

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 900 382**

51 Int. Cl.:

H04B 10/2507 (2013.01)

H04B 10/588 (2013.01)

H04B 10/2537 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.10.2018 PCT/EP2018/078662**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.04.2019 WO19077090**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.10.2018 E 18793197 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.09.2021 EP 3698490**

54 Título: **Aparato y método para reducir la distorsión de una señal óptica**

30 Prioridad:

18.10.2017 GB 201717084

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

16.03.2022

73 Titular/es:

**LEONARDO UK LTD (100.0%)
1 Eagle Place, St. James's
London SW1Y 6AF, GB**

72 Inventor/es:

**FLINT, IAN;
ALOM, MOHAMMED y
HAXHA, SHYQYRI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 900 382 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

Aparato y método para reducir la distorsión de una señal óptica

- 5 La invención se refiere en general a un aparato y método para reducir la distorsión en una señal óptica. La invención se ha concebido para enlaces fotónicos utilizados con receptores de radiofrecuencia (RF) fotónicos de banda ultra ancha en sistemas de guerra electrónica (EW), aunque la invención puede tener otras aplicaciones, tal como para eliminar la distorsión en cables de telecomunicaciones de largo alcance.
- 10 Los receptores EW no fotónicos actuales que utilizan filtrado de RF tienen un rango dinámico típico de alrededor de 50 dB. Los enlaces de RF fotónicos logran un rango dinámico ligeramente mejor para el mismo rango de frecuencia y ancho de banda sin filtrado. Por lo tanto, los enlaces de RF fotónicos ofrecen una ruta prometedora para proporcionar un rango dinámico mejorado para los receptores EW.
- 15 El rango dinámico de una señal de RF fotónica está limitado por la cantidad de modulación óptica (típicamente 4%) que puede ser aplicada por un modulador que modula el haz óptico para transportar una señal de RF recibida antes de que los productos de distorsión derivados del proceso de modulación comiencen a dominar. Un objeto de la invención es mejorar el rango dinámico de la señal de RF fotónica.
- 20 La dispersión de Brillouin es una forma de dispersión de luz óptica inelástica que surge de la falta de homogeneidad óptica dentro del medio portador de luz. El movimiento térmico de las moléculas dentro del medio óptico provoca fluctuaciones de densidad local que conducen a la formación de vibraciones acústicas dentro del material óptico. Tales ondas representan fonones acústicos. La interacción de la luz incidente con estos fonones da como resultado la dispersión de Brillouin.
- 25 La dispersión espontánea de Brillouin es causada por fluctuaciones térmicas naturales dentro del medio óptico. Sin embargo, cuando la intensidad de un haz de luz propagado a través del medio es suficientemente alta, las variaciones en el campo eléctrico del haz de luz pueden inducir vibraciones acústicas dentro del material. La dispersión causada por estas ondas acústicas inducidas se conoce como dispersión de Brillouin estimulada (SBS).
- 30 El cambio en la frecuencia óptica de la luz dispersa a partir de la frecuencia del haz incidente se denomina desplazamiento de Stokes. La luz dispersa que se desplaza a frecuencias más bajas se indica como componentes de stokes y la luz dispersa a frecuencias más altas como componentes anti-Stokes.
- 35 El desplazamiento de Stokes de la luz dispersa de Brillouin (desplazamiento de Brillouin) es igual a la frecuencia de la onda acústica dentro del material óptico. En las fibras ópticas de sílice, el valor típico del desplazamiento de Stokes de la luz dispersa de Brillouin de la luz incidente que tiene una longitud de onda de $\sim 1,55$ μm es de 10,8 GHz. Este es el resultado de la velocidad acústica en la sílice ($V = 5900$ m/s) y el índice de refracción $n=1,46$ de sílice.
- 40 En una aplicación de SBS, un primer haz de luz débil que transporta una señal se propaga a través de un material óptico en una primera dirección y un segundo haz de luz de potencia óptica suficiente para efectuar SBS se propaga a través del material óptico en una dirección opuesta. Al disponer los haces de contrapropagación para que estén adecuadamente polarizados y con frecuencias separadas por el desplazamiento de Brillouin para el medio óptico, la red de difracción de Brillouin dinámica que se forma actúa para reflejar una parte de la señal hacia la primera fuente de haz.
- 45 Puede encontrar más información que describe la generación de redes de difracción de Brillouin dinámicas y los principios detrás de ella en la generación y aplicación de la red de difracción dinámica en fibras ópticas utilizando dispersión de Brillouin estimulada; Nikolay Primerov; Tesis N° 5615 (2013); Ecole Polytechnique Federale De Lausanna, que se incorpora en la presente memoria en su totalidad como referencia.

A continuación se describe el uso de Redes de dispersión de Brillouin con señales ópticas moduladas:

- 55 Documento US 2002/048061;
- ZHU WENWU Y COL.: "Dynamic Range Improvement of a Microwave Photonic Link Based on Brillouin Processing" ("Mejora del rango dinámico de un enlace fotónico de microondas basado en el procesamiento Brillouin"), IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 28, n° 23, 1 de diciembre de 2016 (2016-12-01), páginas 2681-2684, XP011626995, ISSN: 1041-1135;
- 60
- JUAN SANCHO Y COL.: "Dynamic Microwave Photonic Filter Using Separate Carrier Tuning Based on Stimulated Brillouin Scattering in Fibras" ("Filtro fotónico dinámico de microondas que utiliza una sintonización de portador independiente basado en la dispersión de Brillouin estimulada en fibras"), IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 22, n° 23, 1 de diciembre de 2010 (2010-12-01), páginas 1753-1755, XP011349139, ISSN: 1041-1135;
- 65

TONDA-GOLDSTEIN S Y COL.: "40 dB dynamic enhancement of modulation depth for optically carried microwave signals" ("40 dB de mejora dinámica de la profundidad de modulación para señales de microondas transmitidas ópticamente", ELECTRONICS LET, LEE STEVENAGE, GB, vol. 39, nº 1 0, 15 de mayo de 2003 (2003-05-15), páginas 790-792, XP006020343, ISSN: 0013-5194; y

Documento US 2008/144987

En un primer aspecto, se proporciona un aparato según la reivindicación 1.

La señal de radiofrecuencia puede ser una señal EW. La señal de radiofrecuencia se puede recibir desde un receptor de RF.

Debido a que el primer y el segundo haces tienen diferentes relaciones del producto fundamental: producto de distorsión (a saber, la relación de amplitud del producto fundamental a la amplitud del producto de distorsión de mayor amplitud), la red de difracción dinámica de Brillouin actuará para reflejar preferentemente uno de entre producto fundamental o producto de distorsión en la señal sobre el otro. Dependiendo de la disposición elegida del aparato, bien el haz transmitido a través de la red de difracción o bien el reflejado por la red de difracción tendrá productos de distorsión de RF reducidos en comparación con el haz de luz modulada antes de la incidencia con la red de difracción. Por tanto, el aparato puede incluir un transductor electroóptico dispuesto para recibir el haz de salida de la red de difracción que lleva la señal con los productos de distorsión de RF de distorsión reducida.

