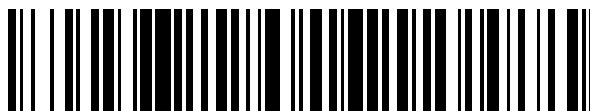


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 796 176**

51 Int. Cl.:

H04B 10/2575 (2013.01)

H03D 7/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.08.2016 PCT/US2016/047396**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.02.2017 WO17031227**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.08.2016 E 16837765 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.04.2020 EP 3338380**

54 Título: **Receptor fotónico multicanal integrado**

30 Prioridad:

18.08.2015 US 201562206815 P

16.08.2016 US 201615238635

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

26.11.2020

73 Titular/es:

LOCKHEED MARTIN CORPORATION (100.0%)

6801 Rockledge Drive

Bethesda, MD 20817-1877, US

72 Inventor/es:

KARRAS, THOMAS WILLIAM y

ROBERTSON, STEPHEN VOIERS

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 796 176 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

Receptor fotónico multicanal integrado

5 Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

Esta solicitud reivindica los derechos de prioridad bajo el Título 35 del Código de Estados Unidos, § 119 de la Solicitud de Patente Provisional de Estados Unidos 62/206.815 presentada el 18 de agosto de 2015.

10 Campo de la invención

La presente invención se refiere por lo general al procesamiento de señal óptica, y más particularmente, a un receptor fotónico multicanal integrado.

15 Antecedentes

Los módulos fotónicos de un solo canal se utilizan un número de aplicaciones, por ejemplo, en aplicaciones de comunicaciones y guerra electrónica (EW). Un módulo fotónico de un solo canal puede proporcionar conversión electrónica a óptica, traslación de frecuencia en un amplio intervalo de frecuencia (por ejemplo, 100 MHz a 100 GHz y más allá), y filtrado multipolo MHz-GHz. Los módulos fotónicos de un solo canal pueden proporcionar además comunicación remota por fibra óptica, combinatoria, división y cambio, y conversión de óptica a electrónica en un paquete que puede ser más pequeño (por ejemplo, aproximadamente 10x), más ligero y más barato que el que proporcionan otras tecnologías. Sin embargo, muchas aplicaciones pueden requerir implementaciones multicanal que son igualmente compactas y cumplen un número de requisitos de rendimiento, incluyendo potencia óptica, frecuencia de funcionamiento y requisitos de rendimiento de intervalo dinámico.

El documento EP 1 545 035 A1 se refiere a un dispositivo que tiene moduladores ópticos suministrados con señales de microondas multiplexadas respectivas y señales ópticas del oscilador local. Una unidad de conmutación y enrutamiento tiene entradas para recibir señales de salida de los respectivos moduladores y para enrutar las señales de acuerdo con una configuración predefinida hacia fotodetectores para entregar señales de radiofrecuencia de salida intermedia que son procesadas por los procesadores.

El documento US 2002/012495 A1 describe una pluralidad de moduladores que modulan respectivamente las señales de banda base ingresadas en señales IF que tienen diferentes frecuencias. Un multiplexor multiplexa la pluralidad de señales IF obtenidas por la modulación. Un convertidor eléctrico-óptico convierte las señales IF multiplexadas en señales ópticas a través de la modulación de intensidad. Una fuente de señal de oscilación local emite una señal de oscilación local predeterminada. Un modulador externo modula la intensidad de la señal óptica utilizando la señal de oscilación local. Una porción de ramificación óptica ramifica la señal óptica de intensidad modulada y, respectivamente, emite señales ópticas obtenidas por la ramificación a las estaciones base de radio. Un convertidor óptico-eléctrico convierte la señal óptica introducida en una señal eléctrica, para obtener una señal de RF obtenida mediante la conversión de frecuencia de la señal de IF. Solo un componente que tiene una frecuencia de radio deseada extraída en un filtro de banda de la señal de RF se transmite a un terminal de abonado desde una antena. P.J. Delfyett y *et. al.* describe en "Tecnologías Ultrarrápidas Avanzadas Basadas En Peines De Frecuencia Óptica" resultados en el desarrollo de nuevas tecnologías ultrarrápidas basadas en la generación y aplicación de peines de frecuencia óptica estabilizados, donde mediante el uso de nuevas técnicas de bloqueo de inyección de cavidad resonante activa, filtración, modulación y detección se pueden realizar directamente en componentes individuales del peine de frecuencia, lo que permite nuevos enfoques para la síntesis de formas de onda ópticas, detección de forma de onda y filtrado adaptado, con anchos de banda de procesamiento de señal efectivos superiores a 1 THz.

Un objetivo es proporcionar un sistema de receptor compacto y menos costoso o un circuito integrado compacto y menos costoso. Otro objeto es proporcionar un método eficaz para proporcionar un sistema de receptor de radiofrecuencia fotónico multicanal integrado. Tales objetos están resueltos, entre otros, por el sistema de receptor, el circuito integrado y el método de acuerdo con las reivindicaciones independientes. Otras realizaciones y desarrollos son el objeto de las reivindicaciones dependientes.

55 Sumario

De acuerdo con diversos aspectos de la tecnología objeto, se describen métodos y configuraciones para proporcionar un receptor multicanal integrado. El receptor multicanal integrado de la tecnología objeto ahorra elementos activos láser, mientras usa menos moduladores y filtros pasivos. La tecnología objeto utiliza un enfoque de bloqueo de inyección donde varios láseres de canal individuales, accionados por un solo láser oscilador, pueden impulsar cada canal, todos con la misma longitud de onda pero diferentes moduladores y señales de RF. En algunos aspectos, los láseres de canal son seguidos por moduladores y filtros de definición de canal, similar a un dispositivo de un solo canal.

En algunos otros aspectos, un sistema de receptor de radiofrecuencia (RF) fotónico multicanal integrado incluye un oscilador maestro que incluye una fuente láser configurada para generar luz láser. Una trayectoria de oscilador local

(LO) puede incluir un modulador de LO, un filtro de LO óptico y un amplificador óptico acoplado ópticamente entre sí y accionado por un generador de señal de LO. Múltiples canales de modulación de RF se acoplan a través de un conmutador óptico a un número de filtros de canal y se configuran para producir un número de señales ópticas moduladas de RF filtradas. Un combinador óptico puede combinar la señal de LO con cada señal óptica modulada por RF para generar señales ópticas convertidas hacia abajo o hacia arriba. Cada canal de la pluralidad de canales de modulación de RF incluye un láser de canal acoplado a un modulador de canal, y los láseres de canal de los canales de modulación de RF son alimentados por la luz láser del oscilador maestro.

