

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 748 446**

51 Int. Cl.:

H04B 10/2575 (2013.01)

H04B 10/61 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.10.2015 PCT/EP2015/074679**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.04.2017 WO17067617**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2015 E 15788360 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2019 EP 3365993**

54 Título: **Analizador de espectros de RF asistido por fotones mejorado para receptores de banda ultra-ancha**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.03.2020

73 Titular/es:

**ELETTRONICA S.P.A. (100.0%)
Via Tiburtina Valeria Km 13.70
00131 Roma, IT**

72 Inventor/es:

**ALBERTONI, ALESSANDRO;
TAFUTO, ANTONIO;
BARTOCCI, MARCO;
GEMMA, MAURIZIO;
MAZZOLI, RAFFAELLA;
ONORI, DANIEL;
LAGHEZZA, FRANCESCO;
GHELFI, PAOLO;
PINNA, SERGIO;
SCOTTI, FILIPPO;
SERAFINO, GIOVANNI y
BOGONI, ANTONELLA**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 748 446 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

Analizador de espectros de RF asistido por fotones mejorado para receptores de banda ultra-ancha

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un analizador de espectros de radiofrecuencia (RF) asistido por fotones y a un receptor que incluye el mismo para su uso en la recepción de banda ultra-ancha (UWB). En particular, la presente invención encuentra una aplicación ventajosa, pero no exclusiva, en sistemas de guerra electrónica (EW), tales como sistemas de medida de soporte electrónico (ESM) y sistemas de contramedida electrónica (ECM).

Antecedentes de la técnica

10 Tal como se conoce, para aplicaciones de ESM se emplean receptores de UWB que pueden diseñarse para cubrir bandas de microondas de desde 0,5 GHz hasta 20 GHz, o incluso de 40 GHz

En la actualidad, se usan principalmente dos tipos de receptores para aplicaciones de ESM, concretamente receptores no sintonizados (WO) y superheterodinos.

15 En particular, un receptor WO está diseñado para funcionar, en cada instante de tiempo, en una banda de frecuencia instantánea correspondiente a su propia banda de frecuencia de funcionamiento general, mientras que un receptor superheterodino está diseñado para funcionar, en cada instante de tiempo, en una banda de frecuencia instantánea que es más estrecha que su propia banda de frecuencia de funcionamiento general.

En detalle, un receptor WO normalmente incluye:

- cuatro o más canales goniométricos, cada uno de los cuales está
 - acoplado a una antena direccional respectiva para recibir señales de RF entrantes, y
 - 20 - configurado para aplicar un preprocesamiento a las señales de RF entrantes para obtener señales de vídeo correspondientes; y
- una unidad de procesamiento, que está
 - acoplada a los canales goniométricos para recibir las señales de vídeo, y
 - configurada para procesar las señales de vídeo para detectar cualquier amenaza y determinar, para cada
 - 25 amenaza detectada, una dirección de llegada (DOA) correspondiente.

Más en detalle, cada uno de los canales goniométricos normalmente incluye:

- una cadena de RF respectiva que comprende
 - un amplificador de señales de RF respectivo para amplificar las señales de RF entrantes, y
 - medios de filtrado respectivos para filtrar las señales de RF amplificadas;
- 30 • un detector de diodo cuadrático respectivo, que está
 - acoplado a la cadena de RF respectiva para recibir las señales de RF filtradas, y
 - configurado para emitir señales de vídeo proporcionales al cuadrado de las señales de RF filtradas, es decir, proporcionales a los niveles de potencia de las señales de RF filtradas; y
- 35 • un amplificador de señales de vídeo respectivo para amplificar las señales de vídeo emitidas por el detector de diodo cuadrático respectivo, en el que las señales de vídeo amplificadas se suministran entonces a la unidad de procesamiento.

Tal como se conoce, los detectores de diodo cuadráticos realizan una detección incoherente, perdiendo de ese modo la información de fase de las señales.

40 Además, los receptores WO son particularmente sensibles a la presencia, en el entorno electromagnético circundante, de ondas continuas (CW) (es decir, ondas electromagnéticas de amplitud y frecuencia constantes) y ondas continuas interrumpidas (ICW) (es decir, CW moduladas con una portadora de manipulación encendido-apagado). De hecho, los receptores WO, cuando se iluminan por una o más señales de CW/ICW, podrían estar totalmente cegados por estas últimas, por lo que no podrían detectar otras señales de impulsos de interés, es decir, señales de impulsos relacionadas con amenazas.

45 En particular, los receptores WO normalmente protegen su capacidad de detección considerando más allá del nivel

de CW/ICW, concretamente aumentando los umbrales de detección hasta el nivel de potencia de CW/ICW, reduciendo así su rango dinámico de funcionamiento para detectar sólo señales de impulsos relacionadas con amenazas que tienen un nivel de potencia mayor que el nivel de potencia de CW/ICW.

En cambio, los receptores superheterodinos normalmente están diseñados para:

- 5 • cambiar las señales de RF entrantes a frecuencias más bajas, en particular a frecuencias intermedias (IF) predeterminadas, por medio de mezcladores acoplados operativamente a osciladores locales adecuados;
- convertir las señales de IF analógicas en señales de IF digitales correspondientes mediante medios de conversión analógica-digital (A/D) con rendimientos de muestreo adecuados; y
- 10 • procesar las señales de IF digitales mediante medios de procesamiento digital, dispositivos programables de manera conveniente tales como procesadores digitales de señales (DSP) y/o matrices de puertas programables por campo (FPGA).

En particular, los receptores superheterodinos realizan una detección coherente aprovechándose, tal como se explicó anteriormente, de mezcladores y osciladores locales que, tal como se conoce, introducen ruido y no linealidades, degradando de ese modo las señales convertidas de manera descendente.

- 15 El solicitante sintió la necesidad de abordar los inconvenientes anteriores de los receptores WO y superheterodinos y, por tanto, llevó a cabo un estudio en profundidad con el fin de desarrollar un receptor de UWB para aplicaciones de ESM, que pudiera superar, al menos en parte, dichos inconvenientes. Mientras llevaba a cabo dicho estudio en profundidad, el solicitante realizó las siguientes observaciones.