Como tal, el aparato proporciona un medio eficaz para reducir o eliminar los productos de distorsión introducidos a través del proceso de modulación de la luz para transportar la señal, proporcionando una señal de salida que tiene un rango dinámico libre espectralmente superior en comparación con los enlaces ópticos y electrónicos existentes utilizados con los receptores de RF.

El segundo haz puede tener suficiente potencia óptica para provocar la dispersión de Brillouin estimulada con el fin de formar la red de difracción. El segundo haz puede ser de mayor potencia óptica que el primer haz. El aparato puede comprender un receptor óptico dispuesto para recibir la parte del primer haz de luz que se ha propagado a través de la red de difracción. Alternativamente, el receptor óptico puede estar dispuesto para recibir la parte del primer haz de luz que se ha reflejado en la red de difracción.

En una disposición, el segundo haz tiene una frecuencia más alta (longitud de onda más corta) que el primer haz (por ejemplo, a través de la conversión ascendente del segundo haz) en una magnitud sustancialmente igual al desplazamiento de frecuencia anti-stokes, el segundo haz puede tener una relación del producto fundamental a producto de distorsión menor que el primer haz, y el receptor óptico puede estar dispuesto para recibir la parte del primer haz de luz transmitida a través de la red de difracción, es decir, que se desplaza en la dirección del primer haz.

Alternativamente, aunque menos preferido, el segundo haz puede tener una frecuencia más baja que el primer haz (por ejemplo, a través de la conversión descendente) por el desplazamiento de frecuencia de Stokes, el segundo haz puede tener una relación del producto fundamental: producto de distorsión menor que el primer haz, y el receptor óptico puede estar dispuesto para recibir la parte del primer haz que es dispersada (reflejada) por la red de difracción, es decir, que se desplaza en la dirección opuesta al primer haz. Una desventaja percibida de la segunda disposición es que la dispersión de Brillouin espontánea puede reducir la calidad de la salida.

Debido a que la amplitud de los productos de distorsión en la señal óptica de salida de la red de difracción se reduce sustancialmente en comparación con el producto fundamental, y preferiblemente de tal manera que las amplitudes de los productos de distorsión más grandes estén por debajo del umbral de ruido, el modulador óptico se puede configurar para operar a un índice de modulador más alto (opcionalmente cercano al 100%), mejorando por ello la relación señal/ruido de la señal de salida.

El aparato se puede utilizar como un enlace óptico para un receptor de RF. En una realización, el amplificador del receptor de RF utilizado para amplificar la señal alimentada al modulador óptico producirá típicamente al menos algunos productos de distorsión que se alinean con los productos de distorsión creados durante la modulación óptica. Como tal, el aparato actuará además ventajosamente para reducir/eliminar sustancialmente los productos de distorsión derivados del amplificador en el dominio eléctrico así como del modulador óptico.

El aparato puede comprender una fuente de luz coherente con un primer modulador para modular la luz coherente de la fuente de luz para proporcionar el primer haz de luz. El aparato puede comprender un segundo modulador dispuesto para modular la luz coherente (por ejemplo, una parte de la luz coherente de la fuente de luz coherente), en cuyo caso el aparato puede incluir además un divisor para generar el segundo haz de luz modulado.

Alternativamente, el segundo haz de luz modulada podría generarse mediante una fuente de luz coherente modulado.

Con el fin de que el segundo haz de luz tenga una relación menor del producto fundamental: producto de distorsión, el segundo modulador puede estar desintonizado en comparación con el primer modulador. El segundo modulador se puede sintonizar sustancialmente en π .

5 Dado que el rango dinámico depende del cuadrado de la profundidad de modulación, se espera que el aparato sea capaz de proporcionar un aumento en el rango dinámico de hasta 28 dB sobre los sistemas actuales que normalmente utilizan un 4% de profundidad de modulación.

10 Debido a que tanto el primer haz como el segundo están modulados para transportar la señal, la red de difracción se alineará automáticamente con la señal cambiante (por ejemplo, espectro EW) para eliminar las frecuencias cambiantes de los productos de distorsión.

15 Debido a que el primer y el segundo haces se modularán típicamente por separado, los tamaños relativos de los diferentes productos de distorsión en el primer haz pueden diferir de los tamaños relativos de los productos de distorsión en el segundo haz. El aparato puede comprender un amplificador dispuesto para amplificar el segundo haz. Esto permite ajustar la ganancia del segundo haz para controlar la resistencia de la red de difracción con el fin de suprimir los productos de distorsión más grandes en el primer haz por debajo del umbral de ruido. Esto puede resultar en la supresión excesiva de los productos de distorsión relativamente pequeños, aunque esto tiene un efecto muy poco perjudicial sobre la calidad de la señal al menos para aplicaciones EW, ya que el ancho total de todos los productos de distorsión suprimidos será muy estrecho en comparación con el ancho de banda total observado.

20 Dependiendo de la atenuación del producto fundamental en la salida de la red de difracción, el aparato puede comprender un amplificador óptico (por ejemplo, tipo EDFA u otro) para amplificar la señal de salida.

25 La guía de ondas óptica puede comprender una fibra óptica.

30 El tamaño del desplazamiento de Brillouin requerido para construir la red de difracción dependerá de las propiedades físicas, por ejemplo, velocidad acústica e índice de refracción del material de la guía de ondas óptica, tensión en la guía de ondas y longitud de onda del primer y segundo haces. Cuando se utiliza fibra de vidrio de sílice como material de guía de ondas, es probable que se requiera un desplazamiento de aproximadamente 10 GHz a 11 GHz para satisfacer la condición de Brillouin. Puede ser necesario ajustar esto si se utiliza una guía de ondas que comprenda un material que no sea sílice o además de sílice. Un ejemplo de una posible alternativa a la fibra de sílice es la fibra de cristal fotónico que incluye cavidades que pueden contener material o materiales con propiedades ópticas ventajosas.

35 La potencia óptica del segundo haz puede intercambiarse con la longitud de la guía de ondas óptica para reducir la latencia en la señal de salida. Un segundo haz más potente permitirá utilizar una guía de ondas más corta.

40 La fuente de luz óptica y el modulador óptico pueden proporcionarse, por ejemplo, mediante una fuente de luz y un modulador separados o una fuente de luz modulada de una sola unidad.

45 El primer y segundo haces de luz pueden modularse en amplitud para transportar la señal. El primer modulador óptico puede comprender un modulador electroóptico que puede ser un modulador de banda lateral única (SSB). El segundo modulador óptico puede comprender un modulador electroóptico que puede ser un modulador de banda lateral única (SSB). El uso de un modulador SSB evita la necesidad de compensar la posible interferencia entre dos bandas laterales.

50 Opcionalmente, el primer y/o segundo moduladores pueden comprender moduladores de banda lateral única con supresión de portadora. Esto reduce ventajosamente la potencia del haz en el receptor óptico, lo que permite un mejor manejo de la potencia y reduce el ruido.