En otros aspectos, un método para proporcionar un sistema de receptor de RF fotónico multicanal integrado incluye proporcionar un oscilador maestro para generar luz láser. Se proporciona una trayectoria de LO acoplando ópticamente un modulador de LO, un filtro de LO óptico y un amplificador óptico. Se proporcionan múltiples canales de modulación de RF. Cada canal incluye un láser de canal acoplado a un modulador de canal. La trayectoria LO y la pluralidad de canales de modulación de RF son alimentados por la luz láser generada por el oscilador maestro. Los canales de modulación de RF se acoplan a través de un conmutador óptico a un número de filtros de canal para producir señales ópticas moduladas de RF filtradas. Usando combinadores ópticos, la señal de LO se combina con la señal óptica filtrada modulada por RF respectiva para generar señales ópticas convertidas hacia abajo.

En otros aspectos adicionales, un sistema de receptor de RF fotónico multicanal para aplicaciones de vuelo espacial incluye un chip fuente láser para generar una luz láser portadora y un módulo LO alimentado por la luz láser portadora y configurado para generar una señal de LO. Un número N de canales de modulación de RF son alimentados por la luz láser portadora y se acoplan a través de un conmutador óptico NxM a un número M de filtros de canal para producir M señal óptica modulada por RF filtrada. El número = M es menor que N. Un combinador realiza un proceso heterodino al mezclar la señal de LO con las señales ópticas moduladas por RF filtradas M. Cada canal de los N canales de modulación RF incluye un láser de canal acoplado a un modulador de canal que está configurado para modular una salida del láser de canal con una señal de canal RF.

Lo anterior ha resaltado de forma bastante amplia las características de la presente divulgación para que la descripción detallada que sigue pueda ser entendida mejor. A continuación se describirán características y ventajas adicionales de la divulgación, que forman el objeto de las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

Para una comprensión más completa de la presente divulgación y sus ventajas, a continuación se hace referencia a las siguientes descripciones que deben tomarse junto con los dibujos adjuntos que describen los aspectos específicos de la divulgación, donde:

la Figura 1A es un diagrama de alto nivel que ilustra una arquitectura ejemplar de un sistema de receptor de radiofrecuencia (RF) fotónico multicanal integrado, de acuerdo con ciertos aspectos de la divulgación.

la Figura 1B es un diagrama que ilustra un ejemplo de implementación del sistema de receptor de la Figura 1A, de acuerdo con ciertos aspectos de la divulgación.

la Figura 2 es un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo de un método para proporcionar un sistema de receptor de RF fotónico multicanal integrado, de acuerdo con ciertos aspectos de la divulgación.

la Figura 3 ilustra variaciones ejemplares de ganancia y figura de ruido (NF) frente a la Vpi del modulador para un modulador de fase (PM) o un modulador de intensidad de acuerdo con ciertos aspectos de la divulgación.

Descripción detallada

La descripción detallada que se expone a continuación pretende ser una descripción de varias configuraciones de la tecnología objeto y no pretende representar las únicas configuraciones en las que se puede practicar la tecnología objeto. Los dibujos adjuntos se incorporan en el presente documento y constituyen una parte de la descripción detallada. La descripción detallada incluye detalles específicos con el fin de proporcionar una comprensión profunda de la tecnología objeto. Sin embargo, será claro y evidente para los expertos en la materia que la tecnología objeto no se limita a los detalles específicos establecidos en el presente documento y se puede practicar usando una o más implementaciones. En uno o más casos, las estructuras y componentes bien conocidos se muestran en forma de diagrama de bloques para evitar oscurecer los conceptos de la tecnología objeto.

La presente divulgación se refiere, en parte, a describir métodos y configuraciones para proporcionar un receptor multicanal integrado con grandes ventajas para aplicaciones espaciales y aerotransportadas. El receptor multicanal integrado de la tecnología objeto puede ser un solo módulo con varios canales, que permite la redundancia. Por ejemplo, puede haber un repuesto para varios canales activos que pueden bloquearse en una sola longitud de onda usando un acoplamiento de espacio libre o un acoplamiento basado en guías de onda en lugar del acoplamiento de fibra para reducir aún más el tamaño, masa y coste. Un problema específico con el acoplamiento de fibra es que puede no ser fácilmente integrable con los filtros de canal estrecho utilizados para separar las frecuencias de un receptor multicanal. El receptor multicanal integrado descrito en el presente documento incluye un número de características ventajosas. Por ejemplo, la tecnología objeto usa menos elementos activos láser, mientras que también usa menos moduladores y filtros pasivos, y evita el uso de acoplamiento de fibra entre los módulos

receptores, lo que resulta en un considerable ahorro de costes y reducción de tamaño y masa, lo que es de particular importancia para aplicaciones espaciales y aerotransportadas.

La Figura 1A es un diagrama de alto nivel que ilustra una arquitectura ejemplar de un sistema de receptor de radiofrecuencia (RF) fotónico multicanal integrado 100A, de acuerdo con ciertos aspectos de la divulgación. El sistema de receptor multicanal 100A incluye un oscilador láser maestro 110, una trayectoria de generación 120 del oscilador local (LO), canales de modulación de RF 130, un conmutador óptico 135, filtros de canal 136 y un combinador óptico 138. La trayectoria de generación de LO 120 incluye un generador de LO 122, un modulador de LO 124, un filtro de LO 126 y un amplificador óptico 128. Los canales de modulación de RF 130 incluyen un número N (por ejemplo, 4, 7 o más) de canales de modulación de RF acoplados a través del conmutador óptico 135 a los filtros de canal 136. Cada canal de modulación de RF incluye un láser de canal 132-1 (por ejemplo, de 132-1 a 132-N) acoplado a un modulador de canal 134-1 (por ejemplo, de 134-1 a 134-N). Los filtros de canal 136 incluyen un número M de filtros de canal (por ejemplo, 136-1 a 136-M). En algunos aspectos, el conmutador óptico 135 está controlado por una red de conmutación óptica apropiada dentro del paquete integrado del receptor multicanal.

El sistema de receptor multicanal 100A permite la redundancia del canal de modulación de RF proporcionando N canales de modulación de RF y permitiendo que M de estos canales sean seleccionados por el conmutador óptico 135 para operaciones en un momento dado. Una característica importante de la divulgación objeto es el uso de un solo oscilador láser (por ejemplo, oscilador maestro 110) para proporcionar potencia láser a otros láseres del receptor y una única trayectoria de LO (por ejemplo, 120) a ser compartida con todos los canales de modulación de RF 130. Por ejemplo, el oscilador maestro 110 puede proporcionar potencia láser al modulador de LO 124, el amplificador de LO 128 y cada uno de los láseres de canal 132.

En algunos aspectos, el oscilador maestro 110 genera una luz láser (por ejemplo, una luz láser portadora) a una longitud de onda de aproximadamente 1550 nanómetros (nm) para que sea compatible con las características de los componentes de telecomunicaciones (aprovechando así esa gran base tecnológica). La longitud de onda del oscilador maestro 110 puede ser controlable, para que el oscilador maestro 110 sea compatible con el bloqueo de longitud de onda a un filtro. El oscilador maestro 110 puede tener un ancho de línea lo suficientemente estrecho para ser compatible con la canalización de clase MHz y/o el ruido de intensidad relativa (RIN) que sea lo suficientemente bajo como para no dominar el ruido del receptor. Por ejemplo, un láser de retroalimentación distribuida de semiconductores (DFB) que puede satisfacer los requisitos anteriores puede usarse para el oscilador maestro 110. Se pueden usar otras fuentes láser con otras características si son lo suficientemente pequeñas.

