

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 745 558**

51 Int. Cl.:

H04B 10/80 (2013.01)

H04B 10/075 (2013.01)

H04J 14/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.04.2015 PCT/US2015/024475**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.10.2015 WO15164055**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.04.2015 E 15717746 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2019 EP 3134984**

54 Título: **Técnicas ópticas y de RF para agregación de conjuntos de fotodiodos**

30 Prioridad:

21.04.2014 US 201461982089 P

29.08.2014 US 201462043779 P

29.08.2014 US 201462043793 P

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

02.03.2020

73 Titular/es:

ARRIS ENTERPRISES LLC (100.0%)

3871 Lakefield Drive

Suwanee, GA 30024, US

72 Inventor/es:

SCHEMMANN, MARCEL F.;

MUTALIK, VENKATESH G.;

CHROSTOWSKI, JOHN y

VIEIRA, AMARILDO

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 745 558 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

Técnicas ópticas y de RF para agregación de conjuntos de fotodiodos

5 **REFERENCIA A SOLICITUDES RELACIONADAS**

Esta solicitud reivindica el beneficio de prioridad bajo 35 U.S.C. § 119(e), de la solicitud provisional de EE.UU. número 61/982089 (ARR00207-P), presentada el 21 de abril de 2014, la solicitud provisional de EE.UU. número 62/043779 (ARR00294-P), presentada el 28 de agosto de 2014 y la solicitud provisional de EE.UU. número 62/043793 (ARR00284-P), presentada el 29 de agosto.

10 Asimismo, esta solicitud está relacionada con la solicitud de EE.UU. número 14/625187 (ARR00284) titulada "Active Optical Combiner for CATV Network", presentada el 18 de febrero de 2015, y la solicitud de EE.UU. número 14/625613 (ARR00341) titulada "Systems and Methods for Burst Detection in a CATV Network", presentada el 18 de febrero de 2015.

15 **ANTECEDENTES**

Aunque las redes de televisión por cable (CATV) distribuían originalmente contenido los abonados a grandes distancias utilizando un sistema de transmisión exclusivamente de RF, los sistemas modernos de transmisión de CATV ha sustituido gran parte del trayecto de transmisión de RF con una red óptica más eficaz, creando un sistema de transmisión híbrido donde el contenido de cable se origina, y termina como señales de RF sobre cables coaxiales, pero se convierte en señales ópticas para su transmisión sobre la mayor parte de la distancia existente entre el proveedor de contenidos y el abonado. Específicamente, las redes de CATV incluyen una cabecera en el proveedor de contenidos para recibir señales de RF que representan muchos canales de contenido. La cabecera recibe las respectivas señales RF de contenidos, las multiplexa utilizando una red de combinación de RF, convierte la señal de RF combinada en una señal óptica (habitualmente, utilizando la señal de RF para modular un láser) y entrega la señal óptica a una red de fibra óptica que comunica la señal a uno o varios nodos, cada uno próximo a un grupo de abonados. El nodo invierte a continuación el proceso de conversión desmultiplexando la señal óptica recibida y convirtiéndola de nuevo en una señal de RF, de manera que pueda ser recibida por los usuarios.

30 Las redes de televisión por cable (CATV) han evolucionado constantemente desde que se desplegaron en primer lugar como sistemas relativamente simples que suministraban canales de video unidireccionales desde un proveedor de contenidos. Los primeros sistemas incluían transmisores que se asignaban a una serie de canales de CATV para separar bandas de frecuencia, cada una de aproximadamente 6 MHz. Los avances subsiguientes permitieron una comunicación de retorno limitada desde los abonados de nuevo al proveedor de contenidos, a través de una señal dedicada, pequeña, de baja frecuencia propagada sobre la red coaxial. Sin embargo, las redes de CATV modernas proporcionan no sólo un número mucho mayor de canales de contenido, sino asimismo servicios de datos (tales como acceso a internet) que requieren que se asigne un ancho de banda mucho mayor para los trayectos tanto de ida como de vuelta. En la descripción, los dibujos y las reivindicaciones, las expresiones "trayecto de ida" y "descendente" se pueden utilizar de manera intercambiable para referirse a un trayecto desde una cabecera hasta un nodo, desde un nodo hasta un usuario final, o desde una cabecera hasta un usuario final. A la inversa, las expresiones "trayecto de vuelta", "trayecto inverso" y "ascendente" se pueden utilizar de manera intercambiable para referirse a un trayecto desde un usuario final hasta un nodo, desde un nodo hasta una cabecera, o desde un usuario final hasta una cabecera.

45 Las recientes mejoras en las arquitecturas de CATV que proporcionan mejoras adicionales en el suministro de contenido, incluyen arquitecturas de fibra hasta las instalaciones (FTTP, fiber-to-the premises) que sustituyen la red coaxial entre un nodo y el hogar del abonado con una red de fibra óptica. Dichas arquitecturas se denominan asimismo arquitecturas de radiofrecuencia sobre vidrio (RfOG, Radio Frequency over Glass). Un beneficio clave de la RfOG es que proporciona velocidades de conexión más rápidas y mayor ancho de banda de los que son capaces de entregar los actuales trayectos de transmisión coaxial. Por ejemplo, un solo conductor de par coaxial de cobre puede transportar seis llamadas telefónicas, mientras que un solo par de fibra puede transportar simultáneamente más de 2,5 millones de llamadas telefónicas. FTTP permite asimismo a los consumidores agrupar sus servicios de comunicaciones para recibir simultáneamente teléfono video, audio, televisión, cualesquiera otros servicios o productos de datos digitales.

55 Un inconveniente existente en los canales de comunicación de RfOG es la interferencia por batimiento óptico (OBI, Optical Beat Interference), que azota las redes de RfOG tradicionales. OBI ocurre cuando se encienden dos o más transmisores de trayecto inverso, y están muy próximos entre sí en longitud de onda. OBI limita el tráfico ascendente, pero puede asimismo limitar el tráfico descendente. Los esfuerzos existentes para mitigar la OBI se han centrado en las unidades de red óptica (ONU, Optical Network Units) en las instalaciones del cliente, o en el CMTS en la cabecera. Por ejemplo, algunos intentos para mitigar la OBI hacen específica a la longitud de onda de las ONU, mientras que otros intentos crean en el CMTS un planificador informado de la RfOG. Otros intentos han incluido cambiar longitudes de onda de ONU sobre la marcha. Debido a la naturaleza fundamental de los láseres y del tráfico DOCSIS, ninguna de las técnicas anteriores produce resultados satisfactorios dado que se siguen produciendo colisiones de longitud de onda, o bien el coste es alto. Por lo tanto, puede ser deseable reducir más o eliminar la OBI en los despliegues de RfOG.

La interferencia por batimiento óptico (OBI) y el balance limitado de enlaces de vuelta son problemas en las redes de vuelta de RFoG (ver http://www.scte.org/documents/pdf/Standards/ANSI_SCTE_174_2010.pdf para una visión general de las redes RFoG). En dichas redes, habitualmente un divisor de estrella distribuye luz sobre 32 abonados, el mismo divisor combina luz de vuelta procedente de los 32 abonados, a una penalización de 15 dB de pérdida. Asimismo, la combinación óptica de múltiples fuentes nominalmente a la misma longitud de onda puede provocar interferencia por batimiento óptico, de tal modo que el contenido de información puede verse superado por el ruido.

Las RFoG sufren una elevada pérdida en el trayecto óptico que tiene como resultado una baja SNR, así como interferencia por batimiento óptico (OBI) que tiene como resultado unos niveles de ruido muy altos que ocasionalmente invalidan la recepción de la señal inversa. Los sistemas RFoG están previstos a menudo como un paso intermedio para el despliegue de sistemas PON en fechas posteriores. Las implementaciones convencionales utilizan múltiples receptores que se combinan en RF, pero estas técnicas tienen como resultado un coste mucho mayor, disipación de potencia y una peor característica de ruido.

Por lo tanto, son deseables sistemas RFoG con una SNR mejorada, en particular en presencia de OBI.

La patente US 2013/259469 A1 da a conocer una manera de proporcionar pruebas en fibras de acceso en una PON (passive optical network, red óptica pasiva) utilizando OTDR (optical time-domain reflectometry, reflectometría óptica en el dominio de tiempo). La patente US 2006/153520 da a conocer una fibra óptica de telecomunicaciones que es segura frente a intrusión mediante detectar la manipulación de la fibra óptica antes de un evento de intrusión. La patente de US 2009/257748 A1 da a conocer un aparato de transmisión óptica que lleva a cabo transmisión óptica mediante multiplexación de longitudes de onda. La patente EP 1 235 434 B1 da a conocer una red de telecomunicaciones que hace uso de fibras ópticas para transportar la señal de CATV de banda ancha modulada en amplitud a las instalaciones del abonado, y para transportar una señal de tipo DOCSIS desde las instalaciones del abonado hasta la cabecera.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Con el propósito de mostrar las realizaciones descritas a continuación, se muestran en los dibujos construcciones de ejemplo de las realizaciones; sin embargo, las realizaciones no se limitan a los procedimientos e instrumentos específicos dados a conocer. En los dibujos:

La figura 1 representa una arquitectura de radiofrecuencia sobre vidrio (RFoG).

La figura 2 muestra una arquitectura de RFoG mejorada, de acuerdo con las técnicas dadas a conocer.

La figura 3A muestra un ejemplo de una estructura de receptor de línea de transmisión.

La figura 3B muestra otra realización para la estructura de receptor de línea de transmisión, implementada en una línea de transmisión diferencial.

La figura 4 muestra la integración del receptor de línea de transmisión dado a conocer, con componentes de multiplexación de división por longitud de onda (WDM, wavelength division multiplexing).

La figura 5 representa un EDFA añadido al divisor activo mostrado en la figura 4.

La figura 6 representa una topología de acoplador multimodo (MMC, multi-mode coupler).

La figura 7 representa la utilización de un combinador multimodo, similar a la topología mostrada en la figura 6, que incluye además un EDFA.

La figura 8 representa una realización de divisor activo con detectores y óptica selectiva en longitud de onda integrada.

La figura 9 representa una realización de divisor activo con reflectores nm antes de los detectores.

La figura 10 muestra una realización de receptor de múltiples detectores con un divisor/combinador activo.

La figura 11 muestra el receptor de múltiples detectores de la figura 10, pero mostrando un ejemplo de escala de relaciones de acoplamiento de potencia.

La figura 12 representa un ejemplo de combinación de bloques de receptor, de las figuras 10 y 11.

La figura 13 representa una tabla de valores de longitudes de onda de PON de ejemplo para que el receptor dado a conocer soporte capacidades para atravesar una PON.

Se debe observar que aunque las figuras adjuntas sirven para mostrar realizaciones de conceptos que incluyen la invención reivindicada, y explican diversos principios y ventajas de dichas realizaciones, los conceptos mostrados no son necesarios para comprender las realizaciones de la presente invención, dado que los detalles representados en las figuras serían evidentes para los expertos en la materia con el beneficio de la descripción de la presente memoria.

DESCRIPCIÓN

Se dan a conocer realizaciones para una estructura de receptor activo que combina un gran número de detectores sin penalización sobre el ancho de banda y proporciona una mejor relación señal/ruido (SNR, signal-to-noise ratio) que las redes convencionales de radiofrecuencia sobre vidrio (RFoG). En realizaciones, se diseña una estructura de multiplexor óptico alrededor del divisor activo, de manera que no se impide el funcionamiento de la red óptica pasiva (PON). En realizaciones, el receptor activo gestiona señales RFoG, no señales PON. Se da a conocer en mayor detalle a continuación un receptor de línea de transmisión propuesto para combinar un gran número de detectores

5 ópticos en una única señal de radiofrecuencia (RF) sin una penalización sobre el ancho de banda y con una modesta penalización en la característica de ruido, que tiene como resultado una SNR que es mucho mejor que las técnicas de combinación óptica convencionales que están seguidas por un único detector. Las técnicas existentes de combinación óptica no están diseñadas para gestionar la combinación activa de señales de RF y división de PON pasiva en una unidad pequeña.

10 Los sistemas modernos de transmisión de televisión por cable (CATV) han sustituido gran parte del trayecto heredado de transmisión por radiofrecuencia (RF) con una red óptica más eficaz, creando un sistema híbrido de transmisión donde el contenido de cable se origina, y termina como señales de RF sobre cables coaxiales, pero se convierte en señales ópticas para su transmisión sobre la mayor parte de la distancia existente entre el proveedor de contenidos y el abonado. Específicamente, las redes de CATV incluyen una cabecera en el proveedor de contenidos para recibir señales de RF que representan muchos canales de contenido. La cabecera puede recibir las respectivas señales RF de contenidos, multiplexa las señales utilizando una red de combinación de RF, convierte la señal de RF combinada en una señal óptica (por ejemplo, utilizando la señal de RF para modular un láser) y entrega la señal
15 óptica a una red de fibra óptica que comunica la señal a uno o varios nodos, cada uno próximo a un grupo de abonados. A continuación, el nodo puede invertir el proceso de conversión desmultiplexando la señal óptica recibida y convirtiéndola de nuevo en una señal de RF, de manera que puede ser recibida por los usuarios.

20 Las mejoras en las arquitecturas de CATV que proporcionan mejoras adicionales en el suministro de contenido, incluyen arquitecturas de fibra hasta las instalaciones (FTTP) que sustituyen la red coaxial entre un nodo y el hogar del abonado con una red de fibra óptica. Dichas arquitecturas se denominan asimismo arquitecturas de radiofrecuencia sobre vidrio (RFoG). Un beneficio de la RFoG es que proporciona velocidades de conexión más rápidas y mayor ancho de banda de los que son capaces de entregar los actuales trayectos de transmisión coaxial. Por ejemplo, un solo conductor de par coaxial de cobre puede transportar seis llamadas telefónicas, mientras que un solo par de fibra puede transportar simultáneamente más de 2,5 millones de llamadas telefónicas. FTTP permite
25 asimismo a los consumidores agrupar sus servicios de comunicaciones para recibir simultáneamente teléfono video, audio, televisión, cualesquiera otros servicios o productos de datos digitales.

30 En telecomunicaciones, radiofrecuencia sobre vidrio (RFoG) es un diseño de red de fibra cercana al usuario ("deep-fiber") en el que la parte coaxial de la red de fibra híbrida coaxial (HFC, hybrid fiber coax) es sustituida por una red óptica pasiva (PON) de una sola fibra. La Sociedad de Ingenieros de Telecomunicaciones por Cable (SCTE, Society of Cable Telecommunications Engineers) ha aprobado estándares para implementar RFoG, aprobados asimismo por el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI, American National Standard Institute).

35 Una topología de RFoG puede incluir un servicio totalmente de fibra desde la cabecera hasta un nodo de campo o unidad de red óptica (ONU, optical network unit), que está situado habitualmente en, o cerca de las instalaciones del usuario. En una cabecera de red de cable, un láser descendente puede enviar una señal de difusión que es dividida ópticamente múltiples veces. La unidad de red óptica, u ONU, recupera la señal de difusión de RF y la pasa a la red coaxial del abonado. La transmisión descendente y de trayecto de vuelta utilizan longitudes de onda diferentes para
40 compartir la misma fibra (habitualmente, 1550 nm en sentido descendente y 1310 nm o 1590/1610 nm en sentido ascendente). Se prevé que el estándar de longitud de onda de trayecto de vuelta sea de 1610 nm, pero los desarrollos iniciales han utilizado 1590 nm. Utilizar 1590/1610 nm para el trayecto de vuelta permite que la infraestructura de fibra soporte simultáneamente tanto RFoG como PON basado en estándares, funcionando a longitudes de onda de 1490 nm en sentido descendente y 1310 nm en el trayecto de vuelta. Los sistemas RFoG y HFC pueden funcionar simultáneamente con la misma cabecera/concentrador, haciendo de RFoG una buena solución para división de nodos y aumentos de capacidad en una red existente. En la presente memoria se describen realizaciones que son compatibles con sistemas PON y RFoG basado en estándares, pero se debe entender que otras longitudes de onda ascendentes y descendentes pueden ser compatibles con las técnicas dadas a conocer.
50

RFoG permite a los proveedores de servicios seguir aprovechando los equipos HFC tradicionales y las aplicaciones del lado de las oficinas, con nuevos despliegues FTTP. Por ejemplo, los operadores de cable pueden seguir contando con los sistemas existentes de provisión y facturación, plataformas de terminación de cable módems (CMTS, Cable modem termination system), equipos de cabecera, descodificadores, tecnología de acceso
55 condicional y cable módems, obteniendo al mismo tiempo los beneficios inherentes a RFoG y FTTP.

La figura 1 muestra un sistema RFoG 10 a modo de ejemplo, donde una cabecera 12 entrega contenido a una ONU 14 en las instalaciones de un cliente a través de un nodo 16. Una topología de RFoG incluye un servicio totalmente de fibra desde la cabecera 12 hasta un nodo de campo o unidad de red óptica (ONU), que está situado habitualmente en, o cerca de las instalaciones del usuario. En la cabecera 12, un láser descendente envía una señal de difusión que es dividida ópticamente múltiples veces. La unidad de red óptica 14, u ONU, recupera la señal de difusión RF y la pasa a la red del abonado, que puede ser coaxial o también estar actualizada con comunicación de fibra.
60

La cabecera 12 puede incluir un transmisor 18 que entrega una señal descendente a uno o varios divisores pasivos 1x32 20 que incluyen 32 puertos de salida, estando cada puerto de salida conectado a un divisor 28 de multiplexor
65

por división de longitud de onda (WDM) que entrega el contenido descendente sobre un segmento de transmisión de fibra 24 al nodo 16. El nodo 16 puede incluir otro divisor 1x32 22, donde cada puerto de salida del divisor 22 está conectado por medio de otro segmento de fibra 26 a una ONU particular 14 en las instalaciones de un abonado.

5 Las unidades de red óptica (ONU) en un entorno de RFOG pueden terminar la conexión de fibra en la interfaz del lado del abonado y convertir el tráfico para su entrega sobre la red doméstica en las instalaciones del cliente. El cable coaxial se puede utilizar para conectar las ONU de una red de RFOG a uno o varios dispositivos de usuario, donde los dispositivos de usuario de RFOG pueden incluir cable módems, EMTA o descodificadores, igual que los dispositivos de usuario de una red HFC. Por ejemplo, una R-ONU se puede conectar a descodificadores, cable módems o elementos de red similares por medio de un cable coaxial, y uno o varios cable módems se pueden conectar al cableado telefónico interno del abonado y/o a ordenadores personales o dispositivos similares, por medio de conexiones Ethernet o WiFi.

15 Los expertos en la materia apreciarán que la arquitectura anterior es solamente ilustrativa. Por ejemplo, el número de puertos de los divisores 20 y 22 se puede cambiar a conveniencia. Se debe entender asimismo que la cabecera 12 puede incluir más divisores 20, teniendo cada divisor salidas conectadas a un respectivo nodo para servir a un gran número de abonados.

20 A lo largo del trayecto de vuelta desde la ONU del abonado 14 hasta la cabecera, el divisor 22 funciona como un combinador, es decir, para un divisor/combinador de 1x32 puertos 22, hasta 32 ONU pueden entregar señales de trayecto de vuelta al nodo 16, que las combina para transmisión ascendente a lo largo del tramo de fibra 24. Cada una de las señales desde la respectiva ONU 14 es a continuación separada de otras señales mediante el WDM 28, para ser recibida por un receptor independiente 30 en la cabecera 12. Las señales de los respectivos receptores son combinadas a continuación por un combinador 32 para su transmisión a un servicio de terminación de cable módems (CMTS) en la cabecera 12. Las señales son combinadas en el dominio RF en la cabecera 12 por el combinador 32, antes de ser conectadas al puerto ascendente CMTS. Combinadas con el límite de potencia de ida en la fibra, las señales combinadas pueden requerir una fibra de ida 24 (L1 km) por cada grupo de 32 abonados.

30 En el sentido de ida, el transmisor de ida está conectado a un amplificador multipuerto de potencia superior, que distribuye potencia. Por ejemplo, en la cabecera 12, el transmisor 18 proporciona la salida a un amplificador de fibra dopada con erbio (EDFA, Erbium Doped Fiber Amplifier) 34, que distribuye potencia internamente sobre las 32 salidas del combinador 20, gobernándose cada salida a una potencia relativamente alta, por ejemplo, de aproximadamente 18 decibelio-milivatio (dBm). El WDM 28 puede transmitir luz de 1550 nm desde el EDFA 34 en el sentido de ida y dirigir luz inversa, habitualmente a 1610 nm, o quizás a 1310 nm, en sentido inverso a los receptores 30. El WDM 28 puede estar conectado a una fibra de longitud L1 que alimenta el divisor 22 en el nodo 16.

40 Cada una de las salidas del divisor 22 se puede proporcionar a segundas fibras de longitud L2 que están conectadas respectivamente a las ONU 14 en los hogares de los abonados. En realizaciones, L1+L2 puede ser de hasta 25 km. Las ONU 14 convierten la luz transmitida de ida en señales de RF para la red coaxial doméstica. En el sentido de vuelta, las ONU 14 pueden asimismo recibir señales de RF de la red doméstica y modular estas señales en un láser, que funciona a 1610 nm, por ejemplo, y la salida del láser es enviada en sentido ascendente a la fibra L2. La señal ascendente se puede combinar con otras señales ascendentes en el combinador 22 y transmitirse más arriba en la fibra L1. En el WDM 28, las señales ascendentes son dirigidas hacia los receptores de cabecera 30.