55 La fuente de luz coherente se puede disponer, por ejemplo, un láser, para emitir una luz coherente que tenga una banda C de longitud de onda centrada sustancialmente a 1550 nm. Esto se prefiere porque muchos componentes disponibles comercialmente están adaptados para operar a esta longitud de onda. Sin embargo, el aparato puede utilizar en principio un primer y un segundo haces ópticos de otras longitudes de onda que se encuentren dentro del rango de ultravioleta a terahercios.

60 El aparato puede comprender un receptor de RF, que puede incluir una antena y un amplificador de RF, para activar uno o ambos moduladores. El receptor de RF se puede utilizar para activar ambos moduladores. El receptor de RF puede ser un receptor de banda muy ancha, por ejemplo, dispuesto para recibir cualquier señal EW dentro de un ancho de banda de 1KHz-100GHz, y favorablemente 3KHz-100GHz.

65 El aparato puede comprender un convertidor de analógico a digital (ADC) dispuesto para recibir una salida eléctrica del receptor óptico.

Como los ADC actuales solo se resuelven hasta una frecuencia de aproximadamente 2 GHz hasta una fidelidad deseada, el aparato puede comprender medios para convertir descendentemente la salida de la red de difracción a una frecuencia que el ADC pueda resolver.

5 En una disposición, el aparato puede incluir un mezclador electrónico aunque más preferiblemente un convertidor fónico, que ofrece menos distorsión, para convertir descendente o ascendentemente la señal de salida de la red de difracción.

10 El aparato puede comprender un combinador (por ejemplo, un combinador de polarización) dispuesto para combinar el haz de salida de la red de difracción con un tercer haz de luz coherente modulado por un modulador con supresión de portadora SSB sintonizado con un oscilador local (lo). Al sintonizar el oscilador local a una frecuencia desplazada de una frecuencia de interés por una frecuencia dentro del ancho de banda operativo del ADC, se produce una señal de pulsaciones en la salida del receptor óptico a una frecuencia que el ADC puede resolver.

15 La invención también puede describirse en términos de un método y, por lo tanto, en otro aspecto de la invención se proporciona un método para reducir la distorsión en una señal óptica según la reivindicación 14.

20 El segundo haz de luz puede modularse para tener una relación de producción fundamental-distorsión menor que el primer haz de luz; el segundo haz de luz puede ser convertido ascendentemente por el desplazamiento de Brillouin, y que la salida utilizada es la parte del primer haz que ha pasado a través de la red de difracción de Brillouin. Alternativamente, aunque menos preferido, el segundo haz puede modularse para tener una relación de producción fundamental-distorsión mayor que la del primer haz de luz y convertirse descendentemente por el desplazamiento de Stokes.

25 El segundo haz puede ser modulado por un modulador óptico desintonizado. Por ejemplo, el segundo haz es modulado por un modulador óptico sintonizado sustancialmente a π .

30 El segundo haz modulado puede amplificarse antes de propagarse a través de la guía de ondas óptica. La amplificación puede ocurrir después de la aplicación del desplazamiento de stokes al segundo haz modulado.

El segundo haz modulado puede amplificarse al menos a una potencia necesaria para reducir los productos de distorsión provocados por la distorsión óptica a un nivel por debajo del umbral de ruido.

35 El primer haz de luz puede ser modulado por un modulador de banda lateral única (SSB).

El método puede incluir dividir un haz de luz coherente para crear el primer y el segundo haces de luz coherentes.

40 La salida puede convertirse en una señal eléctrica mediante un transductor electroóptico. Puede disponerse un convertidor de analógico a digital para recibir una salida del transductor electroóptico.

45 Se puede modular un tercer haz de luz con el objetivo de imponerle una frecuencia que esté separada de una frecuencia de interés por una frecuencia de separación que se encuentre dentro de un ancho de banda operativo del convertidor de analógico a digital. La parte del primer haz que ha pasado a través de la red de difracción de Brillouin se combina con el tercer haz; estando dispuesto el transductor electroóptico para recibir el primer y tercer haces combinados.

50 En otro aspecto, se proporciona un método para reducir la distorsión en una señal óptica de un enlace fotónico entre un receptor de RF y un procesador de señales, comprendiendo el método, el método de la reivindicación 14.

La invención se describirá ahora a modo de ejemplo con referencia a las siguientes figuras en las que:

La figura 1 es un esquema funcional de un mecanismo de eliminación de distorsión óptica;

55 La figura 2 es un esquema de un receptor fotónico de RF de banda ancha que comprende un enlace óptico que incorpora un mecanismo de eliminación de distorsión óptica;

La figura 3 es un esquema de una variante del receptor fotónico de RF de banda ancha; la figura 4 es un esquema de una variante del receptor fotónico de RF de banda ancha de la figura 2; y

La figura 5 es un esquema de un enlace fotónico utilizado para eliminar la distorsión de la salida de un mezclador eléctrico.

60 La figura 1 ilustra un esquema funcional del aparato de eliminación de distorsión que forma parte de un enlace óptico para su uso con un receptor de RF, por ejemplo, un receptor de banda ancha adaptado para recibir señales EW entre 1Khz - 100GHz.

65 Un primer haz de luz, impuesto tanto con el producto fundamental como con el producto de distorsión no deseado, se propaga a través de una guía de ondas óptica en una primera dirección. Un segundo haz de luz, impuesto tanto

5 con el producto fundamental como con el producto de distorsión no deseado, se propaga a través de una guía de ondas óptica en una dirección opuesta a la del primer haz. La relación entre la amplitud del producto fundamental y la amplitud del producto de distorsión más grande es menor para el segundo haz que la relación equivalente para el primer haz de luz. En otras palabras, la amplitud de los productos de distorsión con respecto a la del producto fundamental es relativamente mayor en el segundo haz en comparación con el primer haz. El segundo haz de luz se desplaza en frecuencia con respecto a la del primer haz por la frecuencia anti-stoke (desplazamiento de Brillouin) para el material de la guía de ondas.

10 El segundo haz tiene suficiente potencia óptica para generar una red de difracción SBS dinámica en la guía de ondas que actúa para reflejar parcialmente el primer haz en la dirección opuesta.

15 Debido a que el segundo haz tiene una relación menor del producto fundamental a producto de distorsión en comparación con el primer haz, la red de difracción refleja preferentemente los productos de distorsión dentro del primer haz sobre el producto fundamental. Como tal, la parte del primer haz de luz que pasa a través de la red de difracción tiene productos de distorsión de amplitud reducida con respecto a producto fundamental en comparación con el primer haz antes de la incidencia con la red de difracción. En otras palabras, la salida tiene una relación del producto fundamental a producto de distorsión mayor que la del primer haz. El aparato puede incluir un transductor electroóptico dispuesto para recibir la parte del primer haz transmitido a través de la red de difracción.

20 Si el segundo haz tiene suficiente potencia óptica, la amplitud de todos los productos de distorsión puede eliminarse por debajo del umbral de ruido para proporcionar la salida con un rango dinámico espectralmente libre muy alto.