En uno o más aspectos, el generador eléctrico de LO 122 es un oscilador optoelectrónico que genera una señal eléctrica de LO 123, y que puede derivarse de la luz láser 112 del oscilador maestro 110, o de una fuente de luz láser separada. La señal de LO eléctrica 123 es utilizada por el modulador de LO 124 para modular la luz láser 112 para generar una señal de LO óptica 125 que es filtrada por el filtro de LO 126 y amplificada por el amplificador de LO 128 para generar la señal de LO 129. La frecuencia de LO de la señal de LO 123 está relacionada con una frecuencia portadora de las señales RF utilizadas por el canal 130 de modulación RF. Por ejemplo, si la frecuencia portadora de las señales de RF está dentro del intervalo de 27-30 GHz, la frecuencia de LO de la señal de LO 123 se puede elegir para que sea de 10 GHz para producir un cambio con respecto a la frecuencia portadora de las señales de RF y habilitar las señales de salida dentro del intervalo de 17-20 GHz. La señal óptica LO 125 incluye tres tonos, incluyendo una banda lateral superior centrada a la frecuencia de (fSO + fLO) y una banda lateral inferior centrada a la frecuencia de (fSO - fLO), donde fSO y fLO son frecuencias asociadas con el oscilador maestro 110 y el LO, respectivamente. La función del filtro de LO 126 es separar uno de estos tonos deseados, por ejemplo, la banda lateral inferior, como la señal de LO deseada 127, que después de la amplificación se representa como la señal de LO 129. La amplificación de LO puede realizarse como un láser bloqueado por inyección (ILL) inyectado con luz láser 127 desde la salida del filtro de LO 126 para preservar las características de bajo ruido en la señal de LO 129.

Volviendo a los canales de modulación de RF 130, los láseres de canal 132 (por ejemplo, 132-1) son láseres bloqueados por inyección inyectados con la luz láser 112 del oscilador maestro 110 y sus longitudes de onda están bloqueadas a la longitud de onda operativa (por ejemplo, 1550 nm) del oscilador maestro 110. Por su relación con el oscilador maestro 110, los láseres de canal 132 se denominan también láseres esclavos. La salida de luz láser de los láseres de canal 132 se modula a través de los moduladores 134 por las respectivas señales de RF (por ejemplo, RF1 a RFN). Algunas de las señales ópticas moduladas por RF (por ejemplo, las salidas del conmutador óptico 135) se envían a los filtros de canal 136 para su filtrado.

Las señales ópticas moduladas por RF incluyen tres tonos, incluyendo una banda lateral superior centrada a la frecuencia de (fSO + fRF) y una banda lateral inferior centrada a la frecuencia de (fSO - fRF), donde fRF es la frecuencia asociada con la señal de RF respectiva (por ejemplo, RF1). La función de los filtros de canal 136 (por ejemplo, 136-1 a 136-M) es separar uno de estos tonos deseados, por ejemplo, la banda lateral inferior. La banda deseada de la señal óptica modulada por RF 137-1 (por ejemplo, de 137-1 a 137-M) separada por los filtros de canal 136 se mezcla, por el combinador óptico 138, con la señal de LO 129 para generar una señal modulada AARF convertida hacia abajo o convertida hacia arriba 139-1 (por ejemplo, de 139-1 a 139-M) en la salida1 del combinador óptico 138.

La figura 1B es un diagrama que ilustra un ejemplo de implementación 100B del sistema de receptor 100A de la Figura 1A, de acuerdo con ciertos aspectos la divulgación. La estructura del receptor como se muestra en la implementación 100B, es similar a la arquitectura 100A de la Figura 1A, excepto por la adición del circuito de bloqueo 140 descrito aquí. La descripción anterior de la arquitectura 100A se basó en los aspectos de funcionalidad del receptor multicanal, donde la operación multicanal con una sola fuente láser (por ejemplo, oscilador maestro 110) y una única trayectoria de generación de LO (por ejemplo, 120) se ha explicado. La descripción en el presente documento se centra en los aspectos de implementación del receptor multicanal como un paquete integrado como un circuito fotónico integrado (IC) o un IC fotónico híbrido con un número de chips integrados en un solo sustrato (por ejemplo, un sustrato metálico). Se muestra la implementación con óptica de acoplamiento (CO) entre elementos de sustrato.

La implementación 100B, incluye cuatro canales de modulación de RF formados por los láseres de canal bloqueado por inyección (ILL) 132-1 a 132-4 y cuatro moduladores (Mds) 134-1 a 134-4. El conmutador óptico 135 es un conmutador 4x3 que puede seleccionar tres de los cuatro canales de modulación de RF para acoplarlos a los filtros de canal 136-1 a 136-3. Como se ve en la Figura 1B, se implementa el amplificador óptico LO 128, con redundancia 2:1 utilizando dos láseres bloqueados por inyección (ILL), de modo que en un momento dado solo se esté utilizando uno de los ILL 128. En algunos aspectos, se pueden usar varias trayectorias de LO 120 independientes para permitir el cambio en la señal de LO mezclada con una señal de canal modulada RF dada.

En una o más implementaciones, el oscilador maestro 110 está acoplado ópticamente mediante óptica de acoplamiento (CO) al modulador de LO (Md) 1 24 y los láseres de canal (ILL) 132. Los bloques de CO, como se muestra en varias secciones de la Figura 1B, pueden representar acoplamientos de fibra no óptica, como el acoplamiento basado en guía de ondas o el acoplamiento de espacio libre a través de elementos ópticos autónomos independientes. En algunos aspectos, el oscilador maestro 110 es un láser de retroalimentación distribuida en semiconductores de escala milimétrica con una longitud de onda operativa de 1550 nm. El oscilador maestro 110 puede ser un dispositivo con capacidad de salida de 500 mw operado a una potencia óptica de salida suficiente para bloquear todos los láseres esclavos, tales como el modulador de LO 124 y los láseres de canal 132. En algunos aspectos, cada uno de los láseres de canal 132 (por ejemplo, 132-1 a 132-4) es un ILL que puede ser un dispositivo con capacidad de salida óptica de 500 mWatt operado en su punto de máxima eficacia eléctrica a una salida óptica de aproximadamente 100 mWatt. Los láseres de cuatro canales 120 pueden requerir una entrada de oscilador láser de unos pocos (por ejemplo, 5) mWatt y el amplificador óptico de LO 128 pueden requerir una entrada de oscilador láser de aproximadamente diez mWatts para mantener un ancho de banda (BW) de 30 GHz, por tanto, el oscilador láser maestro 110 tendría que producir un total de aproximadamente 15 mWatt. Este nivel de potencia es un nivel tan bajo que permite una vida útil significativamente larga para el oscilador láser maestro 110. Por lo tanto, el oscilador maestro 110 puede no requerir redundancia, tal como se suministra para los láseres de canal 132.

