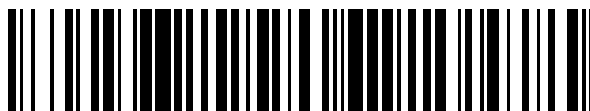


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 598**

51 Int. Cl.:

H04B 10/2575 (2013.01)

H04J 14/02 (2006.01)

H04Q 11/00 (2006.01)

H04B 10/80 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.04.2015 PCT/US2015/024108**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.10.2015 WO15164044**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.04.2015 E 15716688 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2019 EP 3134982**

54 Título: **Suministro de potencia remoto de separadores ópticos**

30 Prioridad:

21.04.2014 US 201461982089 P

29.08.2014 US 201462043793 P

06.01.2015 US 201562100173 P

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

17.10.2019

73 Titular/es:

ARRIS ENTERPRISES LLC (100.0%)

3871 Lakefield Drive

Suwanee, GA 30024, US

72 Inventor/es:

MUTALIK, VENKATESH G. y

SCHEMMANN, MARCEL F.

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 727 598 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

Suministro de potencia remoto de separadores ópticos

5 **REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS**

La presente solicitud reivindica el beneficio de prioridad según 35 U.S.C. § 119(e) de la solicitud provisional de los Estados Unidos n.º 61/982089 (ARR00207-P), presentada el 21 de abril de 2014, la solicitud provisional de los Estados Unidos n.º 62/043793 (ARR00284-P), presentada el 29 de agosto de 2014 y la solicitud provisional de los Estados Unidos n.º 62/100173 (ARR00528-P), presentada el 6 de enero de 2015.

10

ANTECEDENTES

Una deficiencia existente en los canales de comunicación de radiofrecuencia sobre vidrio (RFOG) es la Interferencia óptica por golpes (OBI), que afecta a las redes RFOG tradicionales. La OBI se produce cuando dos o más transmisores de vía inversa se encienden y tienen casi la misma longitud de onda. La OBI limita el tráfico ascendente, pero también puede limitar el tráfico descendente. Los esfuerzos existentes para mitigar la OBI incluyen ajustar las ONU para que tengan una longitud de onda específica, crear un programador sensible a RFOG en el CMTS, cambiar las longitudes de onda de las ONU en tiempo real o combinar múltiples entradas ascendentes de forma nominal en el mismo intervalo de longitud de onda.

15

20

Sin embargo, dichas soluciones para reducir o eliminar la OBI requieren de potencia adicional. Por ejemplo, para combinar múltiples entradas ascendentes de forma nominal en el mismo intervalo de longitud de onda sin la aparición de OBI necesita potencia para impulsar los fotodiodos y el láser de retransmisión. Algunos dispositivos de reducción/eliminación de OBI tienen amplificadores ópticos, tales como EDFA, para ayudar a la separación descendente, que también requiere potencia adicional.

25

Si bien la combinación libre de OBI distribuida puede dar como resultado el empleo de un combinador de cuatro puertos seguido por combinadores de ocho puertos y enlazarlos mediante cadena margarita, dicha solución necesita suministro de potencia en cinco puntos (en lugar de potencia en un solo punto con un combinador de treinta y dos puertos). La necesidad creciente de potencia contrasta con el concepto de FTTH, el cual se espera que sea más pasivo y que dependa menos de la potencia. Un aumento exponencial en los puntos de potencia se percibe como una debilidad en la confianza en los despliegues de FTTH, mayores gastos, puede no ajustarse bien a las redes de separación implementadas actualmente y puede funcionar bien únicamente en aplicaciones de terreno no urbanizado, en donde el sistema de potencia se instala simultáneamente con la red de fibra.

30

35

Son deseables técnicas mejoradas para reducir distorsiones en una red sin las necesidades existentes de una mayor cantidad de potencia.

40

GB 2 315 626 A describe una red óptica en la cual hay una comunicación ascendente de tráfico desde un conjunto de estaciones remotas a una estación base por medio de una red de vías de transmisión que incluye un combinador óptico activo. US 2010/014867 describe un módulo para convertir energía lumínica en energía eléctrica para su uso en una red óptica para convertir en energía eléctrica la energía lumínica derivada de una señal óptica transportada en una fibra óptica a partir de una fuente de energía lumínica. El módulo puede utilizarse en dispositivos de potencia remotos y/o suministros de potencia remotos para redes ópticas.

45

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Con el fin de ilustrar las realizaciones descritas más adelante, se muestran en los dibujos ejemplos de construcciones de las realizaciones; sin embargo, las realizaciones no se limitan a las instrumentaciones y métodos específicos descritos. En los dibujos:

50

La Figura 1 muestra un sistema 100 para suministrar contenido, p. ej., contenido de CATV, a una pluralidad de suscriptores en una red, como la red de RFOG descrita anteriormente. La Figura 2A representa un sistema de combinador activo con bombeo óptico, es decir, un sistema opto-electrónico que se excita con luz o al poblar específicamente determinados niveles electrónicos en un fotodetector para producir una corriente fotovoltaica, similar a la forma en que una fotocélula convierte la luz solar en potencia eléctrica, como se describe en la presente memoria. La Figura 2B y 2C representan características de rendimiento de una bomba de 980 nm.

55

La Figura 2D ilustra un amplificador, como el amplificador 133 de la Figura 1, que convierte impedancia de detector alta en impedancia láser baja. La Figura 2E representa un ancho de banda de impedancia que transforma un láser que impulsa un transistor amplificador con impedancia baja. La Figura 2F representa un ejemplo de un combinador 130 de soporte, conectado a la izquierda de un combinador 120 acumulado. La Figura 2G representa un ejemplo de EDFA en el AC 120, en donde el filtro WDM 605 en la salida del EDFA se construye de manera que se permita el pasaje de luz de 980 nm hacia la salida de EDFA 609 y esta luz se usa para energizar de forma remota un CC posterior 130. La Figura 3 representa una comparación de longitud de fibra con la cantidad de separaciones de RFOG para una arquitectura de RFOG. Con respecto a la Figura 4, en un sistema de RFOG 200 tradicional el CMTS 210 mantiene el nivel de RF a una constante de puerto de entrada de entrada de retorno. La Figura 5 muestra un sistema que mitiga el corte del láser que

60

65

puede producirse de otra manera a partir de comunicaciones en modo ráfaga desde una ONU. La Figura 6 muestra una segunda ONU mejorada que mitiga el corte.

La Figura 7 muestra un espectro de salida de ONU que tiene un tiempo de aumento de 100 ns.

La Figura 8 muestra un espectro de salida de ONU que tiene un tiempo de aumento de 1000 ns.

La Figura 9 muestra un tiempo de respuesta de una ONU a una señal de RF.

La Figura 10 muestra una ONU con control de ganancia de amplificador de RF y polarización láser.

La Figura 11 muestra el tiempo de respuesta de una ONU con control de ganancia de RF en proporción con el control de polarización láser.

La Figura 12 muestra el tiempo de respuesta de una ONU donde el control de ganancia de RF se retrasa con respecto al control de polarización láser.

La Figura 13 muestra una ONU con un control de polarización láser y ganancia de amplificador separados.

La Figura 14 muestra una estructura de receptor de línea de transmisión.

La Figura 15 muestra una conexión de receptor de línea de transmisión con un amplificador polarizado.

La Figura 16 muestra un receptor de línea de transmisión con detección de fotocorriente en el lado de terminación.

La Figura 17 muestra un combinador activo con múltiples entradas y operación en modo de ráfaga óptica.

La Figura 18 muestra un combinador activo con operación en modo de ráfaga óptica que incluso un control de polarización de amplificador.

La Figura 19 muestra un combinador activo con control de OBM, polarización láser, polarización de amplificador y ganancia.

Cabe destacar que, si bien las Figuras adjuntas sirven para ilustrar las realizaciones de conceptos que incluyen la invención reivindicada y explicar varios principios y ventajas de esas realizaciones, los conceptos mostrados no son necesarios para entender las realizaciones de la presente invención, ya que los detalles representados en las Figuras serían fácilmente evidentes para los expertos en la técnica que tienen el beneficio de la descripción contenida en la presente memoria.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Se describe en la presente memoria la combinación distribuida libre de OBI habilitante sin necesidad de aumentar la potencia requerida por las soluciones existentes. Las realizaciones descritas para una combinación distribuida libre de OBI incluyen sistemas que pueden funcionar sin requerir una cantidad prohibitiva elevada de ubicaciones de potencia en la red que, de otro modo, requerirían que la red empleara técnicas de reducción de OBI.

Los sistemas de transmisión de CATV modernos reemplazaron la mayor parte de la vía de transmisión RF heredada con una red óptica más eficaz, lo cual crea un sistema de transmisión híbrido donde se origina contenido por cable y termina como señales de RF por cables coaxiales, pero se convierte en señales ópticas para su transmisión a través de la mayor parte de la distancia intermedia entre el proveedor de contenido y el suscriptor. Específicamente, las redes de CATV incluyen una cabecera en el proveedor de contenido para recibir señales de RF que representan muchos canales de contenido. La cabecera recibe las señales de contenido de RF respectivas, las multiplexa mediante el uso de una red de combinación de RF, convierte las señales de RF combinadas en una señal óptica (típicamente mediante el uso de la señal de RF para modular un láser) y envía la señal óptica a una red de fibra óptica que comunica la señal a uno o más nodos, cada uno cercano a un grupo de suscriptores. El nodo revierte entonces el proceso de conversión al demultiplexar la señal óptica recibida y volverla a convertir en una señal de RF, de manera que pueda ser recibida por los espectadores.

Las mejoras a las arquitecturas de CATV que proporcionan mejoras adicionales al suministro de contenido incluyen arquitecturas de Fibra hasta la casa (FTTP) que reemplazan la red coaxial entre un nodo y el hogar de un suscriptor con una red de fibra óptica. Dichas arquitecturas también se denominan arquitecturas de radiofrecuencia sobre vidrio (RfOG). Un beneficio de la RfOG es que proporciona velocidades de conexión mayores y más ancho de banda del que son capaces de proporcionar las vías de transmisión coaxial actuales. Por ejemplo, un conductor de par coaxial de cobre simple puede conducir seis llamadas telefónicas, mientras que un par de fibra simple puede conducir más de 2,5 millones de llamadas telefónicas de manera simultánea. La FTTP también permite que los consumidores combinen sus servicios de comunicación para recibir servicios o productos de datos digitales telefónicos, de video, audio, televisión y de cualquier otro tipo de manera simultánea.

Una topología de RfOG incluye un servicio completo de fibra a partir de la cabecera hacia un nodo de campo o unidad de red óptica (ONU) que típicamente se ubica en o cerca de la ubicación del usuario. En la cabecera, un láser descendente envía una señal de transmisión que se divide de forma óptica múltiples veces. La unidad de red óptica u ONU recupera la señal de transmisión de RF y la pasa a la red coaxial del suscriptor.

La Figura 1 muestra un sistema 100 para suministrar contenido, p. ej., contenido de CATV, a una pluralidad de suscriptores en una red, como la red de RfOG descrita anteriormente. En los ejemplos de sistemas de RfOG, la cabecera 110 suministra contenido a una ONU 140 en la ubicación del cliente a través de un nodo. La arquitectura de sistema de la Figura 1 se muestra con una cabecera 110 con un transmisor 112 que envía una señal a un enlace de fibra 118 de L1 km para suministrar una señal descendente a uno o más separadores. La cabecera también puede incluir un receptor 114 conectado a un separador WDM 116 que puede recibir una señal desde un enlace de

fibra 118 de L1 km. El enlace de fibra 118 se conecta a una unidad de separador/combinador activa 120.

El ejemplo de unidad separadora/combinadora 120 que se muestra puede incluir un WDM 122 que separa las señales de vía directa de las señales de vía inversa. Como se emplea en esta memoria, los términos “vía directa” y “descendente” pueden utilizarse de forma indistinta para referirse a la vía desde una cabecera hacia un nodo, un nodo hacia un usuario final, o una cabecera hacia un usuario final. Por el contrario, los términos “vía de retorno”, “vía inversa” y “ascendente” pueden utilizarse de forma indistinta para referirse a una vía desde un usuario final hacia un nodo, uno nodo hacia una cabecera, o un usuario final hacia una cabecera.

La señal de vía directa desde el WDM 122 se proporciona a un amplificador de múltiples puertos con mayor potencia que distribuye la potencia. Por ejemplo, la Figura 1 representa un amplificador de múltiples puertos con mayor potencia que envía una señal óptica amplificada al separador activo 1x32 126 que tiene 32 puertos de salida a segundos enlaces de fibra 128 respectivos. En realizaciones, el amplificador de múltiples puertos con mayor potencia es un amplificador de fibra dopada con erbio (EDFA) 124 que distribuye de forma interna la energía a través de 32 salidas del combinador 120, cada salida funciona con una potencia relativamente alta, p. ej., aproximadamente 18 decibelio-milivatios (dBm). El WDM 122 puede hacer pasar luz de 1550 nm desde el EDFA 124 en la dirección directa y dirigir la luz del inversor, como a 1610 nm o 1310 nm, en la dirección inversa hacia el receptor en la cabecera 110.

En cada puerto, el nivel de potencia puede ser moderado, p. ej., en el intervalo de 0-10 dBm. La unidad activa de separador/combinador 120 puede ubicarse dentro de un nodo y se puede conectar una pluralidad de unidades activas de separador/combinador 130 con la unidad activa de separador/combinador 120 en una distancia corta, como de 1-3 km o menos, mediante fibra 128. Cada uno de los 32 puertos del separador/combinador 126 envían, a través de una fibra 128 respectiva, una señal respectiva a una segunda unidad activa de separador/combinador 130 del mismo tipo y configuración que la unidad separadora/combinadora 120. Un ejemplo de una unidad activa de separador/combinador es la unidad activa de separador/combinador AgileMax® de ARRIS. Las longitudes de la fibra 128 pueden variar entre sí. La potencia de salida por puerto separador 130 es baja, alrededor de 0 dBm. Los puertos del separador se conectan a las ONU, por ejemplo, en una unidad de vivienda múltiple (MDU) o un barrio, por medio de fibra 132 de longitud L3.

En la dirección inversa, cualquiera o ambos separadores de 1x32 puertos 126, 134, puede funcionar como un combinador activo 126, 134. Cada combinador 126, 134 puede incluir (no se muestra) un WDM por puerto que dirige la luz ascendente hacia un detector que convierte la señal óptica recibida en una señal eléctrica y la amplifica en el dominio de RF. El combinador 126, 134 puede proporcionar entonces la señal eléctrica a un transmisor 129, 136 que envía la luz, por ejemplo, a 1610 nm, 1310 nm o alguna otra longitud de onda adecuada, al WDM 122 o 170, que, a su vez, dirige la luz ascendente a la fibra, como la fibra 128 o fibra 118. Por lo tanto, a lo largo de la vía de retorno desde la ONU 14 del suscriptor hacia la cabecera, un separador/combinador 130 puede funcionar para combinar señales en la dirección inversa para su transmisión ascendente a lo largo de la longitud de la fibra 128 y un separador/combinador 120 puede funcionar para combinar señales en la dirección inversa para su transmisión ascendente a lo largo de la longitud de la fibra 118. Las señales combinadas pueden transmitirse de forma ascendente a un servicio de terminación de modelo de cable (CMTS) en la cabecera 110. Combinado con el límite de potencia directa en la fibra, las señales combinadas pueden necesitar una fibra directa (L1 km) por grupo de 32 suscriptores. En la cabecera, la fibra 118 se conecta con el WDM 116 que dirige la luz ascendente hacia el receptor 114.

Las unidades de red óptica (ONU) 140 en un entorno de RFoG terminan la conexión de fibra en una interfaz del lado del suscriptor y convierten el tráfico para suministrarlo mediante la red doméstica en la ubicación del cliente. Se puede utilizar cable coaxial para conectar las ONU de una red de RFoG con uno o más dispositivos de usuario, en donde los dispositivos de usuario de RFoG pueden incluir módems por cable, EMTA o decodificadores, así como los dispositivos de usuario de una red de HFC. Por ejemplo, la R-ONU puede conectarse a decodificadores, módems por cable o elementos de red similares por medio de un cable coaxial, y uno o más módems por cable pueden conectarse con el cableado telefónico interno y/o a ordenadores personales o dispositivos similares del suscriptor por medio de conexiones Ethernet o Wi-Fi.

Las ONU 140 convierten la luz transmitida de forma directa en señales de RF para la red coaxial doméstica. Las ONU 140 también reciben señales de RF de la red doméstica y modulan estas señales en un láser que funciona a 1610 nm, por ejemplo, y la salida del láser se envía de forma ascendente hacia la L3 de la fibra. La señal ascendente se combina con otras señales ascendentes en el combinador 134 y/o el combinador 126 y se transmiten adicionalmente de forma ascendente en L2 y L1 de fibras. En el WDM 122, las señales ascendentes se dirigen hacia los receptores de cabecera 114 a través de la L1 de la fibra.