45 El balance de pérdidas para 32 abonados y 25 km de fibra requiere un receptor en la cabecera 12 para cada grupo de 32 abonados; dada una potencia de transmisión ascendente de 3 dBm, los receptores 30 y el WDM 28 pueden funcionar habitualmente a una potencia entre -18 y -21 dBm, haciendo difícil una buena relación señal/ruido, de tal modo que normalmente se requieren receptores limitados en banda para un rendimiento aceptable. Además, el combinador óptico 22 puede ser pasivo y combinar múltiples entradas ópticas en una sola salida. De este modo, por definición el combinador óptico 22 puede crear OBI entre estas entradas, tal como se ha descrito anteriormente, y por lo tanto creará ruido en el dominio RF en los receptores de la cabecera 30. Además, suponiendo una pérdida de aproximadamente 24 dB en el trayecto de ida; para una potencia de salida EDFA de 18 dBm por puerto, esto proporciona una potencia de -6 dBm a los receptores. Esto es suficiente para un rendimiento aceptable en la ONU a 1 GHz, siempre que se utilicen receptores de alta ganancia y bajo ruido.

60 En caso de que se puedan recibir individualmente 32 abonados en la ubicación del divisor de estrella, entonces la potencia de entrada al receptor es alta, casi tan alta como la potencia del láser de vuelta, dado que los enlaces al divisor de estrella son cortos. Se obtiene una alta SNR y no existe OBI. La señal combinada de todas las señales recibidas tiene entonces que ser retransmitida sobre el enlace de fibra largo (25 km) y detectado en la cabecera. En la cabecera, es necesario combinar multitud de dichos enlaces de vuelta para que se pueda utilizar un diseño similar del receptor de entrada múltiple. Los receptores de entrada múltiples se pueden diseñar de manera que el factor de ruido térmico no dependa de cuántas entradas se utilizan, de manera que la combinación de múltiples fuentes sea sencilla. Sin embargo, el factor de ruido térmico es mayor que la de un receptor convencional. Esto se puede superar mediante mayores niveles de receptor.

Desde un divisor que distribuye luz a los abonados y combina luz de vuelta de los abonados con determinada penalización, puede existir un enlace largo (por ejemplo, hasta 25 km con 6 dB adicionales de pérdida) de retorno a una cabecera o concentrador, donde las fuentes de vuelta combinadas son detectadas en un receptor. La pérdida total es alta, de manera que la SNR del receptor se degrada. Además, habitualmente se combinan hasta 8 salidas de receptor en el puerto de vuelta de CMTS, que por lo tanto maneja aproximadamente 256 abonados. En esta combinación, el ruido térmico del receptor se suma y, salvo que se implementen medidas en los receptores para apagarlos en ausencia de señal, la SNR se degrada en otros 9 dB. Con dichos medios, la SNR aún se degrada hasta en 6 dB cuando están activos simultáneamente hasta 4 transmisores de vuelta, un modo de funcionamiento válido de la red de vuelta.

En realizaciones, un divisor óptico activo con un divisor y componentes selectivos en longitud de onda dirige luz ascendente desde las fibras de salida, por lo menos en una banda de longitud de onda, hasta múltiples detectores en la estructura de línea de transmisión, y pasa luz descendente a, y luz ascendente de otras longitudes de onda desde las fibras de salida y por lo menos un transmisor ascendente.

El fenómeno de interferencia por batimiento óptico (OBI) puede ocurrir en sistemas RFoG cuando dos transmisores de vuelta inciden simultáneamente sobre un receptor a la misma longitud de onda. En un sistema de cable, por ejemplo, la condición que causa OBI se puede producir fácilmente en aplicaciones de unidades de múltiples apartamentos (MDU, multiple dwelling unit) de sistemas basados en DOCSIS con canales ascendentes unidos. Se puede producir interferencia por batimiento óptico (OBI), que es una degradación de la señal que se produce cuando dos o más láseres con frecuencias ópticas muy próximas transmiten simultáneamente desde dos ONU.

La figura 2 muestra un sistema mejorado 100 para suministrar contenido, por ejemplo, contenido CATV, a una serie de abonados sobre una red, tal como la red RFoG descrita anteriormente. La arquitectura incluye una cabecera 110 que tiene un transmisor 112 y un receptor 114, cada uno conectado a un divisor WDM 116 que entrega una señal a, y recibe una señal desde un enlace de fibra 118 de L1 km. El enlace de fibra 118 está conectado a una unidad de divisor/combinador activo 120. La unidad de divisor/combinador 120 puede incluir un WDM 122 que puede separar señales de trayecto de ida respecto de señales de trayecto inverso. La señal del trayecto de ida procedente del WDM 122 se proporciona a un EDFA 124 que entrega una señal óptica amplificada a un divisor activo 1x32 126 que tiene 32 puertos de salida que pueden comunicar con respectivos segundos enlaces de fibra 128. En cada puerto, el nivel de potencia es modesto, en el intervalo de 0-10 dBm.

En el sentido inverso, el divisor de puertos 1x32 126 funciona como un combinador activo 126 e incluye, en cada puerto, un WDM que dirige luz ascendente a un detector en el puerto, que convierte las señales ópticas recibidas en señales eléctricas, las amplifica en el dominio de RF y proporciona las señales eléctricas a un transmisor 129 que emite luz, por ejemplo, a 1610 nm, 1310 nm o alguna otra longitud de onda apropiada, proporcionada al WDM 122 que, a su vez, dirige la luz ascendente a la fibra 118. En la cabecera, la fibra 118 está conectada al WDM 116 que dirige la luz ascendente al receptor 114.

Cada uno de los 32 puertos del divisor/combinador 126 emite, a través de una fibra respectiva 128, una señal respectiva a una segunda unidad de divisor/combinador activo 130, que puede ser del mismo tipo y configuración que la unidad de divisor/combinador 120. La longitud o longitudes de la fibra 128 pueden variar entre sí. La potencia de salida por cada puerto del divisor es baja, en torno a 0 dBm. Los puertos del divisor están conectados a las ONU 140, por ejemplo en una unidad de múltiples apartamentos (MDU) o en un vecindario, por medio de fibra 132 de longitud L3. En un sistema RFoG básico, la suma de las longitudes de fibra L1+L2+L3 asciende a 25 km. Sin embargo, el sistema 100 permitirá una longitud total mayor de fibra entre la cabecera y las ONU, tal como de 40 km, debido a que el sistema 100 puede tolerar una pérdida de SNR mayor, tal como se describe en mayor detalle a continuación.

Las señales ascendentes desde la ONU 140 pueden terminar individualmente directamente en la unidad de divisor/combinador activo 130. Incluso para las ONU que funcionan a 0 dBm, la potencia que alcanzan los detectores está en torno a -2 dBm (la fibra 132 es una fibra corta de hasta unos pocos km, y la pérdida de WDM en el interior del combinador activo es pequeña). Esto es casi 20 dB mayor que en los sistemas RFoG existentes, lo que significa que los niveles de RF después del detector en el divisor 134 son casi 40 dB mayores que en los sistemas RFoG existentes. Como consecuencia, el factor de ruido del receptor no es crítico, y se pueden utilizar receptores de gran ancho de banda con una característica de ruido relativamente baja. La señal de RF recibida es retransmitida por medio del transmisor 136 a lo largo del trayecto inverso en la fibra 128, y recibida y retransmitida por la anterior unidad de divisor/combinador activo 120 y, a continuación, a la cabecera 110.

Aunque la retransmisión repetida puede conducir a alguna reducción incremental en la SNR, las mejoras en la SNR respecto a la arquitectura activa proporcionan un rendimiento global mucho mayor con respecto a los sistemas RFoG tradicionales. Más importante aún, debido a que todas las señales inversas pueden terminar individualmente en detectores independientes, tales como receptores de múltiples detectores en el interior del receptor activo ascendente 126 y 134 en la estructura de detectores de línea de transmisión, no puede haber interferencia por batimiento óptico (OBI) entre diferentes señales inversas. Haciendo referencia a continuación a la figura 3A, se representan múltiples detectores como una fuente de corriente y un condensador en paralelo.

En la figura 2, los láseres 129 y 136 son láseres de transmisión inversa. Por ejemplo, el receptor activo 134 de la figura 2 es una unidad con múltiples fotodetectores, y la figura 3A representa el funcionamiento interno sobre cómo pueden estar conectados múltiples detectores. Estas señales inversas no se combinan ópticamente, es decir, las señales inversas son detectadas individualmente y sumadas eléctricamente en señales de RF entregadas a láseres de transmisión inversa 129 y 136, por lo que no se puede producir OBI.

En el sentido de ida pueden existir múltiples EDFA, por ejemplo, 124, 135. El EDFA puede amplificar la señal de ida, de tal modo que se puede tolerar una alta relación de división a continuación del EDFA, mientras que sigue proporcionando una potencia suficiente para la siguiente etapa y/o los usuarios finales. Por ejemplo, el combinador activo con la estructura de línea de transmisión dada a conocer en la presente memoria ofrece un comportamiento tan bueno que la relación de división puede ser muy alta, tan alta que se hace necesaria la amplificación de la señal de ida. Estos EDFA pueden ser dispositivos de una sola etapa, económicos, con baja disipación de potencia - habitualmente 2 vatios o menos. Disponer en cascada los EDFA tiene como resultado una acumulación de ruido debido a los factores de ruido finitos de los EDFA. Si bien la arquitectura del divisor activo no requiere los EDFA (el EDFA de alta potencia de la cabecera (no mostrado, pero se puede introducir después del transmisor 112) se podría seguir utilizando para proporcionar potencia a las ONU 140), la utilización de los EDFA 124, 135 en el interior de las unidades de divisor activo proporciona algunas ventajas. Por ejemplo, la complejidad y la disipación de potencia del equipo en la cabecera 110 se reducen sensiblemente, como lo hace la cantidad de fibras que salen de la cabecera 110. La cantidad de potencia entregada a las ONU 140 se incrementa fácilmente hasta aproximadamente 0 dBm. Como consecuencia, los receptores ONU obtienen 12 dB más de nivel de RF de sus detectores, y no necesitan una SNR o ganancia tan alta. Incluso con requisitos de SNR relajados en los receptores ONU, el impacto de la SNR debido al ruido de EDFA es superado fácilmente debido a la mayor potencia recibida. Además, se puede soportar más espectro en el sentido de ida con una SNR aceptable con respecto a las arquitecturas actuales, tal como de 4 GHz en lugar de 1 GHz en la RFoG actual. Por lo tanto, las tasas de capacidad total de datos pueden aumentar significativamente sin un cambio de funcionamiento, para permitir, por ejemplo, servicios que proporcionan velocidades de descarga de 40 Gbps y velocidades de subida de 10 Gbps.

Las realizaciones para un combinador de RFoG incluyen impedir o eliminar la OBI en el combinador, frente a gestionarla en los extremos de la red (tal como utilizando un planificador de CMTS en el lado de la cabecera de la red, u ONU de longitud de onda específica en el extremo de abonado de la red). Se describen realizaciones que permiten la eliminación de la OBI. El combinador óptico dado a conocer se puede utilizar para eliminar la OBI, mejorar la capacidad y/o permitir múltiples servicios en la RFoG, la versión de cable de las redes FTTH.

Son deseables técnicas para eliminar la OBI, tales como las dadas a conocer en la presente memoria, y estas pueden permitir una mayor capacidad de los flujos ascendente y descendente. Por ejemplo, el combinador óptico puede habilitar características de ausencia de OBI y alta capacidad mediante el despliegue en redes FTTH compatibles, aptas para HFC D3.1. Análogamente, el combinador óptico se puede incorporar en GGPON, 1G-EGPON, XGGPON1, 10G/1G-EGPON, 10G/10G-EGPON. La compatibilidad con HFC y D3.1 permite que el combinador óptico dado a conocer sea desplegado junto con una red HFC actual, y esté preparado para D3.1. El combinador óptico se puede desplegar en un nodo de fibra, en una unidad de múltiples apartamentos (MDU) y en despliegues de vivienda unifamiliar (SFU, single family home).

El combinador dado a conocer y las características del combinador pueden permitir una coexistencia de RFoG junto con sistemas tradicionales de HFC/D3.1 y futuros sistemas potenciales PON. La eliminación de OBI es crítica en algunos sistemas para desbloquear el vasto potencial de la fibra óptica. El combinador óptico dado a conocer puede eliminar la OBI, haciendo que el sistema fundamentalmente carezca de OBI. El combinador óptico permite largo alcance y grandes divisiones, por ejemplo hasta 40 km y 1024 divisiones, que se incrementarán aún más. La alta capacidad ascendente y descendente habilitada por el combinador óptico dado a conocer incluye hasta 10G DS/1G US y tanto como 40G DS/10G US. En realizaciones, el combinador óptico dado a conocer impide la interferencia en despliegues de RFoG en el combinador, en lugar de impedir la interferencia mediante medidas adoptadas en la ONU, donde los intentos anteriores ha fallado o han demostrado ser a costes prohibitivos.

El combinador óptico dado a conocer puede ser independiente de las ONU, los cable módems y los CMTS. El combinador óptico dado a conocer puede ser independiente del CMTS, liberando con ello la carga de crear un planificador conocedor de la RFoG, que es restrictivo y además consume mucho tiempo. El combinador óptico ayuda a realizar una versión de cable de FTTH más factible, en comparación con las alternativas PON. Por ejemplo, en realizaciones, el combinador óptico dado a conocer tiene una capacidad recíproca de atravesar PON del combinador óptico junto con una alta capacidad de flujos ascendente y descendente, que ayudan al despliegue de RFoG sin interrupción del sistema subyacente o sin perjudicar la inclusión futura de funcionalidad PON, tal como un despliegue PON posterior en un sistema RFoG.

Las redes PON y RFoG tradicionales tienen un balance de potencia fijo. Esto significa que un alcance mayor tiene como resultado menos divisiones, y una división mayor tiene como resultado un alcance más corto. Esta combinación alcance/división es un límite fundamental de estas redes. Las realizaciones dadas a conocer pueden

permitir a la vez un mayor alcance y una mayor división. Por lo tanto, se describen realizaciones que pueden mejorar la topología FTTH y hacer factible un despliegue FTTH.

5 El receptor óptico de la cabecera puede necesitar solamente un intervalo de potencia de entrada a partir de 0 a 3 dBm, y requiere 15 dB menos de potencia de salida de RF debido a la ausencia del combinador de RF, de tal modo que con dicha alta potencia de entrada óptica y dicho bajo requisito de potencia de salida de RF, la ganancia puede ser baja.

10 En realizaciones, el combinador óptico tiene 32 puertos, pero solamente necesita un puerto de transmisión, un puerto de recepción y un componente WDM. Por lo tanto, en lugar de requerir 32 WDM y 32 puertos de recepción, el combinador óptico dado a conocer puede ahorrar en potencia y espacio de la cabecera. El combinador puede ser un dispositivo activo que necesita aproximadamente 2 vatios de potencia. El combinador óptico puede ser alimentado mediante fuentes de potencia disponibles fácilmente en el sistema RFoG, o se puede proporcionar potencia en el combinador óptico. La fuente de potencia puede incluir una batería de respaldo o alternativas de potencia solar/de fibra. Si la potencia se pierde y además la batería se ha agotado, la transmisión PON recíproca en conjunto no se ve afectada. Sin embargo, la transmisión ascendente de RFoG se detiene. En un sistema RFoG convencional, esta se habría detenido también debido a que la preponderancia de la OBI habría afectado gravemente al sistema en cualquier caso si el sistema tuviera un sistema RFoG tradicional con un combinador pasivo.

20 Asimismo, en el caso de una pérdida de potencia la ONU (unidad de red óptica) en los hogares dejaría de funcionar, de tal modo que sin ninguna alimentación de respaldo dichos sistemas dejarán de funcionar, sean sistemas RFoG o PON, con o sin el combinador activo dado a conocer en la presente memoria.

25 El coste global de una arquitectura de divisor activo, tal como la que se muestra en la figura 2, es similar al de una solución de RFoG tradicional. El coste de los bloques de ganancia EDFA del divisor activo y de los componentes de WDM y de detector en la arquitectura activa se compensa por la eliminación del equipamiento de la cabecera, tal como receptores, EDFA de alta potencia y combinadores. Una reducción de coste de las ONU que pueden funcionar con menor potencia de salida, soporta además la arquitectura de divisor activo. Otras ventajas de la arquitectura de divisor activo pueden incluir una reducción en el número de fibras salientes de la cabecera, que puede tener un gran impacto sobre el coste del sistema, así como la opción de utilizar ONU inversas de 1310 nm manteniéndose dentro de un balance habitual de pérdidas por SNR, lo que puede reducir costes adicionalmente. Asimismo, el sistema mostrado en la figura 2 presenta un mayor ancho de banda con respecto al que son capaces de proporcionar las arquitecturas de RFoG existentes, evitando límites sobre tamaños de grupos de servicio y requisitos concomitantes para más puertos de vuelta CMTS. Finalmente, a diferencia de las técnicas de mitigación de OBI en las arquitecturas de RFoG existentes, el sistema mostrado en la figura 2 no requiere óptica refrigerada o controlada en temperatura y enlaces de comunicación bidireccional que necesitan inteligencia ONU adicional.

40 Cada uno de estos factores proporciona otra ventaja en costes de una solución de divisor activo sobre las arquitecturas de RFoG existentes. Se reduce asimismo el espacio y la potencia requeridos en la cabecera; la solución de divisor activo requiere un puerto de transmisión, un puerto de recepción y un componente de WDM. Las arquitecturas de RFoG existentes, por otra parte, requieren puertos de transmisión, EDFA de alta potencia multi-puerto, 32 WDM, 32 puertos de receptor y un combinador RF de 32 puertos. Las arquitecturas de RFoG existentes requieren un nivel de ruido muy bajo, una alta ganancia y receptores de potencia de salida con procedimientos de silenciador implementados para superar la pérdida de potencia y la adición de ruido en el combinador RF. Por el contrario, el sistema 100 mostrado en la figura 2 funciona con potencia de entrada normalmente en el intervalo de 0-3 dBm, se requiere poca ganancia, y necesita 15 dB menos de potencia de salida debido a la ausencia del combinador RF antes del CMTS.

50 Algunos sistemas de divisor/combinador activo pueden incluir redundancia cuando los divisores ópticos activos conmutan su potencia de láser de vuelta (el láser de vuelta que transporta la información combinada de las ONU conectadas a los mismos) entre un estado de alta y de baja potencia, o hacen funcionar su láser en modo CW. En el caso en que una cabecera del lado de arriba o un divisor óptico activo puede detectar fácilmente una pérdida de potencia en el puerto de entrada y permitir que un segundo puerto de entrada conectado a otra ruta de fibra reciba la información, en el trayecto de ida la otra ruta de fibra se activaría asimismo en este caso, debido a que generalmente la luz de ida y de vuelta comparten la misma fibra. Asimismo, algunos sistemas de divisor/combinador activo pueden incluir un láser inversor en el divisor óptico activo, que ajusta su potencia de salida en función del número de las ONU transmisoras al divisor óptico activo y de la fotocorriente recibida desde estas ONU. Otros sistemas de divisor/combinador activo pueden tener un factor de ganancia y una potencia de láser inverso del divisor óptico activo, ajustados a un valor fijo.

60 Se dan a conocer realizaciones para una estructura de receptor activo que combina un gran número de detectores sin penalización sobre el ancho de banda y proporciona una mejor SNR que una RFoG convencional. En realizaciones, una estructura de multiplexor óptico está diseñada alrededor del divisor activo, de tal modo que no se impide el funcionamiento de la red PON pasiva. En realizaciones, el receptor activo gestiona señales RFoG, no señales PON.

65

Tal como se ha descrito anteriormente, las implementaciones convencionales utilizan múltiples receptores que son combinados en RF teniendo como resultado un coste mucho mayor, más disipación de potencia y una peor característica de ruido. La interferencia por batimiento óptico (OBI) y el balance limitado de enlaces de vuelta son problemas en las redes de vuelta de RFoG (ver http://www.scte.org/documents/pdf/Standards/ANSI_SCTE_174_2010.pdf para una visión general de las redes RFoG). En dichas redes, habitualmente un divisor de estrella distribuye luz sobre 32 abonados, combinando el mismo divisor la luz de vuelta procedente de los 32 abonados, a una penalización de 15 dB de pérdida. La utilización de múltiples receptores no está diseñada para manejar una combinación activa de señales de RF y división PON pasiva en una unidad pequeña. Asimismo, la combinación óptica de múltiples fuentes nominalmente a la misma longitud de onda puede provocar interferencia por batimiento óptico, de tal modo que el contenido de información puede verse superado por el ruido.

Los conceptos dados a conocer para el receptor sin OBI pueden funcionar en sistemas tales como los que se describen en la publicación de EP número EP1235434 B1. Tal como se describe en la publicación EP número EP1235434 B1, una red de telecomunicaciones para la distribución por cable de señales de televisión incluye una red de fibra óptica bidireccional para distribuir señales de televisión a las instalaciones de un abonado sin utilizar cable coaxial, de tal modo que se facilita la transmisión de señales CATV y el trayecto de vuelta de banda ancha, y se minimizan las distorsiones de manera que se mejora la calidad de la imagen de televisión y el ancho de banda accesible por cada abonado.

La mayor parte de las redes de señal de televisión utilizan un sistema de transmisión de datos por medio de cables coaxiales para una distribución final a los clientes. Los problemas de transmisión por cable coaxial HFC incluyen ruido acumulado en el trayecto de vuelta, en las perturbaciones que entran a través de cable coaxial existente insuficientemente apantallado y en la limitación del ancho de banda útil. Estos problemas aumentan con el número de usuarios conectados a través de módem.