En algunos aspectos, el generador de señal de LO 122 es pequeño (por ejemplo, oscilador optoelectrónico de menos de 1 cm) que se puede implementar como un módulo separado o integrado con el paquete del receptor multicanal. En algunas implementaciones, se puede usar un oscilador sintonizable como generador de señal de LO 122 que permite la máxima agilidad y compacidad del sistema. En una o más implementaciones, el modulador de LO 124 y los moduladores de canal 134 son moduladores de fase de guía de onda de escala centimétrica o inferior, tales como moduladores de fase de guía de onda de niobato de litio (LiNb) de menos de dos cm que funcionan a frecuencias de hasta 100 GHz y superiores. Los moduladores de canal de RF 134 pueden recibir señales de RF RF1 a RF4 (por ejemplo, señales de enlace ascendente) a través de conectores eléctricamente conductores 150. El generador de LO 122 puede estar conectado al modulador de LO 124 y/o al oscilador maestro 110.

Los moduladores de canal 134 pueden modular las señales de RF en el portador óptico (por ejemplo, luz láser desde el oscilador maestro 110 y los láseres de canal ILL 132) con un ancho de banda de hasta al menos 100 GHz, por ejemplo, para ser compatible con los requisitos de velocidad de datos proyectados. Una capacidad de ancho de banda más limitada (por ejemplo, 5-30 GHz) puede ser adecuada para algunas aplicaciones. La capacidad de manejo de potencia óptica para los moduladores de canal 134 puede ser compatible con la del oscilador maestro 110. Los moduladores de canal 134 y el modulador de LO 124 son capaces de modular señales de RF y señales LO en el portador óptico con un ancho de banda requerido para la traducción de frecuencia desde frecuencias de enlace ascendente (por ejemplo, 20 GHz) a frecuencias de enlace descendente (por ejemplo, 1 GHz).

Los ejemplos de los moduladores de canal 134 incluyen moduladores de fase de guía de onda de niobato de litio miniatura (por ejemplo, escala centimétrica). El modulador de fase de guía de onda de niobato de litio tiene un número de ventajas sobre el modulador de amplitud de electroabsorción (EAM) y los dispositivos basados en el interferómetro Mach Zehnder (MZI) que incluyen una ganancia mejorada y una figura de ruido como se describe a continuación. Un modulador de fase de guía de onda de niobato de litio adecuado tiene una V_{π} baja (por ejemplo, una tensión requerida para cambiar la fase en 180 grados) y una baja pérdida óptica, puede manejar alta potencia óptica (> 1-2 vatios), puede soportar gran ancho de banda (> 100 GHz) y puede caber en paquetes pequeños. Otros tipos similares de moduladores ópticos, por ejemplo, moduladores basados en el fosforo de indio MZI (MZM) se pueden utilizar. En algunos aspectos, los moduladores de canal 134 y/o el modulador de LO 124 pueden ser moduladores de intensidad o moduladores de fase. Las características de rendimiento de estos moduladores se

analizan a continuación.

El filtro de canal 136 puede incluir uno o más polos ópticos de RF (por ejemplo, Filtros de 5-9 polos) con bandas de paso que cumplen con los requisitos del sistema de comunicación (por ejemplo, ancho de canal de 1 MHz a 1 GHz de 3 dB, ondulación inferior a 0,5 dB y rechazo fuera de banda de 70 dB). Los filtros de paso de banda (BPF) pueden incluir filtros Fabry-Pérot (FP), filtros resonadores de modo de galería susurrantes (WGMR), filtros resonadores de anillo plano o filtros de rejilla de fibra Bragg. En algunos aspectos, se pueden utilizar arquitecturas de filtro de borde afilado como Chebyshev y filtros elípticos. Los filtros también pueden facilitar el bloqueo de longitud de onda de la fuente láser. El manejo de la potencia óptica del filtro y la pérdida de inserción no limitan la recuperación de la señal de RF a la salida del sistema. Por ejemplo, Se puede usar un filtro que pueda manejar una potencia óptica de aproximadamente 10-100 mWatt con menos de aproximadamente 1 dB de pérdida en la banda de paso. Como alternativa, en algunos aspectos, pueden ser aceptables pérdidas mayores como 2 a 7dB. En algunos aspectos, el filtro de LO 126 es un conjunto monolítico de resonadores a escala milimétrica, como un resonador de modo de galería susurrante independiente (WGMR).

De acuerdo con algunos aspectos de la tecnología objeto, los filtros a escala centimétrica deben satisfacer los requisitos anteriores y podrían proporcionar la frecuencia central y la sintonización del ancho del canal. Los filtros que se basan en un conjunto monolítico de varios filtros de muy alto Q y WGMR pueden ser los más adecuados para bandas de paso de 1-100 MHz. Los filtros Fabry-Perot, los filtros resonadores de anillo plano o los filtros de rejilla de fibra Bragg pueden ser los más adecuados para bandas de paso superiores a 100 MHz. El diseño específico del filtro, particularmente el número de polos utilizados, depende de los requisitos de la banda de paso.

En algunos aspectos, el circuito de bloqueo 140 está acoplado ópticamente a través de un bloque de CO al filtro óptico de LO 126 y acoplado eléctricamente al oscilador maestro 110. El circuito de bloqueo 140 puede generar una señal de corrección de longitud de onda eléctrica, basado en un componente de una salida óptica del filtro óptico de LO 126, para facilitar la estabilidad de la longitud de onda del oscilador maestro 110.

La tecnología objeto no se limita al uso de estos filtros dentro de estos intervalos de frecuencia ejemplares. A medida que las diversas tecnologías de filtro maduran, estos y otros filtros se pueden utilizar para varias bandas de paso.