La suma de las longitudes de fibra L1+L2+L3 es de hasta 25 km. El sistema 100, sistema, permitirá una mayor longitud total de fibra entre la cabecera y las ONU, como de 40 km, dado que el sistema 100 puede tolerar una mayor pérdida de SNR, como se describirá adicionalmente más adelante.

Las señales ascendentes de las ONU 140 terminan individualmente de forma directa en la unidad activa de

separador/combinador 130; incluso para ONU que funcionan a 0 dBm, la potencia que alcanza los detectores es de alrededor de -2 dBm (la fibra 132 es una fibra corta de hasta unos pocos km, y la pérdida de WDM dentro del combinador activo es baja). Esta es casi 20 dB más alta que en los sistemas de RFOG existentes, lo cual significa que los niveles de RF después del detector en el separador 134 son casi 40 dB más altos que en los sistemas de RFOG existentes. Como consecuencia de esto, la cifra de ruido en el receptor no es crítica y pueden utilizarse receptores de ancho de banda alto con un rendimiento relativamente bajo de ruido. La señal de RF recibida se retransmite por medio del transmisor 136 a través de la vía inversa hacia la fibra 128 y se recibe y retransmite mediante la unidad activa de separador/combinador 120 anterior y después de esto hacia el cabezal 110. Si bien la retransmisión repetida lleva a cierta reducción incremental de SNR, las mejoras en la SNR a partir de la arquitectura activa proporcionan un rendimiento general mucho mayor en comparación con los sistemas de RFOG tradicionales. De manera importante, debido a que todas las señales inversas terminan individualmente en detectores separados, tales como receptores de múltiples detectores, no puede haber interferencia óptica por golpes (OBI) entre diferentes señales inversas. Las señales inversas no se combinan ópticamente, por eso no puede producirse la OBI.

En la dirección directa, puede haber múltiples EDFA 124; estos EDFA son dispositivos rentables de una sola etapa con disipación baja de potencia, típicamente 2 Watts o menos. Los EDFA en cascada dan como resultado una acumulación de ruido debida a las cifras finitas de ruido de los EDFA. Mientras que la arquitectura de separador activo no necesita los EDFA (todavía podría utilizarse el EDFA de cabecera 110 de alta potencia para proporcionar potencia a las ONU 140), el uso de EDFA dentro de las unidades activas de separador puede proporcionar algunas ventajas. Por ejemplo, la complejidad y disipación de potencia del equipamiento en la cabecera 110 se reduce ampliamente, al igual que la cantidad de fibras que salen de la cabecera 110. La cantidad de potencia suministrada a las ONU 140 se incrementa fácilmente a aproximadamente 0 dBm. En consecuencia, los receptores de ONU obtienen un nivel de RF de 12 dB más desde sus detectores y no necesitan una ganancia o SNR tan alta. Incluso con requisitos de SNR más laxos en los receptores de ONU, lo cual permite un mayor aporte de ruido térmico de los receptores, el impacto de SNR debido a ruido de EDFA se supera fácilmente debido a la mayor potencia recibida. Además, se puede sustentar un espectro adicional en la dirección directa con una SNR aceptable en relación con las arquitecturas actuales, como 4 GHz en lugar de 1 GHz en RFOG actual, por lo tanto, las tasas de rendimiento de datos totales pueden crecer significativamente sin un cambio en el funcionamiento para permitir, por ejemplo, servicios que proporcionan velocidades de bajada de 40 Gbps y velocidades de subida de 10 Gbps.

En realizaciones, los combinadores 120, 130 proporcionan capacidad de RFOG ascendente y descendente, y una ruta completamente transparente y recíproca para la transmisión de PON. Los combinadores ópticos 120, 130 pueden permitir transparencia completa para despliegues de PON. Por ejemplo, los combinadores ópticos 120, 130 pueden permitir características de capacidad alta y libre de OBI al desplegarse en redes FTTH con capacidad de HFC D3.1 compatibles. De manera similar, el combinador óptico 120, 130 puede incorporarse en GPON, 1G-EPON, XGPON1, 10G/1G-EPON, 10G/10G-EPON. La compatibilidad con HFC y D3.1. permite que los combinadores ópticos 120, 130 descritos se desplieguen junto con una red HFC actual y está lista para D3.1. Los combinadores ópticos 120, 130 pueden desplegarse en un nodo de fibra, en unidades de vivienda múltiples (MDU) o en casas de una sola familia (SFU).

El combinador óptico 120, 130 puede ser independiente de las ONU, módems por cable y CMTS. El combinador óptico 120, 130 puede ser agnóstico de CMTS, mediante lo cual se libera la carga de crear un programador consciente de RFOG que sea a la vez restrictivo y que consuma tiempo. El combinador óptico 120, 130 ayuda a realizar una versión por cable de FTTH más viable en comparación con las alternativas de PON. Por ejemplo, en realizaciones, el combinador óptico 120, 130 tiene una capacidad de pasaje de PON recíproca del combinador óptico 120, 130 junto con una capacidad ascendente y descendente alta, que ayuda al despliegue de RFOG sin interrupción debido al sistema subyacente o impedimento de una inclusión futura de funcionalidad de PON, como un despliegue de PON posterior en un sistema de RFOG.

Las redes tradicionales de RFOG y PON tienen una asignación de potencia fija. Esto significa que un alcance mayor da como resultado menos separaciones y una mayor separación da como resultado un alcance menor. La combinación de alcance/separación es un límite fundamental de estas redes. Las realizaciones descritas pueden permitir tanto un mayor alcance como una mayor separación. Por lo tanto, se describen realizaciones que pueden hacer avanzar la topología de FTTH y hacer posible el despliegue de FTTH.

En realizaciones, el combinador óptico 120, 130 tiene 32 puertos, pero solamente requiere un puerto de transmisión, un puerto receptor y un componente de WDM en la cabecera 110. Por lo tanto, en lugar de requerir 32 WDM y 32 puertos receptores, el combinador óptico puede ahorrar potencia y espacio de cabecera. El combinador 120 puede ser un dispositivo activo que necesita aproximadamente 2 Watts de potencia. El combinador óptico 120 puede energizarse mediante fuentes de energía fácilmente disponibles en el sistema de RFOG, o se puede proporcionar potencia al combinador óptico. La fuente de potencia puede incluir un respaldo de batería o alternativas de potencias de fibra/solar. Si se pierde la potencia y la batería también está agotada, la totalidad de la transmisión de PON recíproca no se ve afectada. Sin embargo, se detiene la transmisión de RFOG ascendente. En un sistema de RFOG convencional, se hubiera detenido también, debido a que la preponderancia de OBI hubiera obstaculizado gravemente el sistema de todos modos, si el sistema era un sistema de RFOG tradicional con un combinador pasivo. Además, en el caso de una pérdida de potencia, las ONU (unidad de red óptica) en los hogares dejarían de

funcionar dado que sin ningún respaldo de potencia dichos sistemas dejan de funcionar, ya sea que sean sistemas RFoG o PON, con o sin el combinador activo descrito aquí. El receptor óptico de cabecera puede necesitar solamente un intervalo de potencia de entrada de 0..-3 dBm y necesita solamente 15 dB menos de potencia de salida de RF debido a la ausencia del combinador de RF, de manera que con tal requisito de potencia de entrada óptica alta y potencia de salida de RF baja la ganancia puede ser baja.

Las realizaciones de un combinador de RFoG incluyen prevenir o eliminar la OBI en el combinador, en lugar de gestionarla en los extremos de la red (como mediante el uso de un programador CMTS en el lado de la cabecera de la red u ONU con longitud de onda específica en el extremo del suscriptor de la red). Se describen realizaciones que permiten la eliminación de la OBI. El combinador óptico descrito puede utilizarse para eliminar la OBI, mejorar la capacidad y/o permitir múltiples servicios en RFoG, la versión por cable de redes FTTH. Los combinadores ópticos 120, 130 pueden eliminar la OBI, lo cual crea un sistema por siempre libre de OBI. El combinador óptico 120, 130 puede ser independiente de ONU, independientemente de CM e independiente de CMTS. Los combinadores ópticos 120, 130 permiten largo alcance y grandes separaciones, p. ej., 40 km y 1024 separaciones, que se expandirán incluso más. La alta capacidad ascendente y descendente permitida por el combinador óptico 120, 130 incluye hasta 10G de bajada/1G de subida e incluso tanto como 40G de bajada/10G de subida.

Si bien la combinación libre de OBI distribuida puede dar como resultado el empleo de un combinador de cuatro puertos seguido por combinadores de ocho puertos y enlazarlos mediante cadena margarita, dicha solución necesita suministro de potencia en cinco puntos (en lugar de potencia en un solo punto con un combinador de treinta y dos puertos). La necesidad creciente de potencia contrasta con el concepto de FTTH, el cual se espera que sea más pasivo y que dependa menos de la potencia. Un aumento exponencial en los puntos de potencia se percibe como una debilidad en la confianza en los despliegues de FTTH, mayores gastos, puede no ajustarse bien a las redes de separación implementadas actualmente y puede funcionar bien únicamente en aplicaciones de terreno no urbanizado, en donde el sistema de potencia se instala simultáneamente con la red de fibra.

Se describe en la presente memoria la combinación distribuida libre de OBI habilitante sin necesidad de aumentar la potencia requerida por las soluciones existentes. Se describen en la presente memoria técnicas para permitir que los combinadores se comporten como combinadores pasivos, ya sea el combinador 120 o el combinador 130.

Los EDFA, tales como los de los combinadores 120, 130, se bombean mediante una longitud de onda de emisión de un láser, que se bombea convencionalmente a 1480 nm, que es la longitud de onda de emisión de un láser disponible en el mercado. Se describen en la presente memoria técnicas para un sistema de combinador libre de OBI que bombea el EDFA a una longitud de onda que provoca que un combinador activo se comporte de manera pasiva.

La Figura 2A representa un sistema de combinador activo con bombeo óptico, es decir, un sistema opto-electrónico que se excita con luz o al poblar específicamente determinados niveles electrónicos en un fotodetector para producir una corriente fotovoltaica, similar a la forma en que una fotocélula convierte la luz solar en potencia eléctrica, como se describe en la presente memoria. El bombeo óptico significa de manera convencional inyectar luz para excitar de forma electrónica el medio de transmisión o algunos de sus constituyentes hasta otros niveles de energía. En el contexto de láseres o amplificadores láser, la amplificación óptica puede lograrse por medio de emisión estimulada para cierto intervalo de frecuencias ópticas, el ancho de este intervalo también se menciona como el ancho de banda de ganancia. Aquí también se utiliza el término "bombeo óptico" para describir un sistema donde una fuente de luz de "bomba" induce una fotocorriente a través del efecto fotovoltaico en un detector y el voltaje y corriente de salida del detector se utilizan para energizar un circuito eléctrico. Por ejemplo, el detector 137 puede recibir luz desde una fibra 128 que se inyecta en la fibra con un láser de "bomba" en una ubicación ascendente 120. El detector 128 puede producir energía eléctrica para energizar el circuito 129 que realiza las conversiones de voltaje necesarias para proporcionarle energía al amplificador eléctrico 133 para amplificar las señales de entrada. Por lo tanto, el medio de un detector y un amplificador de circuito de energía 133 pueden utilizar una bomba óptica para amplificar las señales eléctricas de entrada.

La Figura 2A representa la señalización ascendente entre combinadores, tales como los combinadores 120 y 130 de la Figura 1. Un combinador libre de OBI, como el combinador de 32 puertos 120 descrito en la Figura 1, puede ubicarse a alrededor de 20 km del concentrador y se energiza. El combinador 120 procesa las señales ascendentes representadas por el bloque 201 (un experto en la técnica reconocerá los diversos componentes que pueden utilizarse en el combinador 120 para el procesamiento de señales ascendentes, generalizadas por medio del bloque 201). La ubicación 130 como se muestra en la figura 2A solamente ilustra los componentes ascendentes (en la figura 1, se muestran tanto los componentes ascendentes como descendentes, p. ej., combinador/separador 134, un amplificador 133, láser impulsor 136, un circuito que detecta la potencia de entrada 138, un circuito de gestión de potencia 139, opcionalmente con un dispositivo de almacenamiento de energía 135 y alimentado por un fotodetector 137 que le proporciona energía al circuito de gestión de potencia).

La Figura 2A representa una arquitectura ascendente para recibir señales a partir de una unidad de red óptica (ONU), p. ej., en donde la ONU estaría a la izquierda (es decir, se ubica en posición descendente) con respecto al combinador 130. El combinador 130 incluye un detector de RF 134 para detectar si una señal de RF está presente

en una entrada del combinador o, de manera alternativa, un circuito 134 para detectar si una potencia óptica está presente en al menos una de las fibras de entrada 132. En realizaciones, como se muestra en la Figura 2A, las fibras de entrada 132 pueden proporcionar señales desde múltiples ONU a un receptor de múltiples detectores 134. El receptor de múltiples detectores 134 pueden proporcionar señales de RF a un amplificador 133 que impulsa un láser 136. Por lo tanto, si se detecta una señal mediante un detector de RF 134, el detector de RF 134 hace pasar la señal a través de un amplificador 133. El amplificador 133 amplifica la señal de RF que incluye contenido de medios que pasa a través del circuito detector de RF. La señal amplificada impulsa el láser 136. La salida de láser se propaga al combinador 120 en una fibra 128. La salida de láser se proporciona por medio de una fibra óptica 128 (típicamente de menos de 1 km) a una ubicación ascendente 120 que procesa adicionalmente las señales.

Como se describe en mayor detalle más adelante, si bien la Figura 2A representa un circuito activo, dichos combinadores contribuyentes 130 pueden ubicarse de manera remota en los bordes de la red de RFoG y no tener acceso a potencia directa. Por ejemplo, el combinador contribuyente 130 puede no tener acceso a potencia eléctrica o puede necesitar funcionar en ausencia de potencia eléctrica. El combinador 130 libre de OBI, ubicado a una distancia del concentrador, puede incluir componentes que necesiten potencia para funcionar, como un amplificador de RF 133 para impulsar un láser 136 para la comunicación ascendente. Como se describe, una ubicación ascendente (es decir, ascendente con respecto al combinador contribuyente 130) puede incluir un láser de bomba para impulsar potencia a la ubicación 130.

Como se muestra en la Figura 2A, el combinador 120 puede incluir un láser de bomba 203. El láser de bomba 203 en la ubicación ascendente (p. ej., en el combinador 130) puede inyectar luz en la fibra 128. La salida de luz desde el láser de bomba 203 puede acoplarse a la fibra 128 que también transporta señales descendentes desde el combinador 120 al combinador 130 (como se describió anteriormente). La salida de luz desde la bomba puede desplazarse a través de la fibra 128 y se acopla desde la fibra 128 al detector 137 en el combinador 130. La salida de potencia desde el detector se proporciona a un circuito de potencia 139 que energiza los detectores de entrada 134, los amplificadores 133 y el láser 136.

En este contexto, el circuito de potencia 139 puede emplear elementos fotovoltaicos en la salida de luz desde el láser de bomba 203 para convertir la energía óptica de la luz en electricidad de corriente continua, de manera muy similar a como una célula solar convierte la luz en energía eléctrica. Por lo tanto, en contraste con el bombeo óptico utilizado para la amplificación óptica en un EDFA, las soluciones de potencia de fibra descritas utilizan luz láser de bomba y la convierten en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico (como una célula PV). Por lo tanto, si bien el láser de bomba produce potencia óptica, debería entenderse que el láser 203 puede utilizarse solamente como un láser con una potencia de salida alta. Tal tipo de láser se utiliza comúnmente como un "láser de bomba" en EDFA, por lo tanto, la referencia al láser 203 es a un láser de bomba. La energización remota por medio del láser de bomba descrito en la presente memoria es particularmente útil cuando se debe suministrar una gran cantidad de potencia a un detector, como el detector 137.

Las técnicas descritas para la energización remota permiten que los circuitos activos se comporten de forma pasiva. Los componentes energizados de forma remota incluyen componentes sin una conexión eléctrica local para recibir potencia. Por ejemplo, el combinador activo 130 puede no tener una conexión eléctrica local para la potencia.

En la Figura 2A se muestran los elementos de combinación de señal ascendente con fines ilustrativos y, por simplicidad, no se muestra la arquitectura descendente en la Figura 2A. Sin embargo, la arquitectura que se muestra en la Figura 2A puede incluir elementos para la distribución de señal descendente, como se describe en la Figura 1. Por lo tanto, con referencia a los elementos descendentes que se muestran en la Figura 1 y la Figura 2F posterior, un láser de bomba 203 en el combinador activo 120 envía desde el primer combinador activo 120 a una o más ubicaciones descendentes que incluyen un combinador óptico 130 energizado de forma remota, en donde el primer combinador activo 120 es un combinador de agregación que puede transmitir a una pluralidad de combinadores activos contribuyentes 130 energizados de forma remota. Por ejemplo, como se muestra en más detalle más adelante con respecto a la Figura 2F, un EDFA 510 puede bombearse de forma remota para permitir la amplificación de señal descendente.