La patente EP1235434 B1 describe la sustitución de cables coaxiales existentes con un determinado número de fibras ópticas que tienen la ventaja de permitir una alta capacidad de transmisión de datos, para habilitar la transmisión de señales de televisión analógicas y digitales y asegurar la compatibilidad con el sistema de transmisión de datos basado en módem de radiofrecuencia. La solución propuesta por la publicación EP número EP1235434 B1 permite que la señal de televisión sea transportada por medios ópticos hasta las instalaciones del abonado, y posibilita tener un trayecto de vuelta que consista íntegramente en fibra óptica para transportar los datos desde las instalaciones del abonado, a bajo coste, y de manera que se mantiene la flexibilidad con el tipo de red existente.

Más en particular, la publicación EP número EP1235434 B1 describe tener una primera entrada de fibra óptica para la entrada de señales de televisión AM ópticas de banda ancha desde el último nodo óptico, un número N de salidas de fibra óptica para la transmisión de las señales ópticas, número que depende del número de abonados a conectar, un número M de entradas de fibra óptica que conectan una interfaz óptica presente en las instalaciones de cada abonado individual con el equipo en cuestión, una salida de fibra óptica a la que se envía la señal óptica que transporta los datos desde las instalaciones de los abonados individuales, y una salida de conector coaxial para mantener la compatibilidad del sistema con señales eléctricas convencionales. La mencionada salida de conector coaxial se utiliza si la primera parte de la red CATV es de tipo coaxial. En la presente descripción y en las reivindicaciones, el mencionado equipo para uso externo se denomina un "repetidor optoelectrónico dual de banda ancha".

En realizaciones, las expresiones "cabecera" o "módulo de cabecera CATV" o "estación" indican el lugar y los dispositivos que transmiten ópticamente la señal de televisión de AM de banda ancha en la red de fibra óptica, y en los que se llevan a cabo la recepción y la desmodulación de la suma de las señales ópticas que llegan desde los abonados individuales. Adicionalmente, la expresión "trayecto saliente" indica los componentes de la red que transportan la señal de CATV de banda ancha desde la estación (cabecera) hasta las instalaciones de cada usuario, y la expresión "trayecto de vuelta" indica los componentes de la red que transportan la señal que contiene los datos, desde las instalaciones de los abonados individuales hasta la estación (cabecera).

La primera entrada de fibra óptica termina con un receptor optoelectrónico que puede convertir las señales ópticas de CATV AM de banda ancha en señales eléctricas. Las señales eléctricas producidas de este modo son amplificadas. Las señales eléctricas amplificadas son divididas a continuación por un divisor de RF y enviadas a N fuentes de láser. Las N fuentes de láser son suministradas independientemente por medio de un circuito de control de potencia óptica de salida. Una CPU conectada al circuito de control de potencia óptica de salida permite que las N fuentes de láser sean desconectadas y conectadas remotamente, permitiendo de este modo la simple desconexión y conexión remota de cada abonado. Las N fuentes de láser implementan una conversión de la señal eléctrica recibida en una señal óptica y la envían, a través de N salidas de fibra óptica, directamente a cada abonado. El equipo para uso externo tiene otras M entradas de fibra óptica, que transportan la señal del trayecto de vuelta desde los abonados individuales, que es convertida en una señal eléctrica mediante un conjunto de M receptores optoelectrónicos. Los M receptores optoelectrónicos son asimismo conectados y desconectados de manera independiente y remota por dicha CPU.

Un combinador de RF suma entre sí las señales eléctricas M producidas por dichos M receptores optoelectrónicos y envía la suma resultante a un amplificador. El amplificador está conectado a un conmutador que puede conmutar la suma a un filtro de separación o a un transmisor láser para el trayecto de vuelta. El transmisor láser para el trayecto de vuelta convierte dicha suma en una señal óptica y la transmite mediante fibra óptica a la estación. El filtro de separación está conectado a dicha salida mediante un conector coaxial. El repetidor optoelectrónico de banda ancha dual en cuestión hace posible utilizar toda la banda de señal proporcionada por una fibra óptica, pero solamente en la medida en que este ancho de banda está soportado por los receptores optoelectrónicos y los transmisores láser, y por lo tanto tiene la ventaja de permitir la asignación de frecuencia de las señales portadoras en los intervalos de frecuencia donde los fenómenos no lineales tienen menos efecto, proporcionando de este modo una mejora en la no linealidad del sistema tanto en el trayecto saliente como en el trayecto de vuelta. Además, debido al gran ancho de banda de la fibra óptica, permite mantener la planicidad del nivel del canal en toda la banda, sin la necesidad de sistemas adicionales de equalización, proporcionando por lo tanto una calidad uniforme de la imagen de televisión en todos los canales. Otra ventaja de la invención es que, igual que proporciona al abonado individual acceso a todo el ancho de banda disponible de la fibra óptica para transferencia de datos, hace posible utilizar una topología de red de tipo punto a punto, en la que el abonado individual tiene un canal de fibra óptica dedicado, sin ramificaciones entre la toma instalada en sus instalaciones y el transmisor o receptor óptico final en el repetidor optoelectrónico de banda ancha dual. Esta topología es adecuada para la utilización de numerosos protocolos en el nivel de transporte, y es flexible y robusta en términos de seguridad. La topología punto a punto permite asimismo una desconexión remota simple de cada abonado, de acuerdo con los requisitos del controlador de red. Finalmente, se deberá realizar una mención particular a la ausencia de costosos componentes ópticos pasivos adicionales, tales como aislantes ópticos, filtros y amplificadores; la compatibilidad con redes de cable coaxial; y la inmunidad intrínseca de la fibra óptica a las perturbaciones electromagnéticas.

La mencionada patente sufre de una serie de limitaciones; algunas de estas se discuten a continuación. Para cada entrada óptica se utiliza un receptor optoelectrónico, lo que tiene como resultado costes adicionales de componentes, disipación y acumulación de ruido a partir de los receptores activos. Alternativamente, se agregan múltiples entradas ópticas a un fotodetector con un área grande. Esto tiene como resultado una mayor capacidad del detector lo que, a su vez, limita el ancho de banda alcanzable de un receptor, de tal modo que se limita el número de entradas ópticas a dicho detector. En la recepción del trayecto de ida, la amplificación y retransmisión de señales de ida con un láser por abonado añade un coste y una disipación de energía considerables, y los transmisores láser están limitados en ancho de banda en comparación con el ancho de banda óptico real disponible de la fibra. Se dan a conocer realizaciones para implementar, en una unidad de combinador óptico, un enfoque de línea de transmisión para combinar múltiples fotodetectores ópticos en un único receptor óptico. Esto se puede conseguir en configuraciones unidireccionales o bidireccionales. Un sistema unidireccional no proporciona señales de comunicación de control desde un divisor óptico activo a una ONU, es decir, las señales de comunicación de control pasan solamente desde una ONU a un divisor activo. Por lo tanto, en un sistema unidireccional, un divisor óptico activo acepta simplemente un nivel de salida procedente de una ONU, y funciona con dicho nivel de salida. Un sistema bidireccional pasa señales de control desde un divisor óptico activo a las ONU, instruyéndolas para ajustar su potencia de salida; este tipo de sistema permite una equalización precisa de los niveles de entrada al divisor óptico activo desde cada ONU.

Se propone un nuevo concepto de receptor de entrada para superar estas limitaciones de modelos de receptores de entradas ópticas múltiples. Este modelo de receptor sufre un comportamiento de ruido térmico que es habitualmente peor que el de los receptores individuales, y normalmente esto se consideraría poco atractivo, pero el análisis del comportamiento del sistema muestra que la contribución del ruido del receptor al rendimiento global del sistema es pequeña, y el rendimiento global del sistema se mejora sensiblemente. Como beneficio, este tipo de receptor proporciona un ancho de banda de RF muy grande, incluso cuando se utiliza un número muy grande de fotodetectores. Este nuevo concepto de receptor se utiliza preferentemente con una división pasiva para las señales de ida. El concepto de receptor permite la conexión de un número muy grande de abonados a un único receptor de línea de transmisión de múltiples detectores, de tal modo que la relación de división de ida se puede hacer muy grande; para superar las pérdidas del divisor se propone un nuevo concepto de receptor con amplificación óptica en el sentido de ida, que evita la complejidad de la conversión OEO en el sentido de ida.

Se da a conocer un procedimiento para detectar luz óptica sobre un amplio intervalo de potencia de entrada, manteniendo al mismo tiempo una polarización constante en los detectores presentes en un receptor de línea de transmisión de nueva revelación. Para conseguir esto, se utiliza una combinación de un amplificador de RF y un amplificador de transimpedancia, con la estructura de múltiples detectores. En algunas realizaciones, el amplificador de transimpedancia está conectado a una estructura de paso alto frente al amplificador de RF, de tal modo que para bajas frecuencias, el amplificador de transimpedancia tiene una conexión de muy baja impedancia (menor que la impedancia de la línea de transmisión) a la polarización del detector.

Haciendo referencia a la figura 3A, que muestra un ejemplo de una estructura de receptor de línea de transmisión 300, un fotodetector se puede modelar con precisión a frecuencias considerablemente altas (~1 GHz) mediante una capacitancia en paralelo con una fuente de corriente, para niveles de potencia de entrada razonables (>1 uW). Por lo tanto, en esta figura, cada uno de los elementos de circuito 310 sería un modelo de un fotodetector. Los diseños de

receptor convencionales utilizan un amplificador de transimpedancia o adaptan el detector a la máxima impedancia posible, tal como 300 ohmios, para convertir la señal de la fuente de corriente en una señal de RF con la mejor característica de ruido posible. Dichos enfoques están limitados por la capacitancia del detector, de tal modo que un aumento en el número de detectores simplemente combinando detectores o utilizando un detector grande con un área grande del detector conduce a una pérdida de rendimiento del detector debido al aumento en la capacitancia, y por lo tanto, no se puede esperar que un número grande de detectores combinados (por ejemplo, 32) funcionen bien con un único amplificador de RF. Esto implica que son necesarios múltiples amplificadores para recibir un número grande de fibras.

Como alternativa, se podrían proporcionar múltiples detectores a un combinador de RF antes de su amplificación; un combinador de RF requiere que cada detector sea terminado individualmente con una impedancia de RF que es habitualmente menor de 100 ohmios, que consumirá la mitad de la corriente de detector e introduce una pérdida adicional debida a la combinación, de por lo menos $10 \cdot \log(N)$ dB, donde N es el número de detectores combinados. Esta pérdida es excesiva para 8 detectores o más. Además, se provocan pérdidas adicionales mediante implementaciones prácticas de combinadores de RF que requieren costosos transformadores en su realización. Los transformadores provocan asimismo limitaciones de ancho de banda y las mencionadas pérdidas adicionales, y son difíciles de implementar para impedancias altas (tal como mayores de 100 ohmios).

En el receptor de línea de transmisión dado a conocer se hace uso de la comprensión de que un fotodetector polarizado en inversa se comporta como una fuente de corriente en paralelo con un condensador, con una baja pérdida a frecuencias de RF. Este receptor de línea de transmisión no inducirá la pérdida de $10 \cdot \log(N)$ del combinador de RF, no requiere transformadores, ofrece un ancho de banda alto y puede proporcionar una señal de salida representativa de una suma retardada de un gran número de detectores. Una línea de transmisión con una impedancia Z se puede modelar mediante una red escalonada de inductores y condensadores con $L/C=Z^2$, que funciona bien para frecuencias por debajo de la frecuencia de resonancia de L y C. Los valores factibles de capacitancia del detector son del orden de 0,6 pF, de manera que una línea de transmisión de 75 ohmios requeriría $L=3,4$ nH. La frecuencia de resonancia está bastante por encima de 1 GHz de tal modo que, para hasta 1 GHz, una línea de transmisión con un número arbitrario de detectores compensados con inductores de 3,4 nH simularía una línea de transmisión de 75 ohmios. La calidad de la capacitancia parásita de los detectores polarizados en inversa es tal que pueden ser considerados condensadores de baja pérdida a frecuencias de RF. Los 3,4 nH se pueden distribuir asimismo en torno a los detectores como $2 \times 1,7$ nH, conduciendo un diseño como el mostrado en la figura 3A.

Tal como se ha indicado anteriormente, cada combinación de fuente de corriente/condensador 310 representa un detector. La figura 3A muestra algunos de estos en serie, separados por respectivas secciones de línea de transmisión 320 (100 psec, o del orden de 1 cm en placa) que tienen una impedancia de 75 ohmios. Los detectores están adaptados con inductores de 1,7 nH 330. Una resistencia de 75 ohmios 340 termina la entrada de la línea de transmisión. La salida 350 de la línea de transmisión alimenta un amplificador de RF de 75 ohmios de bajo ruido (no mostrado). Se debe entender que, aunque la figura 3A muestra seis detectores, no existe ningún límite sobre el número de detectores que se pueden combinar concatenando estas secciones, y hasta la frecuencia resonante LC existe un impacto despreciable sobre el ancho de banda alcanzable para un gran número de detectores. En la práctica, los inductores de 1,7 nH se implementarían en la capa PCB como secciones de línea más estrechas, y se puede utilizar una línea de transmisión compensada con una impedancia diferencial de 100 ohmios o 150 ohmios para mejorar ligeramente el factor de ruido.

Tal como se muestra en la figura 3A, cada combinación de fuente de corriente/condensador 310 representa un fotodetector, donde la fuente de corriente es la corriente detectada en el detector; y el condensador representa la capacitancia parásita del detector. Múltiples detectores se conectan con secciones de línea de transmisión (tal como C2) e inductores de adaptación (tales como L2 y L3). Los inductores de adaptación se eligen de tal modo que la capacitancia parásita de los fotodetectores está adaptada a la impedancia de la línea de transmisión (habitualmente, 75 ohmios). Por lo tanto, múltiples detectores se pueden conectar y concatenar con una línea de transmisión, de tal modo que se proporcionan las corrientes de detector a la línea de transmisión, y estas corrientes de detector se dividen en partes iguales para propagarse tanto a la salida 350 como a la resistencia de terminación 340 en el otro extremo de la estructura de línea de transmisión. Cada corriente de detector pasa generalmente a través de secciones de línea de transmisión, inductores de adaptación y terminales de detector antes de llegar a un extremo de la línea de transmisión. Por lo tanto, las señales de los detectores adyacentes afectan a las tensiones de señal presentes en cada terminal detector y, de este modo, podrían afectar a la propia corriente de detector provocando una modulación cruzada de señales de detector.

Sin embargo, debido a que un detector en polarización inversa se puede modelizar como una buena fuente de corriente, dicha modulación cruzada no se produce. Por lo tanto, cada mitad de la corriente de detector se presenta a la salida de la línea de transmisión 350 como una señal con un retardo proporcional a la distancia del detector a la salida de la línea de transmisión. Esta distancia determina el retardo de una señal eléctrica en el terminal del detector a la salida de la línea de transmisión, e incluye el retardo debido a los inductores de adaptación y la capacitancia del fotodetector. La señal a la salida de la línea de transmisión es por lo tanto proporcional a la suma de las mitades retardadas de la corriente de detector, independientemente del número de detectores en la estructura de

línea de transmisión. Por lo tanto, se puede decir que la señal a la salida de la línea de transmisión representa la suma de las corrientes de detector retardadas.

Se debe observar asimismo que, dado que los detectores están dispuestos en una estructura de línea de transmisión que se termina en un lado con una resistencia de terminación 340 y en la salida 350 con un amplificador múltiple, dichas estructuras de línea de transmisión se pueden concatenar debido a que la impedancia de salida de un receptor de línea de transmisión, vista en la salida 350, es igual a la impedancia de la línea de transmisión, y a que la impedancia se ha elegido siendo igual a la de la resistencia de terminación 340. Por lo tanto, en lugar de una resistencia de terminación 340, se podría conectar sin penalización todo un receptor de línea de transmisión a la entrada del receptor de línea de transmisión. Por ejemplo, un primer receptor de línea de transmisión (a) puede tener una terminación 340a y una salida 350a, y un segundo receptor de línea de transmisión (b) puede tener una resistencia de terminación 340b eliminada y en su lugar conectarse a la salida 350a del primer receptor de línea de transmisión 350a. La salida del segundo receptor de línea de transmisión presenta las señales de fotodetector retardadas, sumadas, de ambos receptores de línea de transmisión, y puede estar conectada a un amplificador o a otro receptor de línea de transmisión.

El ancho de banda de la estructura de línea de transmisión está limitado solamente por la adaptación inductiva de la capacitancia del fotodiodo y puede ser muy grande, superando 1 GHz. La salida 350 está conectada a un amplificador de RF adaptado a la impedancia de la línea de transmisión, que amplifica las señales entregadas desde la estructura de línea de transmisión. Cabe señalar que la utilización de un amplificador de transimpedancia que no esté adaptado a la estructura de línea de transmisión provocaría una reflexión muy grande de las señales de salida, de vuelta a la estructura de línea de transmisión; un amplificador de transimpedancia no es un medio preferible para amplificar la salida de un receptor de línea de transmisión.

Habitualmente, los fotodetectores tienen que estar polarizados, por ejemplo con 5 V. Para desacoplar del amplificador la tensión de polarización se puede utilizar habitualmente un condensador de desacoplamiento. La polarización se puede disponer a continuación mediante un inductor en una disposición en T de polarización. Por ejemplo, la señal de la línea de transmisión 360 se puede proporcionar a un amplificador por medio de un condensador 370 que pasa señales de alta frecuencia, y se puede proporcionar polarización desde una fuente de tensión 375 a la línea de transmisión por medio de un inductor 380 que pasa señales de baja frecuencia. La resistencia de terminación 340 en el otro extremo de la línea de transmisión puede estar, preferentemente, desacoplada de manera capacitiva para permitir una polarización de CC. La corriente a través de la fuente de tensión 375 se puede medir para determinar la fotocorriente; la fuente de tensión 375 puede estar fabricada como un amplificador de transimpedancia que proporciona una tensión constante y una salida proporcional a la corriente proporcionada.

En realizaciones, se puede utilizar un combinador de RF para múltiples detectores. Las realizaciones para la configuración del receptor como un receptor de línea de transmisión configurado para combinar un gran número de detectores ópticos en una única señal de RF se pueden conseguir, tal como se da a conocer, sin una penalización sobre el ancho de banda. La combinación de múltiples detectores ópticos combinados en una única señal de RF puede tener como resultado una penalización ligeramente modesta en la característica de ruido, pero teniendo como resultado una SNR que es mucho mejor que una combinación óptica tradicional seguida por un único detector.

Un combinador de RF utilizado para múltiples detectores puede tener una pérdida mínima de $10 \cdot \log(N)$ dB, donde N es el número de detectores. Para un gran número de detectores, la pérdida del combinador puede ser significativa. Aunque se pueden utilizar combinadores activos para superar esta pérdida de combinador, dichos combinadores tienen una característica de ruido degradada, debido a la utilización de múltiples amplificadores de RF en dicho combinador y a la necesidad habitual de un gran número de amplificadores.

Tal como se da a conocer en la presente memoria, pueden incluirse detectores en una línea de transmisión, donde la línea de transmisión es adaptada a la capacitancia del detector, por ejemplo utilizando compensación inductiva. La estructura tiene una pérdida fija de 3 dB en la potencia de señal, debido a la terminación en un lado de la línea de transmisión, independiente del número de detectores en la línea de transmisión. El otro extremo de la línea de transmisión se proporciona a un único amplificador. Un receptor tal que incluye una línea de transmisión proporcionada a un único amplificador se denomina asimismo en la presente memoria un receptor activo de línea de transmisión de múltiples detectores, un receptor de múltiples detectores o un receptor activo.

Tal como se ha introducido anteriormente, el receptor activo dado a conocer soporta tecnología sin OBI. Sin OBI es una tecnología que proporciona el transporte por fibra de señales DOCIS 3.1 en ausencia total de interferencia por batimiento óptico (OBI). Los trayectos ascendentes de combinación que utilizan un combinador RF múltiple activo, o que utilizan preferentemente un receptor activo de línea de transmisión de múltiples detectores en lugar de un divisor óptico, permiten una conexión de abonados combinada o directa. Con un receptor activo de línea de transmisión de múltiples detectores, la determinación del balance óptico es más precisa dado que se eliminan las pérdidas ópticas del divisor óptico.

La figura 3B muestra otra realización para la estructura de receptor de línea de transmisión, implementada en una línea de transmisión diferencial. Tal como se muestra en la figura 3B, un amplificador diferencial U1 con una tensión de suministro V2 es conducido a entradas + y - procedentes de una sección de línea de transmisión diferencial T4, recibiendo señales de elementos de adaptación inductiva L11 y L12. Los elementos de adaptación inductiva L11 y L12 están conectados a elementos C6/I4, que son representativos de un fotodetector añadiendo una corriente de señal a la estructura de línea de transmisión diferencial con polaridad opuesta en los nodos a L11 y L12, respectivamente.

La estructura de línea de transmisión sigue a la sección de línea de transmisión T3, los inductores de adaptación L9, L10, el detector C5/I3, la sección de línea de transmisión T2, los inductores de adaptación L7/L8, el detector C4/I2, la sección de línea de transmisión T1, los inductores de adaptación L3/L4, el detector C1/I1 y finalmente los inductores de adaptación L1 y L2. Estos elementos están conectados a condensadores de desacoplamiento C2, C3 que están conectados a resistencias de terminación de RF R1 y R2. Las resistencias de terminación de RF R1 y R2 tienen una impedancia elegida igual a la de la línea de transmisión. Los inductores L5, L6 se pueden utilizar para proporcionar una tensión de polarización a los detectores utilizando una fuente de tensión V1.