25 La potencia óptica del haz necesaria para generar una red de difracción SBS dependerá del medio óptico utilizado, que puede determinarse directamente a través de la experimentación empírica. La polarización del primer y segundo haces debe controlarse adecuadamente para generar la red de difracción. Tal control se enseña en la tesis Nikolay Primerov mencionada anteriormente, pero sin embargo será conocida por los expertos en la técnica.

30 La figura 2 es un esquema de un receptor de RF EW y enlace óptico que utiliza el aparato de eliminación de distorsión de la figura 1.

35 Se muestra un láser 1, típicamente un láser de realimentación distribuida, un primer divisor 2, un controlador 3 de polarización, un modulador 4 con supresión de portadora de banda lateral única (SSB (C)), un medio 5 óptico (típicamente una longitud de fibra óptica, por ejemplo, fibra monomodo) en la que se produce una red de difracción dinámica de Brillouin estimulada; un combinador 6 óptico, un fotodiodo 9 de alta frecuencia, un convertidor 10 analógico a digital que tiene una salida para la recepción por un sistema EW digital; un modulador 12 desintonizado; un convertidor 13 ascendente fotónico sintonizado para convertir ascendentemente una entrada mediante una frecuencia anti-stokes; un amplificador 14 óptico (por ejemplo, un EDFA); y un segundo controlador 15 de polarización.

40 El aparato incluye además un receptor 18 EW que comprende una antena de RF y un amplificador, y un acoplador 19 de RF de banda ancha.

45 Una señal EW recibida por el receptor 18 se combina a través del acoplador 19 de RF de banda ancha (por ejemplo, un acoplador Wilkinson) con un oscilador local (lo) sintonizado para asegurar que el fotodiodo 9 late a una frecuencia que el ADC 10 puede resolver. La salida del acoplador 19 se utiliza para activar los moduladores 4 y 12.

50 El láser 1 proporciona un haz de luz coherente, por ejemplo, de una frecuencia de infrarrojos cercanos, que se divide por el primer divisor 2 en un primer haz de luz L1 y un segundo haz de luz L2.

55 Tanto el primer como el segundo moduladores son opcionalmente moduladores Mach Zehnder. El primer modulador está cargado para una alta eficiencia, por ejemplo, a $\pi/2$.

60 El modulador L2 desintonizado está cargado en π de tal manera que L2 tiene una relación menor de la amplitud del producto fundamental: amplitud del producto de distorsión más grande que L1.

65 La amplitud de los productos de distorsión en L2 aún puede ser menor que la amplitud del producto fundamental (aunque sería preferible una amplitud mayor que la del producto fundamental).

El haz modulado L2 se convierte hacia arriba por la frecuencia anti-stokes (típicamente $\sim 11\text{GHz}$ dependiendo del material o materiales utilizados para construir la fibra óptica) y a continuación, amplificado por el amplificador 14 óptico (por ejemplo, de tipo EDFA u otro).

El primer haz L1 y el segundo haz L2 son contrapropagados a través de la fibra 5 óptica. El segundo haz L2 es de suficiente potencia para incitar una red de difracción de Brillouin dentro de la fibra 5 óptica.

5 Los controladores 3 y 15 de polarización se utilizan para controlar la polarización de L1 y L2, respectivamente, de tal manera que se produce una red de difracción de Brillouin dentro de la fibra 5 en la orientación correcta para proporcionar la reflexión deseada de L1. Esta técnica resultará familiar para los expertos en la técnica.

10 Debido a que la relación entre la amplitud del producto fundamental: producto de distorsión en el segundo haz L2 es menor que la relación entre la amplitud del producto fundamental a producto de distorsión en el primer haz L1, la red de difracción refleja preferentemente los productos de distorsión dentro de L1 sobre el producto fundamental, lo que significa ese haz de salida L3, que es la parte de L1 transmitida a través de la red de difracción en la fibra 5, tiene una relación del producto fundamental: producto de distorsión mayor que L1. Así, L3 tiene un rango dinámico libre espectral más alto que L1.

15 Se apreciará que la amplitud de los productos de distorsión en L2 debe estar por encima de un nivel de umbral para que la red de difracción de Brillouin sea eficaz a la hora de reflejar los productos de distorsión transportados por L1.

20 La potencia óptica de L2 se puede ajustar a través del control del amplificador 14. Favorablemente, L2 está hecho para que sea lo suficientemente potente ópticamente como para reducir todos los productos de distorsión dentro de L3 por debajo del umbral de ruido.

25 Al aumentar la potencia óptica de L2, los productos de distorsión se reflejarán con más fuerza lo que permite acortar la fibra 5 y reducir así la latencia de la señal de L3 con respecto a L1. Dependiendo de la potencia de L2 y así, de la eficiencia de la red de difracción, la fibra 5 puede tener entre decenas de metros y varios kilómetros de longitud.

30 El haz de salida L3 es recibido por el fotodiodo 9 (siendo opcionalmente amplificado de antemano por un amplificador adicional tal como un EDFA o equivalente) que emite una señal eléctrica correspondiente. La pulsación en la salida del fotodiodo 9 es detectada por el ADC 10. En algunas realizaciones, se puede colocar un amplificador para amplificar la salida del fotodiodo 9 ingresado al ADC 10. La salida del ADC puede ser alimentada a un sistema EW digital para su análisis.

35 Se apreciará que el modulador 12 desintonizado puede estar cargado de forma distinta en π , siempre que la relación del producto fundamental: producto de distorsión del segundo haz modulado L2 sea menor que la del primer haz modulado L1.

40 En lugar de utilizar un modulador 12 desintonizado, se puede utilizar un láser directamente modulado a baja frecuencia (menos de ~ 10 GHz). Esta disposición, naturalmente, puede producir grandes productos de distorsión. Donde se utiliza un láser directamente modulado, debería tener la misma longitud de onda que el láser 1 y tener un ancho de línea igual o mayor que el del láser 1.

Puede ser posible prescindir del amplificador 14 si L2 ya es suficientemente potente.

45 Las trayectorias de los haces de contrapropagación deberían disponerse de manera que los haces de contrapropagación pasen a través de la fibra 5 al mismo tiempo con el fin de crear la red de difracción. Esto requiere hacer que las longitudes de la trayectoria óptica sean sustancialmente las mismas teniendo en cuenta los retrasos provocados por los componentes ópticos y/o la longitud de pulso del láser 1.

50 La figura 3 es un esquema de una variante de receptor de RF EW y enlace óptico que utiliza el aparato de eliminación de distorsión de la figura 1 y proporciona una mezcla fotónica. Las partes compartidas con la forma de realización de la figura 2 se enumeran de la misma forma.