La Figura 2B y 2C representan características de rendimiento de una bomba de 980 nm. Como se describió anteriormente, una fuente de bombeo que incluye un láser en el combinador 120 (p. ej., láser de bomba 203) puede proporcionar la energía de bombeo al combinador 130, que incluye el amplificador de RF 133, a una longitud de onda nominal de 980 nm, para producir una señal de RF amplificada para impulsar un láser 136. Como se describe en mayor detalle en la Figura 2F, un WDM 502 puede separar las longitudes de ondas de onda de señal y de bomba.

La Figura 2F muestra adicionalmente opciones para el bombeo óptico de un EDFA 510 mediante el uso de la luz de bomba que se explicará adicionalmente más adelante. La fuente de bomba, como la bomba que incluye un láser 203 que se muestra en la Figura 2A también puede proporcionar la energía de bombeo al EDFA 510 en la Figura 2F a una longitud de onda nominal de 980 nm para producir una señal descendente amplificada. Como se emplea en esta memoria, una bomba, como la bomba 203, es un láser para la amplificación óptica. Se puede utilizar una bomba en un amplificador de fibra dopada con erbio, como se describe en realizaciones de la presente memoria. Por lo tanto,

una señal descendente entrante, a menudo a la longitud de onda nominal del portador de 1550 nm, puede amplificarse mediante un EDFA 510.

5 En realizaciones, un láser de bomba se ubica en una posición descendente con respecto al combinador contribuyente y proporciona potencia óptica a través de la fibra 501. Por ejemplo, un láser de bomba puede ubicarse en una ubicación de ONU que ingrese luz en el combinador contribuyente 130 por medio de la fibra 501. Para sistemas con una fibra separada, como la fibra 501 que se muestra en la Figura 2F, la fibra puede estar en una ubicación ascendente o descendente con respecto al combinador contribuyente 130 que tiene una conexión de potencia eléctrica y, por lo tanto, es capaz de proporcionar suficiente potencia óptica ala potencia contribuyente para proporcionar potencia remota.

10 La Figura 2B representa la pérdida de fibra a través del espectro de longitud de onda para una fibra de modo simple estándar (con un pico de agua). La Figura 2B muestra la atenuación de fibra en dB/km en función de la longitud de onda. Como se muestra, una longitud de onda de 980 nm tiene aproximadamente 1 db de pérdida/1 km de fibra (aproximadamente 20 % por cada km). En distancias de aproximadamente 20 km, como una distancia común entre la cabecera y el primer combinador óptico 120, la pérdida es de 20 dB.

15 La Figura 2C es un ajuste de curva de la Figura 2B, pero donde la pérdida inducida por pico de agua se eliminó (este es el caso con las fibras de modo simple más nuevas). La Figura 2C muestra un ajuste a la atenuación de la fibra en función de la longitud de onda. Por lo tanto, la distancia aproximada de 1 km entre los combinadores 120 y 130 significa una pérdida de 1 dB, que significa una pérdida de aproximadamente 20 % de luz. A distancias mayores que 3 km de fibra, una pérdida correspondiente de 3 db significa que 50 % de los fotones no alcanzan la detección y la pérdida a través de 20 km de fibra medio una bomba de 980 nm sería un impedimento significativo para el sistema. Por lo tanto, no se usan bombas de 980 nm en redes de CATV convencionales para soluciones de energización de fibras remotas, como las redes de RFoG, debido a la pérdida excesiva a través de las distancias de transmisión en tales redes de RFoG. Si bien un EDFA puede emplear una bomba para sus fines de amplificación, cabe destacar que esto difiere del uso de la bomba láser, p. ej., bomba de 980 nm, como se describe en la presente memoria para los fines de energización remota.

20 Con referencia de vuelta a la Figura 2A, en realizaciones de las técnicas descritas para la combinación óptica, al menos un combinador de agregación 120 se conecta con uno o más combinadores contribuyentes 130 para permitir que los combinadores contribuyentes se comporten de forma pasiva. La clasificación de activo o pasivo se basa en si la configuración del combinador incluye elementos electrónicos activos (por lo tanto, tiene una ganancia general en frecuencias de RF) o componentes puramente pasivos (que presenta pérdida de recepción de RF). Los combinadores activos contienen dispositivos, como amplificadores, que proporcionan ganancia. Los combinadores pasivos contienen elementos no activos o no lineales, como transistores, y no pueden producir más potencia de salida de RF que su entrada al combinador, dado que no se proporcionan con potencia remota para elementos activos. En general, los componentes pasivos son los que no pueden proporcionar energía en sí mismos, mientras que los componentes activos actúan como una fuente de energía. Los componentes activos dependen de una fuente de energía y usualmente pueden inyectar potencia en un circuito. Los componentes pasivos no pueden introducir energía neta en un circuito. Tampoco pueden depender de una fuente de potencia, excepto por lo que está disponible del circuito (AC) al que están conectados. En consecuencia, no pueden amplificar (aumentar la potencia de una señal).

25 Al comportarse de forma pasiva, el combinador activo 120 descrito es todavía un combinador activo, pero se habilita por medio de energización remota en lugar de ser verdaderamente pasivo. En otras palabras, el combinador 130 no incluye transistores y no tiene ganancia de RF, pero no requiere de una conexión de potencia eléctrica, dado que la potencia necesaria para funcionar se proporciona de forma óptica por medio de la fibra, según las técnicas descritas. Por lo tanto, para un instalador y operador del sistema para todos los fines prácticos, el combinador 130 parece y se comporta como si fuese un combinador pasivo, aunque es todavía un combinador activo cuando se proporciona potencia eléctrica mediante un fotodetector iluminado por una fuente óptica poderosa suministrada al detector por medio de fibra.

30 En un ejemplo de implementación, un combinador de agregación (AC) 120 libre de OBI de 4..32 puertos (entre 4 y 32 puertos) se conecta a cuatro o más combinadores contribuyentes (CC) 130 de ocho puertos en posición descendente. Se describen en la presente memoria técnicas para permitir que los combinadores contribuyentes tengan su propia potencia, de manera que los combinadores contribuyentes se comporten de forma pasiva en el sentido de que no necesitan una conexión de potencia eléctrica local. Tal combinador de agregación y los combinadores contribuyentes se colocan en una ubicación remota del concentrador, en donde la distancia entre el combinador de agregación 120 y el uno o más combinadores contribuyentes 130 puede ser de alrededor de 1-2 km, mientras que a través de una distancia de 1-2 km (p. ej., la distancia entre los combinadores 120 y 130) la pérdida mediante el uso de una bomba 980 nm es de aproximadamente 1 dB.

35 Como se describe en la presente memoria, para las técnicas para optimizar transmisiones a través de las distancias entre la cabecera, los combinadores y la ubicación del cliente, se implementan bombas de 980 nm con el combinador 130 en realizaciones para energizar los combinadores contribuyentes (CC) descendentes en la misma

fibra que atraviesan las señales descendentes y las señales ascendentes. La bomba de 980 nm utilizada como un láser de bomba 203 puede ser la misma bomba utilizada en los EDFA (p. ej., Figura 1, EDFA 124) en la ubicación del combinador de agregación (AC) 120 de 4..32 puertos, pero con el fin distintivo según se describe en la presente memoria para energizar de forma remota el combinador contribuyente. En otras palabras, la bomba de 980 nm puede extender la potencia a una ubicación que no tendría potencia de otra manera, es decir, permite energizar de manera remota los combinadores activos 130. La bomba utilizada en el combinador 120 no utiliza una bomba para producir energía eléctrica para sus propios circuitos, dado que ya tiene una conexión de potencia eléctrica. En algunos casos, el combinador 120 podría recibir potencia óptica remota; sin embargo, en tales casos el combinador 120 no contendría las fuentes de bomba de 980 para energizar 130, dado que consumen demasiada energía, es decir, las bombas requieren demasiada energía para impulsarlas a partir de un enlace de potencia de fibra remoto; en lugar de esto, se utilizan para proporcionarle potencia a los enlaces de potencia de fibra remotos.

De esta manera, los combinadores activos 130 pueden comportarse de forma pasiva, lo cual significa que el combinador activo no necesita una conexión de potencia eléctrica local, es decir, los combinadores activos pueden energizarse de forma remota. Tales combinadores energizados de forma remota pueden ser ideales para reducir los requisitos de potencia donde puede haber muchos más combinadores 130 en un sistema que los combinadores 120 (p. ej., por cada combinador de agregación 120 puede haber 32 combinadores contribuyentes 130). Además, la energización remota permite energizar un combinador activo sin una conexión eléctrica local que proporcione potencia y permite que el combinador activo se comporte de forma pasiva en lo que respecta a la potencia, es decir, recibir potencia de forma remota en lugar de producirla o necesitarla de forma activa. De manera similar, el combinador 120 puede hacerse para que se comporte de manera pasiva si la distancia entre el combinador 120 y el componente que proporciona potencia óptica al combinador 120 permite el uso de la bomba de 980 nm para proporcionar potencia a través de la fibra.

Cabe destacar que las bombas de 980 nm descritas en la presente memoria son similares al láser utilizado para proporcionar potencia de bomba para el EDFA, pero, a diferencia de las bombas de EDFA que necesitan la estabilización de longitud de onda para bombear de manera eficaz, la bomba de 980 nm en el combinador 130 no necesita la estabilización de longitud de onda. Además, debido a que la bomba de 980 nm puede producir una gran cantidad de potencia (p. ej., 30 dBm), puede ser deseable mitigar por SBS la luz. SBS es un efecto conocido donde la fibra óptica refleja la luz por encima de determinado umbral, los métodos para mitigar SBS incluye ampliar el espectro de la fuente de luz. La distancia sobre la cual funciona la bomba de 980 nm es moderada (p. ej., 1 km entre los combinadores 120 y 130), pero incluso si la mayor parte de la luz no se recibirá a través de una longitud de fibra moderada, la bomba de 980 nm en el combinador 130 energizado de forma remota puede suprimirse/mitigarse por SBS para permitir que se reciba incluso más luz.

Cabe destacar aquí que, en esta aplicación, si bien la longitud de onda de 980 nm se describe como la potencia de fibra preferida para energizar los combinadores contribuyentes, se pueden utilizar también otras longitudes de onda, como 850 nm y 1480 nm. Si bien hay fuentes menos costosas o fuentes de mayor potencia a 850 nm, la pérdida de fibra es mayor a la longitud de onda de potencia mayor, lo cual contrarresta algunas de las ventajas. Además, los componentes ópticos, como los WDM para la operación en modo simple, están más ampliamente disponibles para las fuentes de 980 nm y 1480 nm debido a su uso en los EDFA actuales. Si bien hay disponibles bombas de 1480 nm con componentes de modo simple y tienen la ventaja distintiva de que la pérdida de fibra es mucho más moderada que con 980 nm (la pérdida a 1480 nm, es de aproximadamente 0,25 dB/km, en comparación con 1 dB/km a 980 nm), la longitud de onda de 980 nm puede proporcionar ventajas con respecto a la generación de potencia de fibra en virtud de su baja longitud de onda y consecuente mayor cantidad de fotones de energía. Además, los 1480 nm también pueden limitar el uso de una aplicación de longitud de onda de PON de 1G de bajada de 1490 nm, mediante lo cual se limita la transmisión de PON. En caso de que el usuario no anticipe el funcionamiento de PON y se diseñe una potencia de fibra eficaz y confiable, entonces el funcionamiento a 1480 nm podría proporcionar un mayor alcance y todas las ventajas descritas para el funcionamiento a 980 nm descritas anteriormente y más adelante.

No obstante, se entenderá que, si bien esta aplicación describe el bombeo a 980 nm, pueden utilizarse otras longitudes de onda, especialmente 850 nm y 1480 nm, según lo que se discutió anteriormente. También es posible que el transmisor de señalización de 1550 nm pudiera ubicarse dentro del mismo módulo con la bomba de 980 nm o la de 1480 nm. Por ejemplo, en arquitecturas de CCAP remotas, la longitud del enlace es a menudo más corta entre una cabecera y un combinador de agregación 130. Por lo tanto, la bomba de 1480 nm o la bomba de 980 nm puede ubicarse en el mismo módulo transmisor que el láser de señalización de 1550 nm.

En realizaciones para incluir una bomba de 980 nm, la longitud de onda de 980 nm tiene 1 dB/km de pérdida. Para combinadores contribuyentes 130 distribuidos ubicados dentro de 1 km del AC (combinador activo) 120, el uso de la bomba de 980 nm, por lo tanto, da como resultado pérdidas mínimas. En realizaciones, las longitudes de onda de 980 nm se reciben mediante detectores de Si, que tienen un espacio de banda suficiente para producir potencia para hacer funcionar los CC (combinadores contribuyentes). Como se describió anteriormente, pueden utilizarse otras longitudes de onda, tales como de 850 nm y 1480 nm, según la discusión presentada.

Los combinadores contribuyentes 130 pueden ser un dispositivo de 8 puertos seguido por un láser de retransmisión.

- Dado que estos CC están muy cerca del AC, la potencia del CC no necesita ser muy alta. Por ejemplo, -3 dBm o -6 dBm sería suficiente. La potencia típica necesaria para hacer funcionar un láser con esa potencia o incluso hasta 3 dBm e de aproximadamente 50 mW de potencia. Un AC o un CC puede tener un acoplamiento de fotodiodo pasivo y, por lo tanto, no necesitar una gran potencia, p. ej., aproximadamente 5 mW de potencia para energizar los fotodetectores y 70 mW para impulsar el amplificador de RF en el CC. Una bomba de 980 nm SM económica proporciona 26 dBm de potencia; hay una pérdida de 1 dB para un WDM para inyectar luz de 980 nm en el SMF y con una pérdida de 1 dB alcanza el detector de sílice a 24 dBm de potencia. Con un detector eficaz al 50 %, la potencia liberada es de 21 dBm, que es aproximadamente 125 mW, suficiente para hacer funcionar el CC.
- En realizaciones, la bomba WL de 980 nm provoca una interacción no óptica no lineal entre la luz a 980 nm y 1550 nm en una distancia tan corta como 1 km.
- En realizaciones, la bomba de 980 nm se suprime por SBS para permitir 22 dBm de potencia a través del SMF. Un límite de SBS típico es de 7 dBm a 20 km y aproximadamente 15 dBm-18 dBm a 1 km de fibra. Por lo tanto, en realizaciones, una modulación modesta en la bomba de 980 nm permite la supresión por SBS.
- En realizaciones, el circuito de energización toma una señal de un circuito detector de potencia de entrada conectado a los detectores de entrada que indica si la potencia óptica es incidente a los detectores de entrada. Esta señal puede entonces ser utilizada para controlar la potencia proporcionada al láser y/o al amplificador. Opcionalmente, un dispositivo de almacenamiento de energía, como un capacitor, supercapacitor o batería, se acopla al circuito de energización para sustentar la energización del combinador. Nótese que el láser de bomba puede ubicarse en una ubicación ascendente como se muestra, pero puede también ubicarse en una ubicación descendente u otra ubicación para proporcionar potencia al combinador activo por medio de una fibra de entrada o fibra separada.
- Si bien la figura anterior muestra elementos de un combinado activo típico utilizado en sistemas como el que se describe en la Figura 1, tales combinadores convencionalmente necesitan varios Watts para energizar el receptor de múltiples detectores, amplificador y láser (ya eficaces). Si bien el láser típicamente necesita solamente aproximadamente 1 Volt y menos de 50 mA de corriente para funcionar, lo cual suma aproximadamente 50 mW de potencia, los amplificadores de RF consumen una gran cantidad de potencia. Una razón principal es que los amplificadores de RF se diseñan típicamente como bloques de ganancia que funcionan en sistema con impedancia característica, como 50 o 75 ohmios. Por otro lado, los fotodetectores son fuentes de alta impedancia y funcionan de manera ideal a alta impedancia, limitados únicamente por la impedancia característica obtenible de una línea de transmisión si funciona con múltiples detectores en una estructura de línea de transmisión. Los láseres, por otro lado, son dispositivos de baja impedancia que presentan una carga de impedancia típicamente de unos pocos ohmios al amplificador.
- Cuando se toma en cuenta que la longitud de la fibra hacia el combinador activo es típicamente pequeña, se vuelve claro que la potencia de entrada óptica hacia los detectores de entrada es significativa, típicamente 1-2 mW, que inducen 1..2 mA de corriente de detector de entrada que puede proporcionarse a una impedancia de hasta 100 ohmios, lo cual da como resultado hasta aproximadamente 400 uW de potencia de señal. La corriente de modulación pico láser es del orden de 20 mA con una impedancia de unos pocos ohmios o de hasta aproximadamente 800 uW de potencia de señal. Se hace claro que no se necesita mucha ganancia de potencia de señal para impulsar el láser; sin embargo, se necesita una transformación de impedancia. La transformación de impedancia es posible con transformadores, sin embargo, los transformadores inducen pérdidas en lugar de proporcionar una pequeña cantidad de ganancia y es difícil obtener una relación de transformación de impedancia muy alta con un ancho de banda de RF de gran tamaño. En esta aplicación se obtiene preferiblemente un ancho de banda de RF de 5-1000 MHz.
- Nótese que la estructura de detector de entrada, incluso si se polariza a 5 V, solamente consume aproximadamente 10 mW cuando se induce una corriente de detector de 2 mA, por lo tanto, solamente se puede concluir que el amplificador de RF es el mayor consumidor de potencia óptica. La discusión en el párrafo anterior explica que un amplificador de RF tradicional con una ganancia alta e impedancias de entrada y salida de 50 o 75 ohmios no es ideal en esta aplicación. Esto puede modificarse en parte con transformadores, pero estos inducen una pérdida adicional y provocan limitaciones del ancho de banda. Por lo tanto, se busca una solución diferente; aquí se utiliza principalmente un amplificador transistor como un transformador de impedancia que también proporciona una cantidad limitada de ganancia.
- La Figura 2D ilustra un amplificador, como el amplificador 133 de la Figura 1, que convierte impedancia de detector alta en impedancia láser baja. Como se muestra en la Figura 2D, el amplificador transistor puede impulsarse mediante una fuente con una impedancia alta (como R6 con una impedancia de 150 ohmios) y fotodiodos representados por la fuente de corriente 11. Los transistores tienen redes de polarización L3, L4, L1, L2, R4 para establecer una corriente de polarización. La impedancia de entrada y salida del amplificador transistor se establece con resistencias de retroalimentación R7, R8 y R3, R10. Estos se fijan de manera que la impedancia láser baja R1 de unos pocos ohmios se convierta en una impedancia cercana a R6 en la entrada del amplificador transistor. Nótese que, debido a la baja impedancia del láser, la oscilación del voltaje de la señal en el láser es muy baja; como

consecuencia de esto, un voltaje de alimentación al amplificador de hasta 1 V es suficiente para hacer funcionar el amplificador. La corriente de amplificador necesaria se encuentra en el mismo orden que la corriente del láser (alrededor de 50 mA) para obtener un rendimiento de distorsión aceptable.