20 En primer lugar, el solicitante observó que, para las aplicaciones de ESM, debe usarse un receptor de RF de banda ancha de radio definida por software (SDR), que evita problemas debidos a las conversiones descendentes de RF con ruido y no lineales, y realiza el procesamiento digital directamente en RF con el fin de mejorar la flexibilidad del sistema. Sin embargo, las limitaciones de ancho de banda de los dispositivos digitales actuales imponen una implementación canalizada fija para analizar todo el espectro de RF. Por este motivo, y según el aumento incesante de las frecuencias de funcionamiento, es inevitable un crecimiento significativo en las necesidades de coste, tamaño, peso y potencia del sistema.

25 Además, con el fin de cumplir con los requisitos de un receptor de SDR, debe utilizarse un convertidor analógico-digital de banda ancha (ADC) con alta resolución y alto rango dinámico, lo que permite que las señales de RF se analicen instantáneamente con frecuencia y ancho de banda arbitrarios por medio de técnicas de procesamiento de señales digitales. Las técnicas de submuestreo pueden lograr una alta precisión con un ancho de banda instantáneo reducido, aunque con limitaciones intrínsecas debido a ambigüedades producidas por señales de solapamiento no deseadas.

30 Con el fin de evitar ambigüedades relacionadas con el submuestreo y convertir de manera descendente solo frecuencias de interés, debe emplearse un filtro de microondas sintonizable. Aunque la velocidad de los dispositivos semiconductores actuales ya admite circuitos integrados de RF con anchos de banda que superan muchas decenas de gigahercios, todavía no existe una tecnología de filtro competitiva para facilitar las operaciones de radio con un ancho de banda y capacidad de sintonización similares.

35 Por otro lado, el solicitante también observó que las tecnologías fotónicas actuales ofrecen anchos de banda electroópticos extremadamente grandes, capacidad de sintonización amplia y rápida, ruido muy bajo, alta linealidad e inmunidad electromagnética intrínseca, lo que permite tratar las señales de microondas con una precisión superior y permite la implementación del paradigma de SDR, al tiempo que se reduce el tamaño, el peso, la potencia y los costes. En particular, los filtros fotónicos de microondas actuales tienen factores de calidad muy alta (hasta 200.000) y una capacidad de sintonización extremadamente grande (superior a 100 GHz), lo que hace que el uso de estos dispositivos sea atractivo para operaciones de microondas de hasta 100 GHz.

40 Partiendo de las observaciones mencionadas anteriormente, el solicitante logró concebir y realizar un analizador de espectros de RF asistido por fotones para receptores de UWB. Dicho analizador de espectros de RF asistido por fotones se describe en el documento WO 2015/132772 A2 e incluye:

- 45 • un primer brazo de guía de ondas ópticas que comprende, en cascada, un extremo de entrada, un primer modulador electroóptico, un filtro óptico sintonizable y un extremo de salida, en el que dicho primer modulador electroóptico está diseñado para conectarse a una antena para recibir de la misma una señal de radiofrecuencia entrante;
- 50 • un segundo brazo de guía de ondas ópticas que comprende, en cascada, un extremo de entrada, un segundo modulador electroóptico, una línea de retardo óptico y un extremo de salida;
- un láser con bloqueo de modo conectado, a través de un divisor óptico, a los extremos de entrada de los brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo para suministrar a estos últimos con impulsos ópticos;

- un acoplador híbrido óptico conectado a los extremos de salida de los brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo y que puede hacerse funcionar para combinar señales ópticas recibidas de estos últimos para producir señales ópticas de salida correspondientes; y

5 • medios de fotodetección conectados al acoplador híbrido óptico para recibir las señales ópticas de salida y configurados para convertir estas últimas en señales analógicas eléctricas en base de banda correspondientes.

Además, el documento WO 2015/132772 A2 también enseña que:

- el primer modulador electroóptico está configurado para modular los impulsos ópticos suministrados por el láser con bloqueo de modo por medio de la señal de radiofrecuencia entrante para llevar a cabo un muestreo óptico de estos últimos, mediante lo cual se produce una señal óptica modulada, que es indicativa de dicho muestreo óptico;

10 • el filtro óptico sintonizable puede hacerse funcionar para filtrar la señal óptica modulada para seleccionar una parte del espectro de esta última;

- el segundo modulador electroóptico puede hacerse funcionar para diezmar los impulsos ópticos suministrados por el láser con bloqueo de modo; y

- la línea de retardo óptico puede hacerse funcionar para retardar los impulsos ópticos diezmos.

15 Para una mejor comprensión del analizador de espectros de RF asistido por fotones según el documento WO 2015/132772 A2, la figura 1 muestra un diagrama de bloques que representa esquemáticamente una arquitectura de un receptor de UWB (indicado en su conjunto con 100) según una realización preferida de la invención dada a conocer en el documento WO 2015/132772 A2.

20 En particular, el receptor de UWB 100 incluye un analizador de espectros de RF asistido por fotones que comprende un láser con bloqueo de modo (MLL) 101 conectado a un primer brazo de guía de ondas óptica 110 y a un segundo brazo de guía de ondas óptica 120 a través de un divisor óptico 102.

Además, el primer brazo de guía de ondas óptica 110 incluye:

- un primer modulador de Mach-Zehnder (MZM) 111 diseñado para recibir

- impulsos ópticos generados por el MLL 101, y

25 - señales de RF entrantes procedentes de una antena (no mostrada en la figura 1), de manera conveniente a través de un filtro antisolapamiento 103; y

- un filtro óptico sintonizable periódico (TOF) 112 conectado al primer MZM 111.

En cambio, el segundo brazo de guía de ondas ópticas 120 incluye:

- un segundo MZM 121 diseñado para recibir

30 - los impulsos ópticos generados por el MLL 101, y

- señales generadas por un generador de patrones (PG) 104; y

- una línea de retardo óptico (ODL) 122 conectada al segundo MZM 121.