55 Se muestra un láser 1, típicamente un láser de realimentación distribuida, un primer divisor 2, un controlador 3 de polarización, un modulador 4 con supresión de portadora de banda lateral única (SSB (C)), un medio 5 óptico (típicamente una longitud de fibra óptica, por ejemplo, fibra monomodo) en la que se forma una red de difracción dinámica Brillouin estimulada; un combinador 6 óptico, un segundo control 7 de polarización, un combinador 8 de polarización, un fotodiodo 9 de alta frecuencia, un convertidor 10 analógico a digital que tiene una salida a un sistema EW digital; un segundo divisor 11 óptico, un modulador 12 desintonizado; un convertidor 13 ascendente fotónico sintonizado para convertir ascendentemente una entrada mediante una frecuencia anti-stokes; un amplificador óptico (por ejemplo, un EDFA); y un tercer controlador 15 de polarización.

60 El aparato comprende además un convertidor 16 con supresión de portadora sintonizado SSB con un oscilador local apropiado y un cuarto controlador 17 de polarización.

65 El aparato incluye además un receptor 18 de EW que comprende una antena de RF y un amplificador que activa el modulador 4 SSB(C) y el modulador 12 desintonizado.

ES 2 900 382 T3

El láser 1 genera un haz de luz coherente, por ejemplo, de una frecuencia de infrarrojos cercanos, que se divide por el primer divisor 2 en un primer haz de luz B1 y un segundo haz de luz B2. Los segundos haces de luz B2 se dividen además en un tercer haz de luz B3 y un cuarto haz de luz B4.

5 El primer haz de luz B1 es modulado por el modulador 4 SSB(C) y el tercer haz de luz B3 es modulado por el modulador 12 desintonizado de tal manera que tanto el primer como el tercer haz de luz B1 B3 transportan señales de EW alimentadas desde el receptor 18.

10 El modulador 12 desintonizado podría ser un modulador Mach Zehnder estándar (aunque se podrían utilizar otros moduladores) cargado en π de tal manera que la relación de la amplitud del producto fundamental: amplitud del producto de distorsión más grande en B3 sea menor que la relación de la amplitud del producto fundamental: amplitud del producto de distorsión más grande en B1. La amplitud de los productos de distorsión en B3 aún puede ser menor que la amplitud del producto fundamental (aunque sería preferible mayor que el producto fundamental).

15 El tercer haz modulado B3 se convierte ascendentemente mediante la frecuencia anti-stokes y se amplifica mediante el amplificador óptico 14.

20 El primer haz B1 y el tercer haz B3 se transmiten a través de la fibra 5 óptica en oposición entre sí. El tercer haz B3 tiene suficiente potencia como para formar una red de difracción Brillouin dentro de la fibra 5 óptica.

Los controladores 3 y 15 de polarización se utilizan para controlar la polarización de B1 y B3 respectivamente, de tal manera que se produce una red de difracción de Brillouin dentro de la fibra 5 en la orientación correcta para proporcionar la reflexión deseada de B1.

25 Como antes, debido a que la relación de la amplitud del producto fundamental: producto de distorsión en B3 es menor que la relación de la amplitud del producto fundamental: producto de distorsión en B1, la red de difracción refleja preferentemente los productos de distorsión sobre el producto fundamental lo que significa que el haz de salida B5 que ha transmitido a través de la red de difracción en la fibra 5 tiene una mayor relación del producto fundamental: producto de distorsión que B1.

30 La potencia óptica de B3 se selecciona preferiblemente para asegurar que los productos de distorsión se supriman por debajo del umbral de ruido.

35 El cuarto haz B4 se convierte en frecuencia mediante el convertidor 16 con supresión de portadora sintonizada SSB mediante una frecuencia que utiliza un oscilador local sintonizado para desplazarse desde una frecuencia de interés; estando el tamaño del desplazamiento dentro del ancho de banda de resolución del ADC 10.

40 El cuarto haz B4 convertido ascendentemente y el haz de salida B5 se combinan en el combinador 8 de polarización y la salida (opcionalmente amplificada por un amplificador adicional) se alimenta al fotodiodo 9. Los haces combinados B4 B5 generan una pulsación en la salida del fotodiodo 9 que está dentro del ancho de banda de resolución del ADC 10. En algunas realizaciones, un amplificador puede estar colocado para ampliar la salida del fotodiodo para la entrada al ADC. La salida del ADC se puede alimentar a un sistema de EW digital para su análisis.

45 Los controladores 7 y 17 de polarización se utilizan para controlar la polarización de L5 y L4 en el combinador 8 de polarización para proporcionar una combinación eficiente. La disposición de los cuales será familiar para los expertos en la técnica.

50 Se apreciará que el modulador LS desintonizado puede estar cargado en otra parte siempre que la relación del producto fundamental: producto de distorsión sea menor que en L1. De nuevo, se puede utilizar un láser directamente modulado en lugar de un modulador 12 desintonizado.

En lugar de utilizar el convertidor 16 SSB, puede ser posible en lugar de redirigir la luz dispersa de Brillouin de la emisión estimulada en la guía de ondas, por ejemplo, utilizando una fibra óptica adecuada.

55 Puede prescindirse del amplificador 14 si B3 es suficientemente potente.

Las realizaciones descritas anteriormente pueden incluir opcionalmente un amplificador óptico adicional (no mostrado) colocado delante del fotodiodo para amplificar la señal óptica.

60 La figura 4 es una variante de la figura 2 en la que la salida del lo se alimenta a un canal I del modulador 4 y la salida del receptor 18 se alimenta a un canal Q del modulador 4. Esto permite que se omita el acoplador de RF de la figura 2. Para obtener más detalles de esta implementación, consulte Erwin H. W. Chan y Robert A. Minasian, "High conversion efficiency microwave photonic mixer based on stimulated Brillouin scattering carrier suppression technique" ("Mezclador fotónico de microondas de alta eficiencia de conversión basado en la técnica de supresión de portadora de dispersión de Brillouin estimulada", Opt. Letón. 38, 5292-5295 (2013).

65

La figura 5 ilustra la aplicación de la invención utilizada para reducir la distorsión de la salida de un mezclador electrónico.

5 El enlace óptico tiene la misma configuración que la de la figura 2, con la diferencia de que el primer modulador 4 está dispuesto para modular el primer haz de luz para transportar una señal utilizando la salida de un primer mezclador eléctrico 20A dispuesto para funcionar a alta potencia Y baja distorsión. El segundo modulador 12 está
10 dispuesto para modular el segundo haz de luz para transportar la señal utilizando la salida de un segundo mezclador 20B configurado para funcionar a alta potencia y crear una alta distorsión. De esta manera, el haz emitido por el modulador 12 tendrá una relación del producto fundamental a producto de distorsión menor que el haz emitido por el modulador 4, de tal manera que la red de difracción dinámica de Brillouin formada en la fibra 5 actuará para reflejar preferentemente (y así suprimir) los productos de distorsión de la salida del modulador 4.

15 El enlace óptico está concebido para tener aplicaciones distintas a la de conectar un receptor de RF al sistema de procesamiento. Por ejemplo, el enlace óptico puede utilizarse para conectar un transmisor de RF a una antena. En tal disposición, puede ser favorable convertir ascendentemente la salida de la red de difracción antes de la transmisión a la antena, por ejemplo, utilizando un mezclador electrónico o fotónico. En tal disposición, se podría prescindir del ADC (como podría suceder en cualquier aplicación en la que solamente se requiera una salida analógica).