5 Los láseres de semiconductor que funcionan en el intervalo de 1310-1610 pueden funcionar con una caída de voltaje en el intervalo de 0.9-1.5 Volt; esto significa que la fuente de voltaje necesaria para hacer funcionar el láser podría también proporcionar la potencia necesaria para hacer funcionar tal amplificador. Como consecuencia de esto, el
 10 circuito entero para hacer funcionar los fotodetectores, amplificador y láser de semiconductor podría funcionar con una fuente de voltaje de corriente baja para polarizar los detectores y una fuente de bajo voltaje para hacer funcionar tanto el láser como el amplificador. En algunos casos, la polarización de detector necesaria también puede ser de 1 V (pero no típicamente) de manera que pueda ser suficiente un único suministro de bajo voltaje.

La Figura 2E representa un ancho de banda de impedancia que transforma un láser que impulsa un transistor
 15 amplificador con impedancia baja. Como se ilustra, el ancho de banda obtenido es alto, en el orden de 1000 MHz.

En general, la impedancia del láser a 1 GHz se ve afectada por inductancia parásita del paquete de láser. Esta inductancia parásita afecta la transformación de impedancia por el amplificador de transistor y puede mitigarse mediante la adición de inductancia adecuada a la resistencia de retroalimentación a las resistencias R3 y R10. Esto se incluyó en el cálculo que se muestra anteriormente.

20 Como se describe en mayor detalle más adelante, aspectos del diseño de las ONU con control de encendido/apagado del láser y control de encendido/apagado de ganancia de RF se aplican a los combinadores descritos anteriormente y pueden utilizarse adicionalmente para ahorrar potencia y prevenir errores relacionados con el encendido y el recorte.

25 La Figura 2F representa un ejemplo de un combinador 130 de soporte, conectado a la izquierda de un combinador 120 acumulado. Una fibra 500 proporciona señales descendentes y potencia de láser de bomba a 980 nm a un EDFA 510. Esta potencia puede pasar directamente al EDFA o acoplarse a un separador 506 mediante el uso de un componente de WDM 502 que acople de forma selectiva la totalidad o parte de la luz de bomba de 980 nm a ese
 30 separador. El separador 506 proporciona la toda o parte de la potencia en el separador 506 al detector 507 que les proporciona potencia a los circuitos ascendentes. La potencia restante del separador 506 se proporciona al componente de WDM 503 que acopla la potencia a la sección de fibra dopada con Er 504 en el EDFA 510. En la salida del EDFA 520 un componente de WDM 505 acopla la luz de bomba de 980 nm restante a un detector óptico 508 que puede también utilizarse para proporcionarle potencia a circuitos ascendentes y el componente de WDM 505 para prevenir la fuga de luz de bomba desde el EDFA a la salida 509. Cada una de estas implementaciones puede elegirse siempre que se proporcione potencia tanto a los circuitos ascendentes como a un EDFA en el CC 130.

40 Nótese que la Figura 2F ilustra solamente la distribución de luz de bomba de 980 nm y no otros componentes en el CC 130 utilizados para combinar y separar otras señales ópticas. Además, nótese que, de manera alternativa, se pueden utilizar 1480 nm para proporcionarle potencia tanto al EDFA como a los circuitos ascendentes. Finalmente, nótese que, en el caso de utilizar 1480 nm, entonces las longitudes de onda mayores que 1480 nm, tales como de 1550 nm y 1610 nm, pueden amplificarse mediante el efecto de ganancia de Raman en una fibra que preceda al CC. Preferiblemente, se utilizan 1550 nm en la dirección descendente y 1610 en la dirección ascendente hacia y desde el
 45 CC, respectivamente. Si se utiliza una bomba de 1480 nm con suficiente potencia, entonces el efecto de ganancia de Raman sobre la fibra que precede al CC puede proporcionar suficiente ganancia (por ejemplo, mayor que 1 dB) de manera que no se necesaria una sección de fibra dopada con Er del CC.

50 La Figura 2G representa un ejemplo de EDFA en el AC 120, en donde el filtro WDM 605 en la salida del EDFA se construye de manera que se permita el pasaje de luz de 980 nm hacia la salida de EDFA 609 y esta luz se usa para energizar de forma remota un CC posterior 130. El EDFA tiene un láser de bomba 606 que está acoplado hacia la fibra dopada con Er 604 mediante el uso del acoplador de WDM 603. Esto significa que el acoplador 605 que está presente de forma convencional en un EDFA para rechazar la luz de bomba de 980 nm restante puede estar ausente en el EDFA. Esta figura ilustra únicamente la distribución de luz de 980 nm y no los demás componentes
 55 utilizados para la manipulación de la señal de RF; la fibra de salida 500 del AC 120 al CC 130 se acoplará con la salida 609, de manera que pasen 980 nm a la fibra 500.

60 Descrito anteriormente se destaca que, si bien se pueden utilizar 980 nm para la potencia de fibra en el ascendente, los 980 nm también pueden utilizarse para el bombeo remoto del EDFA descendente. Por ejemplo, si el sistema utiliza un EDFA (p. ej., EDFA 510 en el combinador contribuyente 130 que se muestra en la Figura 2F), entonces los 980 nm pueden ingresar en ese EDFA 510 directamente a través de la entrada o incluso sin un aislador de entrada para obtener la sección dopada con Er. Entonces, al final de la sección dopada con Er, la luz restante de la bomba puede ser vertida al detector que alimenta la corriente ascendente. Los 980 nm pueden utilizarse para el bombeo remoto del EDFA 510 descendente mediante el uso de solamente una fibra o múltiples fibras. Por ejemplo, se puede utilizar una fibra para enviar señales ascendentes y descendentes, se puede utilizar una segunda fibra para potencia de fibra para energizar los circuitos de procesamiento de señales ascendentes y una tercera fibra para la potencia
 65 de fibra para energizar los circuitos de procesamiento de señales ascendentes y una tercera fibra para la potencia

de bomba remota para bombear un EDFA para la amplificación de señales descendentes. Por lo tanto, con 3 o más fibras, es posible un combinador contribuyente completamente funcional que se comporte de manera totalmente pasiva con amplificación descendente y funcionamiento libre de OBI ascendente. A menudo, cuando se coloca la fibra sobre la extremidad de acceso, también se colocan hebras adicionales y están fácilmente disponibles. Sin embargo, la bomba de 980 utilizada anteriormente también puede emplearse con una única fibra.

Si se utiliza una única fibra, una bomba de 980 nm de alta potencia en el combinador de agregación se somete a WDM en la fibra de señal, p. ej., la fibra 128, que se extiende hacia uno o más combinadores contribuyentes 130, lo cual conecta los combinadores 120, 130 por medio de una única fibra y, de esta manera, se acopla la bomba de 980 nm a un receptor o a un detector en el combinador contribuyente 130. Una parte de la potencia puede entonces enviarse al receptor InGaP o Si y convertirse en electrones. Sin embargo, la parte restante se envía directamente al EDFA pasivo y se utiliza para amplificar la señal descendente. Se ilustran detalles de esto en las Figuras 2F y 2G.

El uso de los 980 nm como se describe en la presente memoria permite un funcionamiento energizado de forma completamente remota para el funcionamiento ascendente y descendente del combinador contribuyente 130. La combinación innovadora de potencia de fibra y bombeo remoto se encuentra disponible en sistemas convencionales que no contemplan los conceptos de combinador de agregación y contribuyente. Además, la opción de utilizar ya sea una operación de fibra única o múltiples fibras dependiendo de la potencia de bomba disponible, el costo y la disponibilidad de fibra se pone a disposición mediante el uso de las técnicas descritas. Como se describió anteriormente, también pueden utilizarse 1480 nm en caso de que el usuario final no pretenda utilizar PON de 1490 nm. Con el diseño adecuado, las bombas de 1480 nm pueden permitirles un mayor alcance a los combinadores contribuyentes.

En realizaciones, el combinador óptico descrito previene la interferencia en despliegues de RFOG en el combinador en lugar de prevenir la interferencia mediante el uso de mediciones tomadas en la ONU, en donde los intentos previos fallaron o su costo resultaba prohibitivo.

Las arquitecturas tradicionales de RFOG tienen una asignación de potencia fija. Esto significa que a medida que la longitud de la fibra entre la cabecera y las ONU aumenta, se puede utilizar una cantidad menor de separaciones, como se puede observar en la Figura 3. Por el contrario, cuantas más separaciones se deseen, se puede desplegar una longitud de fibra menor. La arquitectura activa descrita, sin embargo, permite una longitud de fibra de hasta aproximadamente 40 km, sin importar la cantidad de separaciones utilizada, lo cual significa que la arquitectura activa descrita permite longitudes de fibra de 40 km o más junto con una gran cantidad de separaciones, p. ej., 1024, mediante lo cual avanza el despliegue y topología de FTTP.

El costo general de la arquitectura de separador activo que se muestra en la Figura 2 es similar al de una solución de RFOG tradicional. El costo de los componentes de detector y WDM y bloques de ganancia de EDFA de separador activo en la arquitectura activa se compensa mediante la eliminación del equipo de cabecera, como receptores, EDFA de alta potencia y combinadores. Una reducción de costo de las ONU puede operar con una potencia de salida baja, lo cual sustenta adicionalmente la arquitectura de separador activo. Las ventajas adicionales de la arquitectura de separador activo pueden incluir una reducción en la cantidad de fibras que salen desde la cabecera, que puede tener un gran impacto sobre el costo del sistema, así como una opción de usar ONU inversas de 1310 nm a la vez que se mantiene dentro de una asignación de pérdida por SNR típica, lo cual puede reducir adicionalmente el costo. Además, el sistema que se muestra en la Figura 2 presenta un mayor ancho de banda en comparación con lo que las arquitecturas de RFOG existentes pueden proporcionar, lo cual evita límites sobre los tamaños de grupos de servicios y los requisitos concomitantes para más puertos de retorno de CMTS. Finalmente, a diferencia de las técnicas de mitigación de OBI en arquitecturas de RFOG existentes, el sistema que se muestra en la Figura 2 no requiere elementos ópticos refrigerados o controlados por temperatura y los enlaces de comunicación bidireccionales que necesitan inteligencia de ONU adicional.

Cada uno de estos factores proporciona una ventaja de costo adicional de una solución de separador activo con respecto a las arquitecturas de RFOG existentes. El espacio y potencia necesarios en la cabecera también se reducen; la solución de separador activo requiere un puerto de transmisor, un puerto de recepción y un componente de WDM. Las arquitecturas de RFOG existentes, por otro lado, requieren puertos de transmisión, EDFA de alta potencia con múltiples puertos, 32 WDM, 32 puertos de recepción y un combinador de RF con 32 puertos. Las arquitecturas de RFOG existentes necesitan un nivel muy bajo de ruido, alta ganancia y receptores de potencia de salida con métodos de supresión implementados para superar la pérdida de potencia y la adición de ruido en el combinador de RF. El sistema 100 que se muestra en la Figura 2, por el contrario, funciona con potencia de entrada normalmente en el intervalo de 0-3 dBm, se necesita una ganancia baja y requiere una salida de potencia de 15 dB menos debido a la ausencia del combinador de RF antes del CMTS.

La unidad de combinador óptico descrita puede ser independiente de las ONU, módems por cable y CMTS. El combinador óptico descrito puede ser agnóstico de CMTS, mediante lo cual se libera la carga de crear un programador consciente de RFOG que sea a la vez restrictivo y que consuma tiempo. El combinador óptico ayuda a realizar una versión por cable de FTTH más viable en comparación con las alternativas de red óptica pasiva (PON). Por ejemplo, la unidad de combinador óptico descrita puede tener una capacidad de pasaje de PON recíproca de la

unidad de combinador óptico junto con una capacidad ascendente y descendente alta, que ayuda al despliegue de RFOG sin interrupción debido al sistema subyacente de PON posterior en un sistema de RFOG.

5 Preferiblemente, la unidad de combinador óptico descrita implementa un enfoque de línea de transmisión para combinar múltiples fotodetectores ópticos en un único receptor óptico. Esto puede lograrse en configuraciones con comunicación unidireccional o bidireccional. Un sistema unidireccional no proporciona señales de comunicación de control desde un separador óptico activo a una ONU, es decir, las señales de comunicación de control solamente pasan desde una ONU a un separador activo. Por lo tanto, en un sistema unidireccional, un separador óptico simplemente acepta un nivel de salida desde una ONU y funciona con ese nivel de salida. Un sistema bidireccional hace pasar señales de control desde un separador óptico activo hacia las ONU que las instruye para ajustar su potencia de salida; este tipo de sistema permite la ecualización precisa de los niveles de entrada hacia el separador óptico activo desde cada ONU.

15 Algunos sistemas activos de separador/combinador pueden incluir preferiblemente redundancia donde los separadores ópticos activos cambian su potencia de láser de retorno (el láser de retorno transporta la información combinada de las ONU conectadas a este) entre un estado de potencia alta y baja o hace funcionar este láser en un modo de CW. En ese caso, una cabecera ascendente o un separador óptico activo puede detectar fácilmente la pérdida de potencia en un puerto de entrada y permitir que un segundo puerto de entrada conectado a otra vía de fibra reciba la información, en la vía directa la otra vía de fibra también se activaría en este caso, dado que generalmente la luz directa e inversa comparten la misma fibra. Además, algunos sistemas de separador/combinador activo pueden incluir un láser inverso en el separador óptico activo que ajuste su salida de potencia en función de la cantidad de transmisores de ONU al separador óptico activo y la fotocorriente recibida de estas ONU. Otros sistemas de separador/combinador activo adicionales pueden tener un factor de ganancia y la potencia láser inversa del separador óptico activo establecida en un valor fijo.

25 Preferiblemente, la unidad de combinador óptico descrita puede configurarse a sí misma en circunstancias cambiantes. Se producen instancias en las que se necesitan módems por cable en las ONU para comunicarse con el CMTS, incluso si no hay datos para transmitir. Sin embargo, usualmente la ONU se apaga durante períodos cuando no hay datos para transmitir entre la ONU y el CMTS, y un módem por cable podría demorar horas en recibir o enviar datos. Por lo tanto, en algunas realizaciones, la unidad de combinador descrita puede configurarse para permanecer en comunicación con el CMTS. Los módems por cable pueden ser necesarios para comunicarse de vuelta al CMTS una vez cada 30 segundos o algún otro intervalo adecuado.