Además, el analizador de espectros de RF asistido por fotones comprende adicionalmente:

35 • un acoplador híbrido óptico 105 conectado a los brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo 110 y 120 para recibir señales ópticas procedentes de los mismos (en particular del TOF 112 y la ODL 122); y

- medios de fotodetección, preferiblemente dos fotodetectores equilibrados 131 y 132, conectados al acoplador híbrido óptico 105.

Adicionalmente, tal como se muestra en la figura 1, el receptor de UWB 100 incluye además:

- dos filtros 141 y 142, conectado cada uno a uno respectivo de los dos fotodetectores equilibrados 131 y 132;

40 • dos ADC 151 y 152, conectado cada uno a uno respectivo de los dos filtros 141 y 142; y

- un procesador digital de señales (DSP) 160 conectado a los ADC 151 y 152.

45 Durante el funcionamiento del receptor de UWB 100, el MLL 101 genera impulsos ópticos con una tasa de repetición predefinida (recuadro A en la figura 1 que ilustra esquemáticamente un ejemplo de espectro óptico aguas abajo del MLL 101), y dichos impulsos ópticos se suministran, como entrada, a ambos brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo 110 y 120 a través del divisor óptico 102.

En cuanto al primer brazo de guía de ondas ópticas 110, en el primer MZM 111, se muestrea ópticamente una señal de RF entrante recibida desde la antena por los pulsos ópticos recibidos desde el MLL 101. En particular, en el primer MZM 111, la señal de RF entrante modula los impulsos ópticos recibidos del MLL 101 de modo que la señal óptica modulada resultante tenga un espectro óptico que es una repetición periódica del espectro de la señal de RF de modulación entrante con una tasa de repetición igual a la tasa de repetición del MLL 101 (recuadro B en la figura 1 que ilustra esquemáticamente un ejemplo de espectro óptico aguas abajo del primer MZM 111). De manera conveniente, si se realiza la modulación de doble banda lateral (DSB), la tasa de repetición del MLL 101 es más del doble de la frecuencia de RF máxima aceptable para evitar el solapamiento.

La señal óptica modulada (es decir, la señal de RF muestreada ópticamente) se filtra entonces por el TOF 112 periódico para seleccionar una porción de espectro de interés (que tiene, de manera conveniente, un ancho de banda tal que permita que los ADC 151 y 152 realicen la conversión A/D). De manera conveniente, el TOF 112 periódico tiene un rango espectral libre (FSR) relacionado con la tasa de repetición del MLL 101 (recuadro C en la figura 1 que ilustra esquemáticamente un ejemplo de espectro óptico aguas abajo del TOF 112 periódico). De manera más conveniente, el TOF 112 periódico tiene un FSR igual a la tasa de repetición del MLL 101. Preferiblemente, el TOF 112 periódico es un filtro de Fabry-Perot.

En cuanto al segundo brazo de guía de ondas ópticas 120, los impulsos ópticos recibidos desde el MLL 101 se diezman a una tasa inferior por el segundo MZM 121 basándose en una señal predefinida relacionada con el diezmo proporcionada por el PG 104 (recuadro D en la figura 1 que ilustra esquemáticamente un ejemplo de espectro óptico aguas abajo del segundo MZM 121). De manera conveniente, el PG 104 puede hacerse funcionar para proporcionar diferentes señales relacionadas con el diezmo para hacer que el diezmo realizado por el segundo MZM 121 sea reconfigurable.

La ODL 122 retarda los impulsos ópticos diezmos para sincronizar las señales ópticas que alcanzan el acoplador híbrido óptico 105 procedentes de los brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo 110 y 120 (es decir, la señal óptica filtrada modulada procedente del TOF 112 y dichos impulsos ópticos diezmos retardados). De manera conveniente, la ODL 122 puede hacerse funcionar para coincidir con la fase relativa de los dos brazos de guía de ondas ópticas 110 y 120. Preferiblemente, la ODL 122 es una línea de retardo óptico sintonizable.

El acoplador híbrido óptico 105 combina la señal óptica filtrada modulada recibida del primer brazo de guía de ondas ópticas 110 y los impulsos ópticos diezmos retardados recibidos del segundo brazo de guía de ondas ópticas 120 en una señal óptica combinada correspondiente (recuadro E en la figura 1 que ilustra esquemáticamente un ejemplo de espectro óptico que resulta de la combinación realizada por el acoplador híbrido óptico 105), y emite componentes ópticas en fase (I) y de cuadratura (Q) de dicha señal óptica combinada.

Los fotodetectores equilibrados 131 y 132 reciben las componentes ópticas I y Q del acoplador híbrido óptico 105, realizan una detección equilibrada coherente con el fin de reducir la distorsión de intermodulación de orden par, los términos de ruido de modo común y las contribuciones de detección directa, y emiten componentes analógicos eléctricos en banda base I y Q correspondientes, que se filtran por los filtros 141 y 142, y luego se convierten por los ADC 151 y 152 en las componentes digitales en banda base I y Q correspondientes.

Por último, dichos componentes digitales de banda base I y Q se suministran al DSP 160 para procesarse por este último.

Objeto y sumario de la invención

Tras haberse ideado el analizador de espectros de RF asistido por fotones dado a conocer en el documento WO 2015/132772 A2, el solicitante ha seguido investigando con el fin de intentar mejorar dicho analizador de espectros de RF asistido por fotones, logrando de ese modo concebir un nuevo e innovador analizador de espectros de RF asistido por fotones con características mejoradas.

Por tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un analizador de espectros de RF asistido por fotones mejorado para receptores de UWB.