Se debe observar que el detector C1/I1 tiene 4 elementos de adaptación inductiva, mientras que los otros detectores tienen dos elementos de adaptación inductiva; esto sirve para mostrar que son posibles diferentes disposiciones de elementos de adaptación inductiva siempre que los elementos de adaptación inductiva adapten la capacitancia del fotodetector a la impedancia de la línea de transmisión. Se muestran asimismo secciones de línea de transmisión; esto sirve para mostrar que se pueden, sin que sea necesario, utilizar secciones de línea de transmisión adicionales con una impedancia igual a la impedancia de la línea de transmisión. Se debe observar asimismo que se pueden colocar filtros entre la salida de la línea de transmisión (T4) y el amplificador (U1) para llevar a cabo, por ejemplo, una función de filtro de paso alto. Un filtro de este tipo, o redes conectadas a los inductores de polarización L5, L6 o a las resistencias de terminación R1, R2 pueden proporcionar un medio de detección de la fotocorriente en uno o varios de los detectores. El número de detectores dispuestos en el receptor de línea de transmisión diferencial puede variar.

El receptor activo dado a conocer incluye una eliminación fundamental de la OBI que es asimismo independiente de ONU, CM y CMTS. El receptor es compatible con redes HFC, redes PON, redes RFoG, EPON completa, 10GEPON, y es asimismo compatible con DOCSIS 3.1. Tal como se describe en mayor detalle a continuación, con el receptor dado a conocer se posibilitan un alcance mayor y divisiones grandes, incluyendo un alcance de hasta 40 km y 1024 divisiones, que se pueden aumentar en función de la implementación. El receptor activo se puede desplegar simultáneamente en nodos, MDU y despliegues de SFU. En realizaciones, la capacidad ascendente y descendente aumenta de 10 G descendente/1 G ascendente a 40 g descendente/10 g ascendente con el receptor activo dado a conocer. El receptor activo permite una nueva clase de arquitecturas FTTH de alta capacidad.

La implementación de un circuito de detección de potencia óptica que pueda abarcar un amplio intervalo de potencia óptica de entrada en una arquitectura con múltiples detectores, tal como se da a conocer, no es trivial. Dado el gran número de detectores presentes, combinados con un amplio intervalo de potencia óptica de entrada, la magnitud y el intervalo de la fotocorriente que se tiene que detectar con fiabilidad es considerable. Simplemente medir la caída de tensión a través de una resistencia en la red de polarización del detector es difícil; a una baja potencia de entrada en un único detector, una pequeña caída de tensión puede ser detectada de manera fiable solamente si el valor de una resistencia, a través de la cual hay una caída de tensión igual a la polarización del fotodetector, es relativamente alto. Sin embargo, aumentar el valor de dicha resistencia no es deseable dado que esto conduce a una caída de tensión mayor cuando están presentes altas corrientes de detector en múltiples detectores; la polarización del detector pasaría a ser una función fuerte de la luz óptica presente en los detectores. En algunas realizaciones, la polarización del detector se mantiene constante debido a que el factor de respuesta del detector depende de la polarización del detector; por lo tanto, una polarización del detector variable conduciría a una variación en la ganancia del sistema. Incluso un valor de resistencia tan bajo como una típica impedancia de línea de transmisión, tal como de 75 ohmios, puede ser problemático cuando están activos un número grande de detectores, y por ejemplo fluyen 100 mA de corriente de detector al sistema de múltiples detectores, conduciendo a una caída excesiva en la polarización del detector.

Tal como se ha descrito anteriormente, se incluyen detectores en una línea de transmisión, que están adaptados a la capacitancia del detector. Los límites de ancho de banda para dicho receptor de múltiples detectores pueden superar 1 GHz, pero el piso de ruido térmico es mayor que en un receptor convencional. El receptor de múltiples detectores dado a conocer puede obtener una SNR igual o mejor que los sistemas RFoG actuales, y funciona sin OBI. Además, el receptor de múltiples detectores puede permitir una menor potencia de transmisión ONU, permitiendo en algunos casos un menor coste del láser ONU.

El piso de ruido térmico está determinado solamente por el factor de ruido NF del amplificador (por ejemplo, 1 dB). La línea de transmisión que alimenta el amplificador está terminada por una resistencia de 75 ohmios (o 100 ohmios, dependiendo del diseño) que inyecta ruido térmico. La línea de transmisión contiene solamente componentes sin pérdidas (los detectores) que no cambian el factor de ruido, de tal modo que el ruido térmico presentado en el amplificador es el piso de ruido térmico del sistema de 75 ohmios de $7,5 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ (equivalente a -59 dBmV por

ancho de banda de canal de 4 MHz), independiente del número de detectores. Cuando se normaliza a una corriente equivalente del detector que es de 15 pA/sqrt(Hz) debido a que solamente se presenta al amplificador la mitad de la corriente de detector; cada corriente de detector se divide por la mitad, de tal modo que una mitad se disipa en la resistencia de terminación. Por lo tanto, el piso de ruido térmico de este tipo de receptor de múltiples detectores está dado por $15 \cdot 10^{(0,05 \cdot NF)}$ pA/sqrt(Hz), donde NF es el factor de ruido de un amplificador factible, a continuación de la línea de transmisión; se debe observar que solamente este amplificador contribuye al ruido global, esto es independiente del número de detectores. En algunos casos con ancho de banda limitado, la resistencia de terminación se puede sustituir por un segundo amplificador, y las salidas del amplificador se pueden sumar en fase para mejorar el factor de ruido; no se supone esto en el análisis siguiente.

La SNR para el sistema de receptor de múltiples detectores dado a conocer se mejora en comparación con el sistema RFOG convencional. La siguiente tabla 1 enumera típicos números en base al concepto de diseño descrito en la sección anterior. Pláser es la potencia del láser ONU. La corriente de detector es tan alta que el bajo piso de ruido térmico de la corriente de detector equivalente de 21 pA/sqrt(Hz) sigue siendo menor que el ruido de disparo y de RIN combinados, y se obtiene fácilmente una SNR de enlace muy alta. Es tan alta que se podría considerar una ONU de menor potencia (por ejemplo, 0 dBm o -3 dBm podrían ambas funcionar). Se debe observar que el índice de modulación de señal elegido en este caso es un tanto arbitrario; sin embargo, se utilizará el mismo índice en la comparación con el caso convencional.

Tabla 1

Concepto de receptor múltiple + retransmisión		
Pláser	3	dBm
enlace	5	km máximo al receptor
Pérdida de enlace	1,5	dB
combinador	1	veces
Pérdida de WDM	1,0	dB
Entrada	15	pA/sqrt(Hz)
NF amp	3	dB
	21,2	pA/sqrt(Hz) ruido equivalente en el detector
Pdet	0,5	dBm
R	0,9	A/W
Ipd	1,01	mA
disparo	18,0	pA/sqrt(Hz) ruido de disparo
RIN	-155	dB/Hz
	18,0	pA/sqrt(Hz) RIN
Ruido total	33,1	pA/sqrt(Hz)
B	6	MHz
Ruido	0,081	uA rms corriente de ruido equivalente en el detector
mu	10 %	índice de modulación efectiva
	101,0	uA rms corriente de señal
SNR	62	dB desde el primer enlace

El análisis anterior es para un único láser activo. A medida que aumenta el número de láseres activos, el número SNR, tal como el mostrado en la tabla para un único láser, se puede degradar. Con un aumento en los láseres se puede producir una ligera degradación adicional. Por ejemplo, si hay 4 láseres activos, el aumento en el ruido de disparo y el RIN conduce a una degradación de hasta 5 dB, que muestra cuán pequeño es el efecto debido al mediocre factor de ruido del receptor; se habría obtenido una degradación de 6 dB para un receptor perfecto, esta degradación es menor para láseres de vuelta de menor potencia.

La tabla 2 enumera valores típicos de ejemplo para un diseño a modo de ejemplo para un receptor múltiple combinado con retransmisión. El modelo de receptor de múltiples detectores puede requerir retransmisión con un segundo enlace óptico cuando se utiliza en cualquier localización diferente al mismo sitio que el desmodulador de señal de RF, que es generalmente en un CMTS en la cabecera).

Tabla 2

Enlace de retransmisión, suponiendo asimismo múltiples tipos de RX		
Pláser	6	dBm
enlace	25	km máximo al receptor
Pérdida de enlace	7,5	dB
combinador	1	veces
pérdida del combinador	1,0	dB
Entrada	15	pA/sqrt(Hz)
NF amp	3	dB
	21,2	pA/sqrt(Hz) ruido equivalente en el detector
Pdet	-2,5	dBm
R	0,9	A/W
Ipd	0,51	mA
disparo	12,7	pA/sqrt(Hz) ruido de disparo
RIN	-155	dB/Hz
	9,0	pA/sqrt(Hz) RIN
Ruido total	26,3	pA/sqrt(Hz)
B	6	MHz
Ruido	0,06	uA rms corriente de ruido equivalente en el detector
mu	10 %	índice de modulación efectiva
	50,6	uA rms corriente de señal
SNR	58	dB desde el segundo enlace
SNR	56,4	dB SNR global

5 Se debe observar que el mismo concepto de receptor de múltiples detectores puede ser utilizado en la cabecera en lugar de la combinación de RF de múltiples receptores utilizada normalmente. De hecho esto tiene como resultado un mejor rendimiento, y un coste y una disipación de potencia significativamente menores, y tiene una mayor densidad. Cuando se utiliza en el nodo con retransmisión a la cabecera, los parámetros de pérdida son algo diferentes, teniendo como resultado menos corriente de detector y una SNR algo inferior. El enlace de retransmisión
10 domina por lo tanto la SNR global.

Tal como muestran los resultados en la tabla 2, la degradación del factor de SNR se puede mostrar cuando 4 enlaces en el receptor de la cabecera, el ruido de disparo y el ruido RIN aumentan, de tal modo que la SNR del segundo enlace cae a 55 dB y la SNR global cae entonces en aproximadamente 2,5 dB a 54 dB. Por lo tanto, el sistema es virtualmente independiente del número de transmisores de vuelta que están activos.
15

La tabla 3 muestra los valores de SNR de enlace calculados para un receptor de cabecera habitual de ejemplo, utilizando parámetros similares para el ruido del enlace de retransmisión mostrado en la tabla 1. Tal como se muestra, con estos parámetros similares, la tabla 3 muestra los resultados del sistema convencional en una potencia de receptor mucho menor que el ejemplo de receptor múltiple y retransmisión mostrado en la tabla 1.
20

Tabla 3

Concepto de receptor HE tradicional		
Pláser	3	dBm
enlace	25	km máximo al receptor
Pérdida de enlace	7,5	dB
combinador	32	veces
pérdida del combinador	16,1	dB
Entrada	1	pA/sqrt(Hz)
NF amp	0	dB
	1,0	pA/sqrt(Hz) ruido equivalente desde pre-amp
Pdet	-20,6	dBm
R	0,9	A/W
Ipd	0,008	mA
disparo	1,6	pA/sqrt(Hz) ruido de disparo
RIN	-155	dB/Hz
	0,1	pA/sqrt(Hz) RIN

ES 2 745 558 T3

Ruido total	1,9	pA/sqrt(Hz)
B	6	MHz
Ruido	0,0046	uA rms corriente de ruido equivalente en el detector
mu	10 %	índice de modulación efectiva
	0,79	uA rms corriente de señal
SNR	45	dB SNR global para un único enlace

El receptor RFoG dado a conocer tiene un factor de ruido mucho mejor; se puede esperar un ruido de entrada equivalente del orden de 1 pA/sqrt(Hz). Aún así, tal como se muestra comparando los valores de las tablas 1 y 3, la SNR del enlace para el sistema de cabecera tradicional es mucho menor que la del receptor de múltiples entradas con retransmisión mostrado en la tabla 1, pudiendo la diferencia superar 10 dB.

Comparada con 4 enlaces de vuelta descritos con respecto a la tabla 1, cuando están simultáneamente activos 4 enlaces de vuelta en diferentes receptores de cabecera tradicionales (de los que normalmente se combinan hasta 8 en un puerto de RF CMTS), la SNR se degrada en otros 6 dB a menos de 40 dB. El comportamiento es incluso peor si los receptores no tienen una función de silenciamiento bajo (que apaga los receptores cuando no hay entrada). Claramente, el receptor activo con retransmisión dado a conocer, mostrado en la tabla 1, proporciona un rendimiento muy superior.

La tabla 4 muestra un ejemplo para implementar un receptor de entrada múltiple con retransmisión, donde la tabla 4 enumera valores de ejemplo para un amplificador y un controlador de láser utilizados para la retransmisión. Se prevé una disipación de potencia del orden de 1 a unos pocos vatios, que podría ser menor con un diseño cuidadoso. La potencia es tan baja que puede incluso montarse en un módulo SFP con una entrada coaxial para la línea de transmisión del detector (puede conectar directamente con un cable coaxial). Esto implica que el nivel de costes podría ser muy bajo. La disipación de potencia puede asimismo ser lo suficientemente baja como para que una batería de respaldo dimensionada adecuadamente lo pueda mantener funcionando durante una semana o más.

Tabla 4

6	dBm módulo Rx/Tx
4,0	mW a partir de Tx
0,15	W/A eficiencia
36,5	mA orden de magnitud de polarización del láser
30 %	OMI eficaz máxima en RTx
8,0	mA corriente ef. de RF necesaria en el láser
25	Ohmios adaptación de láser por simplicidad
3,0	dBm a partir del controlador de láser con pérdida de adaptación de 1 dB
33,0	dBm IP3 a partir del controlador para dist. de tercer orden de 60 dB
50,5	uA rms en el amplificador
44,0	dB ganancia necesaria en el módulo Rx/Tx
500	mW controlador
200	mW bloque de ganancia entre etapas
80	mA en 3,3 V máx. esperada frontal
1085	mW disipación

La figura 4 muestra la integración del receptor de línea de transmisión dado a conocer con componentes de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) 424, 426, 428, 430, con micro-óptica que divide la luz de 1610 nm procedente de las fibras 450, 452, 454, 456 con luz de 1550 nm en el flujo descendente y luz de 1610 nm en el flujo ascendente, y la dirige a los detectores (D) 402, 404, 406, 408. Además del requisito de potencia, aunque pequeño, podría resultar una desventaja significativa del concepto de receptor múltiple si cada uno de los múltiples receptores de vuelta requiere un puerto de WDM dedicado para separar la luz de vuelta de la de ida. En un sistema convencional, se requiere un componente de este tipo por cada receptor de la cabecera. Los puertos dedicados para cada receptor añaden coste y añaden asimismo un gran número de fibras y conectores que tienen que ser gestionados en los nodos. Esto se puede mitigar en alguna medida construyendo un componente de WDM con detectores integrados.

La figura 4 representa un divisor activo 400 con detectores 402, 404, 406, 408 conectados por medio de una línea de transmisión con una terminación 440. La luz 410 se recibe en el divisor activo 400 desde un CMTS, la luz 412 puede ser proporcionada por un láser inverso (no mostrado) en el divisor 400, y el divisor activo puede propagar luz de ida sobre las fibras 450, 452, 454, 456 hasta una serie de ONU. La luz 410 se puede introducir en el divisor activo 400 desde una cabecera, que se muestra como luz introducida a 1550 nm. La luz 412 puede proceder de un láser situado en una localización en el divisor activo 400, ser la luz dirigida hacia el CMTS o ser otra fuente de luz anterior al WDM del divisor activo 414. La luz entra en el WDM 414 y es dividida en una serie de caminos mediante un divisor pasivo 415, que existe en la unión de las fibras 416, 418, 420, 422, en una serie de WDM 424, 426, 428, 430

sobre las fibras 416, 418, 420, 422, respectivamente. Las salidas 450, 452, 454 y 456 de cada uno de los WDM 424, 426, 428, 430 se pueden transmitir sobre fibras 450, 452, 454 y 456, respectivamente, a un subsiguiente divisor activo u ONU.

5 Las fibras de salida 450, 452, 454 y 456 proporcionan asimismo respectivamente señales ascendentes a los WDM 424, 426, 428 y 430 a una longitud de onda diferente de la longitud de onda descendente, tal como a 1610 nm, de tal modo que los WDM 424, 426, 428 y 430 pueden dirigir selectivamente estas longitudes de onda a los detectores 402, 404, 406 y 408 conectados por medio de la línea de transmisión desde la terminación 440 hasta la salida 493. Los detectores son una parte integral de la línea de transmisión desde la terminación 440 hasta la salida 493, tal como se describe en la figura 4. De este modo, la línea de transmisión consiste en secciones de línea de transmisión con componentes de adaptación que incluyen los detectores 402, 404, 406 y 408, y proporciona una señal representativa de la suma de las corrientes de detector retardadas en la salida 493.

15 La línea de transmisión puede entregar la señal 493 desde la línea coaxial 441, donde la salida 493 representa la suma de las salidas de los detectores a lo largo de la línea de transmisión. La señal 493 puede ser amplificada y modulada en un láser para ser devuelta al divisor activo 400 en la entrada externa de 1610 nm 412, donde la entrada 412 puede estar reservada para el láser inverso que transmite ascendentemente la información recibida desde la estructura del detector de línea de transmisión, que se muestra en mayor detalle en la figura 5. En particular, la entrada óptica 412 entra en el WDM 414 y a continuación refleja la longitud de onda en la fibra 410 para transportar la señal óptica al CMTS. Por lo tanto, la información ascendente detectada por la estructura de línea de transmisión que incluye los detectores se puede retransmitir al CMTS. Para retransmitir la información ascendente detectada por la estructura de línea de transmisión, la información puede ser transmitida al CMTS por medio de 412, el WDM 414 y a continuación sobre la fibra 410.

25 El otro lado de la línea de transmisión puede terminar en la terminación 440, interna al divisor activo, o también se lleva fuera, de tal modo que los bloques, es decir las unidades de 440, 402, 404, 406, 408, 493, pueden estar en cascada. Por ejemplo, cuando están en cascada, entonces la terminación T (440) es extraída y conectada a la salida coaxial 443 de un bloque anterior 400, 402, 404, 406, 408, 493, dos o más bloques múltiples 400, 402, 404, 406, 408, 493 pueden estar en cascada cuando solo el primero necesita una terminación T (440), con el resultado de una salida (443) que representa la suma retardada de todas las corrientes de fotodetector.

35 Los componentes de WDM 414, 424, 426, 428, 430 podrían ser sustituidos por divisores 10/90 (90 % para mantener baja la pérdida del trayecto principal), entonces la SNR resultante cae a un nivel comparable al de un sistema convencional. El ahorro de costes se tiene que determinar, debido a que la implementación de WDM tal como la presentada y mostrada en la figura 4 permite una caída en la potencia de ONU, potencialmente con el resultado de mayores ahorros.

40 La figura 5 representa un EDFA añadido al divisor activo 400 de la figura 4, que muestra el láser inverso 504 en transmisión ascendente con, por ejemplo, 1-2 vatios de disipación para hacer funcionar el láser 504 y para el amplificador 502 que controla el láser. La longitud de onda de salida del láser puede ser de 1610 nm y está acoplada a una fibra que soporta 1610 nm ascendentes y 1550 nm descendentes utilizando el WDM 414.

45 En la cabecera, múltiples transmisores de ida pueden proporcionar señales al combinador WDM 414. Las señales de 1550 nm pueden ser amplificadas por el EDFA 506 y distribuidas por medio del divisor 415. En muchos casos, el EDFA puede funcionar a bajo consumo de potencia, tal como a menos de 500 mW si el EDFA incluye un láser de bombeo que funciona a una tensión de polarización de 1,5 V y una corriente de polarización de 200 mA. En configuraciones dadas a conocer, el EDFA 506 puede proporcionar ganancia óptica y disipar de manera que provoca que el divisor pasivo 415 se comporte como un divisor óptico activo. De este modo, el divisor/combinador activo 400 proporciona ganancia tanto en el sentido de ida como en el sentido inverso. La utilización de un divisor activo que puede disipar a una potencia lo suficientemente baja para permitir un receptáculo pequeño del divisor activo y seguir teniendo un pequeño aumento de temperatura sobre la ambiental.

55 Por ejemplo, en caso de que esté reservado un balance de hasta unos pocos vatios para un módulo de retransmisión, un EDFA pequeño (por ejemplo, 15 dBm) puede disipar menos de un vatio. Entonces el divisor pasivo 415 pasaría a ser como un divisor óptico activo, de manera que el divisor/combinador activo 400 puede estar proporcionando ganancia tanto en el sentido de ida como en el de vuelta. Semejante componente activo 400 disiparía hasta 5 vatios, lo suficientemente poco para permitir un receptáculo pequeño del divisor/combinador activo 400 y seguir teniendo un incremento muy pequeño de la temperatura sobre el ambiente.

60 Además, la utilización de un EDFA 506 no limita el ancho de banda de la fibra óptica, permitiendo un funcionamiento de ancho de banda de ida de multi-GHz. Aparte de la carga solar que puede tener que evitar/apantallar, el componente de EDFA 506 no comporta el riesgo de temperaturas extremas del nodo que hay que afrontar normalmente, relajando de ese modo los requisitos sobre los componentes activos, el láser 504, el amplificador 502 y el EDFA 506.

65

La entrada externa de 1610 nm 412 está reservada para un láser inverso que transmite ascendentemente la información recibida desde la estructura de detector de línea de transmisión, que se muestra en mayor detalle en la figura 5. El puerto 412 de la figura 4 tiene una entrada al dispositivo WDM 414, la luz 508 a este puerto es proporcionada por un láser inverso 504 que es parte del divisor activo 400. El WDM 414 reflejará a continuación dicha luz al trayecto principal (flecha doble para el flujo descendente de 1550 nm (izquierda derecha) y el flujo ascendente de vuelta de 1610 nm (derecha a izquierda), de ahí la flecha doble) en el sentido ascendente.