20 El enlace óptico también puede utilizarse en aplicaciones comerciales de telecomunicaciones, tal como con un transmisor y/o un receptor de RF que forma parte de una red celular de banda ancha.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para reducir la distorsión en una señal óptica, comprendiendo el aparato:
 - 5 una guía de ondas (5) óptica;
una entrada (18) para recibir una señal de radiofrecuencia (RF);
un medio (1, 4) para generar un primer haz de luz coherente (L1) modulado para transportar la señal de RF recibida en la entrada (18),
un medio (1, 2) para generar un segundo haz de luz coherente (L2);
 - 10 la frecuencia óptica del primer haz de luz (L1) y del segundo haz de luz (L2) que difiere para satisfacer la condición de Brillouin;
el aparato está dispuesto para hacer que el primer haz de luz coherente (L1) se propague a lo largo de la guía de ondas (5) óptica en una primera dirección, y el segundo haz de luz coherente (L2) se propague a lo largo de la guía de ondas óptica en una dirección opuesta para generar una Red de difracción dinámica de Brillouin en la guía de ondas (5) óptica a través de la dispersión de Brillouin estimulada; y
 - 15 caracterizado por que comprende medios para modular el segundo haz de luz coherente (L2) para transportar la señal de RF recibida en la entrada (18); y que el primer y segundo haces de luz (L1) (L2) tienen diferentes relaciones del producto fundamental a producto de distorsión.
- 20 2. Un aparato según la reivindicación 1, en donde el segundo haz de luz coherente (L2) tiene una relación del producto fundamental a producto de distorsión menor que la del primer haz de luz coherente (L1).
3. Un aparato según la reivindicación 2, en donde el medio (1) para generar el primer haz de luz coherente comprende un primer modulador (4) óptico sintonizado con el objetivo de que sea de eficiencia relativamente alta y relativamente lineal altamente en comparación con el medio (12) para generar el segundo haz de luz coherente modulado, de manera que el primer haz de luz coherente (L1) tiene una relación del producto fundamental a producto de distorsión relativamente alta en comparación con el segundo haz de luz coherente (L2).
- 25 4. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el medio (1, 4) para generar el primer haz de luz coherente (L1) comprenden un modulador (4) de banda lateral única, SSB.
- 30 5. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el medio para generar un segundo haz de luz coherente (L2) comprende un modulador (12) desintonizado cargado sustancialmente en π .
- 35 6. Un aparato según cualquier reivindicación anterior, en donde el medio para generar el segundo haz de luz coherente (L2) comprende un modulador (12) de banda lateral única, SSB.
7. Un aparato según cualquier reivindicación anterior, que comprende un medio para desplazar la frecuencia (13) del segundo haz óptico (L2) con respecto al primer haz óptico (L1) para cumplir la condición de Brillouin.
- 40 8. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7, que comprende un receptor (9) óptico dispuesto para recibir una parte del primer haz de luz (L3) que ha pasado a través de la red de difracción dinámica de Brillouin.
9. Un aparato según la reivindicación 8, que comprende un convertidor (10) de analógico a digital dispuesto para recibir una salida del receptor (9) óptico.
- 45 10. Un aparato según la reivindicación 8 o 9 que comprende un medio (11, 16) para generar un tercer haz de luz coherente (B4) modulado con una frecuencia desplazada de la señal de radiofrecuencia por una frecuencia de pulsación, un combinador (8) de polarización dispuesto para combinar una señal óptica emitida (B5) que ha pasado a través de la red de difracción de Brillouin con el tercer haz (B4), y en la que el receptor (9) óptico está dispuesto para recibir la salida del combinador (8) de polarización para dar salida a una señal eléctrica que transporta la frecuencia de pulsación.
- 50 11. Un aparato según cualquier reivindicación anterior, que comprende un amplificador (14) dispuesto para amplificar el segundo haz coherente modulado antes de que se propague a través de la guía de ondas óptica.
- 55 12. Un aparato según la reivindicación 11, en donde el amplificador (14) está dispuesto para amplificar el segundo haz de luz modulado a una potencia que hace que la red de difracción disperse los productos de distorsión óptica del primer haz de luz en una extensión suficiente para que dichos productos de distorsión en una parte del haz de luz que ha pasado a través de la red de difracción de Brillouin estén por debajo del umbral de ruido.
- 60 13. Un sistema de receptor de radio que comprende un receptor de radiofrecuencia y un enlace óptico, comprendiendo el enlace óptico el aparato de la reivindicación 1.
- 65 14. Un método para reducir la distorsión en una señal óptica, comprendiendo el método:

modular un primer haz de luz coherente para transportar una señal de radiofrecuencia (RF) y propagar el haz de luz coherente modulado a lo largo de una guía de ondas óptica;
generar una red de difracción de Brillouin dinámica en la guía de ondas óptica utilizando la dispersión de Brillouin estimulada mediante la propagación de un segundo haz de luz coherente a través de la guía de ondas óptica en una dirección opuesta a la del primer haz de luz, difiriendo la frecuencia óptica del primer haz de luz coherente y el segundo haz de luz coherente para satisfacer la condición de Brillouin; caracterizado por que el segundo haz de luz coherente se modula para transportar la señal de RF recibida en la entrada y en el que el primer y el segundo haces de luz se modulan con el objetivo de tener diferentes relaciones del producto fundamental a producto de distorsión.

5

10

15. Un método según la reivindicación 14, en el que la señal óptica es transportada por un enlace fotónico conectado a un receptor de RF o transmisor de RF, y en el que la señal de RF es recibida por el receptor de RF o transmitida por el transmisor de RF;