La presente invención logra este y otros objetos porque se refiere a un dispositivo de análisis de espectros de RF asistido por fotones y a un receptor que incluye el mismo, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

En particular, el dispositivo de análisis de espectros de RF asistido por fotones según la presente invención incluye:

- un primer brazo de guía de ondas ópticas;
- un segundo brazo de guía de ondas ópticas;
- un láser sintonizable de longitud de onda única, que
 - está conectado a extremos de entrada de los brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo, y
 - puede hacerse funcionar para suministrar a dichos brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo una

señal óptica de longitud de onda única que tiene una única longitud de onda sintonizable;

- un acoplador híbrido óptico, que
 - está conectado a extremos de salida de los brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo, y
 - está diseñado para combinar señales ópticas recibidas de dichos brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo para producir componentes ópticas en fase y de cuadratura correspondientes; y
- medios de fotodetección, que
 - están conectados al acoplador híbrido óptico para recibir las componentes ópticas en fase y de cuadratura, y
 - están configurados para convertir dichas componentes ópticas en fase y de cuadratura en componentes analógicas eléctricas en fase y de cuadratura en banda base correspondientes;

en el que el primer brazo de guía de ondas ópticas comprende un modulador electroóptico, que está diseñado para:

- recibir una señal de radiofrecuencia entrante; y
- modular la señal óptica de longitud de onda única por medio de la señal de radiofrecuencia entrante, produciendo de ese modo una señal óptica modulada; y

en el que el segundo brazo de guía de ondas ópticas comprende:

- un generador de peine óptico coherente, que está diseñado para generar un peine óptico de longitud de onda basándose en la señal óptica de longitud de onda única; y
- un filtro de paso de banda óptico fijo, que está diseñado para filtrar el peine óptico de longitud de onda para seleccionar una parte del mismo, produciendo de ese modo una señal óptica filtrada.

Breve descripción de los dibujos

Para una mejor comprensión de la presente invención, ahora se describirán realizaciones preferidas, que están previstas únicamente a modo de ejemplo y no deben interpretarse como limitativas, con referencia a los dibujos adjuntos (no a escala), donde:

- la figura 1 ilustra esquemáticamente un receptor de UWB según los antecedentes de la técnica; y
- la figura 2 ilustra esquemáticamente un receptor de UWB según una realización preferida de la presente invención.

Descripción detallada de realizaciones preferidas de la invención

La siguiente descripción se presenta para permitir que un experto en la técnica realice y use la invención. Diversas modificaciones a las realizaciones serán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica, sin apartarse del alcance de la presente invención tal como se reivindica. Por tanto, no se pretende que la presente invención se limite a las realizaciones mostradas y descritas, sino que debe otorgarse el alcance más amplio de acuerdo con los principios y las características dados a conocer en el presente documento y definidos en las reivindicaciones adjuntas.

Para una mejor comprensión de la presente invención, la figura 2 muestra un diagrama de bloques que representa esquemáticamente una arquitectura de un receptor de UWB (indicado en su conjunto con 200) según una realización preferida de la presente invención.

En particular, el receptor de UWB 200 incluye un analizador de espectros de RF asistido por fotones que comprende un láser sintonizable de longitud de onda única 201, que:

- puede hacerse funcionar para emitir luz a una única longitud de onda sintonizable (es decir, una única longitud de onda que puede sintonizarse/seleccionarse dentro de un intervalo de longitud de onda o entre varias longitudes de onda predefinidas diferentes);

• está diseñado para funcionar como un láser maestro; y

- está conectado a un primer brazo de guía de ondas ópticas 210 y a un segundo brazo de guía de ondas ópticas 220, de manera conveniente a través de un primer amplificador de potencia óptica 202 y un divisor óptico 203.

Además, el primer brazo de guía de ondas ópticas 210 incluye un modulador electroóptico, preferiblemente un modulador de Mach-Zehnder (MZM), 211 diseñado para recibir:

- una señal óptica de longitud de onda única generada por el láser sintonizable de longitud de onda única 201

(amplificada de manera conveniente por el primer amplificador de potencia óptica 202 y recibida a través del divisor óptico 203); y

• una señal de RF entrante procedente de una antena, de manera conveniente a través de un filtro antisolapamiento (dicha antena y dicho filtro antisolapamiento no se muestran en la figura 2 por motivos de simplicidad de la ilustración).

En cambio, el segundo brazo de guía de ondas óptica 220 incluye:

• un generador de peine óptico coherente (COCG) 221, que está diseñado para

- recibir la señal óptica de longitud de onda única generada por el láser sintonizable de longitud de onda única 201 (amplificada de manera conveniente por el primer amplificador de potencia óptica 202 y recibida a través del divisor óptico 203), y

- generar un peine óptico de longitud de onda correspondiente, produciendo de ese modo un peine de oscilaciones locales fotónicas con bloqueo de fase; y

• un filtro de paso de banda óptico fijo 223, que

- está conectado al COCG 221, de manera conveniente a través de un segundo amplificador de potencia óptica 222, y

- está configurado para filtrar el peine óptico de longitud de onda generado por el COCG 221 (amplificado de manera conveniente por el segundo amplificador de potencia óptica 222), para seleccionar una parte de dicho peine óptico de longitud de onda (de manera conveniente para seleccionar sólo una longitud de onda de dicho peine óptico de longitud de onda), produciendo de ese modo una señal óptica filtrada que porta la oscilación local fotónica con bloqueo de fase seleccionada para usarse para el proceso de mezclado.

De manera conveniente, el COCG 221 puede realizarse como una serie de moduladores electroópticos de amplitud y fase accionados por un oscilador a una frecuencia predefinida f_{CLK} (por ejemplo de 1 GHz).

Preferiblemente, el segundo brazo de guía de ondas ópticas 220 incluye también un láser esclavo 224:

• al que se inyecta la señal óptica filtrada procedente del filtro de paso de banda óptico fijo 223; y

• usado para aumentar y estabilizar la potencia óptica que va a usarse para el proceso de mezclado, mientras que se mantiene el bloqueo de fase con el láser maestro 201.

De manera conveniente, el láser esclavo 224 puede implementarse como un láser de realimentación distribuida (DFB).

Adicionalmente, el analizador de espectros de RF asistido por fotones comprende además:

• un acoplador híbrido óptico 204, preferiblemente un acoplador híbrido óptico de 90 grados, conectado a los brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo 210 y 220 para recibir las señales ópticas del MZM 211 y el láser esclavo 224, respectivamente; y

• medios de fotodetección, preferiblemente dos fotodetectores equilibrados 231 y 232, conectados al acoplador híbrido óptico 204.