35 Modos operativos de ONU y prevención de corte del láser
En arquitecturas tradicionales de RFOG, las ONU transmiten información en ráfagas y en cualquier momento una o más ONU pueden encenderse y comenzar a transmitir información. Según sea necesario por la especificación de DOCSIS, todas las ONU se sondean de forma repetida con un intervalo de hasta 5 minutos, pero usualmente menor. Cuando se enciende una ONU, la potencia óptica transmitida por la ONU aumenta desde cero hasta la potencia de salida nominal en un tiempo corto. Como consecuencia de esto, la potencia óptica recibida por el separador activo desde esa ONU va a través de la misma transición. La tasa cambio con la que se puede encender la ONU está limitada por la especificación DOCSIS, pero la transición es todavía relativamente abrupta y se asemeja a una función escalonada. Como se conoce a partir de la teoría de las señales, una función escalonada tiene un espectro de frecuencia que contiene energía significativa en las frecuencias bajas, en donde la energía disminuye a medida que aumenta la frecuencia. Si se permite la retransmisión de la energía de baja frecuencia de forma ininterrumpida por el láser de separador activo cuando se retransmiten señales, las señales podrían fácilmente anular el láser y provocar el corte del láser. Para evitar tal corte, se pueden utilizar varios enfoques.

50 Primero, se puede implementar un filtro de paso alto pronunciado después de los detectores del separador activo, lo cual asegura que las señales de baja frecuencia inducidas en los fotodetectores de las ONU que se encienden y apagan no anulen el láser utilizado para la retransmisión. Tal filtro de paso alto debería construirse de manera de que presente una impedancia baja para los fotodetectores para bajas frecuencias, de manera que los fotodetectores no perciban una fluctuación de la polarización significativa cuando se encienden y apagan las ONU. Por ejemplo, si se utiliza un capacitor de acoplamiento como el primer elemento en un filtro que presenta una impedancia alta para los fotodetectores, entonces una ONU que se enciende podría dar como resultado una fluctuación de la polarización significativa de los fotodetectores, de manera que no podría utilizarse tal tipo de filtro. En este contexto, una fluctuación de la polarización significativa podría ser una fluctuación mayor que 10 %. Preferiblemente, el filtro de paso alto se configura para limitar las fluctuaciones de los niveles bien por debajo de esta cifra, p. ej., 5 % o incluso 2 %. Además, si el láser de retransmisión también se utiliza en modo de ráfaga, entonces la tasa de cambio del láser de retransmisión debería limitarse preferiblemente cuando se enciende, de manera de limitar la cantidad de espectro de baja frecuencia en los fotorreactores de las unidades de separador activo precedentes.

65 Como se indica anteriormente, las ONU normalmente funcionan en modo de ráfaga y esto produce los problemas asociados recién descritos. El funcionamiento en modo ráfaga de las ONU es necesario en una arquitectura de RFOG existente porque, de otro modo, la probabilidad de la aparición de OBI podría ser muy elevada y el sistema podría generalmente no funcionar. Con la arquitectura de separador activo, sin embargo, no se puede producir OBI y el margen de señal a ruido es mucho más elevado que con RFOG. Debido a esto, un segundo enfoque para reducir

5 cortes es hacer funcionar las ONU en un estado “encendido” continuo con la arquitectura activa descrita anteriormente. Para 32 ONU suministrando señales a un separador activo, el ruido de disparo y ruido de láser se acumula, pero la asignación de señal a ruido es tan alta que el rendimiento de SNR resultante es todavía mucho mejor en relación con los sistemas de RFoG existentes. Como consecuencia de esto, la arquitectura de separador activo permite el funcionamiento de todas las ONU conectadas de manera simultánea, dado que la arquitectura de separador activo elimina la OBI.

10 Una tercera opción para aliviar el corte del láser es permitir que las ONU funcionen en modo de ráfaga, pero para detectar la cantidad de potencia que sale de las ONU y atenuar la señal de las ONU, de manera de prevenir el corte. Con respecto a la Figura 4, en un sistema de RFoG 200 tradicional el CMTS 210 mantiene el nivel de RF a una constante de puerto de entrada de entrada de retorno. La señal de retorno se genera mediante un módem por cable 220, se proporciona a una ONU 230 que incluye un transmisor óptico inverso y se retransmite a través de una red óptica 240 a un receptor 250 colocado con el CMTS que convierte la señal óptica de vuelta a una señal de RF y la proporciona al CMTS 210. Debería entenderse que la red óptica 240 puede contener elementos activos y pasivos. Debería entenderse, además, que la comunicación entre el módem por cable 220 y el CMTS 210 es bidireccional, es decir, hay tanto señales de vía “directa” como “inversa”.

20 La vía de comunicación que se muestra en la Figura 4 se utiliza para justar el nivel de salida del módem por cable. En caso de pérdida de que desde la ONU 230 hacia el receptor 250 sea alta, o la pérdida desde el receptor 250 hacia el CMTS 210 sea alta, entonces el CMTS 210 ajustará el nivel de salida del módem por cable 220 a un nivel elevado para obtener un nivel de entrada fijo en el CMTS o un nivel dentro de un intervalo predefinido en el CMTS. En sistemas de RFoG tradicionales, hay un margen considerable en el nivel de entrada que la ONU puede manejar, para permitir este ajuste. Sin embargo, todavía es posible que el módem por cable anule la ONU 230, particularmente dado que la cantidad de espectro utilizada por el módem por cable aumenta para soportar cargas de datos pesadas futuras. Cuando la ONU 230 se anula, la señal de RF modulada en el láser de la ONU 230 se vuelve tan alta que el láser inverso en la ONU 230 se corta, es decir, la potencia de salida desde el láser oscila hasta una cantidad tan baja que el láser se apaga. Esto provoca distorsiones de la señal graves y crea un amplio espectro de frecuencias que interfiere con la comunicación a través de ese espectro.

30 La red óptica típicamente combina señales a partir de múltiples ONU, en donde cada ONU se comunica típicamente en otra banda del espectro de frecuencia. La comunicación de todas estas ONU se ve afectada por el espectro amplio inducido por las distorsiones, incluso si solamente una ONU se corta. Preferiblemente, este problema se resuelve de una manera tal que las demás ONU no se ven afectadas, la ONU con cortes se lleva a un estado en el que todavía se puede comunicar y el CMTS produce una advertencia de que una ONU no está funcionando de manera óptima.

40 Una variación de la tercera opción recién descrita es hacer funcionar las ONU en modo de ráfaga, en donde la ONU cambia entre un estado de baja potencia (por ejemplo -6 dBm) y un estado de alta potencia (por ejemplo, 0 dBm). Esto significa que el láser de ONU nunca se apaga completamente, es decir, el láser funciona siempre por encima de su umbral de láser y siempre se puede monitorear mediante el separador activo. La reducción en la potencia de salida, cuando no transmite señales de RF, reduce el ruido de disparo y láser acumulado en el separador activo, de manera que se minimiza el impacto de señal a ruido.

45 En circunstancias en las cuales la unidad de combinador óptico realiza un ciclo a un estado de baja potencia en lugar de un estado completamente apagado, la corriente del fotodiodo y un máximo/mínimo se puede rastrear para la corriente del fotodiodo a través de todos los puertos del combinador y, por lo tanto, se puede utilizar un microcontrolador en el combinador óptico para rastrear de manera continua el máximo y mínimo en un intervalo de tiempo especificado. Por ejemplo, si durante diez minutos el máximo de la corriente del fotodiodo es 0, entonces el combinador óptico determina que el módem por cable o bien no está conectado, tiene un enlace óptico defectuoso o es defectuoso de otro modo. Opcionalmente, el combinador óptico activo puede señalar la ausencia de fotocorriente a una cabecera. El combinador óptico también puede configurarse ya sea que el combinado óptico pueda o no determinar si la luz recibida está en ráfagas como en una operación de RFoG normal o en CW (onda continua), como con un transmisor inverso de nodo. El combinador óptico puede conocer, mediante el uso de señalización ascendente de CMTS impuesta por el CMTS en los módems para analizar qué puertos están funcionando, qué puertos están silenciosos, qué puertos de entrada están conectados a las ONU y qué puertos de entrada están conectados con los transmisores inversos del combinador óptico, en donde los puertos del combinador óptico pueden tener un perfil de potencia de salida diferente de las ONU en el sentido de que la potencia puede ser de CW o puede fluctuar entre un estado de baja potencia y uno de alta potencia, o puede transportar información incrustada en la señalización que indique la presencia de un combinador óptico adicional entre la ONU y el combinador óptico.

60 Para separadores activos en cascada, los láseres de retorno en separadores activos en cascada pueden hacerse funcionar de forma similar en modo de ráfaga convencional, en donde el láser se apaga entre ráfagas, en modo de CW, o en un modo de ráfaga que cambia entre un estado de alta potencia y uno de baja potencia. Debería entenderse que el funcionamiento en CW de los láseres inversos y/u ONU, o el funcionamiento en modo de ráfaga con un nivel bajo y alto, facilita adicionalmente la determinación de los niveles ópticos de entrada en los puertos de entrada ascendente de los separadores activos. Debería entenderse, además, que, si bien los dispositivos y

métodos descritos en la presente solicitud que previenen o reducen de otro modo el corte mediante un láser que funciona en modo de ráfaga se describió en el contexto de una ONU, los dispositivos y métodos utilizados para prevenir el corte mediante un láser en una ONU son igualmente aplicables para prevenir el recorte mediante un láser en un separador activo, como se describió anteriormente.

5 La Figura 5 muestra un sistema que mitiga el corte del láser que puede producirse de otra manera a partir de comunicaciones en modo ráfaga desde una ONU. Específicamente, una ONU 300 puede incluir un detector de rms de RF 310, un microcontrolador 320 y un algoritmo para ajustar un atenuador 330 en la ONU, como resultado de la potencia detectada en el detector de rms de RF 310. La vía inversa desde la ONU 300 puede hacerse funcionar en modo de ráfaga; cuando se presenta una señal de RF en la entrada 340, entonces el láser 350 de la ONU se enciende mediante un circuito de polarización 360. Esto se puede lograr ya sea mediante un detector de RF 315 adicional en el circuito de entrada al encender directamente el circuito de polarización (flecha punteada) o mediante el detector de RF 310 y el microcontrolador 320 al encender la polarización y establecer el nivel de polarización. Cuando se produce una ráfaga, el detector de RF 310 mide un nivel de potencia y se lo proporciona al microcontrolador 320. El microcontrolador también es consciente de la corriente operativa del láser 350 según se establece mediante el circuito de polarización 360. Por lo tanto, el microcontrolador 320 puede computar si el nivel de señal de RF es lo suficientemente alto como para inducir cortes del láser inverso. Si no se producen cortes, no es necesario realizar ninguna acción adicional y la ONU 300 puede retener un valor de atenuación de RF nominal. Si, en cualquier momento, la ONU no se encuentra a un valor de atenuación de RF nominal, el procedimiento es más complicado, esto se discutirá más adelante en la memoria descriptiva.

Si se producen cortes, el microcontrolador 320 almacena el evento. Si se contó una cantidad de eventos de cortes dentro de un intervalo de tiempo especificado, entonces el microcontrolador 320 determina que la ONU 300 tiene una degradación significativa del rendimiento debida a los cortes y también que afecta significativamente a las demás ONU en el sistema. En ese caso, el microcontrolador 320 computa cuánto se necesita aumentar atenuación de RF para eliminar el corte mediante el uso de mediciones de potencia de RF que se han registrado previamente. El microcontrolador 320 entonces aumenta la atenuación de RF a un nuevo valor, de manera de que el láser 350 se module de manera más potente que lo normal (más índice de modulación que el valor nominal), pero todavía por debajo del corte. El microcontrolador 320 puede también opcionalmente aumentar la configuración de polarización del láser para proporcionar más margen de maniobra para la modulación láser.

Dado que la atenuación de la señal desde la ONU 300 se incrementó, el nivel de RF cae, según se observa mediante el CMTS al final del enlace. El CMTS entonces intentará instruir al módem por cable para que aumente el nivel de salida para restaurar el nivel de entrada deseado para el CMTS. Esto puede dar como resultado cualquiera de dos posibilidades. Primero, el módem por cable puede no ser capaz de incrementar adicionalmente el nivel de salida y el CMTS indicará el módem por cable como una unidad con problemas que no es capaz de lograr el nivel de entrada deseado al CMTS. Esto no significa que el CMTS no pueda recibir más señales desde el módem por cable, dado que el CMTS tiene un intervalo de entrada amplio para aceptar señales. Por lo tanto, la vía inversa todavía funciona en general, mientras que se vería gravemente afectada si el problema de cortes no se hubiera resuelto. Segundo, el módem por cable puede tener más margen de maniobra, en cuyo caso el CMTS lo instruirá para aumentar su nivel de salida y restaurar el nivel de entrada del CMTS al valor deseado. Como consecuencia de esto, el láser inverso se cortará nuevamente y el microcontrolador de la ONU aumentará adicionalmente la atenuación de RF. Este ciclo continuará hasta que el módem por cable haya alcanzado su capacidad de salida máxima y entonces el sistema vuelve al primer caso.

El sistema que se muestra en la Figura 5 proporciona protección contra cortes mediante las ONU y también provoca que el CMTS sea consciente de las ONU o módems con problemas. Como se destacó anteriormente, la causa de problema era que la pérdida desde la ONU al CMTS era muy grande, debido a, por ejemplo, una conexión de fibra mala en la red óptica desde la ONU hacia el receptor. Este problema se señaló y finalmente se resuelve. Cuando el problema se resuelve, sin embargo, el nivel de entrada del CMTS aumenta por encima del nivel de entrada de CMTS preferido y entonces el CMTS le indicará al módem por cable que reduzca el nivel de salida. Si la ONU no se encuentra en el valor de atenuación nominal y detecta que el índice de modulación real es menor o igual que el nivel nominal, entonces este se puede reconocer como diferente del anterior "nuevo valor" para las ONU que habían sido anuladas que se estableció de forma deliberada por encima del índice de modulación nominal. Esto implica que el problema en el sistema se solucionó y el microcontrolador puede reducir la atenuación al valor nominal, de forma gradual o en una etapa. Por lo tanto, esta técnica se recupera automáticamente desde el estado donde se protege la ONU de los cortes con un aumento de la atenuación hasta la atenuación nominal, una vez que el sistema se solucionó.

Como se indicó anteriormente, una ONU demora un tiempo en encenderse después de detectar una ráfaga. Por ejemplo, la especificación de RFoG indica que el tiempo de encendido para una ONU debería ser de entre 100 ns y 1000 ns (es decir, 1 ms). Un tiempo de encendido que sea muy corto crea de manera indeseable un ruido de frecuencia muy alto, que disminuye a medida que aumenta la frecuencia. Desafortunadamente, dado que este ruido se extiende a alrededor de 50 MHz o más, la mayor parte de las señales ascendentes desplegadas actualmente se propagan dentro del intervalo de frecuencia que se ve afectado por ruido debido a un tiempo de encendido abrupto. Lo que exacerba la degradación de la señal es el hecho de que el ruido hace picos, dado que la ráfaga instantánea

de ruido podría ser mucho mayor que lo que se observa comúnmente en un analizador de espectro con un ancho de banda de video moderado.

5 La Figura 6 ilustra en general una arquitectura ascendente de ONU 400, en donde un detector de RF 410 detecta si una señal de RF está presente en su entrada 420. Si se detecta una señal, el detector de RF 410 pasa la señal a través de un amplificador 450 y también le indica a un módulo de control de polarización del láser 430 que encienda en el momento t_0 un láser 440, que tiene un tiempo de encendido 460. El amplificador 450 amplifica la señal de RF que pasa a través del circuito detector de RF 410. La señal amplificada impulsa el láser 440. La salida de láser se propaga desde la ONU en una fibra 470. Por simplicidad, la arquitectura de receptor de ONU descendente no se muestra en la Figura 6. El tiempo de encendido 460 del láser tiene un efecto profundo sobre el espectro producido por el evento de encendido.

15 Las Figuras 7 y 8 muestran los espectros estimados para un tiempo de aumento de 100 ns y 1 ms, respectivamente, para una señal típica a 40 MHz- Para un tiempo de aumento corto, el ruido debido a los encendidos de la ONU se encuentra en el mismo orden de magnitud que la señal pretendida. Con un encendido del láser más lento este efecto se puede mitigar.

20 Si hay solamente una ONU encendida en cualquier momento dado, el efecto de ruido de baja frecuencia debido al encendido de la ONU es ínfimo, dado que la carga de DOCSIS se inserta después de que el láser se encendió completamente. Sin embargo, cuando hay múltiples ONU que pueden encenderse en cualquier momento dado, entonces el ruido a menudo no es ínfimo. Si había una primera ONU encendida y una segunda ONU se enciende mientras la primera está transmitiendo datos, entonces los picos de ruido alto, descritos anteriormente, se presentan a través de un amplio intervalo del espectro de frecuencia de la señal ascendente. Dependiendo de los niveles de RF relativos de las señales y la magnitud de los picos de ruido, la señal puede experimentar errores de corrección de errores hacia atrás o incluso hacia adelante (FEC), cuando se mide en el CMTS, por ejemplo. El potencial para debilitar el ruido se hace cada vez más pronunciado a medida que disminuye la cantidad de ONU que se pueden encender, como es posible que suceda mientras las arquitecturas migran al estándar DOCSIS 3.1. Si bien siempre existió este problema, solo se ha vuelto evidente, como un nivel mínimo de error residual, cuando la OBI y sus errores inducidos se eliminan.