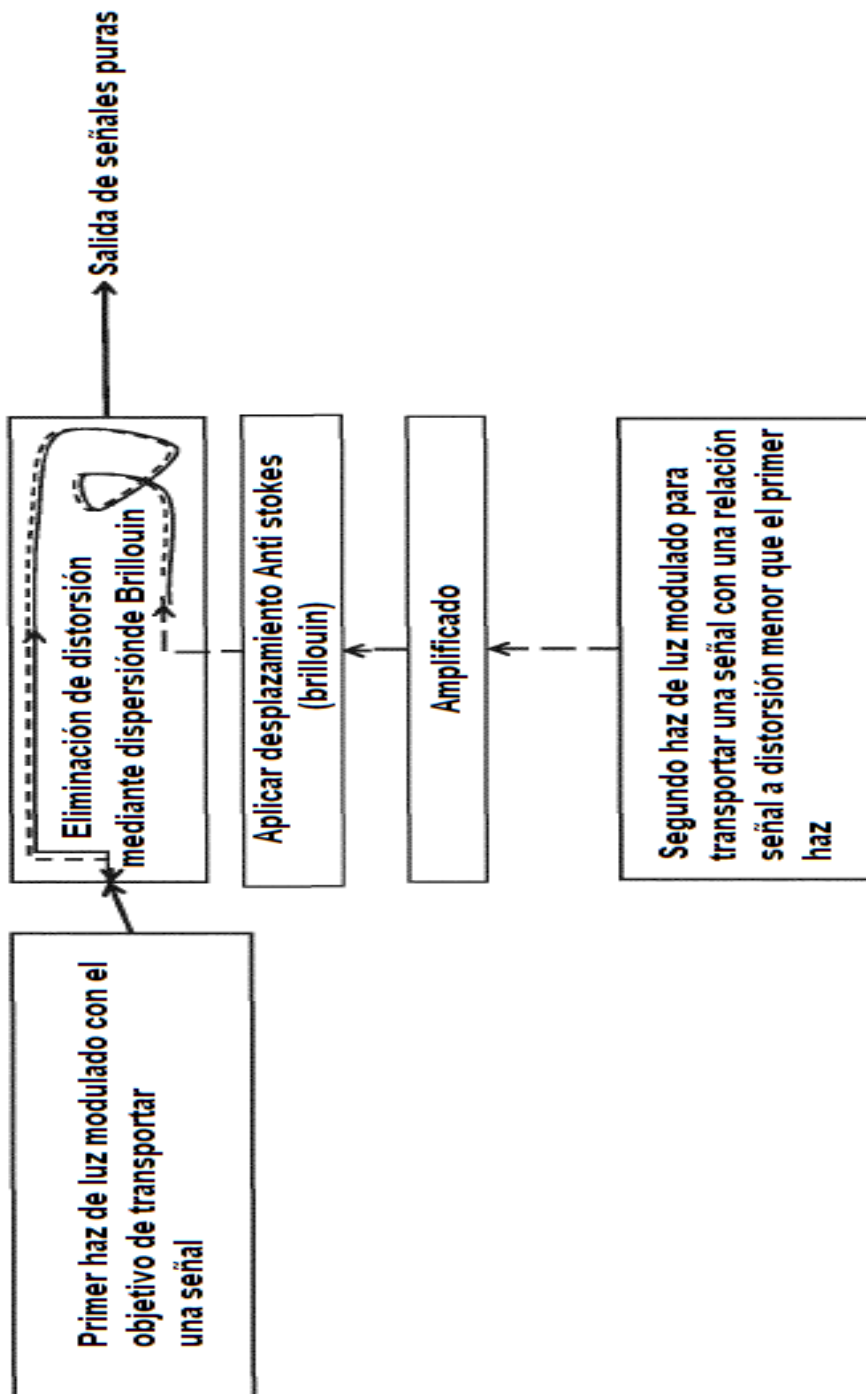


FIG.1

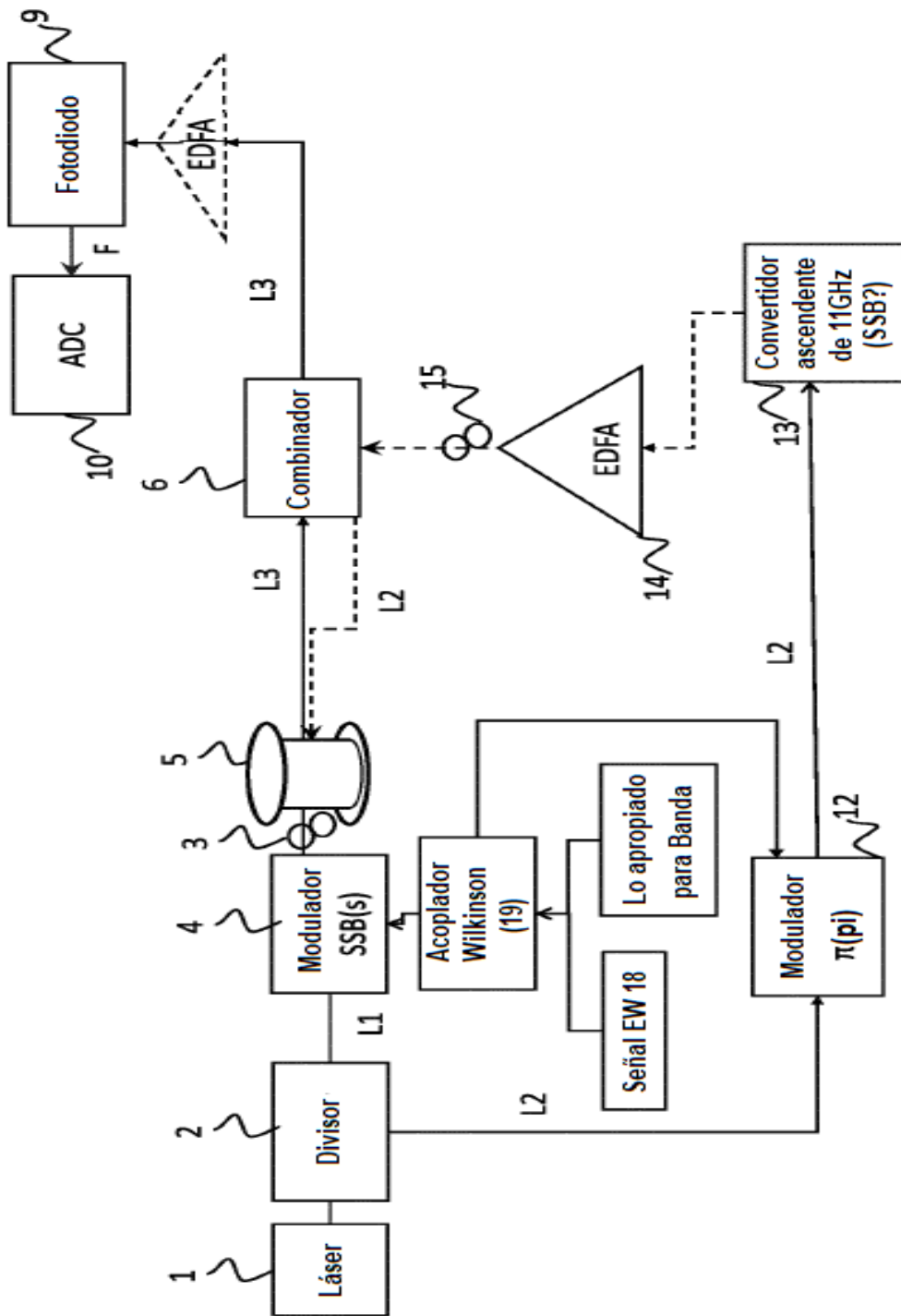


FIG. 2