La utilización de un divisor activo 400 como el dado a conocer permite la eliminación de la mayor parte del equipo del HE. En su lugar, las técnicas dadas a conocer utilizan un EDFA pequeño 506 y el receptor de entrada múltiple (por ejemplo, la unidad de receptor 400 de las figuras 4 o 5, incluyendo los componentes 402, 404, 406, 408, 432, 434, 436, 438, 411 y 440) es suficiente para recoger luz de múltiples enlaces 450, 452, 454, 456 debido a que la SNR es tan buena que no se requieren receptores de bajo factor de ruido. Por lo tanto, el rendimiento global sigue siendo mejor que un sistema convencional. De manera similar, en el sentido de ida, el divisor activo puede ayudar a obtener mejores márgenes de rendimiento. Varios procedimientos para alimentar el divisor activo se pueden implementar más fácilmente con el receptor dado a conocer. Por ejemplo, un respaldo de batería a dichos niveles bajos de potencia es sencillo, aunque una batería puede requerir una conexión eléctrica de alguna clase o una solución con alimentación solar, por ejemplo.

Tal como se ha descrito anteriormente, los conceptos de receptor de entrada múltiple dados a conocer pueden proporcionar una SNR significativamente mayor que los sistemas convencionales y carecen de OBI. El número de entradas ópticas por receptor puede ser muy alto sin afectar al rendimiento del receptor. Un modelo de este tipo podría requerir retransmisión con el requisito de potencia estimado en el orden de un vatio o de unos pocos vatios, posiblemente incluso menos con un diseño cuidadoso. La potencia de respaldo de batería es una opción para salvar largos periodos de corte eléctrico.

Los receptores de entradas múltiples dados a conocer se pueden implementar en la cabecera, con el resultado de coste, espacio y potencia reducidos en la cabecera y, además, beneficios en el rendimiento. La implementación del receptor de entradas múltiples aumenta los márgenes de SNR, de tal modo que se pueden considerar ONU de menor potencia para reducir el coste de las ONU. Las realizaciones pueden incluir la implementación de un nodo WDM y detector por ONU, donde los WDM y los detectores pueden estar integrados en el módulo de divisor que está presente en la ubicación del nodo/divisor para mitigar el coste de un nodo WDM y detector por ONU.

Las señales de detector 441 se pueden reunir en una salida 493 o sino una salida adaptada en impedancia en el módulo de divisor 400, por ejemplo, una línea coaxial es un ejemplo de una salida controlada en impedancia, aunque son posibles otras implementaciones de una salida adaptada en impedancia. El concepto de receptor de entradas múltiples permite la colocación de muchos detectores 402, 404, 406, 408 a lo largo de una línea de transmisión, de tal modo que la suma de las corrientes de detector retardadas se proporciona a continuación a un amplificador 502, a una distancia arbitraria de los detectores. En una implementación alternativa, se podrían combinar varias ONU para cada puerto detector 402, 404, 406, 408, reduciendo el número necesario de puertos de detector y reduciendo por lo tanto el coste, con un leve aumento en la característica de SNR debido a la pérdida por inserción de un combinador. Por lo tanto, se podría elegir utilizar combinadores ópticos antes de los puertos de detector, pero con el riesgo de que se produzca OBI cuando se utilizan combinadores ópticos. Dichos combinadores ópticos existirían fuera del divisor 400.

Se debe observar que la utilización de la estructura de receptor de línea de transmisión dada a conocer es distinta de otros procedimientos que pueden simplemente utilizar un combinador de RF, tal como se describe en este documento. Dado que los detectores son una parte integral de la línea de transmisión (no existe algo como un combinador separado de los detectores), no tiene mucho sentido para una aplicación de combinador de RF.

En realizaciones, se podría considerar un divisor activo 400 con disipación menor de 5 vatios proporcionando ganancias en los sentidos tanto de ida como inverso, que alivie muchas de las limitaciones de diseño de los sistemas RFoG y reduzca el espacio del equipo HE. Aunque el respaldo de batería es sencillo, por supuesto sigue requiriendo alguna conexión de alimentación.

Las figuras 6 a 12 muestran topologías adicionales que pueden utilizar las técnicas dadas a conocer. La figura 6 representa una topología de acoplador multimodo (MMC) 600. La figura 6 incluye un divisor/combinador activo 600, como se ha explicado con respecto a las figuras 1 y 2. La luz ascendente puede pasar de izquierda a derecha, por ejemplo a una longitud de onda de 1310 o 1610 nm. La luz descendente puede pasar de derecha a izquierda, por ejemplo a una longitud de onda de 1550 nm.

En la entrada a 600, la luz entrante se separa primero de la luz ascendente, por ejemplo a una longitud de onda de 1310 o 1610 nm en un componente de WDM (multiplexación por división de longitud de onda) 606. La luz descendente 605 se proporciona a continuación a componentes ópticos (tal como filtros de película delgada), cada uno de los cuales proporciona una fracción de la potencia óptica a una fibra 602, 604 que va a los abonados (a la izquierda). Estos abonados tienen unidades de recepción/transmisión (ONU, no mostradas en este caso) que

reciben la información descendente y envían información ascendente a una longitud de onda diferente, por ejemplo 1310 o 1610 nm.

La información ascendente es transferida por los componentes ópticos y llega al combinador multimodo (MMC) 608, que combina todas las entradas en una fibra multimodo de núcleo mayor, de tal modo que toda la luz proporcionada a la entrada del acoplador MMC se conserva en la fibra de núcleo mayor. La señal se proporciona a continuación a un detector de gran área (PD) en el receptor 610 que proporciona una señal a un amplificador que acciona un transmisor (TX) 612, enviando una señal al combinador WDM (WDM) 614 que está conectado a una fibra 616 que conduce a la cabecera. Cabe señalar que para detectar una señal de fibra multimodo de una salida de fibra de núcleo grande entregada desde el MMC 608, implícitamente se requiere un detector mayor que para detectar una señal de fibra de modo único. El detector de área grande en RX 610 tiene una capacidad mayor y esto puede limitar el ancho de banda del receptor. Sin embargo, esta implementación puede tener implementaciones prácticas que siguen satisfaciendo los requisitos. Una realización alternativa utiliza múltiples detectores para la estructura de línea de transmisión dada a conocer en la presente memoria.

La figura 7 representa la utilización de un combinador multimodo similar a la topología mostrada en la figura 6, que incluye asimismo un EDFA 702. Se deberá reconocer que si se proporciona una cantidad pequeña de potencia para alimentar una función de recepción/transmisión 710/712, entonces se puede proporcionar potencia adicional a un EDFA 702. Por lo tanto, se puede proporcionar un combinador de divisor activo 700 que resuelva no sólo los cuellos de botella ascendentes de un sistemas RFoG sino asimismo las limitaciones descendentes, mediante proporcionar amplificación en el trayecto descendente. Esto se puede realizar con un EDFA 702 en el trayecto de señal descendente, tal como se muestra en la figura 7.

Las mejoras reconocidas por las realizaciones dadas a conocer en la presente memoria tienen implicaciones principales para la aplicabilidad de redes de RFoG con altas relaciones de división. Las redes de RFoG tradicionales tienen longitudes de fibra de hasta 25 km y una relación de división de 32 (32 ONU en un receptor de cabecera) debido al balance de potencia óptica, 25 km de fibra y una división de 32 provoca hasta aproximadamente 24 dB de pérdida. Con un transmisor ONU de 3 dBm, que tiene como resultado -21 dBm en el receptor de cabecera, que apenas son suficientes para hacer que el sistema funcione. En las técnicas dadas a conocer, se pueden utilizar hasta 1000 ONU o más en un receptor de cabecera, mediante la utilización de los divisores/combinadores activos presentados. Por ejemplo, ahora por primera vez, se pueden conseguir relaciones de división significativamente por encima de 32 (por ejemplo, 128) combinadas con largo alcance (por ejemplo, tramos de 40 km entre la cabecera y el divisor activo). Mientras que RFoG se definió en torno al estándar PON que puede solamente manejar alcances cortos (25 km) y tiene problemas asimismo con las relaciones de división, la adición de dichos divisores activos dados a conocer proporciona un mayor alcance de RFoG y una mayor capacidad de división que la PON, a una capacidad de procesamiento mucho mayor que la PON.

La figura 8 representa una realización de divisor activo con detectores y óptica selectiva en longitud de onda integrada. Las entradas al divisor 800 se pueden recibir desde una cabecera. El componente WDM 802 puede dividir las longitudes de onda de 1550 nm y 1610 nm. La señal de ida 808 se puede proporcionar al EDFA 804 alimentando un divisor 805. El divisor 805 proporciona luz a las fibras de salida 806, 808, 810, 812, que alimentan cada una un divisor/combinador 815, 817, 819, 821 conectado a las fibras 822, 824, etc. En realizaciones, pueden existir una o varias fibras de salida por divisor, tales como fibras 822 y 824 entregadas desde el divisor 815.

A la inversa, la luz ascendente es dividida por los mismos divisores 815, 817, 819, 821, la mitad de esta se proporciona a los detectores (D) 814, 816, 818, 820, donde los detectores tienen un revestimiento que refleja 1550 nm, de tal modo que los detectores son insensibles a reflexiones espurias de la señal ascendente.

La figura 8 muestra una implementación del divisor activo dado a conocer, donde los componentes de WDM (por ejemplo, componentes de WDM 424, 426, 428 y 430 representados en la figura 4) se han retirado en gran medida del divisor activo. La figura 8 muestra un divisor activo con divisores pasivos/activos mezclados para mitigación de OBI. Esta implementación requiere por lo menos una división pasiva, por ejemplo, por medio de divisores 815, 817, 819, 821 a continuación del divisor activo. El puerto terminado usualmente del divisor pasivo 815, 817, 819, 821 (todos los divisores son, en principio, dispositivos 2x2 pero, habitualmente, se termina un puerto) se proporciona a los detectores. De este modo, las modificaciones al receptor activo de N entradas pueden ser la adición de divisores pasivos a la derecha.

En realizaciones, los detectores tienen un revestimiento que refleja la longitud de onda de ida de 1550 nm (es decir, luz procedente de la cabecera); por medio de la reflexiones, alguna fracción de la señal de ida podría sino terminar en la banda de vuelta. Esto no es un problema con una RFoG convencional, donde las bandas de frecuencia de ida y de vuelta no solapan. Sin embargo, con RFoG de ancho de banda extendida, estas bandas pueden solapar y entonces la señal de ida actuaría como una fuente de ruido para las señales de vuelta. En condiciones normales no hay reflexión de la señal de ida (izquierda a derecha). Sin embargo, en caso de que la fibra a los detectores, tal como 822, tenga una imperfección, entonces esta puede reflejar parte de la luz descendente de vuelta hacia el divisor activo, y por lo tanto viajar de derecha izquierda.

- Un procedimiento alternativo para rechazar la longitud de onda de ida larga es utilizar detectores con una banda prohibida mayor que no sea sensible a 1550 nm. Dichos detectores deberían tener fundamentalmente el mismo coste que otros detectores basados en InGaAs(P), pero consideraciones de volumen pueden hacer preferible el recubrimiento del detector. En caso de que ambas fibras, por ejemplo, 822 y 824, 825 y 826, 828 y 830, 832 y 834 del divisor sean enviadas a los abonados, entonces dos abonados pueden transmitir al mismo detector al mismo tiempo, y se puede producir OBI. Esto se puede resolver asignando dos longitudes de onda diferentes a dichos abonados, o se puede añadir detección activa de OBI con el resultado de una señal enviada al láser ascendente L 840, permitiéndose a una pequeña fracción de la señal sobre el láser ascendente L 840 pasar hacia abajo a través del WDM 802 y a continuación del EDFA 804, y el evento OBI se puede señalar al grupo de abonados, de tal modo que las ONU pueden ajustar su longitud o longitudes de onda como sea necesario. El mismo concepto descrito en este caso se puede expandir, por ejemplo, a división 4x mediante los divisores 815, 817, 819, 821, un compromiso donde la gestión de OBI activa mencionada anteriormente sigue funcionando bien y las pérdidas no son tan altas para impedir una buena SNR.
- Tal como se ha explicado, la implementación mostrada en la figura 8 puede no carecer de OBI. Sin embargo, para factores con baja división pasiva, una implementación de bajo coste de desplazamiento dinámico de longitudes de onda puede converger muy rápidamente a ausencia total de OBI. Se debe observar que el divisor activo libera el balance de fibra, se pueden cubrir mayores distancias y existe una reducción significativa en la potencia total de EDFA requerida en el sistema, el cómputo de EDFA de cabecera y la potencia en las fibras ópticas, de tal modo que SBS deja de ser un factor limitador. En los sistemas RFoG convencionales con divisores pasivos, SBS es un factor limitador.
- La detección de OBI LF 842 utiliza una banda por debajo de 5 MHz para detectar ruido fuera de banda creado por la OBI. Cuando se produce OBI, el láser de vuelta (L) 840 se puede modular con una portadora de baja frecuencia (o una portadora LF existente es modulada en fase) y una fracción de dicha señal puede pasar a través del EDFA 804 al trayecto de ida. Esta portadora puede estar en el intervalo de 500 kHz a 4 MHz. Dicha señal puede ser detectada fácilmente por la ONU con medios de bajo coste, y la ONU puede adoptar una acción si es necesario, desplazando su longitud de onda en caso de que estuviera involucrada en un evento OBI.
- En realizaciones, la señal del láser de vuelta (L) 840 es suprimida fuera de esta portadora para garantizar que la cabecera no está afectada por la OBI, de tal modo que la cabecera puede seguir combinando las señales procedentes de otros divisores activos, y solamente se ven afectados los usuarios a la derecha del divisor 800. Dado que en este caso sólo se combinan pasivamente de 2 a 8 puertos (por ejemplo, dos puertos que se combinan pasivamente, por ejemplo, son los puertos 822, 824), es relativamente fácil alcanzar un estado sin OBI. Incluso con láseres FP (láseres Fabry-Perot, que son un tipo de láser de bajo coste con poca estabilidad de longitud de onda), se puede garantizar un funcionamiento sin OBI con un número pequeño de divisiones pasivas (de 2 a 4) mediante los divisores 815, 817, 819, 821 a la derecha de los detectores.
- Los divisores pasivos mostrados en la figura 8 pueden inducir pérdidas en los puertos a los detectores 814, 816, 818, 820, pero reducen el coste de los detectores y los WDM requeridos por puerto. El circuito de detección de OBI LF 842 que se muestra en la figura 8 se puede añadir para señalización basada en detección OBI y para proporcionar la señal al láser de vuelta. En realizaciones, la longitud de onda de vuelta se puede desplazar a 1610 nm, tal como se muestra en la figura 8, o a 1310 nm.
- Un funcionamiento garantizado sin OBI puede ser preferible en la mayor parte de los casos; en dichas implementaciones, los detectores se pueden seguir beneficiando del filtrado óptico para rechazar la longitud de onda de ida, por ejemplo, rechazando reflexiones no deseadas de señales del trayecto de ida que de lo contrario podrían ser detectadas.
- La figura 9 representa una realización con reflectores de 1550 nm, es decir, WDM 904, 906, 908, 910, antes de los detectores. Los WDM 904, 906, 908, 910 y los detectores 912, 914, 916, 918 pueden estar integrados para reflejar la luz de 1550 nm y pasar la luz de 1610 nm, de tal modo que la luz de 1610 nm llega a los detectores. La luz de ida de 1550 nm es transferida por el primer WDM 902 al divisor 903. El divisor 903 divide la luz sobre subsiguientes componentes WDM 904, 906, 908, 910 con una alta reflexión a 1550 nm. La luz de 1550 nm se transfiere a las fibras de salida 920, 922, 924, 926. Los 1610 nm que entran en las fibras de salida en un sentido inverso a la luz de 1550 nm (es decir, las fibras mostradas son bidireccionales, de tal modo que el flujo descendente de 1550 nm sale por arriba y la luz ascendente de 1610 nm puede entrar al divisor 900 desde arriba) son transferidos por los componentes de WDM 904, 906, 908, 910 y llegan a los detectores 912, 914, 916, 918.
- Por lo tanto, tal como se muestra en la figura 9, el divisor/combinador activo puede pasar completamente longitudes de onda de arquitectura PON, es decir, las señales ópticas para longitudes de onda PON no entran en los detectores y pasan a través del divisor óptico pasivo sin más procesamiento. Los múltiples detectores están configurados para recibir una banda de longitud de onda específica de RFoG en torno a 1610 nm y pasar todas las demás longitudes de onda hacia y desde el divisor activo, donde pasar se refiere a no procesar todas las demás longitudes de onda hacia y desde el divisor activo, sino por el contrario permitirles pasar a través del divisor pasivo 805 o 903.

Aunque las realizaciones representadas en la figura 9 pueden ser deseables, la luz de 1550 nm reflejada por los componentes de WDM (tal como filtros de película delgada), tal como se muestra en la figura 9, puede tener como resultado que una pequeña cantidad de luz de 1550 nm se fuga (tal como de -15 dB) y alcanza los detectores 912, 914, 916, 918. La luz de 1550 nm fugada puede inducir fuga de señales entre el trayecto de ida y el inverso, entrando y saliendo del divisor activo 900, 1000. La fuga de señales puede degradar el rendimiento del trayecto de vuelta cuando la luz de ida alcanza los detectores D. En este contexto, toda la luz de 1550 nm es de ida, procede de 902 a 903 a 904 y principalmente sale en 920 pero, potencialmente, podría fugarse parte a 912 en caso de que WDM 904 no esté funcionando bien. El problema de la degradación existe para implementaciones que dependen del rechazo de la luz, por ejemplo, la luz de 1550 nm en la figura 9, que sin embargo llega parcialmente al detector (es decir, en lugar de dirigir específicamente la luz deseada, por ejemplo, luz de 1610 (o 1310) nanómetros en la figura 9, a los detectores).

Tal como se muestra en la realización de la figura 9, la luz de ida puede estar dirigida al detector a plena potencia de entrada hacia, por ejemplo, el WDM 904, que podría dejar escapar luz del divisor 903 al detector 912, en el que, en la figura 10 mostrada a continuación, solamente las reflexiones no deseadas de luz de ida 1028 a los WDM, tal como el WDM 1013, se pueden dirigir a detectores, tal como 1021. Por lo tanto, la realización de la figura 9 puede interesar por simplicidad, pero otras consideraciones pueden hacer que los reflectores de 1550 nm colocados frente a los detectores, tal como se muestra en la figura 8, sean una realización más útil.

La figura 10 muestra una realización de receptor de múltiples detectores con divisor/combinador activo, donde la cabecera está a la derecha y los abonados están a la izquierda. La figura 10 representa fracciones de acoplamiento de luz descendente 1028 con componentes de WDM (1010, 1011, 1012, 1013) a fibras (1002, 1004, 1006, 1008) y el paso de luz ascendente de las fibras a detectores (1018, 1019, 1020, 1021), estando dichos dispositivos ópticos y múltiples detectores en cascada en una estructura de receptor de línea de transmisión. La figura 10 muestra una disposición de componentes de filtro delgado con relaciones de acoplamiento de potencia, que se explican a continuación con respecto a la figura 11. En la figura 10, la luz procedente de los abonados entra de izquierda a derecha y pasa a los filtros de película delgada (por ejemplo, filtros WDM), tal como 1010, para ser detectada en fotodiodos, tal como 1018. Por lo tanto, la luz descendente pasa de derecha a izquierda, por ejemplo a una longitud de onda de 1550 nm. En el sentido descendente, la luz puede primero ser separada de la luz ascendente, por ejemplo a una longitud de onda de 1310 o 1610 nm en un componente WDM 1024 (multiplexación por división de longitud de onda). La luz descendente en 1028 se proporciona a continuación a componentes ópticos 1010, 1011, 1012, 1013 (tal como filtros de película delgada), cada uno de los cuales proporciona una fracción de la potencia óptica a una fibra 1002, 1004, 1006, 1008 que va a los abonados. Estos abonados tienen unidades de recepción/transmisión (ONU, no mostradas en este caso) que reciben la información descendente y envían información ascendente a una longitud de onda diferente, por ejemplo 1310 o 1610 nm.

La información ascendente pasa asimismo sobre fibras 1002, 1004, 1006, 1008, a continuación pasa por los componentes ópticos 1010, 1011, 1012, 1013 y llega a los detectores (PD) 1018, 1019, 1020, 1021 que están dispuestos en una estructura de línea de transmisión (tal como la mostrada en las figuras 3, 5, 8 y 9) proporcionando una señal a un amplificador (AMP) 1022 que acciona un transmisor (TX) 1023, enviando una señal al combinador WDM (WDM) 1024 que está conectado a una fibra 1026 que se extiende hasta la cabecera (no mostrada).