30 Una deficiencia adicional es causada por la aplicación de las señales de RF antes de que el láser se haya encendido completamente y se haya estabilizado. Específicamente, puede ocurrir una deficiencia, por ejemplo, si el tiempo de encendido del láser es menor que el preámbulo de DOCSIS, que se puede aplicar antes de que el láser alcance el estado estable. Típicamente, el preámbulo de DOCSIS se envía como una señal de QPSK y puede a menudo ser de 6 a 10 dB más alta que la señal de RF regular que sigue, dependiendo de las condiciones de la señal. En tal caso, el láser se anulará mientras se encuentra todavía en un estado de baja potencia y experimentará eventos de muchos cortes que pueden causar picos en el ruido a través del espectro de RF de la señal ascendente y, por lo tanto, ocultará otras señales que pueden existir al mismo tiempo. Como se indicó anteriormente, si bien este efecto siempre ha ocurrido, solamente se vuelve observable con la eliminación de la OBI y sus errores inducidos por OBI auxiliares.

45 La Figura 9 muestra una polarización alrededor de la cual se modula un láser con una señal de onda sinusoidal. Durante el tiempo en que la polarización del láser es insuficiente, la señal de salida se corta. Para un encendido de láser más lento, la duración del corte se aumenta. Si bien puede ser deseable reducir los picos de RF de baja frecuencia que se producen a través del espectro de frecuencia ascendente al tener un tiempo de encendido menor, el aumento de los cortes descrito anteriormente puede contrarrestar el beneficio del tiempo de encendido corto. Se describen técnicas novedosas que permiten un tiempo de encendido corto a la vez que se evitan artefactos de cortes.

50 Con respecto a la Figura 10, una arquitectura ascendente de ONU 500 novedosa incluye un detector de RF 510 que detecta si una señal de RF está presente en su entrada 520. Si se detecta una señal, el detector de RF 510 pasa la señal a través de un amplificador 550 y también le indica a un módulo de control de polarización del láser 530 que encienda en el momento t_0 un láser 540, que tiene un tiempo de encendido 560. El módulo de control de polarización del láser 530 modula preferiblemente la polarización del láser 540 para lograr un encendido total del láser 540 durante un tiempo de encendido 560 que sea preferiblemente tan largo como sea posible, p. ej., el tiempo de encendido más largo permitido por el estándar de RFoG o, en algunas realizaciones, incluso más largo. En algunas realizaciones, el tiempo de encendido del láser 540 podría ser de hasta 500 ns, 1 ms o mayor. Esto puede reducir ampliamente el ruido de baja frecuencia. El tiempo de encendido para el láser puede ser lineal, como se muestra en la Figura 10, o puede implementar una transición a lo largo de cualquier otra curva deseada, una curva exponencial, una curva logarítmica o cualquier otra respuesta deseada.

65 El amplificador 550 amplifica la señal de RF que pasa a través del circuito detector de RF 510. La señal amplificada impulsa el láser 540. Preferiblemente, cuando se amplifica la señal de RF del detector de RF 510, el módulo de control de polarización del láser 530 incluye un circuito que modula la ganancia del amplificador para que sea proporcional a la polarización del láser. Esto establece eficazmente la ganancia del amplificador 550 para que sea proporcional al encendido del láser 560 y, de esta manera, reduce o incluso previene el exceso y el corte mediante

el láser 540. La salida de láser se propaga entonces desde la ONU en una fibra 570.

La Figura 11 muestra la salida del láser 540 cuando se utiliza el sistema de la Figura 10. Como se ve en esta figura, cuando se utiliza un factor de ganancia de RF proporcional a la polarización del láser, ya no se producen cortes. Sin embargo, la variación del nivel de RF durante el encendido del láser puede provocar posiblemente un problema en el receptor de ráfaga que puede esperar un nivel de RF casi constante durante el encendido del láser. Para mitigar esto, en algunas realizaciones, la polarización del amplificador puede modularse para retrasar la señal de RF al láser, en relación con el tiempo de encendido del láser 540, y también puede aplicar una constante de tiempo más corto que el encendido de potencia óptica. Esta realización se ilustra en la Figura 12.

La Figura 13 muestra una implementación de una ONU que incluye un retraso en la señal de RF al láser, en relación con el tiempo de encendido del láser, y también aplica una constante de tiempo más corto que el encendido de potencia óptica. Específicamente, una arquitectura ascendente de ONU 600 novedosa incluye un detector de RF 610 que detecta si una señal de RF está presente en su entrada 620. Si se detecta una señal, el detector de RF 610 pasa la señal a través de un amplificador 650 y también le indica a un módulo de control de polarización del amplificador/láser 630 que encienda en el momento t_0 un láser 640, que tiene un tiempo de encendido 660. El módulo de control de polarización del amplificador/láser 630 modula preferiblemente la polarización del láser 640 para lograr un encendido total del láser 640 durante un tiempo de encendido 660 que sea preferiblemente tan largo como sea posible, p. ej., el tiempo de encendido más largo permitido por el estándar de RFoG o, en algunas realizaciones, incluso más largo. En algunas realizaciones, el tiempo de encendido del láser 640 podría ser de hasta 500 ns, 1 ms o mayor. Esto puede reducir ampliamente el ruido de baja frecuencia. El tiempo de encendido para el láser puede ser lineal, como se muestra en la Figura 13, o puede implementar una transición a lo largo de cualquier otra curva deseada, una curva exponencial, una curva logarítmica o cualquier otra respuesta deseada.

El amplificador 650 amplifica la señal de RF que pasa a través del circuito detector de RF 610. La señal amplificada impulsa el láser 640. Preferiblemente, cuando se amplifica la señal de RF del detector de RF 610, el módulo de control de polarización del amplificador/láser 630 incluye un circuito que modula la ganancia del amplificador para que sea proporcional a la polarización del láser, pero con un retraso 680 en relación con el momento t_0 en el que el láser 640 comienza a encenderse. Preferiblemente, el tiempo de aumento de la ganancia de amplificador es menor que el tiempo de aumento de encendido del láser. En algunas realizaciones, el módulo de control de polarización del amplificador/láser 630 simplemente enciende la ganancia de RF, es decir, el tiempo de aumento es tan corto como permita el amplificador. La salida de láser se propaga entonces desde la ONU en una fibra 670.

Esta ONU que se muestra en la Figura 13 establece eficazmente la ganancia del amplificador 650 para que sea proporcional al encendido del láser 660 y, de esta manera, reduce o incluso previene el exceso y el corte mediante el láser 640, a la vez que al mismo tiempo mitiga los problemas causados por que el receptor espere un nivel de RF casi constante durante el tiempo en que el láser se enciende. La capacidad de simultáneamente reducir el tiempo de encendido del láser y proporcionar una ganancia de RF al láser en proporción al tiempo de encendido del láser, pero retrasada con respecto al tiempo de encendido del láser es una característica que tiene un gran potencial en todas las aplicaciones y, sin pérdida de generalidad de estas técnicas, puede utilizarse en cualquier aplicación análoga, como DOCSIS 3.0 o 3.1.

Cualquiera (o ambas) de las arquitecturas que es muestran en las Figuras 10 y 14 puede utilizarse junto con la arquitectura que se muestra en la Figura 2, de manera de mejorar adicionalmente la velocidad y estabilidad de los sistemas de HFC. Estas pueden utilizarse además junto con la reducción de cortes a largo plazo discutida en la descripción anterior para reducir los efectos de los cortes tanto a largo plazo como a corto plazo en el sistema.

Detección de ráfagas

Como se indicó anteriormente, las transmisiones ascendentes típicamente funcionan en modo de ráfaga (BM), en donde las ONU encienden un transmisor, p. ej., un láser, solamente durante intervalos de tiempo donde la información se debe transmitir a lo largo de la vía ascendente. Un sistema de modo de ráfaga generalmente proporciona un entorno de menor ruido y, por lo tanto, permite una mejor SNR y, en el caso en que el transmisor es un dispositivo óptico, el uso del modo de ráfaga tiende a reducir la interferencia óptica por golpes (OBI). Por lo tanto, en algunas modalidades preferidas del sistema combinador óptico descrito anteriormente en esta memoria descriptiva, cuando se debe suprimir la OBI, tales combinadores ópticos funcionan preferiblemente en modo de ráfaga.

Además, como se indicó anteriormente, las arquitecturas de RFoG que utilizan el modo de ráfaga detectan el nivel de RF en la ONU, lo cual enciende el láser de la ONU cuando se detecta una señal de RF y apaga el láser cuando la señal de RF no está presente. Este procedimiento se menciona como "detección de RF". En un combinador óptico, las entradas de luz óptica que vienen de las ONU se detectan todas y se recolectan las salidas del detector. Si la detección de RF se utiliza con un combinador óptico, un comparador de RF se aplicaría a la salida de la salida de RF combinada. Si la salida de nivel de RF de los detectores de RF combinados fuera mayor que el comparador aplicado, entonces el láser óptico en el combinador óptico se activaría.

Sin embargo, tal detección puede estar cargada de dificultades, dado que la entrada de nivel de RF puede ser muy

baja. Por ejemplo, una parte muy pequeña de una señal de D3.1 puede producirse mediante cualquier ONU individual, por lo tanto, el índice de modulación de la ONU podría ser bajo, lo cual da como resultado un nivel de RF bajo en el combinador óptico. Además, la potencia de entrada óptica al combinador óptico desde una ONU dada podría ser baja; con un intervalo de entrada que se extiende hasta 12 dB, el nivel de RF después de la detección podría variar en 24 dB. Como resultado de esto, el nivel de RF desde un fotodiodo podría todavía ser tan bajo que este nivel de RF que debe ser detectado podría ser más bajo que el comparador, incluso si el nivel de RF fuera alto en relación con el índice de modulación óptica del láser de la ONU que generó la señal de RF. En realizaciones de la ONU, el nivel de RF podría encenderse después de que se enciende la salida óptica, o mientras la salida óptica se está encendiendo, de manera que la detección de un nivel de RF en el combinador óptico descrito se retrasaría. Además, la detección podría también ser lenta, dado que depende del circuito comparador.

Una alternativa al uso de detección de ráfaga en las unidades de combinador óptico en cascada descritas en la presente solicitud sería mantener la transmisión de luz ascendente todo el tiempo, sin importar si las señales se proporcionan al combinador óptico o no, es decir, "combinador óptico siempre encendido". Esto podría asegurar que el combinador óptico retransmite de forma transparente la información ascendente, sin embargo, esto podría dar como resultado en una entrada de luz constante en todos los puertos en un receptor de múltiples puertos o dispositivo combinador óptico ascendente. La entrada de luz total en los puertos, por lo tanto, podría llevar a una acumulación del ruido de disparo de todos los puertos, lo cual degrada el rendimiento de SNR del sistema total. Por este motivo, en modalidades preferidas, la unidad de combinador óptico transmite luz ascendente solamente cuando se haya recibido una señal de RF y esta deba enviarse.

Se describe en la presente un método novedoso de detección de ráfaga que es rápido, simple, estable y potente, por lo tanto, permite múltiples arquitecturas nuevas. Específicamente, dicho de forma amplia, el sistema de combinador óptico descrito puede monitorear la corriente óptica de cada fotodiodo, así como la corriente acumulada de todos los fotodiodos. Si uno cualquiera de los fotodiodos registra una fotocorriente o, de manera alternativa, una corriente por encima de determinado valor mínimo, el láser de retransmisión se enciende automáticamente. La generación de corriente de fotodiodo es instantánea y de manera beneficiosa es un valor de corriente continua que es más fácil de comparar. A medida que las velocidades de las redes interconectadas aumentan con el tiempo, tales circuitos de detección óptica se volverán más útiles.

Tal detector óptico de modo de ráfaga (OBM) promueve la confianza y puede tener las siguientes ventajas: (1) en el caso de múltiples combinadores ópticos enlazados mediante cadena margarita, como se describe en la presente solicitud, se logra la reducción sustancial del ruido de disparo aditivo en relación con un solución "siempre encendida"; (2) en el caso de transmisión DOCSIS 3.1, se pueden detectar y retransmitir transmisiones de señales individuales con niveles de RF muy bajos por ONU; y (3) en el caso de niveles de entrada óptica variables debidos a diferentes longitudes ópticas entre las ONU y el combinador óptico activo descrito, o longitudes ópticas variables entre múltiples de tales combinadores ópticos activos enlazados mediante cadena margarita, todavía se puede lograr un funcionamiento en modo de ráfaga confiable.

Además, la detección de ráfaga novedosa descrita también permite la detección de luz en la entrada de manera inmediata al comienzo de una ráfaga en la entrada del combinador óptico. Por el contrario, cuando no hay luz en la entrada o, de manera alternativa, no hay luz durante determinado período de tiempo, los amplificadores de RF auxiliares en el combinador óptico activo descrito pueden apagarse, mediante lo cual se reduce la disipación de potencia del combinador óptico activo descrito. Cuando aparece luz en la entrada del combinador óptico activo descrito, los amplificadores pueden encenderse nuevamente dentro del tiempo permitido; por ejemplo, en un sistema de RFoG se permite hasta un microsegundo para establecer un enlace óptico desde el momento en que se detecta la entrada de RF y el sistema se ha encendido. Dado que los amplificadores de RF demoran un tiempo finito en encenderse y establecer la amplificación, la detección temprana de una ráfaga es importante para proporcionar tiempo suficiente para establecer el funcionamiento normal. Tal ciclo de potencia podría reducir la disipación de potencia hasta en diez veces, lo cual mejora drásticamente las métricas de la infraestructura crítica. Por lo tanto, por ejemplo, en caso de un corte de energía, el combinador óptico puede conservar la potencia requerida, no solamente mediante el uso del funcionamiento de ráfaga óptica, sino también el funcionamiento de ráfaga de circuitos de RF y prolongando la vida útil de la batería, si está disponible.

La implementación de un circuito óptico de detección de potencia capaz de cubrir un amplio intervalo de potencia de entrada óptica, en una arquitectura con múltiples detectores no es trivial. Dada la gran cantidad de detectores presente, combinada con un amplio intervalo de potencia de entrada óptica, la cantidad y el intervalo de fotocorriente que se necesita detectar de forma fiable es considerable. La simple medición de la caída de voltaje a través de una resistencia en la red de polarización del detector es difícil; a baja potencia de entrada en un solo detector, se puede detectar una pequeña caída de voltaje de forma confiable solamente si el valor de una resistencia, a través de la cual se produce una caída de voltaje igual a la polarización del fotodetector, es relativamente alto. Sin embargo, no es deseable aumentar el valor de tal resistencia porque esto conduce a una mayor caída de voltaje cuando se presentan altas corrientes de detector en múltiples detectores; la polarización del detector se convertiría en una función fuerte de la luz óptica presente en los detectores. En algunas realizaciones, la polarización de detector se mantiene constante porque la respuesta del detector depende de la polarización del detector; por lo tanto, variar la polarización del detector podría llevar a una variación en la ganancia del sistema. Incluso un valor de resistencia tan

bajo como una impedancia de línea de transmisión típica, como de 75 ohmios, puede ser problemático cuando hay una gran cantidad de detectores activos y, por ejemplo, 100 mA de flujos de corriente del detector en el sistema de detectores múltiples, lo que provoca una caída excesiva de la polarización del detector.

5 Se describe un método para detectar la luz óptica en un amplio intervalo de potencia de entrada, a la vez que se mantiene una polarización constante en los detectores presentes en el receptor de línea de transmisión. Para lograr esto, se utiliza una combinación de un amplificador de RF y un amplificador de transimpedancia con la estructura de detector múltiple. En algunas realizaciones, el amplificador de transimpedancia está conectado a una estructura de paso alto delante del amplificador de RF, de manera que para frecuencias bajas el amplificador transimpedancia
10 tenga una conexión de impedancia muy baja (menos que la impedancia de línea de transmisión) a la polarización del detector.

Con respecto a la Figura 14, que muestra un ejemplo de una estructura de receptor de línea de transmisión 700, un fotodetector puede modelarse con precisión hasta frecuencias bastante altas (~ 1 GHz) mediante una capacitancia en paralelo con una fuente de corriente para niveles razonables de potencia de entrada (> 1 uW). Por lo tanto, en esta figura, cada uno de los elementos del circuito 710 sería un modelo de un fotodetector. Los diseños de receptores convencionales utilizan un amplificador de transimpedancia o ajustan el detector a una impedancia lo más alta posible, de manera de convertir la señal de la fuente de corriente en una señal de RF con el mejor rendimiento de ruido posible. Estos enfoques están limitados por la capacidad del detector de manera que un aumento en la cantidad de detectores o del área del detector lleva a una pérdida de rendimiento del detector y, por lo tanto, no se puede esperar razonablemente que una gran cantidad de detectores (p. ej., 32) funcione bien. Esto implica que se necesitan múltiples amplificadores para recibir una gran cantidad de fibras.