Los láseres de canal operativos 132 pueden seleccionarse mediante conmutación de potencia y enrutamiento entre los láseres de canal 132, y los moduladores de canal 134 pueden seleccionarse mediante el conmutador óptico 135 (por ejemplo, un conmutador 4x3), implementado dentro del paquete integrado, para su enrutamiento al filtro de canal 136. Las fuentes láser, moduladores, y filtros, matrices de conmutadores y paquetes de espacio libre acoplados microópticamente apropiados se pueden usar para implementar el receptor multicanal integrado con la redundancia de componentes requerida

La Figura 2 es un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo de un método 200 para proporcionar un sistema de receptor de RF fotónico multicanal integrado (por ejemplo, 100A de la Figura 1A), de acuerdo con ciertos aspectos la divulgación. El método 200 incluye proporcionar un oscilador maestro (por ejemplo, 110 de la Figura 1A o la Figura 1B) para generar luz láser (por ejemplo, 112 de la Figura 1A) (210). Una trayectoria de LO (por ejemplo, 120 de la Figura 1A) se proporciona para generar una señal de LO (por ejemplo, 129 de la Figura 1A) acoplando ópticamente un generador de LO (por ejemplo, 122 de la Figura 1A o la Figura 1B), un modulador de LO (por ejemplo, 124 de la Figura 1A o la Figura 1B), un filtro óptico de LO (por ejemplo, 126 de la Figura 1A o la Figura 1B), y un amplificador óptico (por ejemplo, 128 de la Figura 1A o la Figura 1B) (220). Un número de canales de modulación de RF (por ejemplo, 130 de la Figura 1A) se proporcionan, donde cada canal incluye un láser de canal (por ejemplo, uno de 132 de la Figura 1A o la Figura 1B) acoplado a un modulador de canal (por ejemplo, uno de 134 de la Figura 1A o la Figura 1B) (230). La luz láser generada por el oscilador maestro puede usarse para alimentar y bloquear una longitud de onda operativa de los láseres de la trayectoria de LO y los canales de modulación de RF (240). Los canales de modulación de RF están acoplados a través de un conmutador óptico (por ejemplo, 135 de la Figura 1A o la Figura 1B) a un número de filtros de canal (por ejemplo, 136 de la Figura 1A o la Figura 1B) para producir señales ópticas filtradas moduladas por RF (por ejemplo, 137 de la Figura 1A) (250). Perder un combinador óptico (por ejemplo, 138 de la Figura 1A o la Figura 1B), la señal de LO se combina con cada señal óptica filtrada modulada por RF para generar señales ópticas convertidas hacia abajo (o convertidas hacia arriba) (por ejemplo, 139 de la Figura 1A) (260).

La Figura 3 ilustra la variación ejemplar de las gráficas de figura de ganancia y ruido (NF) 300 frente al a la Vpi del modulador para un modulador de fase (PM) o un modulador de intensidad de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación. Las gráficas 300 incluyen una gráfica 310 de ganancia y una gráfica 320 de NF correspondiente al uso de un modulador de fase (por ejemplo, un modulador de fase de guía de onda de niobato de litio en miniatura) y un gráfico 330 de ganancia y un gráfico 340 de NF correspondiente al uso de un modulador de intensidad (por ejemplo, un modulador de niobato de litio miniatura MZI). Los resultados muestran que usar el modulador de fase puede producir una ganancia más alta y valores de NF más bajos que usar un modulador de intensidad.

En algunos aspectos, la tecnología objeto (por ejemplo, el sistema de receptor mostrado en la Figura 1B) incluye integración híbrida de microópticas o rejillas de espacio libre con componentes fotónicos. Esta integración híbrida

5 permite un coste relativamente menor y una modificación y personalización más rápidas de un receptor frontal de RF fotónico para aplicaciones particulares en comparación con la fabricación de nuevos chips que integran completamente los componentes ópticos y electrónicos (por ejemplo, integración heterogénea). Cuando se necesitan grandes cantidades de elementos totalmente integrados, sin embargo, un enfoque de integración heterogéneo podría ser un enfoque más adecuado.

10 La descripción de la tecnología objeto se proporciona para permitir a cualquier persona experta en la técnica ponga en práctica los diversos aspectos descritos en el presente documento. Si bien la tecnología objeto se ha descrito particularmente con referencia a las diversas Figuras y aspectos, debe entenderse que estos son solo para fines ilustrativos y no deben considerarse como limitativos del alcance de la tecnología objeto.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de receptor de radiofrecuencia, RF, fotónico multicanal integrado (100A, 100B), comprendiendo el sistema (100A, 100B):
- 5 un oscilador maestro (110) que comprende una fuente láser configurada para generar luz láser; una trayectoria de oscilador local, LO, (120) que comprende un generador de LO (122), un modulador de LO (124), un filtro de LO óptico (126) y un amplificador óptico (128) acoplado ópticamente y configurado para generar una señal de LO, donde el modulador de LO (124) está acoplado al oscilador maestro (110) y el generador de LO (122) está acoplado al modulador de LO (124) y está configurado para generar una señal eléctrica;
- 10 una pluralidad de canales de modulación de RF (130); una pluralidad de filtros de canal (136-1, ..., 136-M) acoplados a la pluralidad de canales de modulación de RF (130) y configurados para producir una pluralidad de señales ópticas moduladas de RF filtradas;
- 15 un conmutador óptico (135) configurado para acoplar la pluralidad de canales de modulación de RF a la pluralidad de filtros de canal (136-1, ..., 136-M); y un combinador óptico (138) configurado para combinar la señal de LO con cada señal óptica modulada por RF filtrada de la pluralidad de señales ópticas moduladas por RF filtradas para generar señales ópticas convertidas hacia arriba o hacia abajo, donde:
- 20 cada canal de la pluralidad de canales de modulación de RF (130) incluye un láser de canal (132-1, ..., 132-N) acoplado a un modulador de canal (134-1, ..., 134-N), y la trayectoria de LO (120) y los láseres de canal (132-1, ..., 132-N) de la pluralidad de canales de modulación de RF (130) son alimentados y bloqueados por una longitud de onda a una longitud de onda operativa de la luz láser del oscilador maestro (110).
- 25 2. El sistema (100A, 100B) de la reivindicación 1, donde la pluralidad de canales de modulación de RF (130) comprende N canales de modulación de RF y el conmutador óptico (135) comprende un conmutador óptico NxM configurado para acoplar selectivamente M canales de los N canales de modulación de RF a filtros de canal M (136-1, ..., 136M), y donde M es menor que N.
3. El sistema (100A, 100B) de la reivindicación 1, donde el generador de LO (122) comprende un oscilador optoelectrónico configurado para generar una señal de LO eléctrica basada en la luz láser del oscilador maestro (110) u otra fuente de luz láser.
- 35 4. El sistema (100A) de la reivindicación 1, donde el oscilador maestro (110) comprende un láser de retroalimentación distribuida en semiconductores de escala milimétrica con una longitud de onda operativa de 1550 nanómetros, y donde el láser del canal (132) comprende un láser bloqueado por inyección bloqueado a la longitud de onda operativa del oscilador maestro (110).
- 40 5. El sistema (100A, 100B) de la reivindicación 1, donde el modulador de LO (124) y el modulador de canal (134) comprenden moduladores de fase de guía de ondas de escala centimétrica o inferior, donde moduladores de fase de guía de ondas de escala centimétrica o inferior comprenden moduladores de fase de guía de onda de niobato de litio de menos de dos cm que funcionan a frecuencias de hasta 100 GHz y superiores.
- 45 6. El sistema (100A, 100B) de la reivindicación 1, donde el modulador de canal (134) está configurado para modular una luz de salida del láser de canal (132) con una señal de canal de RF para generar una señal óptica modulada por RF.
- 50 7. El sistema (100A, 100B) de la reivindicación 1, donde cada uno de la pluralidad de filtros de canal (136-1, ..., 136-M) comprende un filtro Fabry-Pérot, un filtro resonador de modo galería susurrante, un filtro resonador de anillo plano o un filtro de rejilla de fibra Bragg configurado para separar una banda espectral deseada de una señal óptica modulada por RF de un modulador de canal respectivo.
- 55 8. El sistema (100A, 100B) de la reivindicación 1, donde el filtro óptico de LO (126) comprende un conjunto monolítico de resonadores de modo de galería susurrantes autónomos de escala milimétrica configurados para separar una banda espectral deseada de una señal óptica modulada por LO del modulador de LO (124).
9. El sistema (100B) de la reivindicación 8, que comprende además un circuito de bloqueo (140) configurado para generar una señal eléctrica de corrección de longitud de onda, basado en un componente de una salida óptica del filtro óptico de LO (126), para facilitar la estabilidad de la longitud de onda del oscilador maestro (110), y donde el amplificador óptico (128) comprende un láser bloqueado por inyección y está acoplado ópticamente al combinador óptico (138).
- 60 10. El sistema (100A, 100B) de la reivindicación 1, donde los acoplamientos ópticos entre los componentes ópticos del sistema se logran mediante el acoplamiento de espacio libre o el acoplamiento basado en la guía de ondas, y
- 65