Adicionalmente, el receptor de UWB 200 incluye además:

• dos ADC 261 y 262, conectado cada uno a uno respectivo de los dos fotodetectores equilibrados 231 y 232, de manera conveniente a través de un amplificador respectivo 241/242 y un filtro respectivo 251/252; y

• un DSP 270 conectado a los ADC 261 y 262.

En cuanto al funcionamiento del primer brazo de guía de ondas ópticas 210, en el MZM 211 una señal de RF entrante recibida desde la antena (de manera conveniente a través del filtro antisolapamiento) modula una señal óptica de longitud de onda única generada por el láser sintonizable de longitud de onda única 201 (amplificada de manera conveniente por el primer amplificador de potencia óptica 202 y recibida a través del divisor óptico 203), produciendo de ese modo una señal óptica modulada correspondiente.

En cambio, en cuanto al funcionamiento del segundo brazo de guía de ondas ópticas 220, el láser sintonizable de longitud de onda única 201 se usa como láser maestro para alimentar el COCG 221 que, por tanto, produce un peine de oscilaciones locales fotónicas con bloqueo de fase, una de las cuales se selecciona por el filtro de paso de banda óptico fijo 223 para usarse para el proceso de mezclado realizado por los fotodetectores equilibrados 231 y 232. Además, preferiblemente, se usa el láser esclavo 224, al que se inyecta la oscilación local fotónica con bloqueo de fase seleccionada para producir una señal óptica de salida correspondiente que va a usarse para el proceso de

mezclado, en el que dicha señal óptica de salida se caracteriza por mayor potencia y menor ruido que la señal óptica filtrada recibida del filtro de paso de banda óptico fijo 223.

5 Por tanto, durante el funcionamiento del receptor de UWB 200, se lleva a cabo el análisis del espectro de RF sintonizando el láser sintonizable de longitud de onda única 201 a varias longitudes de onda predefinidas diferentes de modo que, para cada longitud de onda única usada, se selecciona una oscilación local fotónica con bloqueo de fase respectiva por el filtro de paso de banda óptico fijo 223 y, de ahí, se usa para el proceso de mezclado realizado por los fotodetectores equilibrados 231 y 232.

10 Dicho de otro modo, el láser sintonizable de longitud de onda única 201 y el segundo brazo de guía de ondas ópticas 220 están diseñados para funcionar como un oscilador local fotónico sintonizable que puede hacerse funcionar para proporcionar varias oscilaciones locales fotónicas con bloqueo de fase diferentes, de modo que el proceso de mezclado realizado por los fotodetectores equilibrados 231 y 232 convierte de manera descendente en banda base diferentes partes del espectro de RF de la señal de RF entrante. Con este mecanismo, el proceso de filtrado puede realizarse en el dominio eléctrico en la banda base, y se evita el uso de filtros ópticos sintonizables

15 Más en detalle, durante el funcionamiento del receptor de UWB 200, el acoplador híbrido óptico 204 combina las señales ópticas recibidas de los brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo 210 y 220 (en particular, respectivamente, la señal óptica modulada desde el MZM 211, y la señal óptica de salida procedente del láser esclavo 224 que porta la oscilación local fotónica con bloqueo de fase seleccionada para usarse para el proceso de mezclado) en una señal óptica combinada correspondiente, y emite las componentes ópticas en fase (I) y de cuadratura (Q) de dicha señal óptica combinada.

20 Entonces, los fotodetectores equilibrados 231 y 232 reciben las componentes ópticas I y Q del acoplador híbrido óptico 204, realizan una detección equilibrada coherente con el fin de reducir la distorsión de intermodulación de orden par, los términos de ruido de modo común y las contribuciones de detección directas, y, de ahí, emiten las componentes analógicas eléctricas de banda base correspondientes I y Q, que:

- se amplifican por los amplificadores 241 y 242;
- 25 • se filtran por los filtros 251 y 252; y luego
- se convierten por los ADC 261 y 262 en las componentes digitales de banda base correspondientes I y Q.

Por último, dichas componentes digitales de banda base I y Q se suministran al DSP 270 para procesarse por este último.

Para una mejor comprensión del funcionamiento del receptor de UWB 200, la figura 2 muestra también:

- 30 • en un recuadro A, un ejemplo de espectro óptico de una señal óptica de longitud de onda única generada por el láser sintonizable de longitud de onda única 201;
- en un recuadro B, un ejemplo de espectro óptico de una señal óptica modulada producida por el MZM 211;
- en un recuadro C, un ejemplo de peine óptico de longitud de onda generado por el COCG 221;
- 35 • en un recuadro D, un ejemplo de espectro óptico de una señal óptica filtrada producida por el filtro de paso de banda óptico fijo 223;
- en un recuadro E, un ejemplo de espectro óptico aguas abajo del láser esclavo 224;
- en un recuadro F, un ejemplo de espectro óptico que resulta de la combinación realizada por el acoplador híbrido óptico 204;
- 40 • en un recuadro G, un ejemplo de espectro de frecuencia de una componente analógica eléctrica de banda base I aguas abajo del filtro 251; y,
- en un recuadro H, un ejemplo de espectro de frecuencia de una señal digital de banda base procesada por el DSP 270.

45 A partir de lo anterior, queda absolutamente claro que las arquitecturas del analizador de espectros de RF asistido por fotones según la presente invención y la que se da a conocer en el documento WO 2015/132772 A2 son completamente diferentes.

De hecho, el analizador de espectros de RF asistido por fotones según el documento WO 2015/132772 A2 se aprovecha de:

- 50 • un láser con bloqueo de modo (es decir, el MLL 101 en la figura 1) para muestrear ópticamente una señal de RF entrante por medio de un modulador electroóptico (es decir, el primer MZM 111 en la figura 1), produciendo de ese modo un espectro óptico que es una repetición periódica del espectro de la señal de RF entrante de modulación;

- un filtro óptico sintonizable (es decir, el TOF periódico 112 en la figura 1) para seleccionar de manera dinámica una parte de espectro de interés; y

5 • un brazo de guía de ondas ópticas (es decir, el segundo brazo de guía de ondas ópticas 120 en la figura 1) para diezmar y retardar los impulsos ópticos del láser con bloqueo de modo y, por tanto, para proporcionar la oscilación local para la conversión descendente en banda base.