Una línea de transmisión con impedancia Z puede modelarse mediante una red de escalera de inductores y capacitores con $L/C=Z^2$, que funciona bien para frecuencias por debajo de la frecuencia de resonancia de L y C . Los valores prácticos de la capacitancia del detector están en el orden de 0,6 pF, de manera que una línea de transmisión de 75 ohmios requeriría $L=3,4$ nH. La frecuencia de resonancia es muy superior a 1 GHz, de modo que, para un máximo de 1 GHz, una línea de transmisión con una cantidad arbitraria de detectores compensados con inductores de 3,4 nH simularía una línea de transmisión de 75 ohmios. Los 3,4 nH también pueden distribuirse
30 alrededor de los detectores como $2 \times 1,7$ nH, lo que lleva a un diseño como se muestra en la Figura 14.

Como se indicó anteriormente, cada combinación de fuente de corriente/capacitor 710 representa un detector. La Figura 14 muestra una cantidad de estos en serie, separados por las respectivas secciones de línea de transmisión 720 (100 pseg o en el orden de 1 cm integrado) que tienen una impedancia de 75 ohmios. Los detectores están equipados con inductores 730 de 1,7 nH. Una resistencia 740 de 75 ohmios termina la entrada de la línea de transmisión. La salida 750 de la línea de transmisión alimenta un amplificador RF de bajo ruido de 75 ohmios (no se muestra). Debe entenderse que, si bien la Figura 14 muestra seis detectores, no hay límite en la cantidad de detectores que pueden combinarse mediante concatenación de estas secciones, y hasta la frecuencia de resonancia LC hay un impacto insignificante sobre el ancho de banda alcanzable para una gran cantidad de detectores. En la práctica, los inductores de 1,7 nH podrían implementarse en la disposición de la PCB (placa de circuito impreso) como secciones de línea más estrechas, y una línea de transmisión equilibrada con una impedancia diferencial de 100 ohmios puede utilizarse para mejorar ligeramente el factor de ruido.

Como se muestra en la Figura 14, cada combinación de fuente de corriente/capacitador 710 representa un fotodetector, en donde la fuente de corriente es la corriente detectada en el detector; y el capacitor representa la capacitancia parásita del detector. Los detectores múltiples se conectan con secciones de la línea de transmisión (como C2) e inductores correspondientes (como L2 y L2). Los inductores correspondientes se eligen de manera que la capacitancia parásita de los fotodetectores se adapte a la impedancia de la línea de transmisión (normalmente 75 ohmios). De esta manera se pueden combinar múltiples detectores, de manera que las corrientes del detector se suministren a la línea de transmisión y se propaguen tanto a la salida 750 como a la resistencia de terminación 740 en el otro extremo de la estructura de la línea de transmisión. El ancho de banda de la estructura de línea de transmisión está limitado únicamente por la adaptación inductiva de la capacitancia del fotodiodo y puede ser muy grande, superior a 1 GHz. La salida 750 se conecta a un amplificador de RF adaptado a la impedancia de línea de transmisión, que amplifica la salida de señales de la estructura de línea de transmisión. Nótese que el uso de un amplificador de transimpedancia que no se ajuste a la estructura de línea de transmisión provocaría una reflexión muy grande de las señales de salida hacia 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.

Típicamente, los fotodetectores deben estar polarizados, por ejemplo, con 5 V. Para desacoplar el voltaje de polarización del amplificador, normalmente se puede utilizar un capacitor de desacoplamiento. La polarización puede proporcionarse a través de un inductor en un arreglo de derivación en T, como se muestra en la Figura 15, por ejemplo. La señal de línea de transmisión 760 se suministra a un amplificador (no se muestra) a través de un capacitor (770) que pasa señales de alta frecuencia, y la polarización de una fuente de voltaje 775 se proporciona a la línea de transmisión a través de un inductor 780 que pasa señales de baja frecuencia. La resistencia de terminación 740 en el otro extremo de la línea de transmisión por lo tanto se desacopla capacitivamente para permitir una polarización del CC. La corriente a través de la fuente de voltaje 775 puede medirse para determinar la

fotocorriente; la fuente de voltaje 775 puede construirse como un amplificador de transimpedancia que proporcione un voltaje constante y una salida proporcional a la corriente suministrada. Sin embargo, en las implementaciones, el inductor 780 necesita elegirse con un valor lo suficientemente grande como para no afectar la respuesta de baja frecuencia del amplificador. Como consecuencia de esto, puede haber un retraso en la respuesta de la corriente en el inductor 780 a un cambio en la corriente del fotodetector, y esto tiende a causar un retraso en la detección de la fotocorriente.

La Figura 16 muestra una implementación 800 que utiliza ambos extremos de la estructura de receptor de línea de transmisión para aliviar dicho retraso. La resistencia R1 en la Figura 16 es la resistencia de terminación 740 que se muestra en la Figura 14, y el inductor L1 es el inductor 780 de la Figura 15. La fuente de voltaje 810 proporciona una polarización tanto a la resistencia de terminación 740 como al inductor 780. La corriente en la resistencia 740 responde instantáneamente a una fotocorriente de manera que se permite una rápida detección de fotocorriente. El inductor 780 puede soportar grandes corrientes fotoeléctricas sin una caída de voltaje significativa, de modo que se pueden soportar grandes corrientes fotoeléctricas sin una caída significativa de la polarización de los fotodetectores. Una capacitancia 815 puede colocarse de forma adyacente a la fuente de voltaje 810; para una fuente de voltaje ideal puede no llevar ninguna corriente dado que el voltaje es constante. Sin embargo, a frecuencias de RF puede ser difícil realizar una fuente de voltaje perfecta, por lo tanto, el capacitor 815 proporciona una baja impedancia a tierra de manera que las corrientes de RF en la resistencia de terminación 740 no causen modulación del voltaje en la fuente de voltaje 810.

Para realizar un circuito de detección eficaz para la corriente en la fuente de voltaje 810, la fuente de voltaje 810 se utiliza preferiblemente como amplificador de transimpedancia. Un amplificador de transimpedancia es un circuito electrónico básico que mantiene un nodo entre dos vías de corriente a un voltaje constante y tiene una salida que cambia su voltaje de salida en proporción a la corriente proporcionada en ese nodo. Por lo tanto, externamente el amplificador de transimpedancia parece una fuente de voltaje para ese nodo, pero hay una salida adicional que representa la corriente proporcionada. Esta salida se puede utilizar para controlar un circuito de decisión para decidir si fluye o no una corriente fotoeléctrica. Debido a que el amplificador de transimpedancia está realizado con un circuito práctico de transistores, no tiene un ancho de banda infinito, lo que significa que no es capaz de mantener constante el voltaje del nodo para frecuencias muy altas y por esa razón, en algunas realizaciones, puede añadirse el capacitor 815.

Debe entenderse que, en algunas realizaciones, la red de polarización LC antes del amplificador (capacitor 770 e inductor 780) puede reemplazarse por circuitos más complejos, o incluso con filtros dúplex - siempre que la red proporcione una vía de baja pérdida y alta frecuencia desde el detector de línea de transmisión hasta el amplificador, y una vía de baja pérdida (baja impedancia) a baja frecuencia desde la fuente de voltaje (amplificador de transimpedancia) hasta la polarización del detector de línea de transmisión. También debe tenerse en cuenta que el amplificador de transimpedancia puede implementarse de manera que el voltaje de salida cambie primero linealmente en función de la fotocorriente, pero luego se sature con una fotocorriente que sea lo suficientemente alta.

En otras implementaciones, se puede aplicar un circuito de detección de fotocorriente a cada fotodetector individual; opcionalmente, un electrodo de un fotodetector (por ejemplo, cátodo) se puede conectar a un circuito de RF y el otro electrodo (por ejemplo, ánodo) se puede conectar a un circuito de detección de potencia óptica. Esto aumenta la complejidad, ya que se requiere un circuito de detección por detector. Además, algunas realizaciones pueden utilizar opcionalmente un amplificador de transimpedancia por detector.

Con un circuito de detección de modo de ráfaga óptica, por ejemplo, del tipo descrito anteriormente, se puede controlar la polarización de un láser o la polarización o ganancia de un amplificador. La Figura 17 muestra un receptor de múltiples detectores 820 que produce una salida 825 que indica que se ha detectado potencia desde cualquiera de las múltiples entradas 830. Esta detección puede basarse en un método de detección como el descrito en la sección anterior o en circuitos de múltiples detectores que están monitoreando detectores individuales 835. Cuando se ha detectado la entrada óptica en el tiempo t_0 , se enciende la polarización del láser con un tiempo de subida controlado t_{en_l} y el combinador activo puede retransmitir las señales presentes en las entradas.

La detección del modo de ráfaga óptica se puede utilizar además para controlar la polarización del amplificador como se muestra en la Figura 18; cuando se detecta potencia óptica a t_0 , los amplificadores se encienden inmediatamente. El láser se enciende más lentamente, de modo que los amplificadores estén asentados al momento en que se enciende la potencia óptica. Opcionalmente, este esquema puede expandirse mediante una tercera señal de control 850 que controle la ganancia del amplificador, como se muestra en la Figura 19.

Índice de modulación óptica y autocalibración

Para las implementaciones que permiten el funcionamiento simultáneo de todas las entradas del separador activo, la cantidad total de fotocorriente en los detectores que siguen a las entradas ascendentes puede ser alta. La impedancia del circuito de polarización y, como se ha discutido, de los medios de filtrado mencionados anteriormente en la vía de salida del detector debe ser baja.

En un sistema de RFoG existente, el CMTS controla el nivel de salida de las comunicaciones de los módems por cable con las ONU que transmiten señales de RF a una cabecera, de manera que se obtenga el nivel de entrada deseado al CMTS. Esto implica que el nivel de salida de un receptor que precede al CMTS se ajuste a un nivel conocido. Si este receptor es de un tipo que tenga una cantidad conocida de ganancia, de manera que un nivel de salida corresponda a un índice de modulación óptica conocido, esto implica que se conoce el índice de modulación óptica de los canales proporcionados al CMTS, dado el nivel de señal de RF al que el CMTS ajusta el canal. Esto requiere un receptor calibrado que ajuste su ganancia en función del nivel de entrada óptica (aumento de la ganancia de 2 dB por cada reducción de dB en el nivel de entrada óptica) de manera que se mantenga esta relación fija entre el nivel de salida de RF y el nivel de entrada óptica. El índice de modulación en el receptor es el índice de modulación del láser ascendente en el separador activo conectado a ese receptor; por lo tanto, el CMTS controla implícitamente el índice de modulación de esa salida del separador activo.

La ganancia del separador activo debe ajustarse preferiblemente de forma que un índice de modulación de salida de ese separador activo tenga una relación conocida con un índice de modulación de entrada en uno o más de los fotodetectores que reciben señales de entrada desde los separadores activos o de las ONU en posición adicionalmente descendente. Esto requiere conocer las fotocorrientes en estos fotodetectores y preferiblemente el separador activo puede monitorear la fotocorriente de cada enlace ascendente mediante el uso de un detector por enlace ascendente como en un detector de línea de transmisión, por ejemplo. Dado que algunos sistemas pueden funcionar en modo de ráfaga, estas corrientes fotoeléctricas no siempre están disponibles. Sin embargo, en un sistema DOCSIS, todas las ONU se sondan de forma repetida para obtener una señal reconocimiento con un intervalo de hasta cinco minutos. Esto implica que los separadores activos ascendentes retransmiten la información, y todos los separadores activos en tal sistema tienen cada una de las entradas ascendentes activas al menos una vez cada cinco minutos. El separador activo puede registrar de este modo los niveles de ráfaga y construir un mapa de los niveles de entrada óptica a los puertos de entrada. Mediante el uso de esta información, el separador activo puede establecer un nivel de ganancia interna de manera que el índice de modulación ascendente se maximice, pero no se cortará mientras las señales de entrada al separador activo no se corten. Mientras que la longitud de la fibra desde el extremo de la cabecera hasta el primer separador activo es generalmente larga, esas longitudes de fibra entre los separadores activos y las longitudes de fibra desde los separadores activos hasta las ONU son generalmente cortas, y tienen poca pérdida suficiente como para que los valores de potencia de entrada óptica a los diferentes puertos de entrada ascendente estén cerca, y la configuración de ganancia óptima sea similar para todos los puertos. Como consecuencia de esto, el ajuste de ganancia óptimo en el separador activo es casi el mismo para todos los puertos de entrada y el compromiso en la SNR de asumir un índice de modulación láser inversa del peor de los casos a partir de una señal en cualquiera de los puertos de entrada es pequeño.

Como se destacó anteriormente, una realización podría utilizar la configuración de alta y baja potencia de salida óptica para el láser inverso, en vez de cambiar el láser entre una alta potencia de salida para la transmisión de ráfaga y un estado apagado entre medio. Esta incorporación no solamente proporciona información continua a los separadores activos sobre la pérdida de enlaces con la ONU, sino que también mejora el funcionamiento del láser. Cuando un láser se enciende, el estado transitorio conduce a una breve transición en donde la distorsión del láser es alta y las señales de entrada de RF pueden estar cortadas. Si un láser se mantiene a un nivel de baja potencia en lugar de estar en el estado de apagado antes de encenderse a un nivel de alta potencia, entonces este transitorio está casi ausente y se reducen las distorsiones y los cortes. En caso de que el láser se mantenga continuamente a una potencia de salida alta, estos estados transitorios y distorsiones están ausentes. La arquitectura de separador activo permite el funcionamiento de las ONU en cualquiera de estos tres modos y se puede seleccionar uno óptimo para el funcionamiento del sistema.

Si bien los niveles de potencia de entrada de los detectores en un separador activo son típicamente similares, en algunos casos pueden diferir debido a diferencias en la pérdida de conector o pérdida de fibra. Preferiblemente, todas las entradas ópticas tendrían el mismo nivel o tendrían el mismo nivel de RF después del detector para una carga de canal equivalente. Dado que el separador activo puede monitorear el nivel de potencia en cada detector y mapear esos niveles de entrada óptica, puede calcular los ajustes al nivel de potencia de entrada óptica o en el índice de modulación de aquellas entradas que serían necesarias para equalizar los niveles de RF después de los detectores de cada entrada. El separador activo puede comunicar los ajustes preferidos para el nivel de potencia de salida o la ganancia para los transmisores inversos descendentes que están conectados a las entradas. Las señales de comunicación pueden modularse en un láser inyectado en las señales descendentes o en las corrientes láser de bombeo en EDFA mediante lo cual se amplifican las señales descendentes. La modulación puede seleccionarse de forma tal que sea lo suficientemente pequeña y en una banda de frecuencia tal que las señales de comunicación no interfieran con la carga útil descendente.

Preferiblemente, no solamente los separadores activos reciben e interpretan estas señales de comunicación, sino que también las unidades posteriores de la ONU reciben e interpretan las señales. Esto permitiría una alineación esencialmente perfecta del nivel de transmisión óptica y la ganancia de RF de todas las unidades en un sistema de separador activo. Dada la presencia de un láser ascendente y la capacidad de todos los componentes de un sistema de separador activo para recibir una señal ascendente, todos los componentes de un sistema de separador activo son capaces de comunicarse de forma ascendente con la adición de una simple modulación de tono u otro esquema. Por lo tanto, se habilita la comunicación bidireccional y los separadores activos y la cabecera pueden

comunicarse entre sí, autodescubrir el sistema y configurar niveles ópticos y de ganancia ópticos óptimos.

5 Uno de los objetivos de la arquitectura del separador activo es proporcionar niveles de RF precisos al CMTS que representen un índice de modulación óptica. Realizar esto no es trivial y requiere un procedimiento de autocalibración específico (descrito más adelante) que se espera que dé como resultado una correlación precisa del índice de modulación con el nivel de RF de salida del receptor de cabecera del separador activo. El receptor es un conector del CMTS o se conecta directamente al CMTS sin contribuciones de pérdida de RF desconocidas entre medio (en caso de que se necesite una derivación para otros servicios que no sean el CMTS, la derivación puede integrarse en el receptor para evitar pérdidas de RF externas). Como consecuencia de esto, el índice de modulación de las unidades de retransmisión del separador activo se ajusta con precisión.

15 En caso de que la comunicación bidireccional no esté disponible, el nivel de potencia de salida de la ONU no puede ser ajustado por el separador activo y el índice de modulación de la ONU seguirá teniendo cierta incertidumbre, ya que la pérdida óptica entre la ONU y el separador/receptor activo puede variar; una variación de pérdida de +/- 1 dB entre la ONU y el separador activo daría como resultado una tolerancia de +/- 2 dB en el nivel de RF, por lo que una ventana dinámica tendrá que ajustar al menos esa varianza y ese margen para otras tolerancias y precisión de configuración del CMTS. Esto debería estar fácilmente disponible para anchos de banda de hasta 200 MHz, de modo que incluso sin el separador activo que controla la ONU, se puede obtener un rendimiento aceptable del sistema de potencia de salida. Con el control bidireccional antes mencionado se puede obtener un margen adicional del sistema.