donde el sistema está completamente integrado como un circuito integrado fotónico único o un circuito integrado fotónico híbrido.

5 11. Un método (200) para proporcionar un sistema de receptor de radiofrecuencia, RF, fotónico multicanal integrado (100A, 100B), comprendiendo el método:

proporcionar (210) un oscilador maestro (110) para generar luz láser;
 proporcionar (220) una trayectoria de oscilador local, LO (120) para generar una señal de LO acoplado ópticamente un modulador de LO (124) accionado por un generador de LO (124), un filtro óptico de LO (126) y un amplificador óptico (128);
 10 proporcionar (230) una pluralidad de canales de modulación de RF (130), incluyendo cada canal de la pluralidad de canales de modulación de RF (130) un láser de canal (132-1, 132-N) acoplado a un modulador de canal (134-1, ..., 134-N);
 15 usar (240) la luz láser generada por el oscilador maestro (110) para alimentar y bloquear una longitud de onda operativa de láseres de la trayectoria de LO (120) y la pluralidad de canales de modulación de RF (130);
 acoplar (250) la pluralidad de canales de modulación de RF a través de un conmutador óptico (135) a una pluralidad de filtros de canal (136-1, ..., 136-M) para producir una pluralidad de señales ópticas moduladas por RF filtradas; y
 20 combinar (260), utilizando combinadores ópticos (138), la señal de LO con cada señal óptica filtrada modulada por RF de la pluralidad de señales ópticas filtradas moduladas por RF para generar señales ópticas convertidas hacia arriba o hacia abajo.

12. El método (200) de la reivindicación 11, donde la pluralidad de canales de modulación de RF (130) comprende N canales de modulación de RF y el conmutador óptico (135) comprende un conmutador óptico NxM, y donde el acoplamiento (250) de la pluralidad de canales de modulación de RF (130) a través del conmutador óptico (135) a la pluralidad de filtros de canal (136-1, ..., 136-M) comprende configurar el conmutador óptico (135) para acoplar selectivamente M canales de los N canales de modulación de RF a M filtros de canal, y donde M es menor que N.

13. El método (200) de la reivindicación 11, que comprende además:

30 configurar el generador de LO (122) para generar una señal de LO eléctrica basada en la luz láser del oscilador maestro (110) u otra fuente de luz láser; y
 configurar el modulador de canal (134) para modular la luz de salida del láser de canal (132) con una señal de canal de RF para generar una señal óptica modulada por RF.

14. El método (200) de la reivindicación 11, que comprende además configurar un circuito de bloqueo (140) para generar en base a un componente de una salida óptica del filtro óptico de LO (126), una señal eléctrica de corrección de longitud de onda para facilitar la estabilidad de la longitud de onda del oscilador maestro (110).

40 15. Un circuito fotónico integrado que comprende:

un chip fuente láser configurado para generar una luz láser portadora;
 un oscilador local, LO, circuito acoplado al chip fuente láser y alimentado por la luz láser portadora y configurado para generar una señal de LO;
 45 un número N de canales de modulación de RF (130) acoplados al chip de fuente láser y alimentados por la luz láser portadora;
 un número M de filtros de canal;
 un conmutador óptico NxM (135) configurado para acoplar el número N de canales de modulación RF al número M de filtros de canal (136-1, ..., 136-M), donde el número M de filtros de canal (136-1, ..., 136-M) se configura para producir M señales ópticas moduladas por RF filtradas, donde M es menor que N; y
 50 un combinador (138) configurado para realizar un proceso heterodino mezclando la señal de LO con las señales ópticas moduladas por RF filtradas M,
 donde cada canal de los N canales de modulación de RF (135) incluye un láser de canal (132-1, ..., 132-N) acoplado a un modulador de canal (134-1, ..., 134-N) que está configurado para modular una salida del láser de canal (132-1, ..., 132-N) con una señal de canal de RF.