Por el contrario, el analizador de espectros de RF asistido por fotones según la presente invención se aprovecha, tal como se explicó anteriormente, del láser sintonizable de longitud de onda única 201, el COCG 221 y el filtro de paso de banda óptico fijo 223 para proporcionar varias oscilaciones locales fotónicas con bloqueo de fase diferentes para convertir por disminución en banda base diferentes partes del espectro de RF de una señal de RF entrante.

10 En relación con esto, cabe señalar que un láser sintonizable de longitud de onda única y un filtro de paso de banda óptico fijo son mucho más baratos y más fáciles de fabricar que, respectivamente, un láser con bloqueo de modo y un filtro óptico sintonizable. Además, un filtro de paso de banda óptico fijo normalmente es más eficaz (puesto que se caracteriza por mayores capacidades de rechazo) que un filtro óptico sintonizable.

15 Por tanto, el analizador de espectros de RF asistido por fotones según la presente invención es, en su conjunto, mucho más barato y fácil de fabricar y más eficaz que el analizador de espectros de RF asistido por fotones dado a conocer en el documento WO 2015/132772 A2.

Las ventajas de la presente invención quedan claras a partir de lo anterior.

20 En particular, cabe destacar el hecho de que la arquitectura según la presente invención combina las funciones de filtración de RF, conversión descendente, conversión analógica-digital, en un solo dispositivo. Esta arquitectura permite la detección directa de señales de hasta cientos de GHz, con alta precisión a lo largo de un ancho de banda instantáneo de pocos GHz, implementando un rápido análisis del espectro, con tamaño, peso, potencia y costes reducidos.

25 Además, la presente invención permite mejorar los rendimientos de un convertidor descendente de banda ultra-ancha de microondas clásico en lo que se refiere a un ancho de banda de RF más amplio, un ruido de conversión descendente más bajo y un tamaño, peso y potencia más bajos.

Adicionalmente, el receptor de UWB según la presente invención puede integrarse ventajosamente en un solo chip.

Las ventajas anteriores de la presente invención pueden ser beneficiosas para varias aplicaciones, tales como:

- sistemas de radar de UWB de bajo peso con alta inmunidad electromagnética para vehículos aéreos no tripulados (UAV) y sistemas de aviónica;
- 30 • control integrado de tráfico aeroportuario y portuario (tanto terrestre como aéreo);
- inteligencia de señales de UWB (SIGINT) y guerra electrónica (EW);
- sistemas de radar codificados en fase y con salto de frecuencia (tales como sistemas de radar completamente adaptativos para una diversidad de frecuencia y forma de onda y detección inteligente de señales);
- 35 • sistemas de UWB de doble uso (tales como sistemas de obtención de imágenes y detección de UWB para radar con funciones de comunicación integradas para gran cantidad de flujo e intercambio de datos);
- sistemas de radar multifuncionales distribuidos (distribución de señales de microondas de radio sobre fibra (RoF) en aplicaciones de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) o para diferentes ubicaciones de sitio); y
- formación de haz reconfigurable (formación de haz de retardo de tiempo real adaptativo para sistemas adaptativos de radar/telecomunicaciones).

40 Finalmente, queda claro que pueden realizarse numerosas modificaciones y variantes a la presente invención, encontrándose todas ellas dentro del alcance de la invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de análisis de espectros de radiofrecuencia asistido por fotones que incluye:
- un primer brazo de guía de ondas ópticas (210);
 - un segundo brazo de guía de ondas ópticas (220);
 - un láser sintonizable de longitud de onda única (201), que
 - está conectado a extremos de entrada de los brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo (210, 220), y
 - puede hacerse funcionar para suministrar a dichos brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo (210, 220) una señal óptica de longitud de onda única que tiene una única longitud de onda sintonizable;
 - un acoplador híbrido óptico (204), que
 - está conectado a extremos de salida de los brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo (210, 220), y
 - está diseñado para combinar señales ópticas recibidas de dichos brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo (210, 220) para producir componentes ópticas en fase y de cuadratura correspondientes; y
 - medios de fotodetección (231, 232), que
 - están conectados al acoplador híbrido óptico (204) para recibir las componentes ópticas en fase y de cuadratura, y
 - están configurados para convertir dichas componentes ópticas en fase y de cuadratura en componentes analógicas eléctricas en fase y de cuadratura en banda base correspondientes;
- en el que el primer brazo de guía de ondas ópticas (210) comprende un modulador electroóptico (211), que está diseñado para:
- recibir una señal de radiofrecuencia entrante; y
 - modular la señal óptica de longitud de onda única por medio de la señal de radiofrecuencia entrante, produciendo de ese modo una señal óptica modulada;
- y en el que el segundo brazo de guía de ondas ópticas (220) comprende:
- un generador de peine óptico coherente (221), que está diseñado para generar un peine óptico de longitud de onda basándose en la señal óptica de longitud de onda única; y
 - un filtro de paso de banda óptico fijo (223), que está diseñado para filtrar el peine óptico de longitud de onda para seleccionar una parte del mismo, produciendo de ese modo una señal óptica filtrada.
2. El dispositivo según la reivindicación 1, en el que:
- el láser sintonizable de longitud de onda única (201) está diseñado para funcionar como un láser maestro;
 - el segundo brazo de guía de ondas ópticas (220) comprende además un láser esclavo (224), al que se inyecta la señal óptica filtrada para producir una señal óptica de salida correspondiente; y
 - el acoplador híbrido óptico (204) está conectado a los extremos de salida de los brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo (210, 220) para recibir, respectivamente, la señal óptica modulada procedente del modulador electroóptico (211) y la señal óptica de salida procedente del láser esclavo (224).
3. El dispositivo según la reivindicación 2, en el que la señal óptica de salida producida por el láser esclavo (224) tiene mayor potencia y menor ruido que la señal óptica filtrada recibida del filtro de paso de banda óptico fijo (223).
4. El dispositivo según la reivindicación 2 o 3, en el que el láser esclavo (224) es un láser de realimentación distribuida.