La figura 11 muestra el receptor de múltiples detectores de la figura 10, pero mostrando un ejemplo de escala de relaciones de acoplamiento de potencia. La longitud de onda descendente 1028 (por ejemplo, 1550 m) puede tener que ser dividida en potencia sobre las fibras a la ONU por medio de fibras 1002, 1004, 1006, 1008. Para hacer esto, los componentes de WDM 1024 se podrían beneficiar de reflectividades parciales a la longitud de onda descendente; el ejemplo mostrado en la figura 11 incluye números de reflectividad 1101, 1102, 1103, 1104 apropiados para conseguir este objetivo. La luz descendente entra desde la derecha, por ejemplo, luz 1028, al primer reflector 1013. Se debe observar que, en este contexto, un reflector es un componente con una reflexión a una longitud de onda deseada o un intervalo deseado de longitudes de onda, que deja pasar otras longitudes de onda. El reflector 1013 de esta realización está representado con solamente una reflexión del 25 %, y por lo tanto 1/4 de la potencia se dirige a la primera fibra de salida 1008 mientras que 3/4 pasan al siguiente reflector 1012. El siguiente reflector 1012 tiene una reflectividad de 1/3, dirigiendo $1/3 * 3/4 = 1/4$ de la potencia a la siguiente fibra 1006 y dejando pasar $2/3 * 3/4 = 1/2$ de la potencia. El siguiente reflector 1011, con reflectividad de 1/2, dirige 1/4 de la potencia a la siguiente fibra 1004 y deja pasar 1/4 al último reflector 1010, que tiene una alta reflexión para dirigir la luz restante (1/4) a la última fibra 1002. De este modo, la figura 11 muestra componentes selectivos en longitud de onda con reflexiones fraccionarias a una o varias longitudes de onda descendente, aumentando desde un valor de $(1-N)/N$, donde N es el número de puertos de salida, hasta 1.

Para luz ascendente (por ejemplo, a una longitud de onda de 1610 nm o 1310 nm), los reflectores 1010, 1011, 1012, 1013 tienen poco efecto y la luz ascendente es dirigida a los detectores (PD) 1018, 1019, 1020, 1021.

La figura 12 representa un ejemplo de combinación de bloques a partir de las figuras 10 y 11. En el sentido de ida, un EDFA 1234 puede amplificar una longitud de onda de ida, tal como de 1550 nm, proporcional a un divisor 1236 que distribuye potencia sobre dos bloques de divisor activo 1201, 1202, estando cada bloque divisor construido tal como se ha explicado anteriormente. Las hileras de fotodiodos (PD) 1210-1213 y 1220-1223 en los bloques de

receptor (las cadenas PD 1210-1213, por ejemplo, desde una línea de transmisión son bloques de receptor) se pueden amplificar dentro de bloques de divisor activo 1201, 1202, respectivamente, tal como se ha mostrado anteriormente. Alternativamente, las hileras de fotodiodos (PD) 1210-1213 y 1220-1223 se pueden combinar pasivamente debido a que los detectores están dispuestos en una topología de línea de transmisión. Las líneas de transmisión se pueden concatenar sin pérdida de funcionalidad (aparte de atenuación a frecuencias muy altas, debida a pérdidas). Aunque la figura 12 representa dos amplificadores, lo anterior describe cómo múltiples bloques, por ejemplo 1201, 1202, pueden ser combinados y proporcionados a un único amplificador que controla el transmisor (Tx) 1230. Un componente de WDM (WDM) 1232 divide y combina las longitudes de onda ascendentes y descendentes.

A menudo se instalan sistemas RFOG con la intención de sustituirlos con sistemas PON a largo plazo. Para ello, puede ser deseable que los divisores y combinadores que se han instalado sean reutilizables. En otros casos, la prioridad es instalar sistemas RFOG con el mínimo coste posible. Tal como se ha descrito anteriormente, en el flujo ascendente, el RFOG puede utilizar 1610 nm o 1310 nm. 1310 nm, está reservado asimismo para funcionamiento PON y, por lo tanto, a menudo se escoge 1610 nm para RFOG. Tal como se ha descrito anteriormente, la RFOG descendente puede ser a 1550 nm. Un examen más minucioso de las realizaciones descritas anteriormente, por ejemplo, la integración de la realización de la figura 4 en componentes de WDM o la realización de la figura 5 relacionada con la adición de EDFA a WDM), muestra que cuando se dirigen 1610 nm hacia los detectores, dichos dispositivos pueden ser sensibles solamente a 1610 nm. La realización de la figura 8 mostrada anteriormente con el divisor pasivo (realización relacionada con la adición de EDFA a WDM) es para todas las demás longitudes de onda, y por lo tanto completamente compatible con PON. Para algunas realizaciones, sería necesario añadir una derivación entorno al EDFA para todas las longitudes de onda diferentes a 1550 nm, para hacerlas compatibles con PON.

Si la prioridad de diseño es instalar la implementación de RFOG de mínimo coste, entonces se puede utilizar transmisión ascendente de 1310 m de RFOG. A continuación, los componentes de WDM como los mostrados en la figura 8 pueden dirigir 1310 nm a los detectores, o se puede utilizar una de las otras realizaciones. Consideraciones similares aplican a las realizaciones relacionadas con la utilización de un acoplador multimodo (MMC), tal como el que se muestra en la figura 6, y con la utilización de un MMC con un EDFA, tal como se muestra en la figura 7.

Por otra parte, las realizaciones que utilizan reflectores a 1550 nm (o una longitud de onda descendente adecuada), por ejemplo tal como se muestra en la figura 8, se pueden configurar para recibir transmisiones ascendentes tanto de 1610 como de 1310 nm, y por lo tanto permiten la máxima libertad en la selección de la longitud de onda ascendente de RFOG. Dichas realizaciones de reflector pueden ser más limitativas en el intervalo de longitud de onda descendente (salvo que los reflectores sean óptica de película delgada más complicados utilizada con bandas de longitud de onda).

Por lo tanto, tal como se describe en la presente memoria, cualquier estilo de implementación tiene sus propios méritos por diferentes razones. Dirigir un haz de luz se realiza habitualmente con un rechazo mucho mejor de la luz no deseada, tal como de -40 dB o mejor, que rechazar/bloquear la luz no deseada. Las figuras 10 y 11 representan diseños de divisor/combinador activo que pueden dejar pasar longitudes de onda particulares por la arquitectura de PON. La figura 13 muestra longitudes de onda PON de ejemplo que pueden ser deseables para el paso no procesado por los detectores representados en las figuras 10 y 11. La figura 13 muestra realizaciones de ejemplo para capacidades de atravesar PON, incluyendo reciprocidad de longitudes de onda, para longitudes de onda diferentes a 1610 nm. Por ejemplo, el divisor activo se puede comportar como un divisor/combinador pasivo a longitudes de onda diferentes a 1610 y 1550 nm; es decir, las longitudes de onda diferentes a la banda 1600-1620 nm y las longitudes de onda diferentes a la banda 1530-1560 nm pueden atravesar la arquitectura PON, es decir, pasar a través de los detectores sin ningún procesamiento.

En realizaciones, los detectores están configurados para recibir una banda de longitud de onda en torno a 1310 nm. En realizaciones, los detectores están configurados para recibir todas las longitudes de onda excepto una banda en torno a 1550 nm.

Alimentación

Dado que el receptor de línea de transmisión dado a conocer en la presente memoria puede tener como resultado un receptor de 32 entradas con un único amplificador, puede existir una baja disipación de potencia, de tal modo que se hacen disponibles muchas opciones de baja potencia para alimentarlo. A continuación se proporcionan opciones de ejemplo de alimentación:

- Si la RFOG es una MDU: utilizar la potencia MDU con UPS y respaldo de batería para el divisor activo
- Si la RFOG es una nueva construcción: sacar cobre junto con la fibra para iluminar el divisor activo junto con un respaldo de batería.
- Si la RFOG es una extensión de HFC: extraer potencia de la planta de HFC junto con un respaldo de batería
- Si la RFOG está en un poste de servicio público: extraer potencia de la compañía de servicio público junto con un respaldo de batería

Una RFoG puede estar situada conjuntamente con los puntos de acceso inalámbrico. Un filtro activo de RFoG puede tener potencia solar. RFoG puede tener potencia de fibra, ya sea como un bombeo de fibra SM o como un bombeo de fibra MM desde la ONU o desde la cabecera u otro nodo.

5 Realizaciones:

Un combinador como el descrito en la presente memoria, que está situado entre el CMTS y la ONU, no formando parte de ninguno. El combinador convierte la RFoG en una red activa.

10 El combinador de la realización 1 que es compatible PON.

Un receptor de línea de transmisión con una impedancia de 75 ohmios de la línea de transmisión. Una línea de transmisión diferencial puede formarse asimismo utilizando fotodetectores e inductores. Una línea de transmisión compensada con impedancia diferencial de 100 ohmios adaptación diferencial de 100 ohmios.

15 Se describen realizaciones que incluyen reciprocidad de longitud de onda diferente a 1610 nm. En realizaciones, el divisor activo se comporta como un divisor/combinador pasivo a longitudes de onda diferentes a 1610 y 1550 nm; es decir, longitudes de onda diferentes a la banda 1600-1620 nm y longitudes de onda diferentes a la banda 1530-1560 nm.

20 En realizaciones descritas anteriormente, los EDFA pueden dejar pasar todas las longitudes de onda diferentes a 1610 nm y 1550 nm en torno al EDFA. En realizaciones, existen WDM, por lo menos uno antes y por lo menos uno después del EDFA, y en ambos lados pueden dejar pasar longitudes de onda en torno al EDFA.

25 En realizaciones, los alineamientos ópticos pasan completamente la arquitectura PON. En realizaciones, los divisores ópticos tienen detectores integrados configurados para recibir una banda de longitud de onda en torno a 1610 nm y dejar pasar todas las demás longitudes de onda hacia y desde el divisor activo. La función de divisor se puede realizar con reflectores, tales como espejos de micro-óptica con reflexiones fraccionarias, de tal modo que se realiza una fracción de división igual para cada uno de los múltiples puertos del divisor (tal como se muestra mediante los reflectores 1010, 1011, 1012, 1013 de la figura 11).

30 Un receptor óptico con múltiples detectores, con dichos detectores concatenados en una estructura de línea de transmisión con una impedancia característica y con elementos de adaptación inductiva, que adaptan la capacitancia parásita de los detectores a dicha impedancia, y con por lo menos un lado de la línea de transmisión conectado a un amplificador. Por lo tanto, el factor de ruido puede estar dominado por la impedancia de la línea de transmisión y, por lo tanto, es peor que en muchas otras arquitecturas de receptor con un único detector, pero generalmente mejor que en los receptores de múltiples detectores con combinación de RF. El análisis de los inventores demuestra que la utilización de un receptor de este tipo puede ser beneficiosa en un sistema RFoG, comparada con la combinación óptica pasiva antes de un receptor, con un factor de ruido optimizado.

40 Igual que arriba, con por lo menos un lado de la línea de transmisión terminado con una impedancia que adapta la impedancia característica de la línea de transmisión.

Como uno de los anteriores, con por lo menos un transmisor óptico que retransmite la señal de RF entregada por el amplificador.

45 Un sistema RFoG con un receptor óptico como uno de los anteriores, que recibe longitudes de onda enviadas hacia arriba por las ONU (equipo de RFoG con terminación en el hogar, con funciones de transmisión y recepción).

50 Igual que arriba, con una longitud de onda descendente que es transmitida a las ONU.

Igual que arriba, con un EDFA que amplifica la longitud de onda descendente.

Como cualquiera de los anteriores, con un panel solar y un respaldo de batería que proporcionan alimentación al amplificador del receptor y al transmisor y, opcionalmente, al EDFA.

55 Un divisor óptico activo, que comprende un receptor de línea de transmisión y un EDFA, según se describe en la presente memoria. El EDFA puede tener una derivación implementada con componentes de WDM para longitudes de onda no amplificadas o destinadas a ser gestionadas por el EDFA.

60 El divisor anterior, donde existe por lo menos un combinador multimodo.

Un divisor activo, donde los componentes selectivos en longitud de onda tienen reflexiones fraccionarias a la longitud de onda descendente, que aumentan desde un valor de $(1-N)/N$, donde N es el número de puerto de salida, hasta 1.

65

En uno o varios ejemplos, las funciones descritas en la presente memoria se pueden implementar en hardware, software, software inalterable o cualquier combinación de los mismos. Si se implementan en software, las funciones pueden estar almacenadas en, o ser transmitidas como una o varias instrucciones o código en un medio legible por ordenador y ejecutado por una unidad de procesamiento basada en hardware. Los medios legibles por ordenador pueden incluir medios de almacenamiento legibles por ordenador, que corresponden a un medio tangible, tal como un medio de almacenamiento de datos, o medios de comunicación que incluyen cualquier medio que facilita la transferencia de un programa informático de una ubicación a otra, por ejemplo de acuerdo con un protocolo de comunicación. De este modo, los medios legibles por ordenador pueden corresponder en general a (1) medios de almacenamiento tangibles legibles por ordenador, que son no transitorios o (2) un medio de comunicación que tiene una señal o una onda portadora. Los medios de almacenamiento de datos pueden ser cualesquiera medios a los que se pueda acceder mediante uno o varios ordenadores o uno o varios procesadores para recuperar instrucciones, código y/o estructuras de datos para la implementación de las técnicas descritas en esta invención. Un producto de programa informático puede incluir un medio legible por ordenador.

A modo de ejemplo, y no de limitación, dichos medios de almacenamiento legibles por ordenador pueden comprender RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM u otro almacenamiento de disco óptico, almacenamiento de disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, memoria flash o cualquier otro medio que se pueda utilizar para almacenar código de programa deseado en forma de instrucciones o estructuras de datos, y al que se pueda acceder mediante un ordenador. Asimismo, cualquier conexión se denomina adecuadamente un medio legible por ordenador. Por ejemplo, si se transmiten instrucciones desde un sitio web, servidor u otra fuente remota utilizando un cable coaxial, un cable de fibra óptica, un par trenzado, una línea de abonado digital (DSL, digital subscriber line) o tecnologías inalámbricas tales como infrarrojos, radio y microondas, entonces el cable coaxial, cable de fibra óptica, par trenzado, DSL o tecnologías inalámbricas tales como infrarrojo, radio y microondas están incluidas en la definición de medio. Sin embargo, se debe entender que los medios de almacenamiento legibles por ordenador y los medios de almacenamiento de datos no incluyen conexiones, ondas portadoras, señales u otros medios transitorios, sino que por el contrario están dirigidos a medios de almacenamiento tangibles, no transitorios. Disco magnético y disco óptico, tal como se utilizan en la presente memoria, incluyen disco compacto (CD), disco láser, disco óptico, disco versátil digital (DVD), disco flexible y disco Blu-ray, donde los discos magnéticos normalmente reproducen datos de forma magnética mientras que los discos ópticos reproducen los datos de forma óptica con láseres. Las combinaciones de lo anterior se deberán incluir asimismo dentro del alcance de los medios legibles por ordenador.

Las instrucciones pueden ser ejecutadas por uno o varios procesadores, tales como uno o varios procesadores de señal digital (DSP, digital signal processors), microprocesadores de propósito general, circuitos integrados de aplicación específica (ASIC, application specific integrated circuits), matrices lógicas programables in situ (FPGA, field programmable logic arrays) u otros circuitos lógicos integrados o discretos equivalentes. Por consiguiente, el término "procesador", tal como se utiliza en la presente memoria, se puede referir a cualquiera de las estructuras anteriores o a cualquier otra estructura adecuada para la implementación de las técnicas descritas en la presente memoria. Además, en algunos aspectos, la funcionalidad descrita en la presente memoria se puede proporcionar dentro de módulos de hardware y/o software dedicados, configurados para codificar y descodificar, o incorporados en un códec combinado. Asimismo, las técnicas se podrían implementar completamente en uno o varios circuitos o elementos lógicos.

Las técnicas de esta invención se pueden implementar en una amplia gama de dispositivos o aparatos, incluyendo un teléfono inalámbrico, un circuito integrado (IC, integrated circuit) o un conjunto de IC (por ejemplo, un conjunto de chips). En esta invención se describen diversos componentes, módulos o unidades para enfatizar aspectos funcionales de dispositivos configurados para llevar a cabo las técnicas dadas a conocer, pero no necesariamente se requiere la realización mediante diferentes unidades de hardware. Por el contrario, tal como se ha descrito anteriormente, varias unidades se pueden combinar en una unidad de hardware de códec o proporcionar mediante una colección de unidades de hardware interconectadas, que incluyen uno o varios procesadores según se ha descrito anteriormente, junto con software y/o software inalterable adecuado.

REIVINDICACIONES

1. Un divisor/combinador activo, que comprende:
 - 5 uno o varios multiplexores por división de onda -WDM- (424) adaptados para recibir señales ópticas ascendentes;
 - un divisor pasivo (415) adaptado para dividir una señal óptica descendente, permaneciendo las señales divididas en un dominio óptico; y
 - 10 múltiples detectores (402, 404, 406, 408), dichos detectores concatenados en una estructura de línea de transmisión para recibir una respectiva de las señales ópticas ascendentes,
 - en el que la estructura de línea de transmisión está adaptada para combinar salidas de los múltiples detectores en una única señal de radiofrecuencia, proporcionando de ese modo a la salida una señal representativa de la suma de las corrientes de detector retardadas.
- 15 2. El receptor del divisor/combinador activo según la reivindicación 1, en el que por lo menos un lado de la línea de transmisión que comprende los múltiples detectores termina con una impedancia que adapta una impedancia característica de la línea de transmisión.
- 20 3. El divisor/combinador activo según la reivindicación 2, en el que la línea de transmisión tiene elementos de adaptación inductiva para adaptar una capacidad parásita de los múltiples detectores a dicha impedancia.
4. El divisor/combinador activo según la reivindicación 1, que comprende un amplificador, en el que por lo menos un lado de la línea de transmisión está conectado al amplificador.
- 25 5. El divisor/combinador activo según la reivindicación 4, que comprende además por lo menos un transmisor óptico que retransmite la única señal de radiofrecuencia después de la amplificación por el amplificador.
6. El divisor/combinador activo según la reivindicación 1, en el que por lo menos una de las señales ópticas ascendentes recibidas por el divisor/combinador activo es una señal óptica ascendente que no ha sido combinada en radiofrecuencia.
- 30 7. El divisor/combinador activo según la reivindicación 1, que comprende además un amplificador de fibra dopada con erbio (EDFA) para amplificar la señal óptica descendente antes de la división.
- 35 8. El divisor/combinador activo según la reivindicación 1, que comprende además por lo menos una de una conexión de potencia eléctrica, un panel solar o un respaldo de batería para proporcionar potencia a por lo menos uno del amplificador del receptor, el transmisor o un EDFA.
9. El divisor/combinador activo según la reivindicación 1, que comprende además un amplificador de fibra dopada con erbio (EDFA), en el que el divisor óptico activo comprende una derivación alrededor del EDFA.
- 40 10. El divisor óptico activo según la reivindicación 9, en el que la derivación permite compatibilidad con una red óptica pasiva (PON).
- 45 11. El divisor/combinador activo según la reivindicación 1, que comprende además componentes selectivos en longitud de onda con reflexiones fraccionarias en una o varias longitudes de onda descendente, que aumentan desde un valor de $(1-N)/N$, donde N es el número de puertos de salida, hasta 1
- 50 12. El divisor/combinador activo según la reivindicación 1, en el que el divisor/combinador activo está posicionado entre un sistema de terminación de cable módem (CMTS) y una unidad de red óptica (ONU), y convierte una red de radiofrecuencia sobre vidrio (RFoG) en una red activa.
13. El divisor/combinador activo según la reivindicación 1, en el que la estructura de línea de transmisión tiene una impedancia de la línea de transmisión de 100 ohmios o inferior.
- 55 14. El divisor/combinador activo según la reivindicación 1, en el que la línea de transmisión está formada utilizando un fotodetector e inductores.
- 60 15. El divisor/combinador activo según la reivindicación 1, en el que la línea de transmisión está equilibrada con una impedancia diferencial de 100 ohmios o mayor.