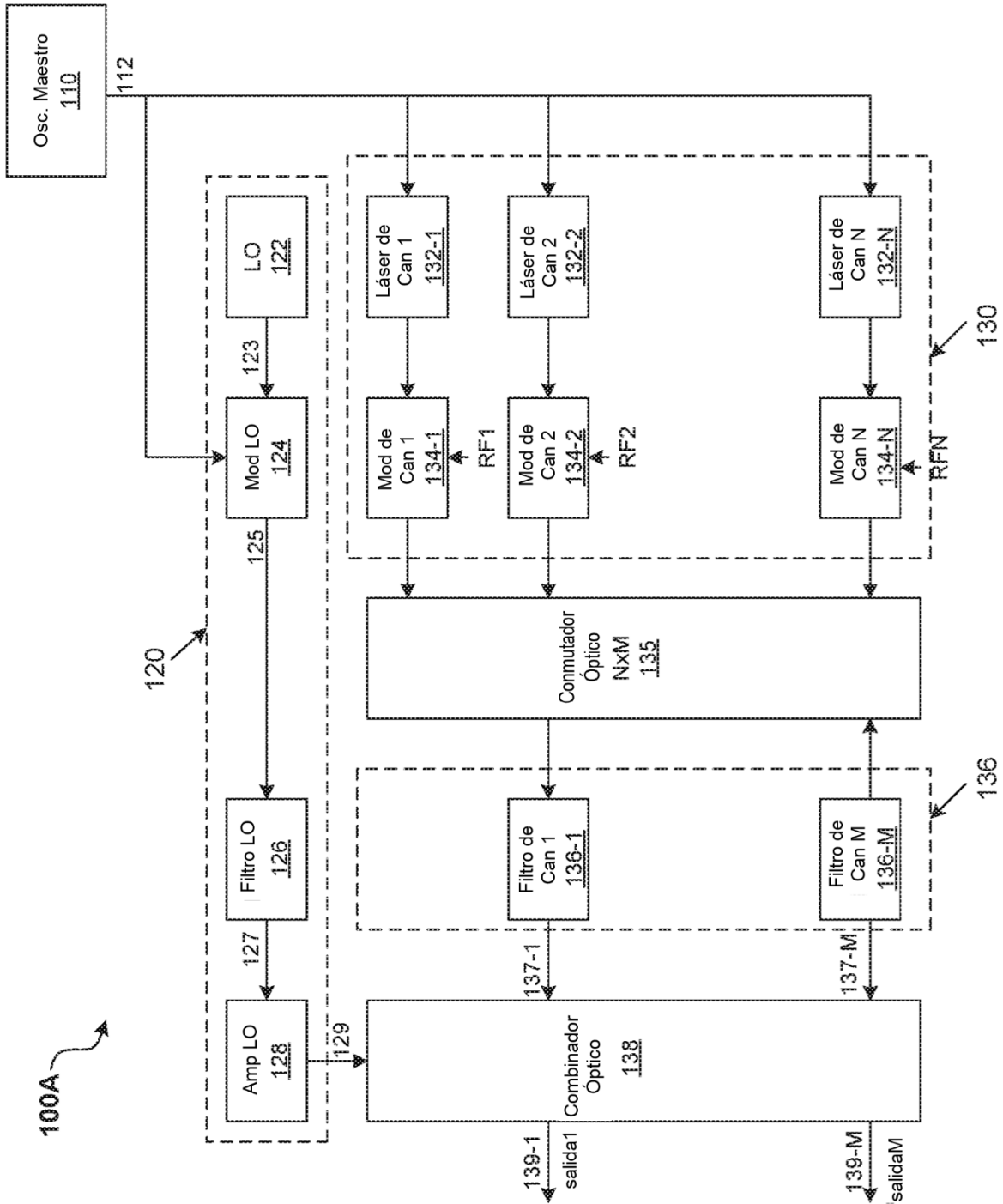


FIG. 1A

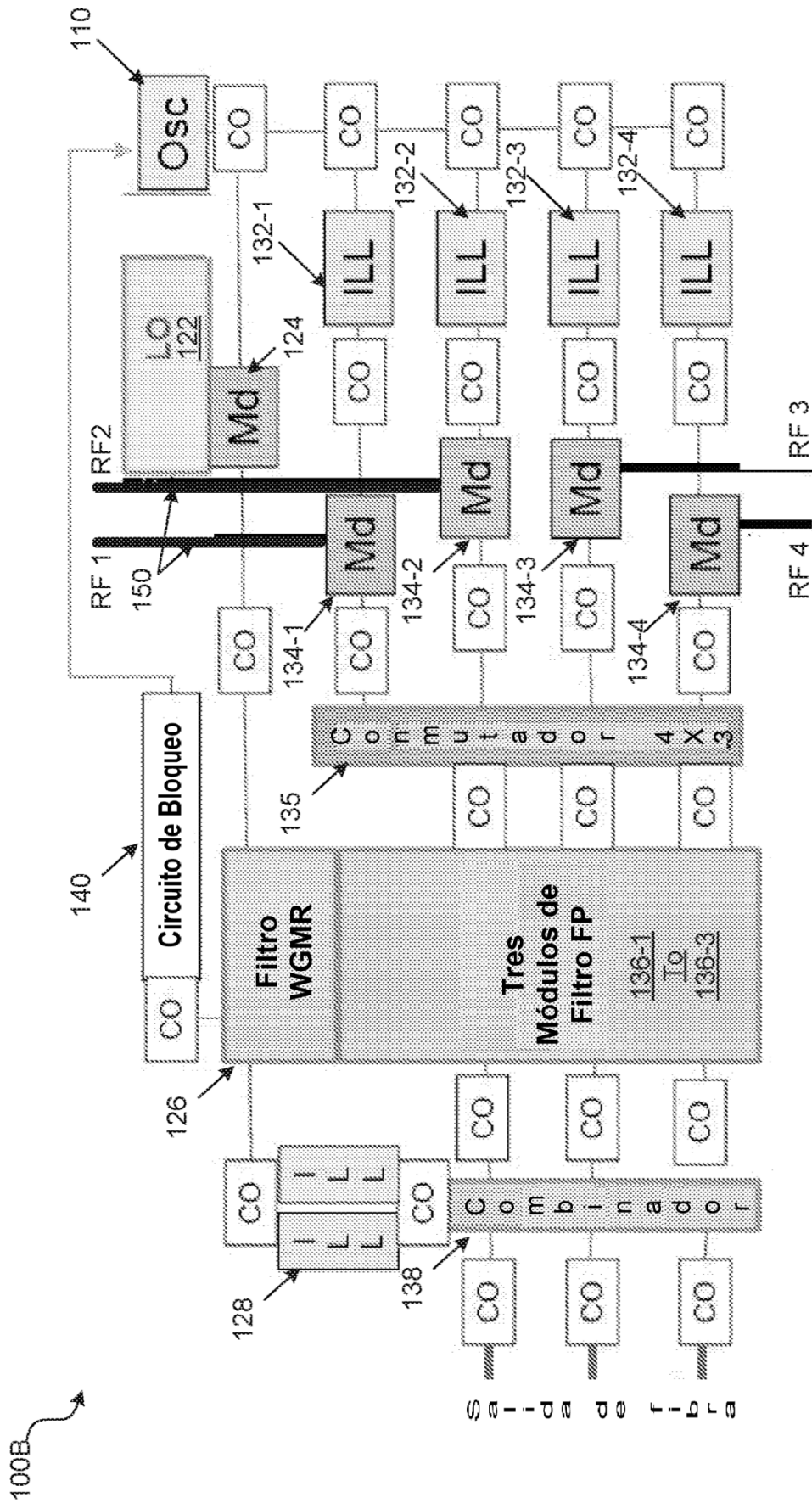


FIG. 1B