5. El dispositivo según cualquier reivindicación anterior, en el que:
- el láser sintonizable de longitud de onda única (201) está conectado a los extremos de entrada de los brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo (210, 220) a través de un primer amplificador de potencia óptica (202) y un divisor óptico (203);
- 5
- el modulador electroóptico (211) está diseñado para modular, por medio de la señal de radiofrecuencia entrante, la señal óptica de longitud de onda única suministrada por el láser sintonizable de longitud de onda única (201), amplificada por el primer amplificador de potencia óptica (202), y recibida a través de dicho divisor óptico (203); y
- 10
- el generador de peine óptico coherente (221) está diseñado para generar el peine óptico de longitud de onda basándose en la señal óptica de longitud de onda única suministrada por el láser sintonizable de longitud de onda única (201), amplificada por el primer amplificador de potencia óptica (202), y recibida a través de dicho divisor óptico (203).
6. El dispositivo según cualquier reivindicación anterior, en el que el filtro de paso de banda óptico fijo (223) está:
- 15
- conectado al generador de peine óptico coherente (221) a través de un segundo amplificador de potencia óptica (222); y
 - diseñado para filtrar el peine óptico de longitud de onda generado por dicho generador de peine óptico coherente (221) y amplificado por dicho segundo amplificador de potencia óptica (222).
7. El dispositivo según cualquier reivindicación anterior, en el que el filtro de paso de banda óptico fijo (223) está diseñado para filtrar el peine óptico de longitud de onda para seleccionar una longitud de onda que va a usarse por los medios de fotodetección (231, 232) para convertir las componentes ópticas en fase y de cuadratura en las componentes analógicas eléctricas en fase y de cuadratura en banda base correspondientes.
- 20
8. El dispositivo según cualquier reivindicación anterior, en el que:
- 25
- el acoplador híbrido óptico (204) es un acoplador híbrido óptico de 90 grados, que está diseñado para
 - combinar las señales ópticas recibidas de los brazos de guía de ondas ópticas primero y segundo (210, 220) en una señal óptica combinada correspondiente, y
 - emitir las componentes ópticas en fase y de cuadratura de dicha señal óptica combinada; y
 - los medios de fotodetección comprenden
 - un primer fotodetector equilibrado (231) configurado para realizar una detección equilibrada coherente basándose en la componente óptica en fase, convirtiendo de ese modo esta última en la componente analógica eléctrica en fase en banda base correspondiente, y
 - un segundo fotodetector equilibrado (232) configurado para realizar una detección equilibrada coherente basándose en la componente óptica de cuadratura, convirtiendo de ese modo esta última en la componente analógica eléctrica de cuadratura en banda base correspondiente.
- 30
- 35
9. El dispositivo según cualquier reivindicación anterior, en el que el modulador electroóptico (211) está diseñado para conectarse, a través de un filtro antisolapamiento, a una antena para recibir la señal de radiofrecuencia entrante.
10. El dispositivo según cualquier reivindicación anterior, en el que el modulador electroóptico (211) es un modulador de Mach-Zehnder.
- 40
11. Receptor (200) que comprende el dispositivo de análisis de espectros de radiofrecuencia asistido por fotones según cualquier reivindicación anterior.
12. El receptor según la reivindicación 11, que comprende además:
- 45
- medios de conversión analógica-digital (261, 262) configurados para convertir las componentes analógicas eléctricas en fase y de cuadratura en banda base en componentes digitales en fase y de cuadratura en banda base correspondientes; y
 - medios de procesamiento (270), que están conectados a los medios de conversión analógica-digital (261, 262) para recibir las componentes digitales en fase y de cuadratura en banda base, y configurados para procesar estas últimas.

13. El receptor según la reivindicación 12, en el que los medios de conversión analógica-digital (261, 262) están conectados a los medios de fotodetección (231, 232) a través de medios de amplificación (241, 242) y medios de filtrado (251, 252).
14. Sistema de guerra electrónica que comprende el receptor según cualquiera de las reivindicaciones 11-13.
- 5 15. Sistema de radar que comprende el receptor según cualquiera de las reivindicaciones 11-13.