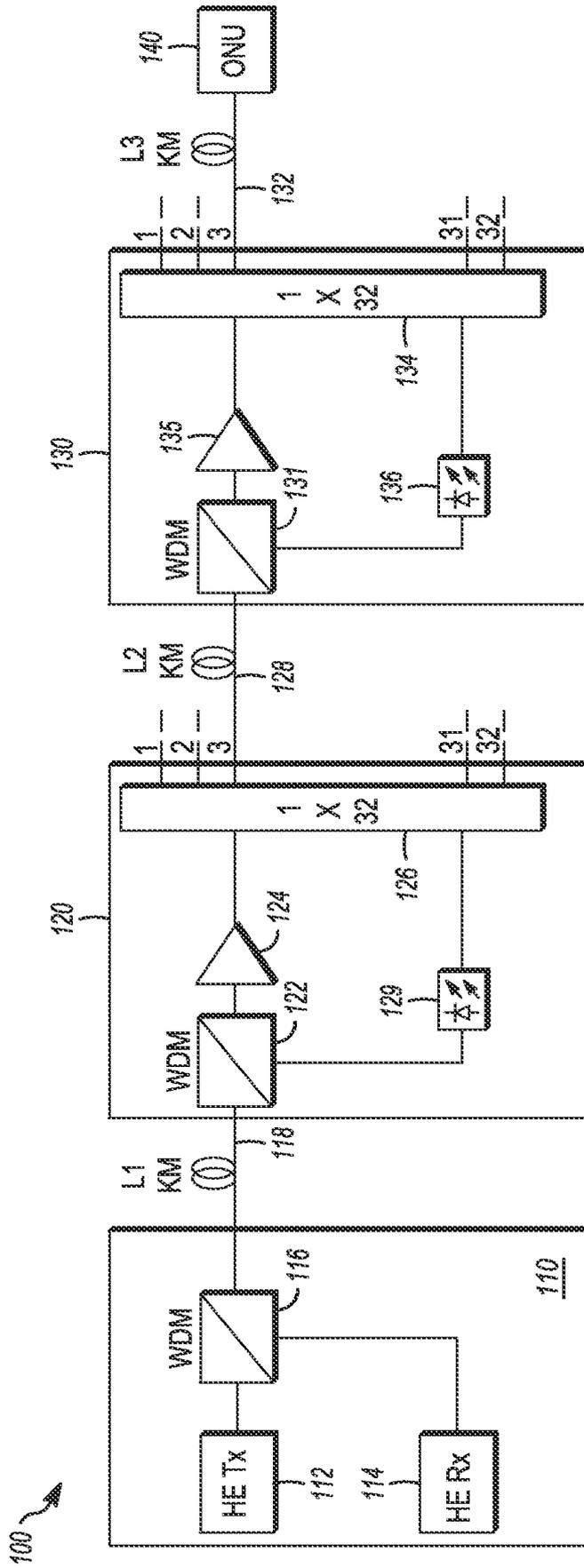


FIG. 2

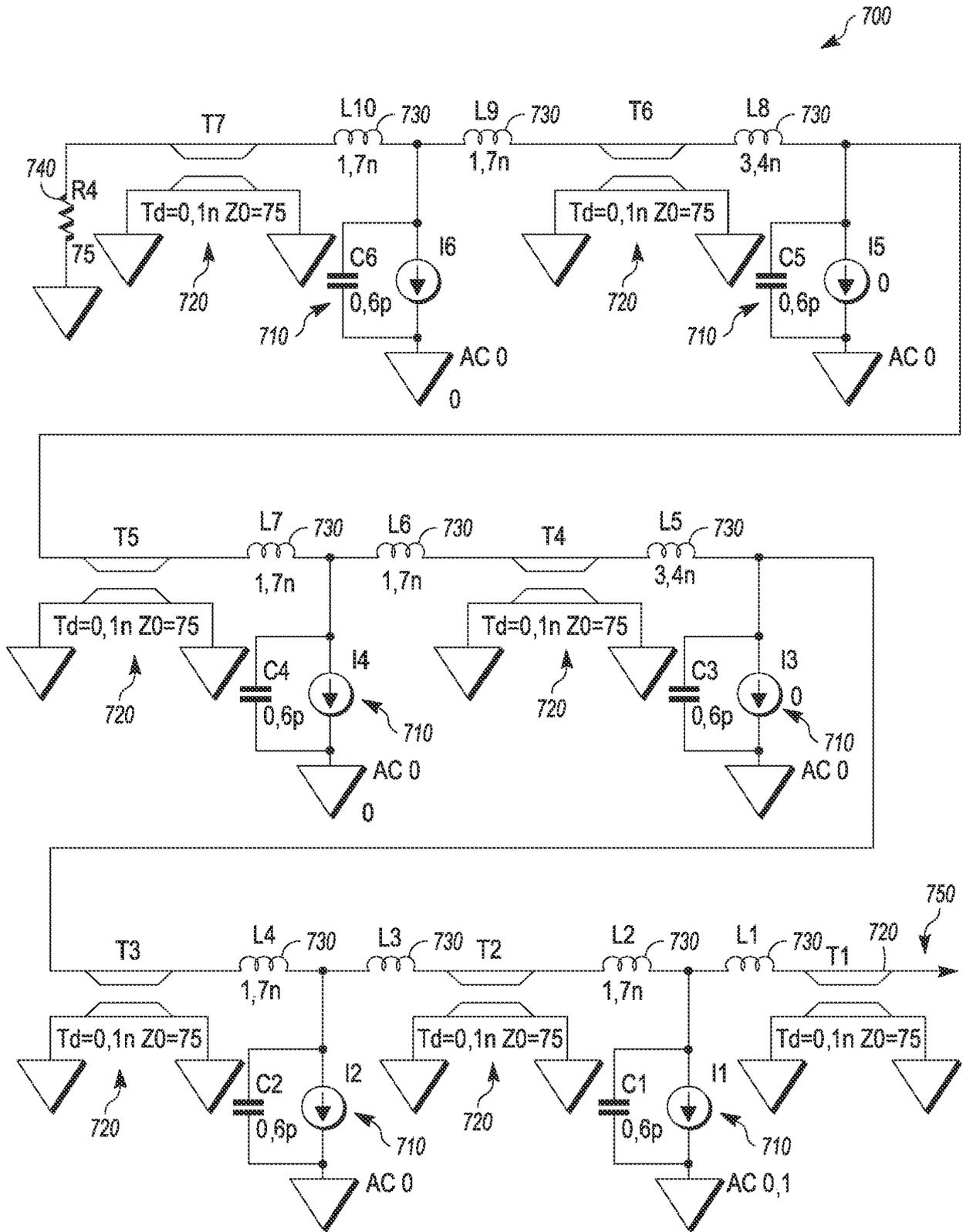


FIG. 3A

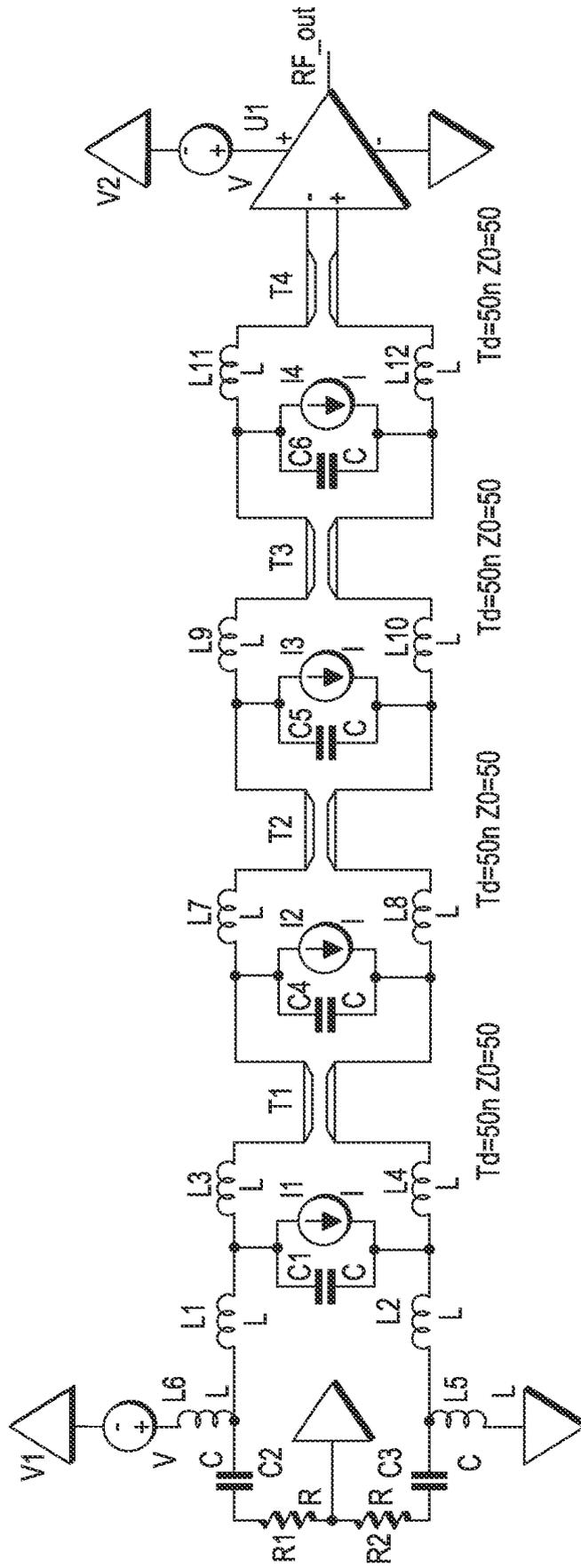


FIG. 3B

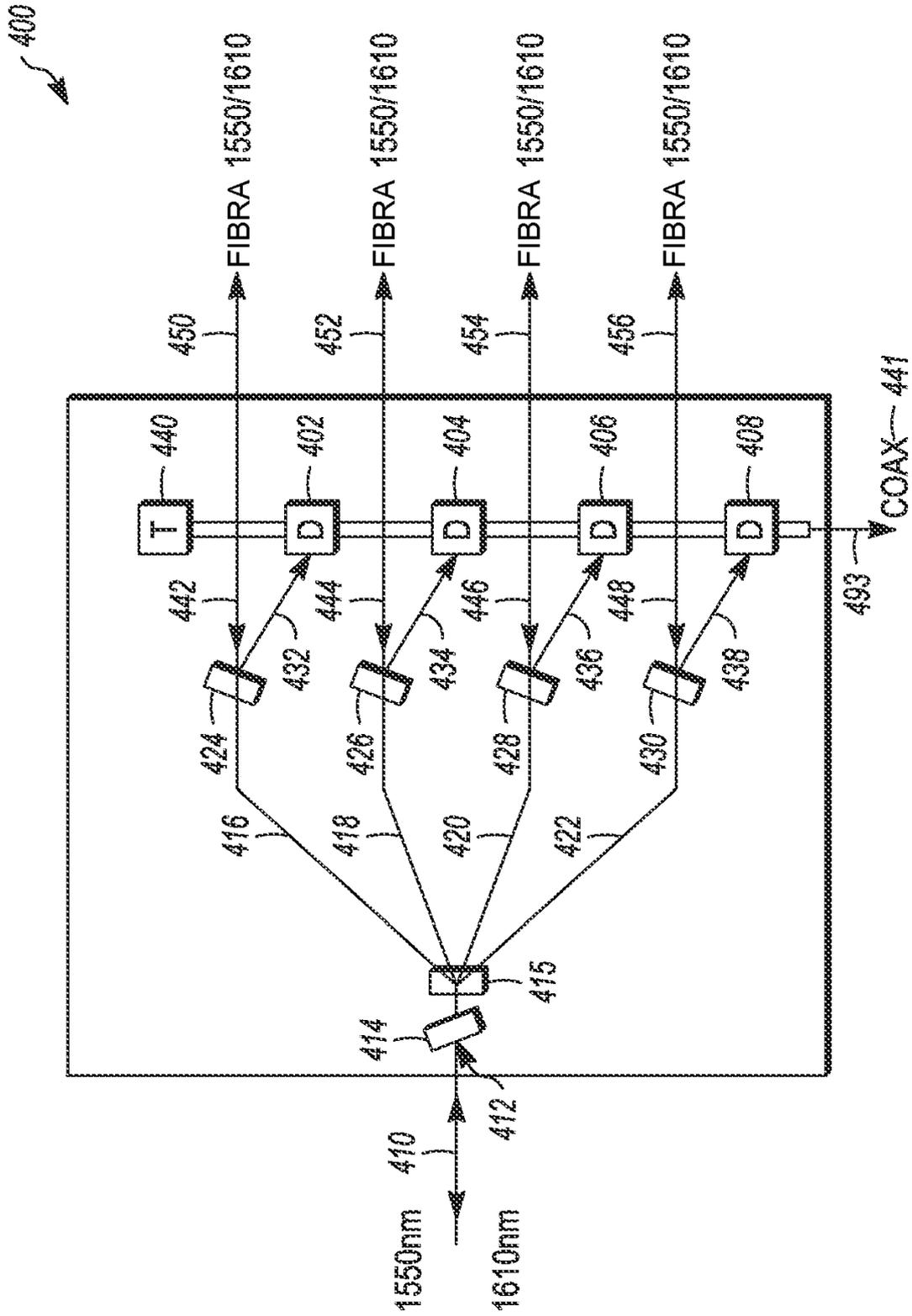


FIG. 4

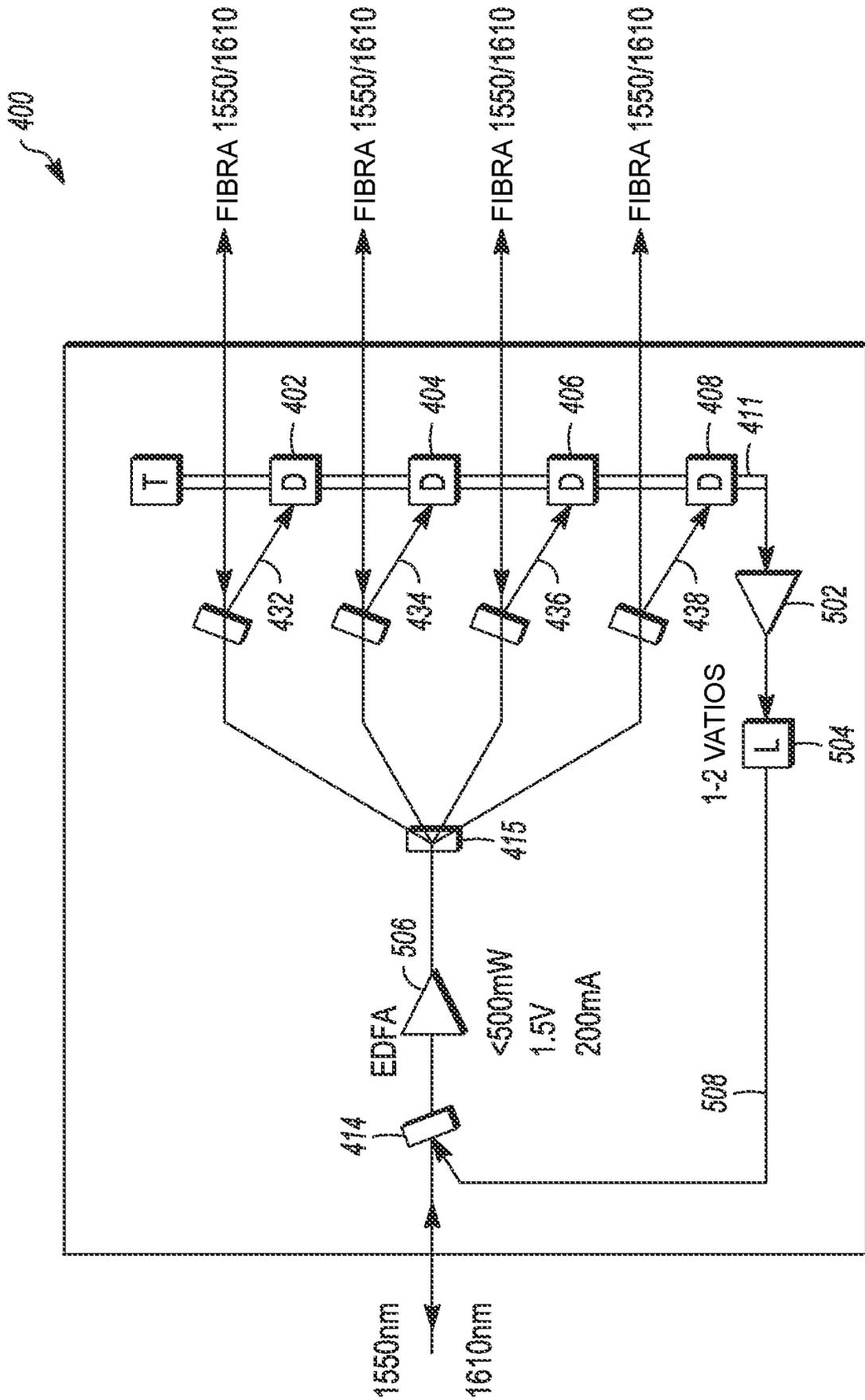


FIG. 5

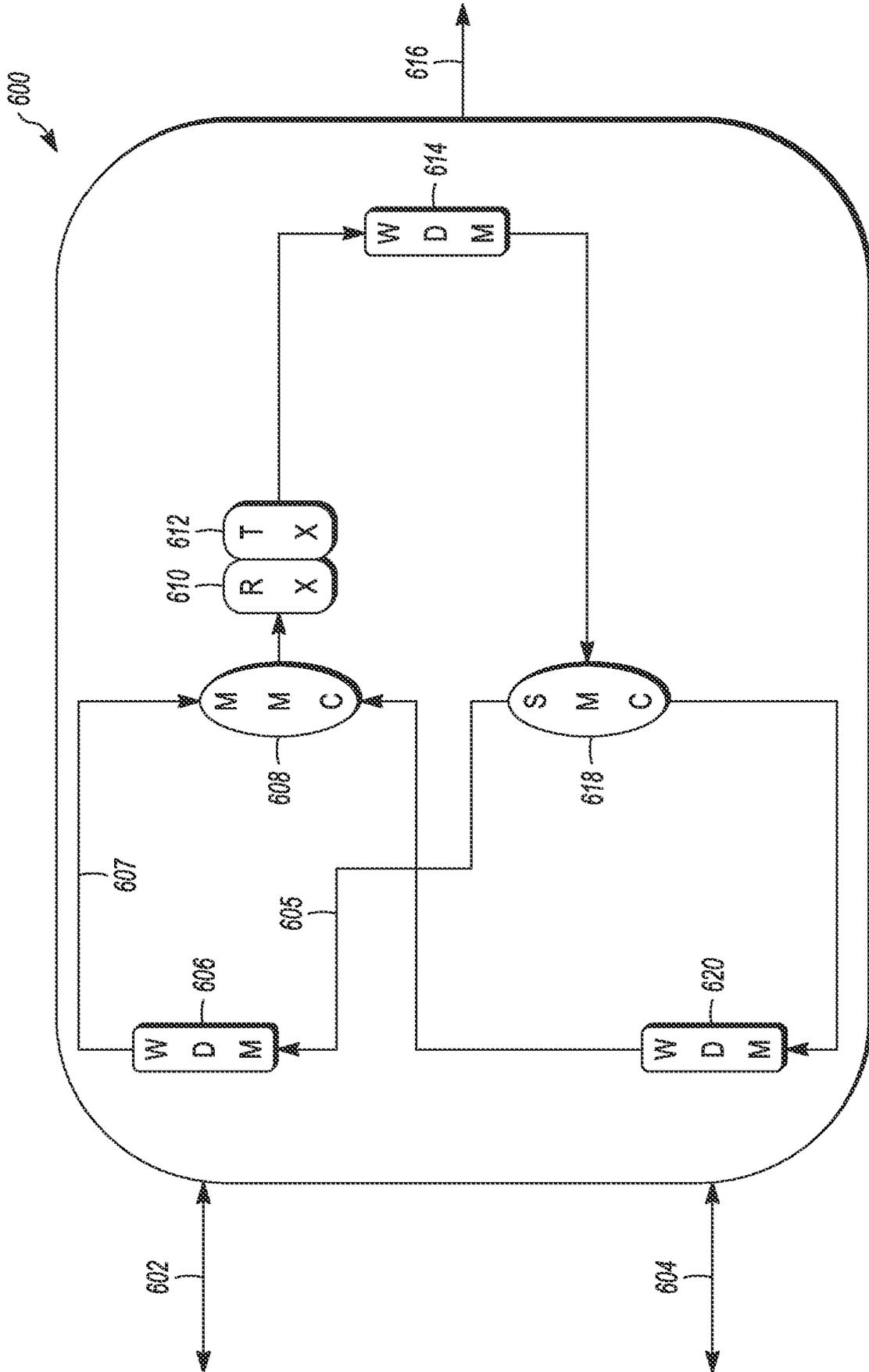


FIG. 6

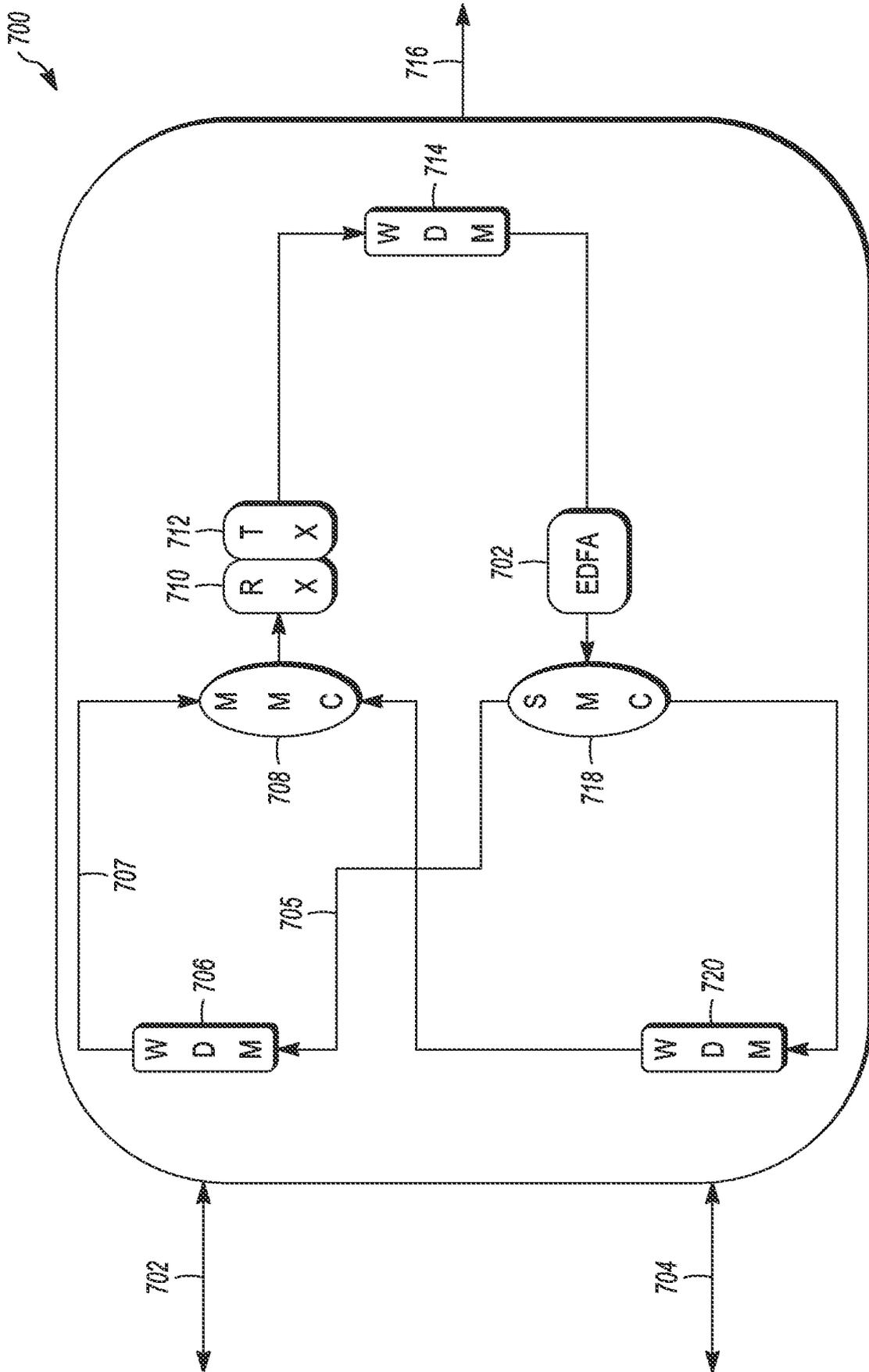


FIG. 7

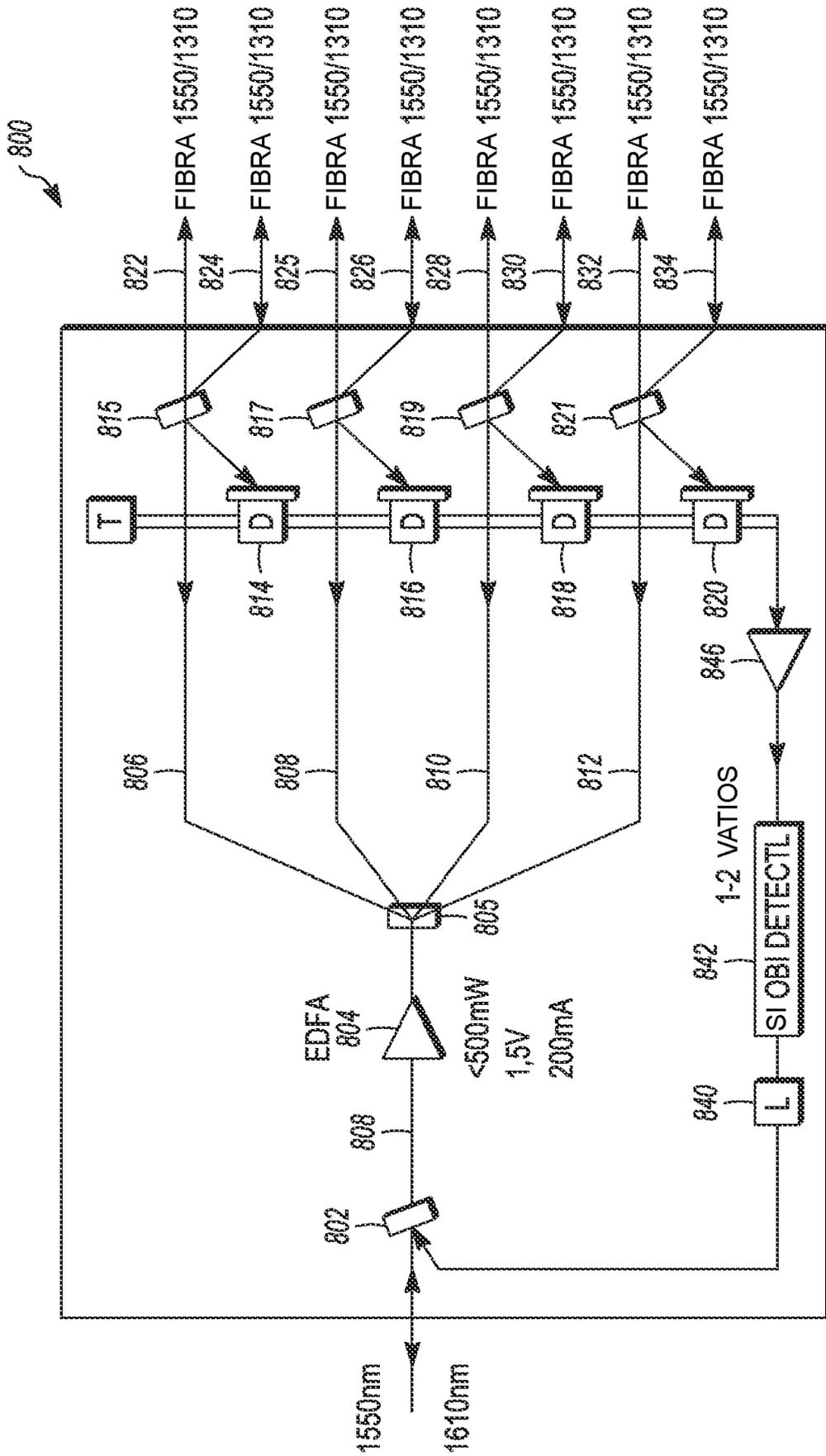


FIG. 8

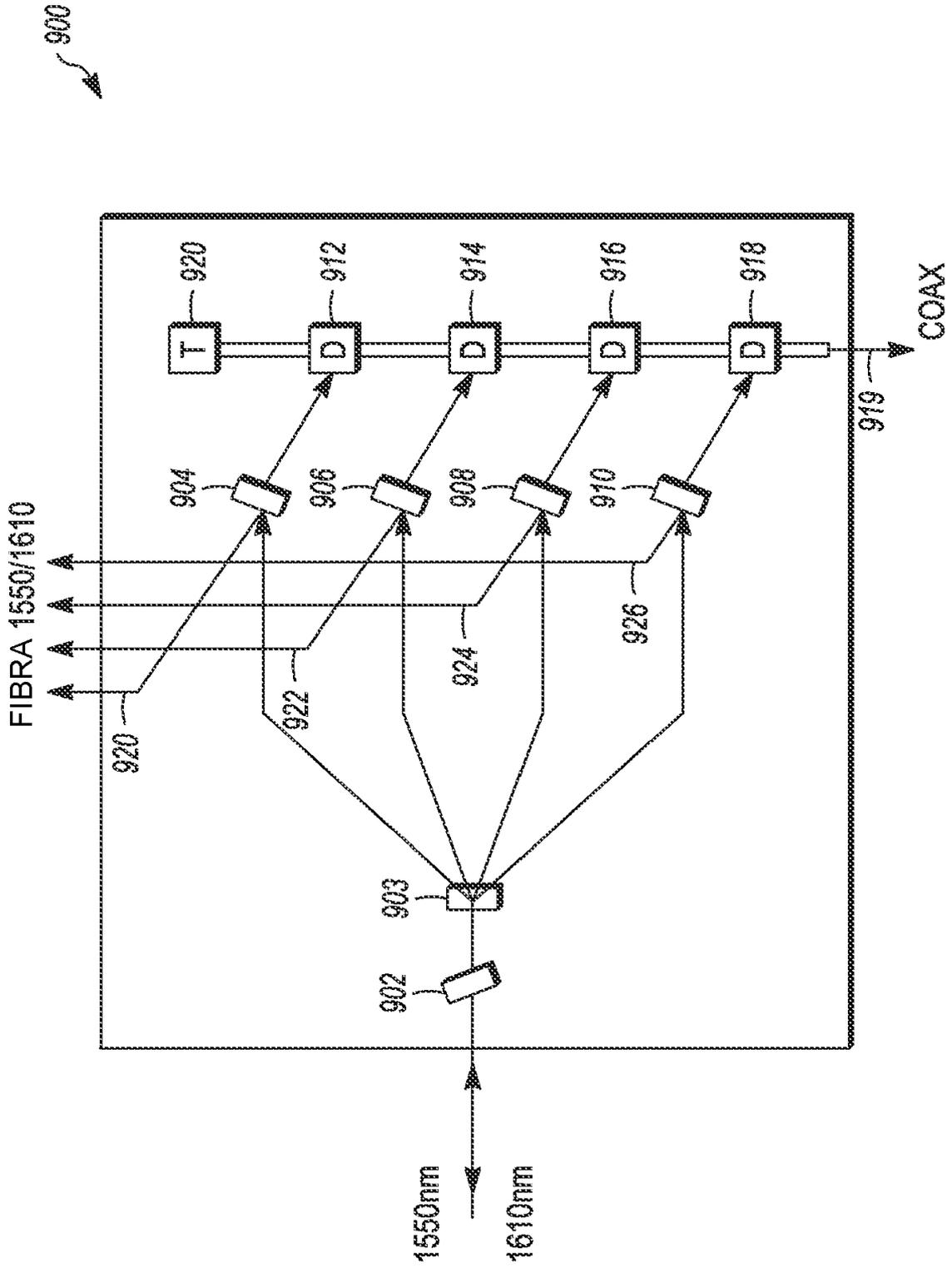


FIG. 9

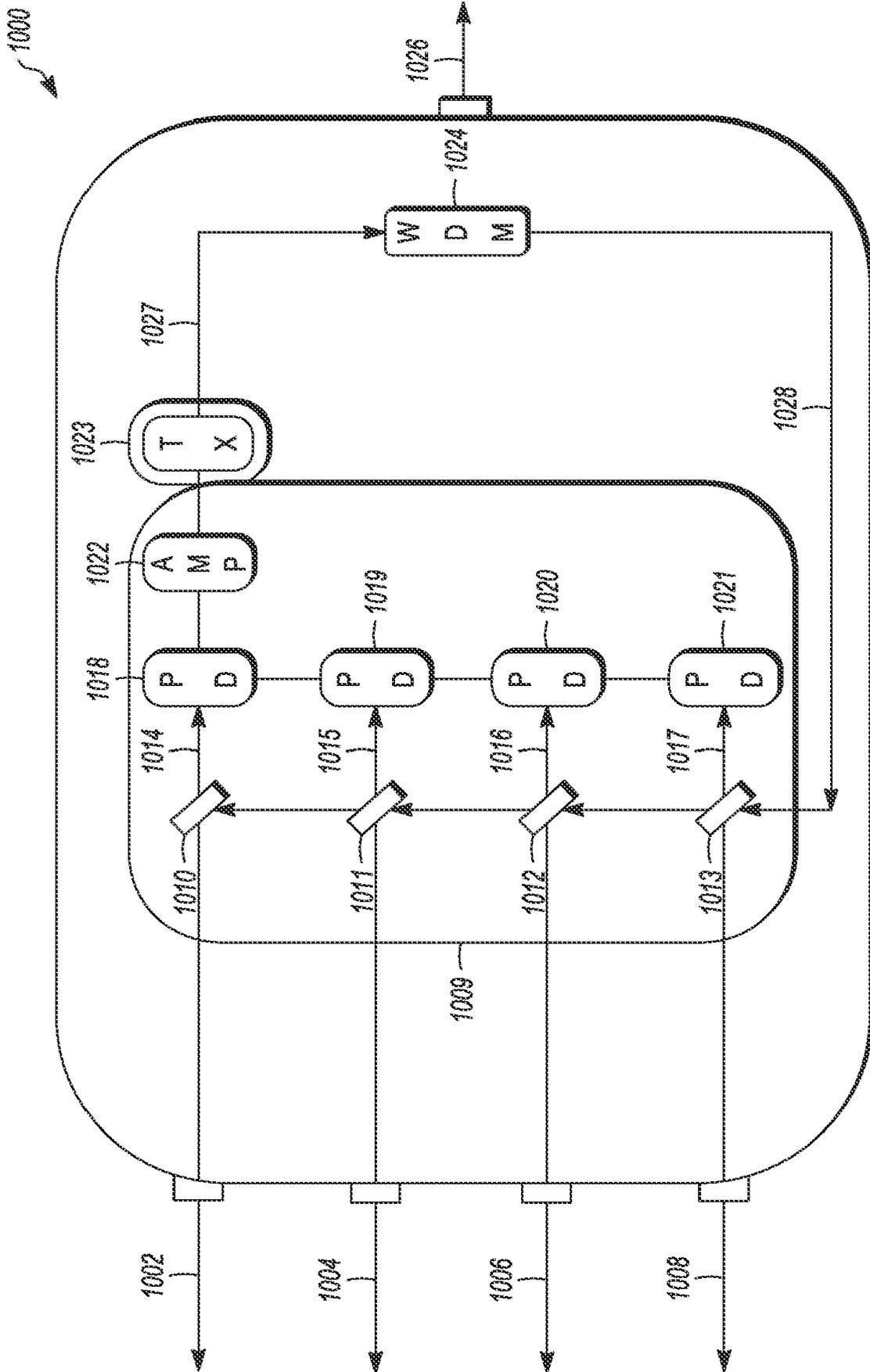


FIG. 10

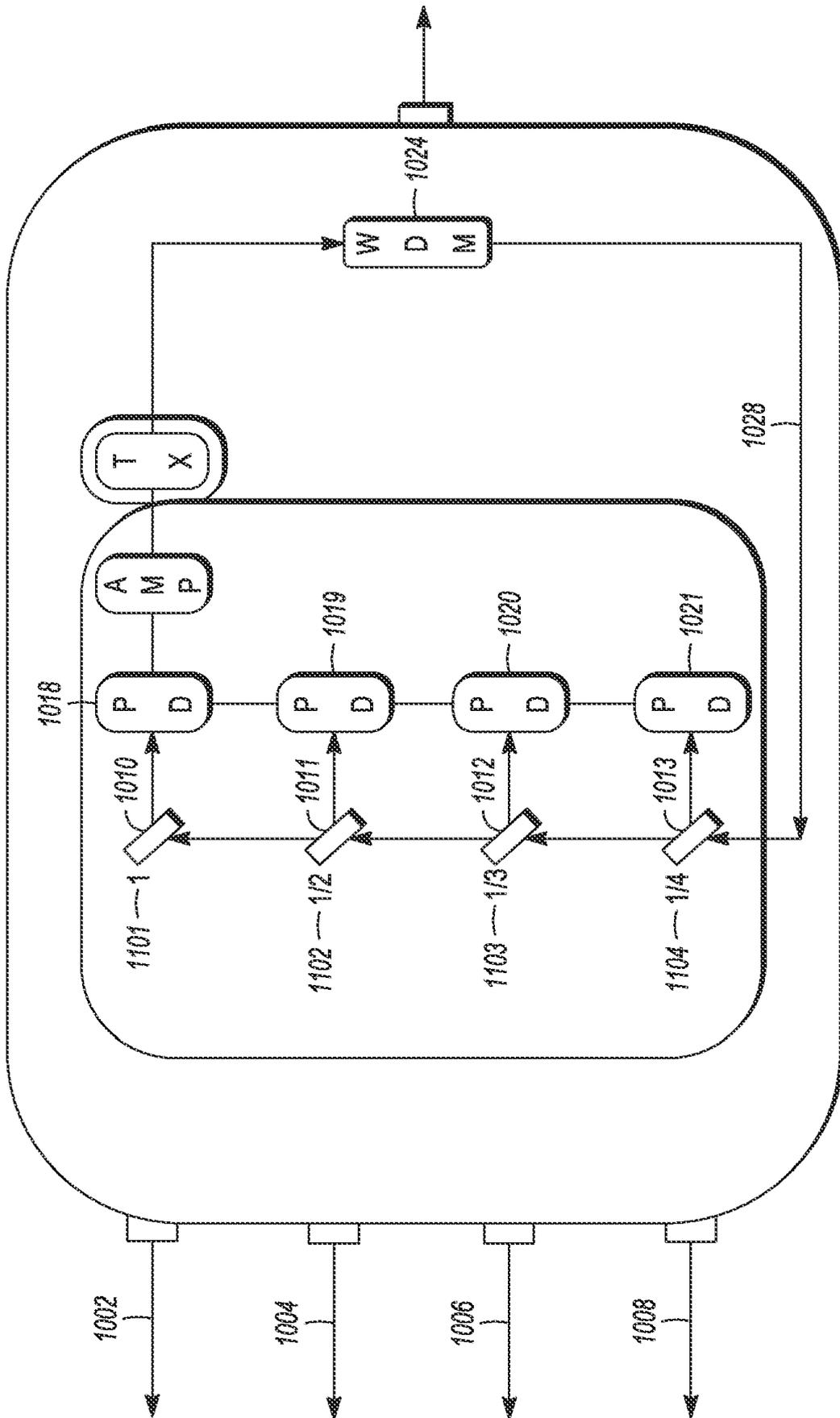


FIG. 11

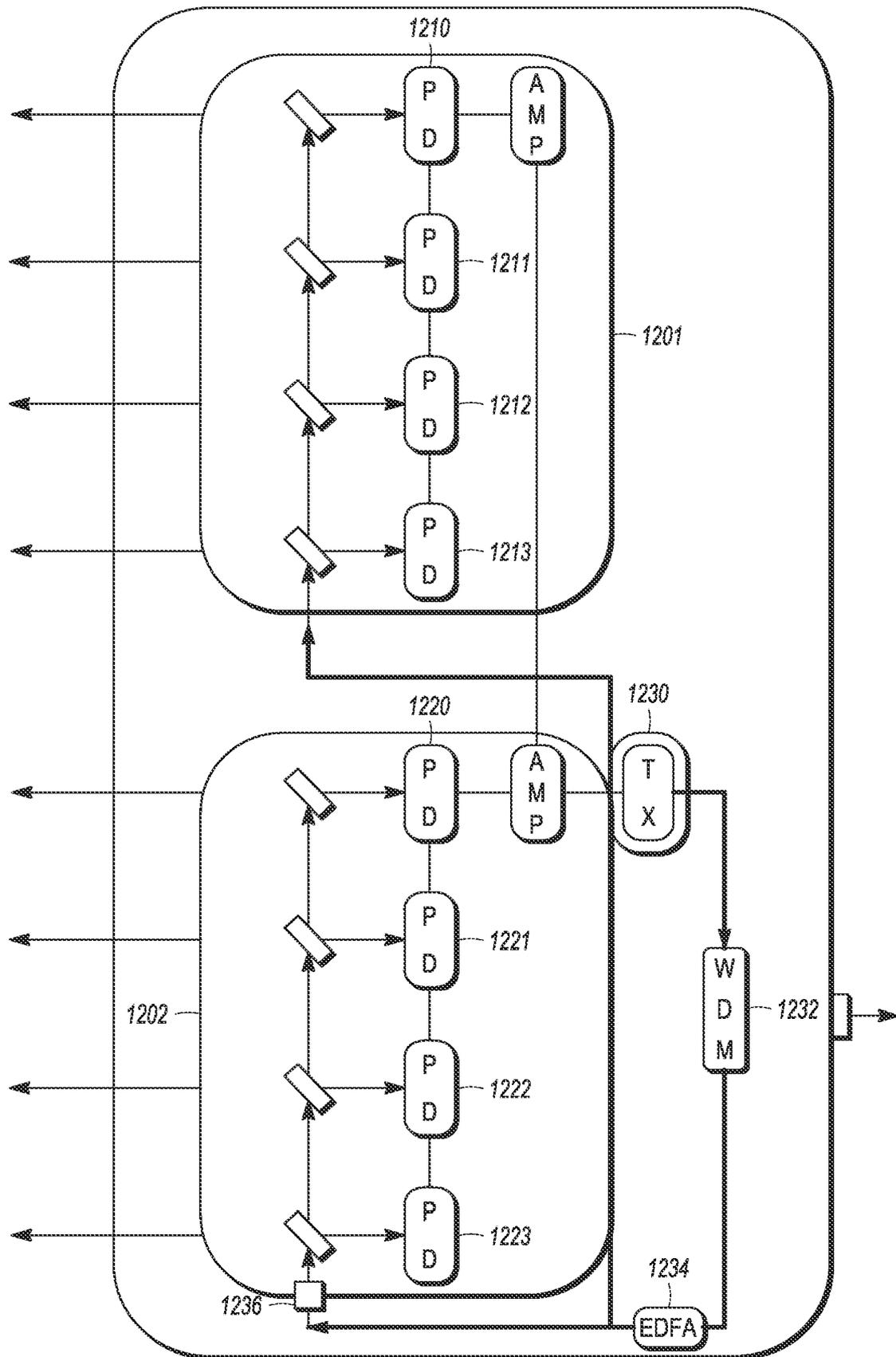


FIG. 12

	GPON	1G-EPON	XGPON1	10G/1G-EPON	10G/10G-EPON	
SPEC	ITU-T G.984	IEEE 802.3BK-2013	ITU-T G.987	IEEE 802.3BK-2013	IEEE 802.3BK-2013	UNIDADES
TASA PON	2,488G / 1,244G	1,25G/1,25G	10G/2,5G	10G/1,25G	10G/10G	GBPS
DS λ	1480 - 1500	1480-1500	1575-1580	1575-1580	1575-1580	nm
US λ	1310 ±20	1310±50	1260-1280	1310±50	1270±10	nm
RELACION DE DIVISION	1:128	1:64	1:128	1:64	1:64	
ALCANCE MAX.	20 (A, B, C) 40 (B+, C) 60 (C+)	PX10: ≥10 (1:16)		PRX10: ≥10 (1:16)	PR10: ≥10 (1:16)	
		PX20: ≥10 (1:32),		PRX20: ≥10 (1:32),	PR20: ≥10 (1:32),	
		≥20 (1:16)		≥20 (1:16)	≥20 (1:16)	
		PX30: 20 (1:32)		PRX30: 20 (1:32)	PR30: 20 (1:32)	
		PX40: 20 (1:64)	20, 40	PRX40: 20 (1:64)	PR40: 20 (1:64)	km

FIG. 13