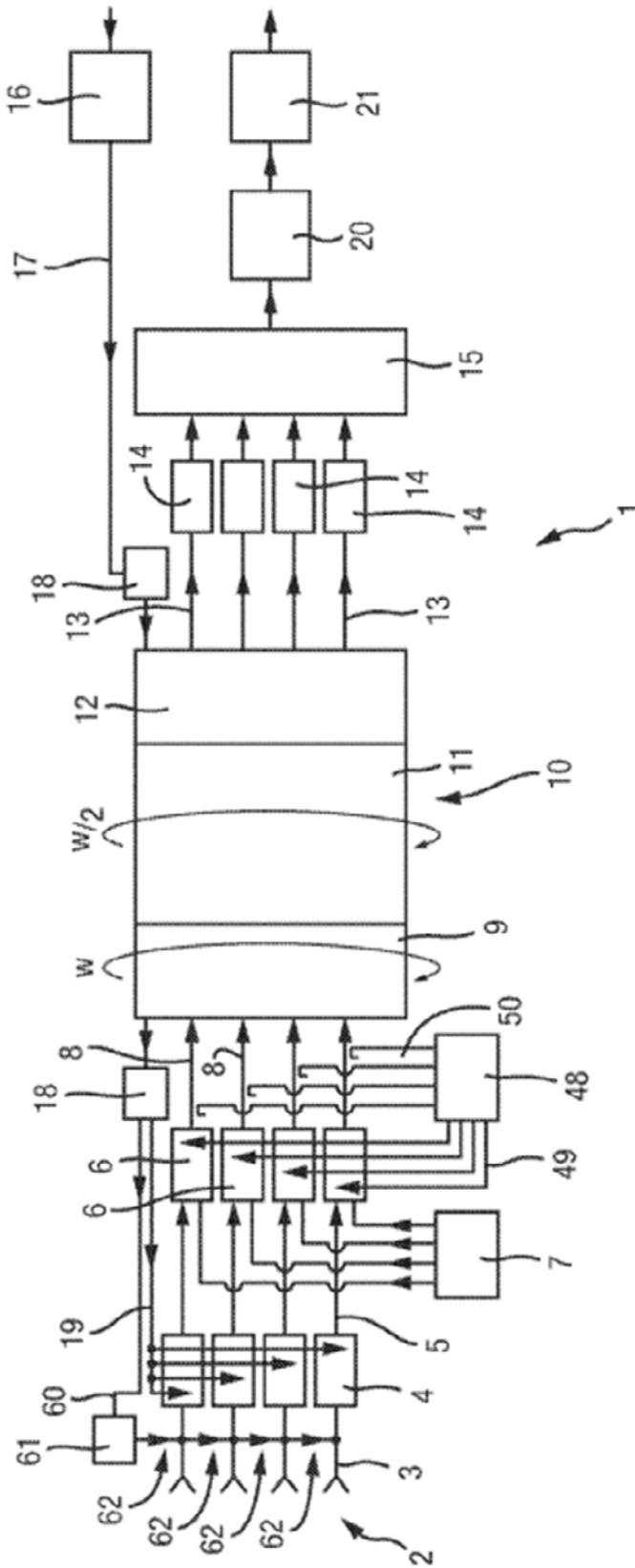


Figura 2

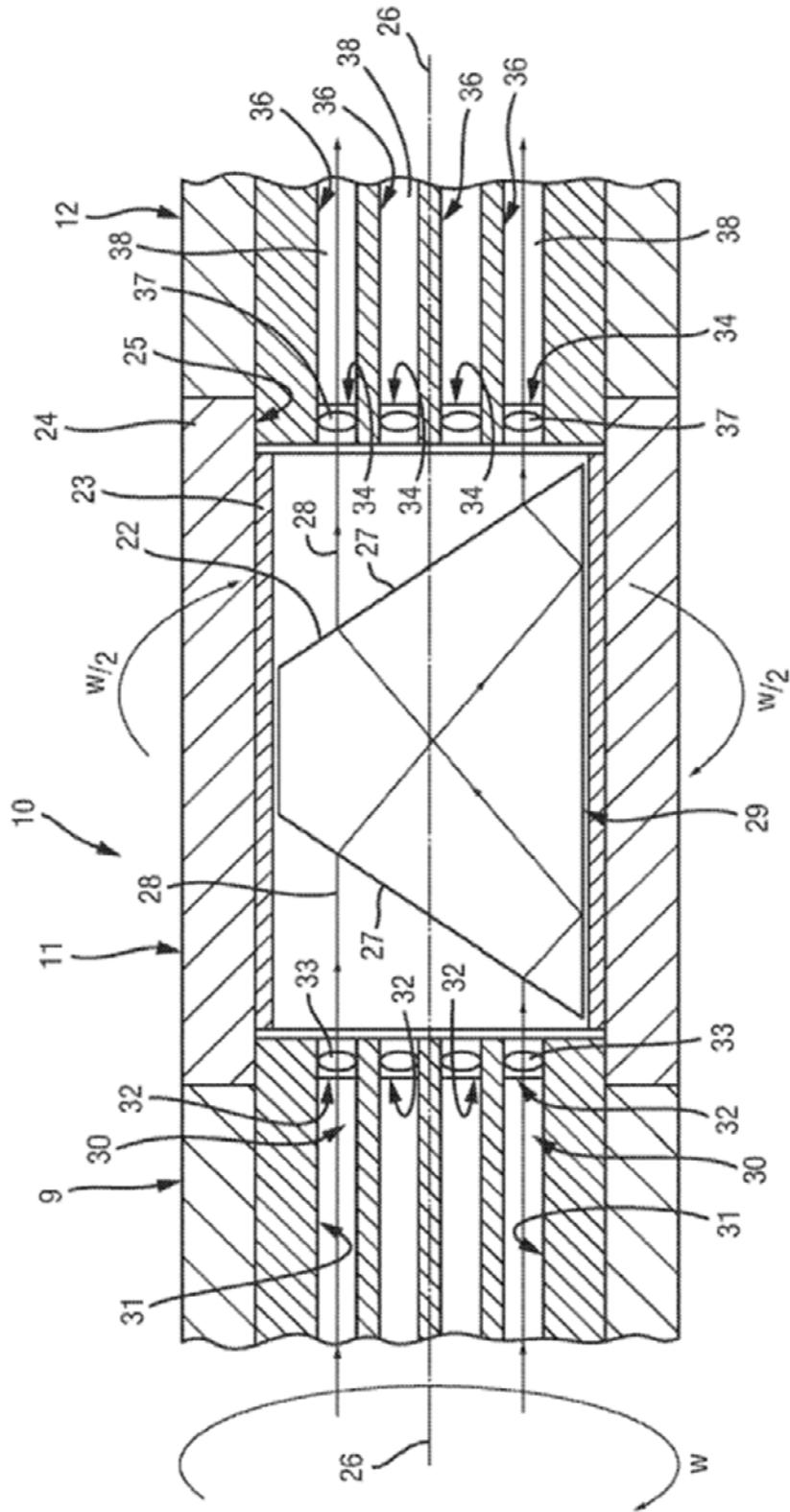


Figura 3A