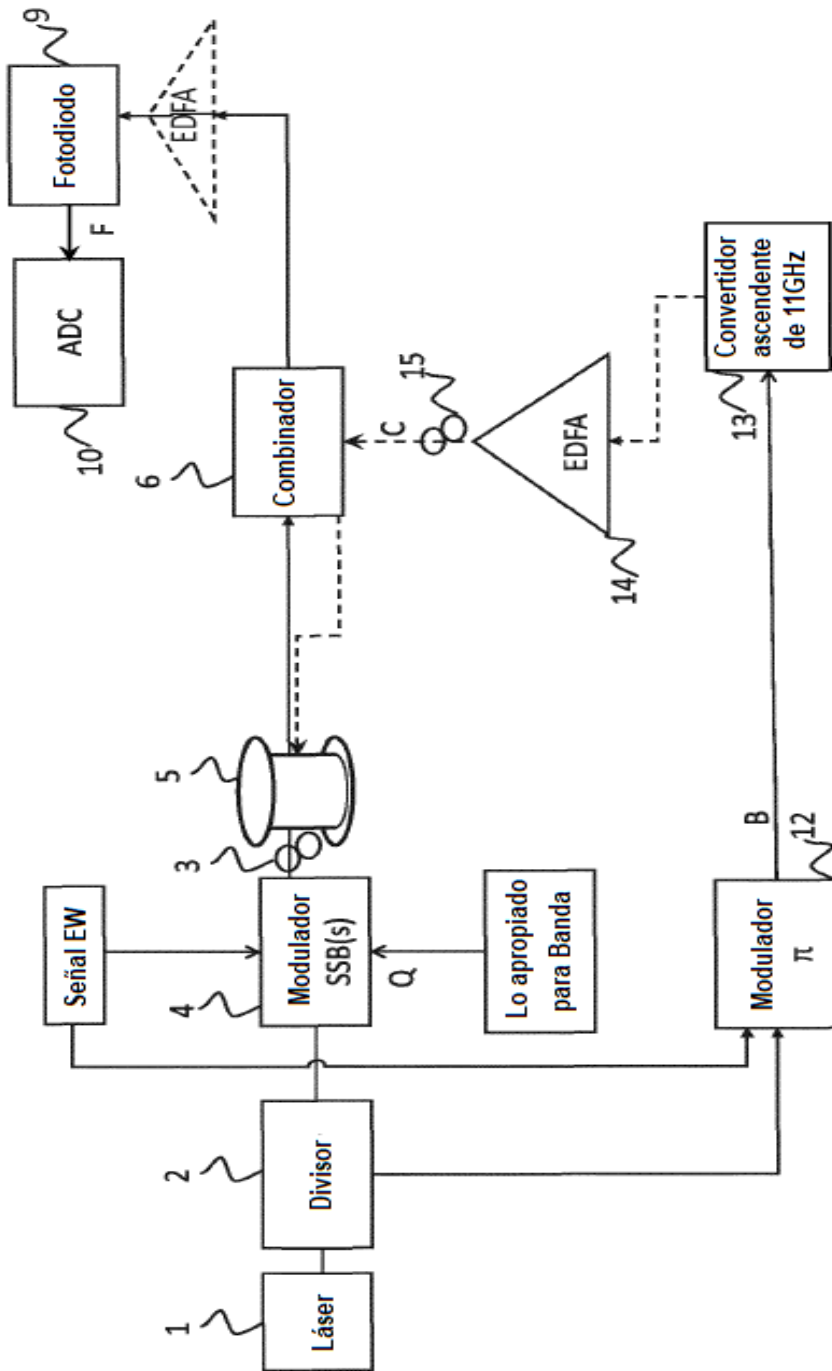


FIG. 4

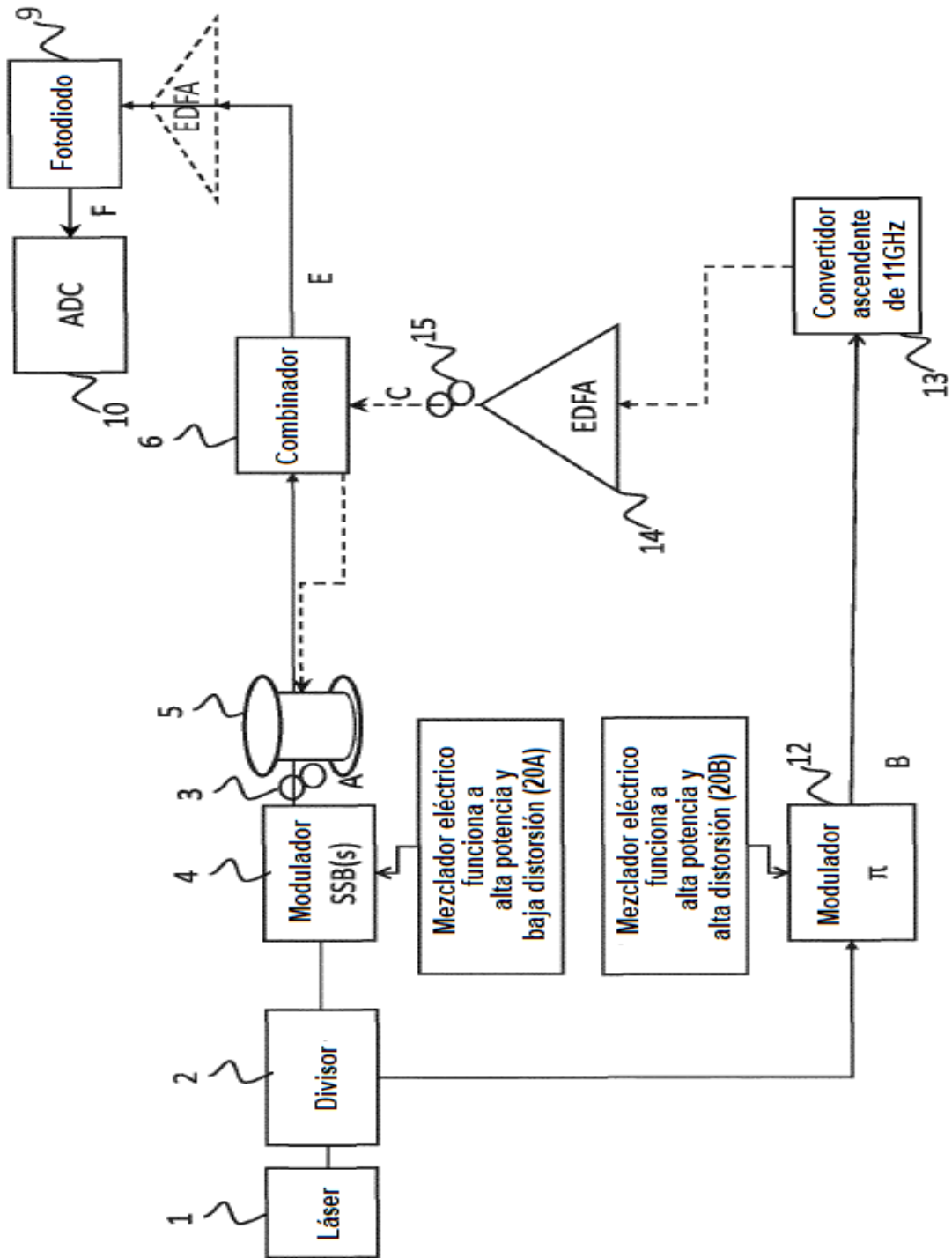


FIG. 5