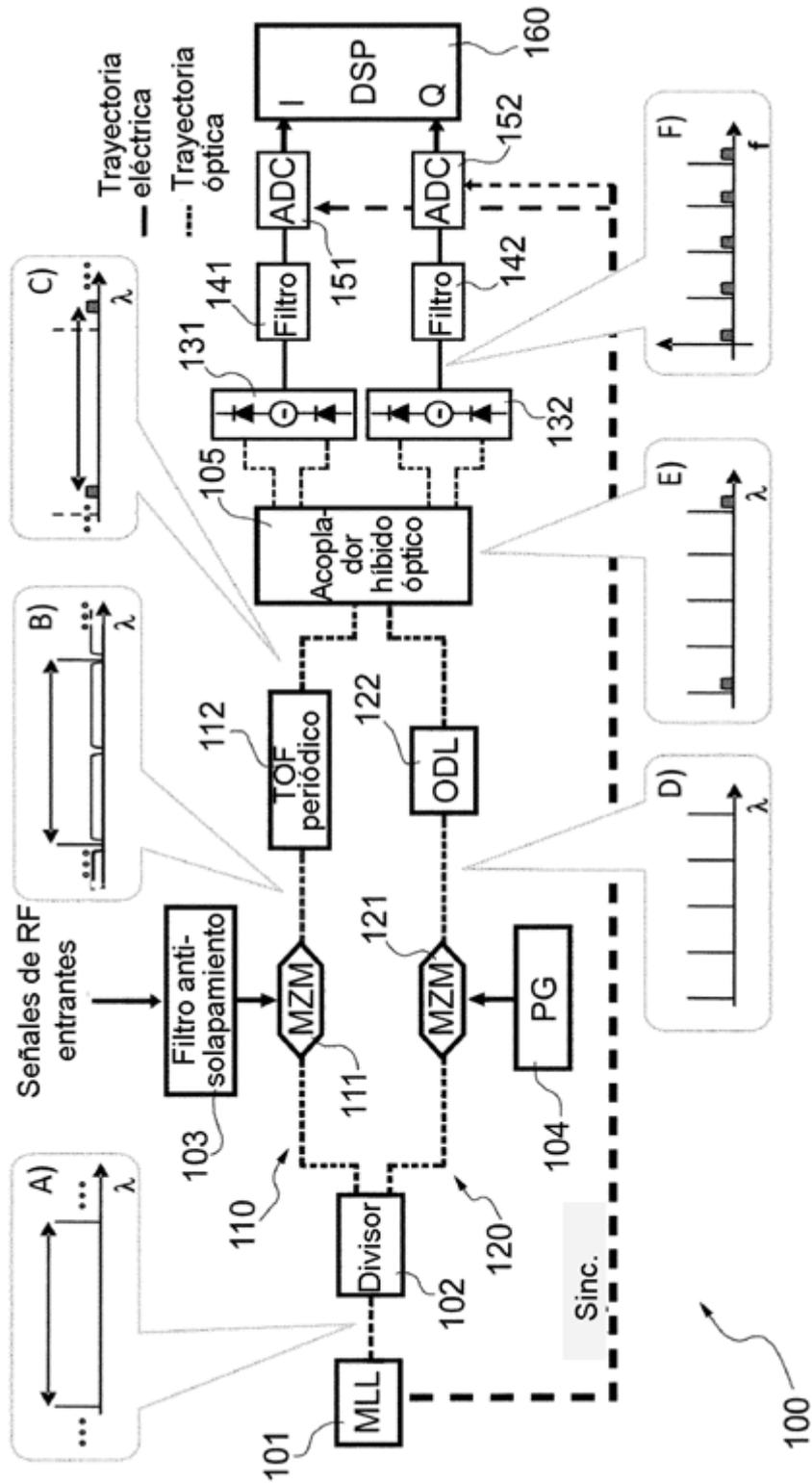


FIG.1

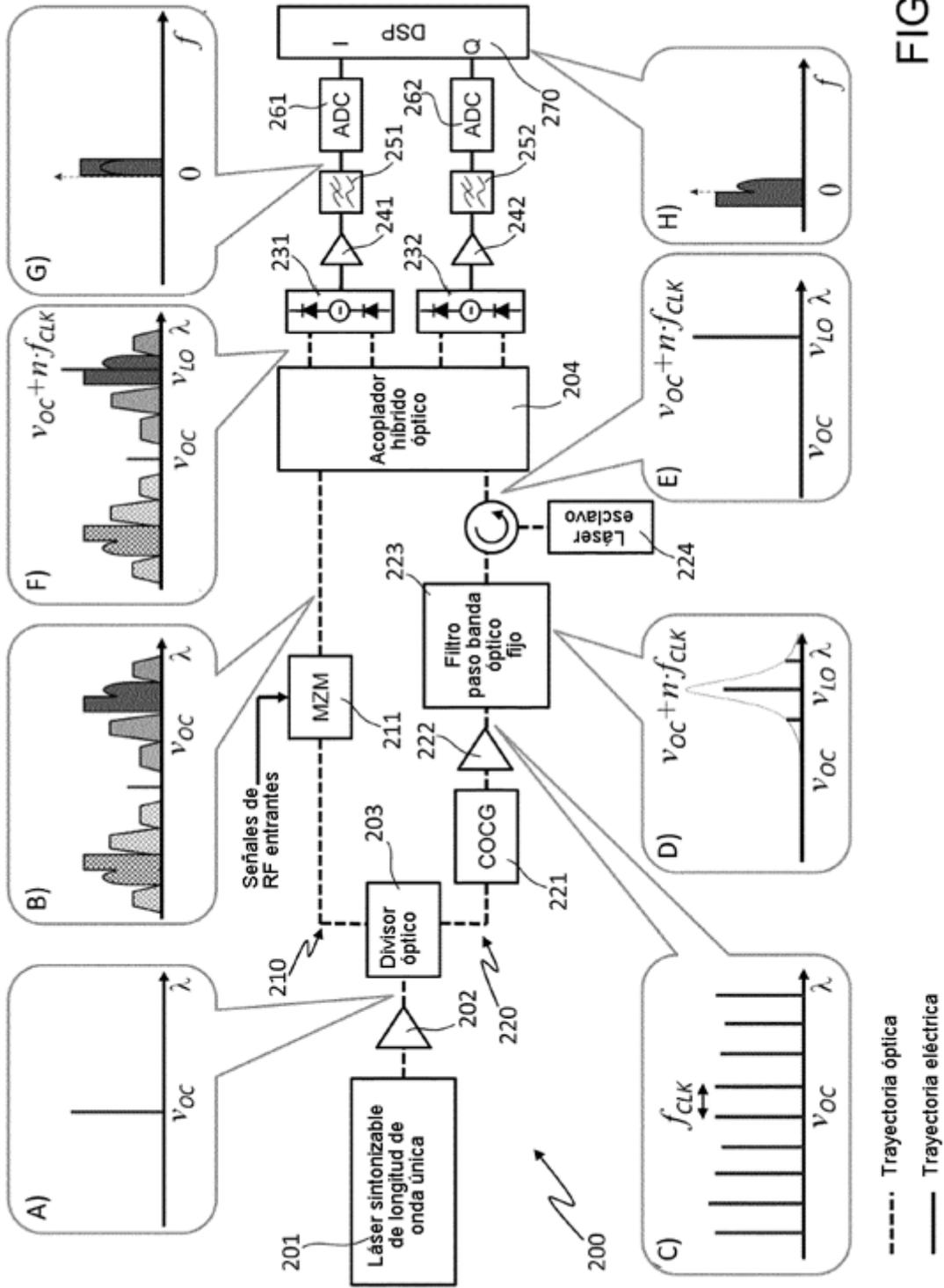


FIG.2