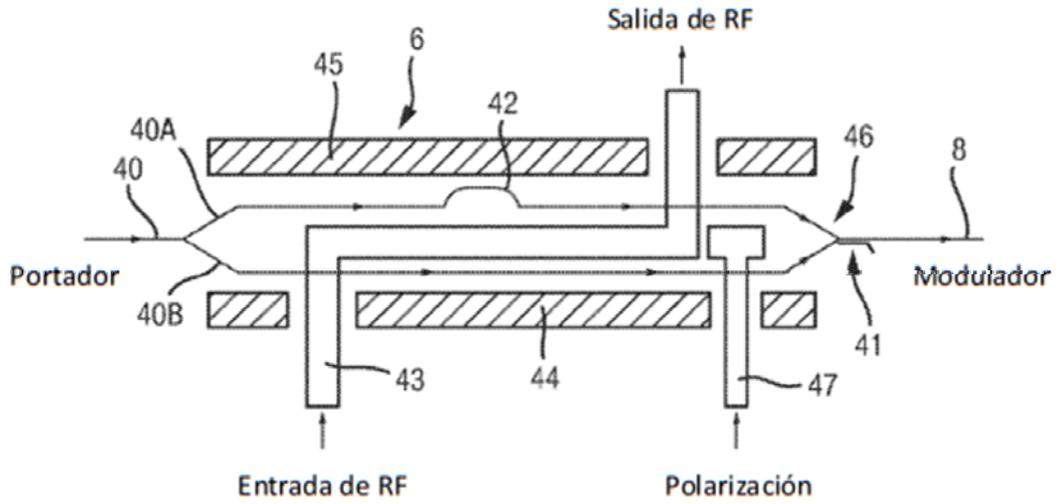


Figura 3B

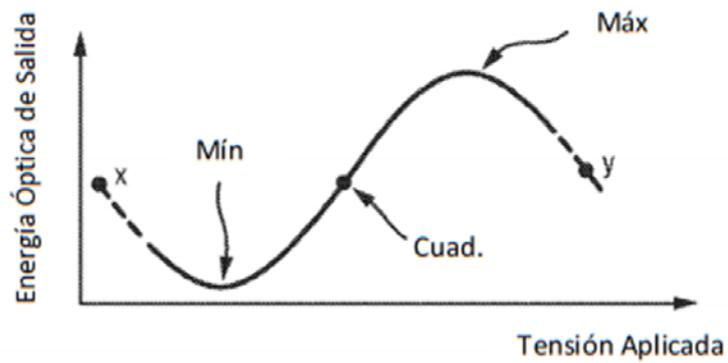


Figura 4

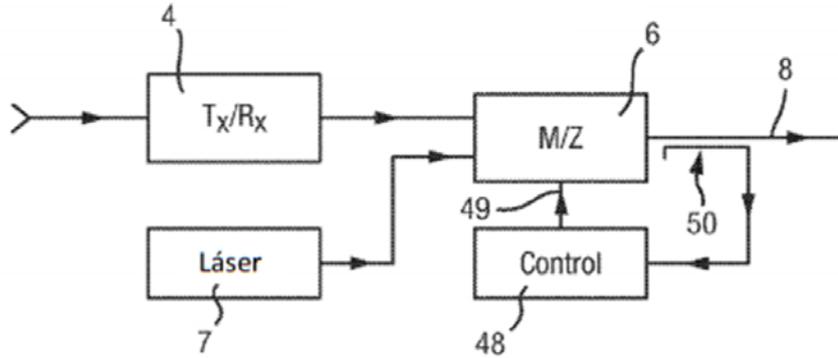