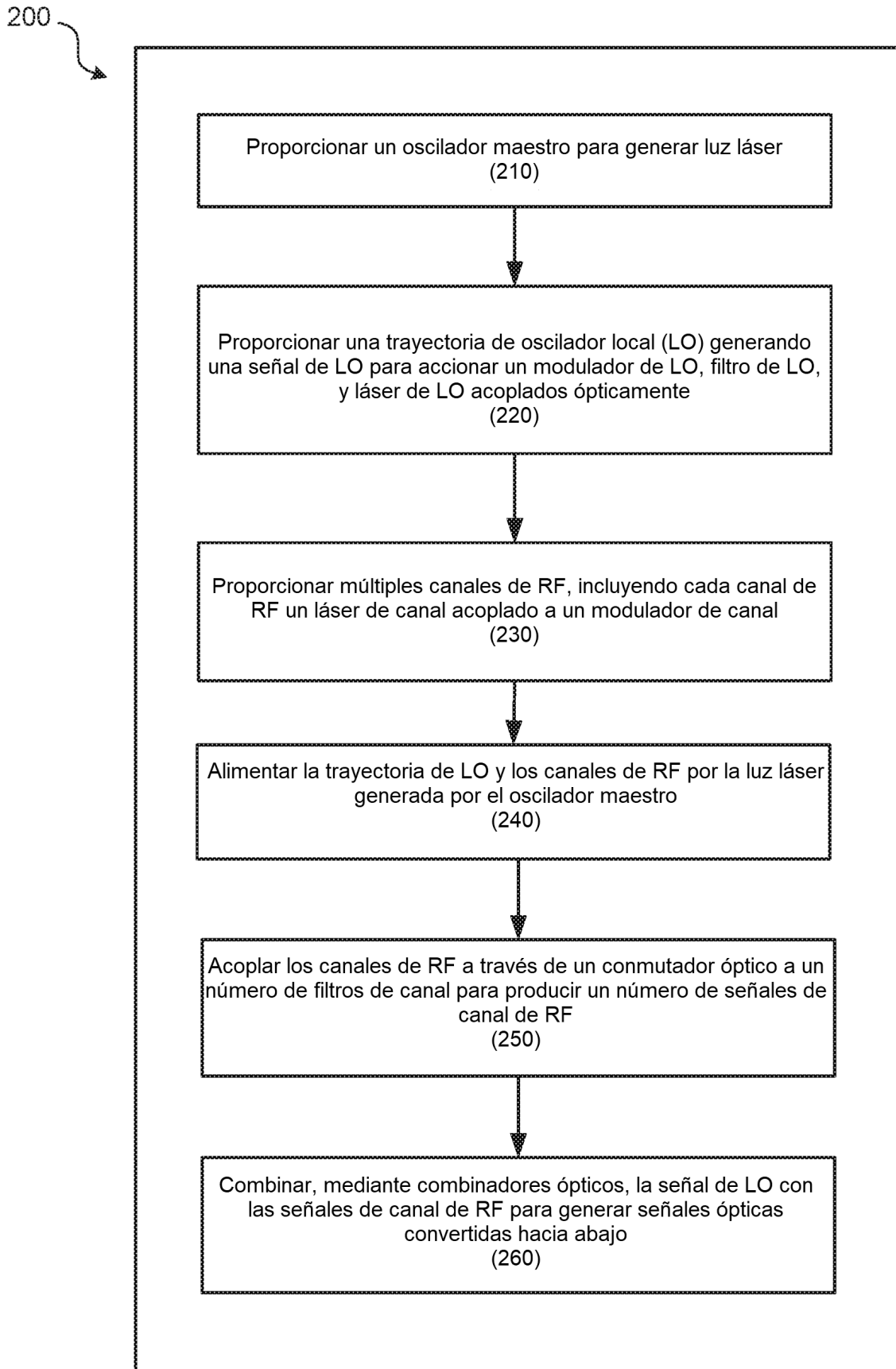


FIG. 2

300

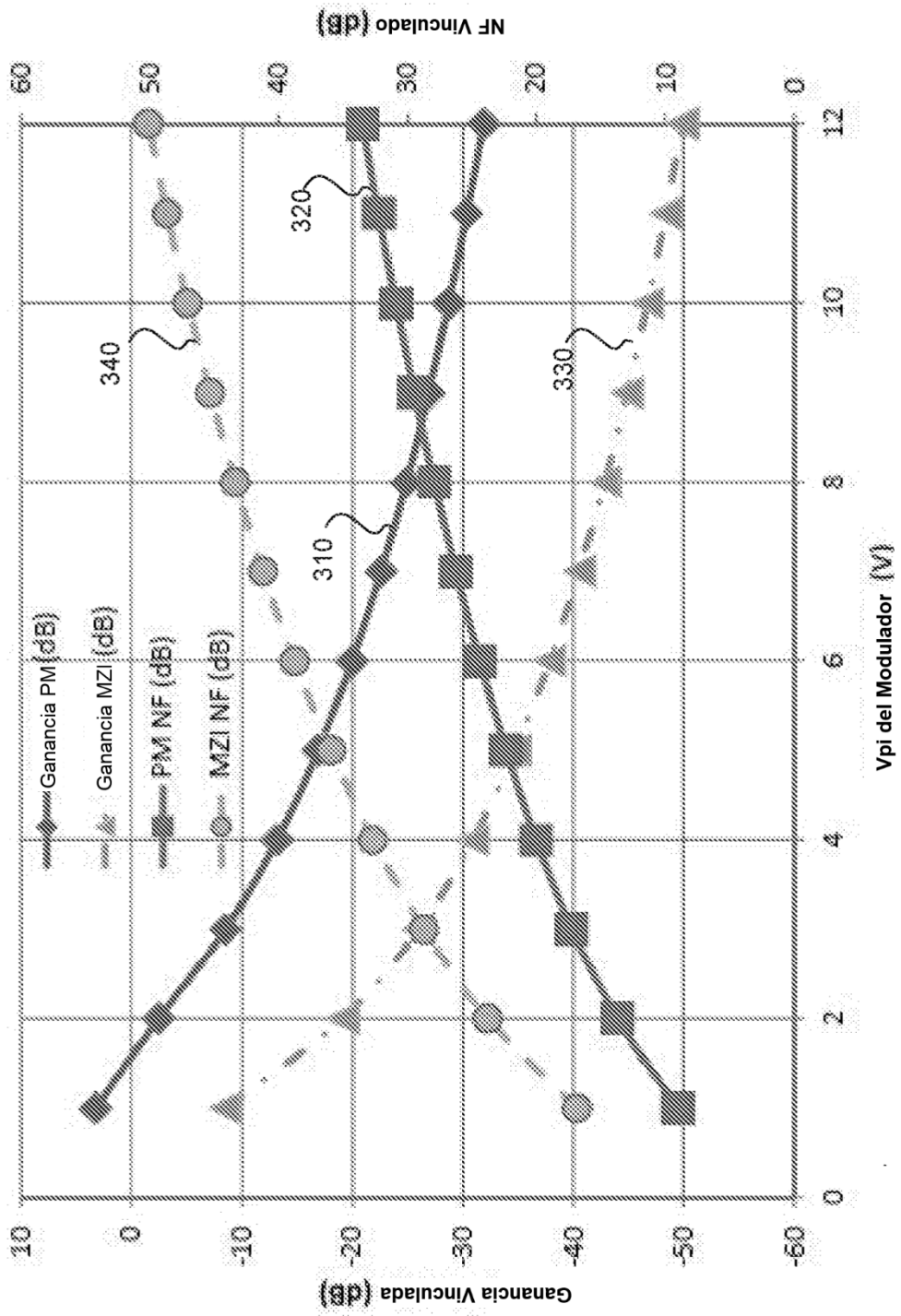


FIG. 3