Figura 5

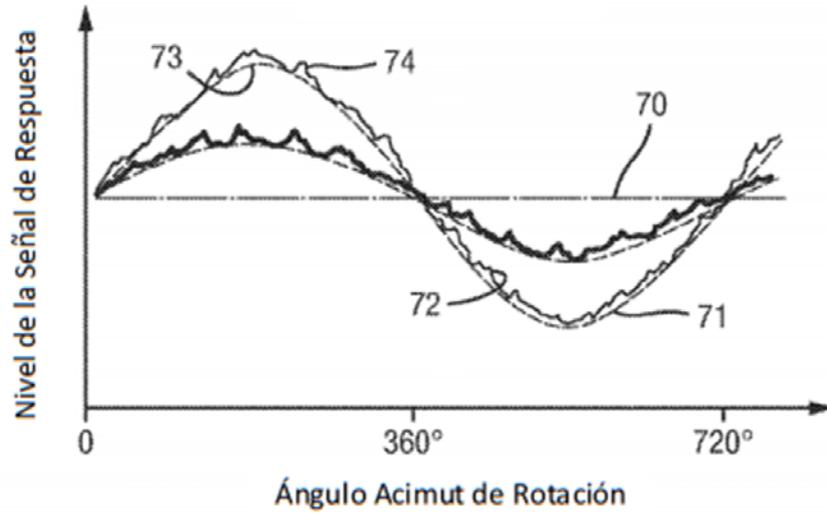


Figura 6

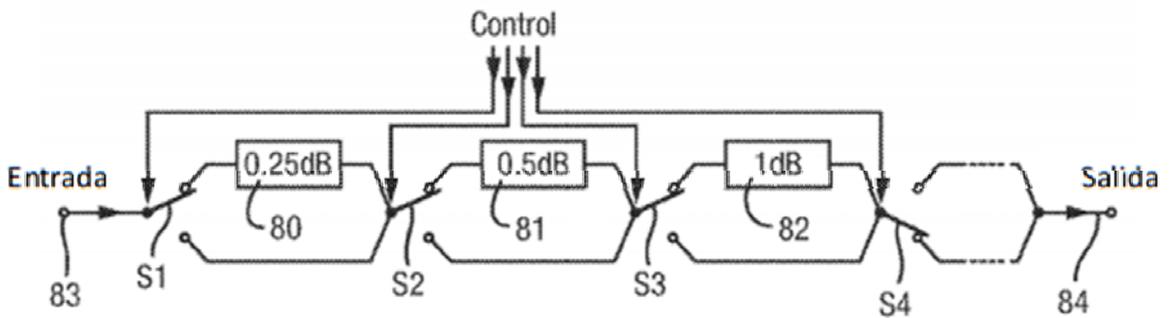


Figura 7