25 Cuando se utiliza el ancho de banda de retorno de 1200 MHz, de modo que a las ONU se les asignen 200 MHz de anchos de espectro, todas las ONU pueden funcionar a unos pocos dB por debajo de su punto de corte, es decir, lo suficiente para cubrir la incertidumbre de la pérdida de la ONU en relación con el separador activo a fin de evitar el corte de las ONU. Esto optimiza el rendimiento del enlace crítico de la ONU al separador activo, de modo que ONU de 0 dBm son suficientes. En este tipo de operación, se puede hacer una elección arbitraria para la cantidad de ONU que funcionan en esa banda de 200 MHz, por ejemplo, hasta seis ONU. Esto a su vez provocaría un corte en el transmisor del separador activo, por lo tanto, para el funcionamiento a 1200 MHz la ganancia de los receptores del separador activo después de las ONU puede reducirse en 8 dB, de manera que cuando seis ONU están transmitiendo 200 MHz de ancho de banda de señal, el transmisor inverso del separador activo funcione justo por debajo del recorte. Este método de funcionamiento maximiza la SNR y elimina la incertidumbre; se minimiza el impacto de la variación de las ONU respecto al enlace del separador activo, y los enlaces de separador activo funcionan con un índice de modulación preciso como con los sistemas de retorno de RF de menor ancho de banda. La ventana dinámica requerida se reduce a tolerancias en la configuración del nivel del CMTS y la calibración activa del nivel de salida del separador al índice de modulación, de manera similar a un transmisor directo.

35 El análisis de la SNR alcanzable mediante el uso del sistema descrito para el funcionamiento a 1200 MHz con una carga máxima de 200 MHz por ONU, da como resultado una mejora de 5 dB en la SNR alcanzable a 1200 MHz. Esto da como resultado un 20 % más de capacidad de rendimiento en el sistema. Con 1200 MHz de ancho de banda, la velocidad total de subida de datos podría ser de hasta 10 Gbs.

40 En caso de que el sistema se configure inicialmente de forma que las unidades de separador activo esperen un espectro de retorno de 1200 MHz (en lugar de, por ejemplo, 200 MHz) con un máximo de 200 MHz por ONU, se producirá una penalización de unos 7 dB en términos de rendimiento de NPR máximo. Por lo tanto, el modo de funcionamiento puede cambiarse preferiblemente entre el funcionamiento normal, en el que una sola ONU puede ocupar todo el espectro, y el funcionamiento con gran ancho de banda, en el que a una sola ONU se le puede asignar una cantidad limitada de espectro en cualquier momento y en el que los transmisores inversos del separador activo soportan todo el espectro a la vez.

45 La arquitectura propuesta tiene múltiples enlaces de retransmisión que funcionan preferiblemente con el mejor índice de modulación posible, partiendo del supuesto de que las curvas de NPR (relación entre potencia y ruido) de esos enlaces están perfectamente alineadas. Como se indicó anteriormente, la alineación de la retransmisión en los enlaces de retorno del separador activo es crucial para obtener el mejor rendimiento posible (cada dB de desalineación da como resultado directamente una reducción de la SNR disponible), por lo que se necesita una técnica de calibración para establecer y mantener la alineación correcta de los factores de ganancia del transmisor.

50 Para proporcionar dicha calibración, la ganancia del transmisor de retorno del separador activo se ajustará con precisión de manera que, para una corriente de detector dada de los diodos receptores del separador activo, el índice de modulación del transmisor sea igual a la entrada del índice de modulación del detector. Esto requiere solamente conocer la corriente del detector; la potencia de entrada óptica real al detector y la respuesta del detector son irrelevantes. Para lograr esto, se implementan medios en cada detector para medir la corriente del detector de manera que se pueda ajustar una ganancia apropiada para el transmisor de retorno.

60 La ganancia se puede ajustar individualmente para cada detector, pero como varios detectores pueden recibir señales al mismo tiempo, esto requeriría un atenuador controlable para cada detector (hay 32 detectores en una unidad de separador activo típica). Preferiblemente, se utiliza un solo atenuador para todos los detectores. Esto se

logra mediante el uso de transmisores de salida variable en las unidades de separador activo, comunicándose con un separador activo ascendente o transmisores de salida variable en las ONU que se comunican con un separador activo ascendente. A continuación, se describe un método para ajustar el nivel de salida de cada uno de los transmisores inversos de manera que cada transmisor proporcione la misma fotocorriente en el detector al que está acoplado. Durante el funcionamiento normal, el receptor de separador activo monitorea las corrientes del detector durante las ráfagas para permitir la emisión de una advertencia en caso de que se degrade o se pierda un enlace óptico.

Para un enlace inverso de 1310 nm desde el separador activo a un separador activo ascendente, la potencia láser inversa normalmente necesita controlarse de 3-10 dBm o 6-10 dBm, dependiendo del diseño del receptor del separador activo. Para un enlace inverso de 1610 nm, estas cifras son típicamente de 3-7 dBm o 6-7 dBm, respectivamente. Estos controles garantizan que la potencia recibida al final de un enlace de 25 km, con alguna pérdida de WDM, sea de al menos 0 dBm. Debe entenderse que las cantidades que se dan son ejemplos. El separador activo puede transmitir información en la dirección directa mediante la modulación de la bomba del EDFA o la inyección de una señal en la vía directa. La segunda es más costosa; la primera da como resultado una velocidad de datos más baja, ya que solamente se puede permitir una fluctuación mínima de la bomba sin afectar la vía directa. Una velocidad de datos baja es suficiente y puede ser leída por un simple receptor, por ejemplo, un receptor de mando a distancia que funcione en la gama de kHz acoplado a un procesador de bajo costo. Debe entenderse que la función de transmisión descendente solamente se requiere en unidades de separador activo ascendentes, a menos que también se estén controlando las ONU. En las figuras mostradas, esa sería una de las 33 unidades de separador activo en el sistema.

En una operación de autocalibración, la unidad de separador activo ascendente transmite un comando descendente a las unidades de separador activo para iniciar la autocalibración. Posteriormente, las unidades descendentes encienden y apagan aleatoriamente sus transmisores a plena potencia con un ciclo de trabajo bajo, de modo que, en casi todos los casos, como máximo una de las unidades descendentes esté encendida. El separador activo ascendente reporta información de forma descendente sobre qué puerto está activado y qué corriente de detector ha obtenido de esa unidad. Las unidades descendentes registran esa información en una memoria no volátil. Después de que todos los puertos se hayan encendido al menos una vez, o de que se haya producido un tiempo muerto (por ejemplo, si uno o más puertos no están conectados), la unidad de separador activo ascendente determina qué separador activo descendente produce la menor corriente de detector. A continuación, el separador activo ascendente calcula cómo deben ajustarse las potencias ascendentes de cada una de las unidades descendentes, de modo que todas las corrientes del detector sean iguales y se encuentren dentro de un intervalo especificado. Este intervalo puede, por ejemplo, corresponder a una potencia de entrada de 0-3 dBm (o 6 dBm) en los detectores. Debe entenderse que esto puede lograrse al ajustar la corriente de un fotodetector, y que no requiere la medición de una potencia de entrada óptica exacta.

Generalmente, la unidad de separador activo ascendente ajustará esta potencia al mejor (o máximo) valor que se puede obtener para optimizar la SNR de los enlaces. Las unidades de separador activo tendrán entonces una potencia de salida conocida, y su ganancia interna se ajustará para tener un índice de modulación calibrado para una potencia de entrada y un índice de modulación dados. Todos los enlaces de un separador activo ascendente pueden comportarse de forma idéntica. La unidad de separador activo ascendente puede entonces sacar las unidades descendentes del modo de calibración.

En caso de que se ilumine un puerto adicional en un puerto receptor de separador activo ascendente, entonces el algoritmo de autocalibración puede proceder sin interrupción del servicio de las unidades de separador activo ya conectadas. Esto se consigue al activar la autocalibración en el receptor del separador activo que acaba de ser activado. Su salida se encenderá y la unidad de separador activo ascendente asignará un número de puerto al nuevo puerto no utilizado hasta ahora y encenderá la nueva unidad y la sacará del modo de calibración.

Durante el funcionamiento normal, la unidad de separador activo ascendente continúa monitoreando las corrientes del receptor para detectar los enlaces ascendente entrantes. Si hay una desviación significativa, todavía puede emitir un comando de reajuste de potencia en el modo sin calibración y también puede señalar problemas en la planta ascendente.

Las unidades de separador activo que funcionan de la manera indicada también pueden construir un mapa de unidades de separador activo conectadas. Además, se puede crear un mapa de la potencia de entrada de las ONU conectadas y se pueden recopilar estadísticas sobre las operaciones individuales de la ONU y la pérdida de enlaces, por ejemplo, para localizar a las ONU con vibraciones o las conexiones deficientes de ONU.

El transmisor de cabecera también puede enviar un comando a las unidades de separador activo descendente para iniciar la calibración o cambiar un modo de funcionamiento (por ejemplo, de 200 MHz a 1200 MHz de funcionamiento optimizado). Se puede prever cualquier otro tipo de monitoreo de sistemas EMS bidireccional para unidades de separador activo que puedan recibir y transmitir tráfico de datos de baja velocidad. Debe entenderse que esto no requiere sistemas HFC EMS complejos o costosos; las fluctuaciones menores de la potencia óptica, ya sea por variación de la potencia de la bomba o por inyección de señal de bajo nivel en la vía de señal descendente, o por

variación inversa de la potencia del láser en la vía ascendente, son suficientes para detectar patrones de datos modulados binarios o en el intervalo de kHz (como los chips de control remoto). También debe entenderse que la opción más costosa, la inyección de una señal óptica descendente, solamente es relevante en la cabecera, o en la vía ascendente, típicamente solamente relevante en 1 de cada 33 ubicaciones de separadores activos.

5 Otra consideración importante es que el CMTS debe configurar los niveles de módem correctamente. En los sistemas de retorno regular o RFOG, existe una incertidumbre considerable en los niveles del sistema debido a los componentes de RF o a las redes de combinadores aplicados. En el sistema de separador activo, sin embargo, no hay componentes de RF en el enlace, el grupo de servicio se agrega en el dominio óptico, y solamente se necesita un receptor de baja ganancia, bajo rendimiento y bajo nivel de salida que se acople directamente al puerto de retorno del CMTS. En algunas realizaciones, puede ser deseable producir un separador receptor dedicado activo con un nivel de salida exactamente calibrado en función del índice de modulación de entrada. Un receptor de este tipo no necesita un amplio intervalo de entrada; -3 a +3 (o 0 a +6) dBm es suficiente. El nivel de entrada alto implica que la ganancia puede ser baja. La ausencia de combinación de RF después del receptor también significa que el nivel de salida puede ser bajo. Por lo tanto, tal receptor debe poder obtenerse en un factor de forma de alta densidad y baja potencia. Con tal receptor, poco o nada de cableado de RF puede ser necesario en la cabecera y el CMTS puede ajustar con precisión los niveles de inversión para obtener el índice de modulación óptica correcto. En algunos casos, puede ser necesario conectar equipos distintos del CMTS a la vía inversa. El receptor puede utilizar una salida auxiliar para proporcionar esta funcionalidad, en lugar de la salida principal con separadores de RF externos. Esto elimina cualquier incertidumbre de nivel debida a los componentes de RF entre el receptor y el CMTS.

Realizaciones

25 Algunas de las realizaciones de la descripción anterior pueden incluir múltiples separadores activos en cascada que estén configurados para funcionar con las ONU basándose principalmente en niveles de entrada óptica sin requerir comunicación bidireccional. Otras realizaciones pueden incluir múltiples separadores activos en cascada que estén configurados para funcionar con ONU mediante el uso de comunicación bidireccional.

30 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un separador activo con múltiples entradas ópticas, cada cual proporciona una entrada óptica a uno o más detectores que juntos emiten una señal combinada a un filtro de paso alto que presenta una impedancia baja a los detectores y rechaza todas las señales por debajo de una banda de frecuencia de RF y pasa todas las señales por encima de una banda de frecuencia de RF antes de presentar la señal combinada a un amplificador y un láser retrasmisor.

35 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un separador activo con múltiples entradas ópticas, cada cual proporciona una entrada óptica a uno o más detectores que juntos emiten una señal combinada, en donde el separador activo tiene un circuito de polarización con una impedancia suficientemente baja en baja frecuencia de manera que todos los detectores puedan iluminarse al mismo tiempo sin una caída significativa en polarización a los detectores.

40 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un separador activo con un láser inverso, en donde el láser inverso se enciende cuando una fotocorriente en los detectores de entrada del separador activo está por encima de un umbral, y en donde la tasa de cambio cuando el láser se enciende es limitada de manera que no cree un estado transitorio que tenga un espectro que interfiera con el espectro ascendente que será transmitido.

45 Algunas de las realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una arquitectura de separador activo de RFOG en donde los láseres inversos de los separadores activos y/o ONU conectadas a los separadores activos funcionan con una salida continua. Algunas de las realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una arquitectura de separador activo de RFOG en donde los láseres inversos de los separadores activos y/o ONU conectadas a los separadores activos funcionen entre un modo de alta y un modo de baja potencia de manera que la potencia de salida sea alta durante las ráfagas de transmisión ascendente y ser de otra manera baja en la salida. Algunas de las realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una arquitectura de separador activo RFOG en donde los láseres inversos de los separadores activos y/o ONU conectadas a los separadores activos puedan ajustarse selectivamente a uno de un modo continuo y un modo de ráfaga.

55 Algunas de las realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una ONU de RFOG que cambia entre un estado de potencia de salida alta y baja, en donde la potencia de salida es alta durante la transmisión de información en ráfagas y en donde el estado de potencia de salida baja está por encima del umbral del láser.

60 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un sistema de RFOG que mida corrientes de detector en todas las entradas, mediante la construcción de una tabla de corrientes de detector durante la potencia de entrada alta y baja (o nula) a las entradas ópticas y calcula, basándose en esa tabla, un valor de ganancia de manera que un índice de modulación del láser de transmisión inversa tenga una relación conocida con respecto a un índice de modulación en las entradas ópticas al separador activo, de manera que el láser de transmisión inversa tenga un índice de modulación óptimo pero se prevengan los cortes, incluso para el puerto con la entrada óptica más alta. En algunas realizaciones de la descripción anterior, el índice de modulación óptimo del transmisor inverso es nominalmente igual que el de las entradas ópticas.

- 5 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una ONU de RFoG con un detector de señal de RF que detecte ráfagas de señales de entrada y active un láser en modo de alta potencia cuando se detecte una ráfaga y de lo contrario active el láser en modo de baja potencia, como potencia cero. Un atenuador eléctrico puede preceder al controlador del láser y puede atenuar una señal de entrada de RF, de manera que en el estado de baja potencia de salida el láser no pueda tener cortes por una señal de entrada de RF. La atenuación de RF antes del láser puede reducirse a medida que la potencia del láser aumente desde el estado de baja potencia, de modo que la atenuación de RF se elimine rápidamente para tener un impacto mínimo sobre la ráfaga, pero durante la transición, el láser aún no se corte.
- 10 Algunas de las realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una ONU de RFoG con un detector de señal de RF que detecte ráfagas de señales de entrada e incluya un atenuador eléctrico que preceda al conductor del láser para atenuar la señal de entrada de RF, de manera que cuando no haya ninguna entrada nominal presente, se prevenga la entrada de señales de ruido débiles en la ONU y se elimine rápidamente la atenuación de RF cuando se detecte una ráfaga para que tenga un impacto mínimo sobre la ráfaga.
- 15 Algunas de las realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una ONU de RFoG que pueda recibir una señal descendente que le indique que ajuste el nivel de potencia de salida, la ganancia de RF o ambos. En algunas realizaciones, la ONU puede recibir los números de puerto asignados y las solicitudes de monitoreo de estado. En algunas realizaciones, una ONU de este tipo puede transmitir información ascendente, como el estado, el número de serie, etc.
- 20 Algunas de las realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un separador activo que pueda transmitir una señal descendente con solicitudes a las unidades descendentes para ajustar el nivel de potencia óptica, la ganancia o para solicitar información de estado. Algunas realizaciones pueden incluir un separador activo que pueda recibir tales señales descendentes. Algunas realizaciones pueden incluir un separador activo que pueda transmitir y/o recibir tales señales también en dirección ascendente.
- 25 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una ONU con un detector de RF, un atenuador, un circuito de polarización y un microcontrolador en donde el microcontrolador estime el corte del láser basándose en los niveles de potencia de RF medidos y rastree qué fracción del tiempo el láser está cortado y aumente la atenuación en caso de que esta fracción exceda un umbral. El microcontrolador también puede ajustar la polarización del láser para evitar el corte. En algunas realizaciones, el microcontrolador atenúa un valor nominal cuando la potencia de RF del láser sea igual o inferior a un valor nominal. En algunas realizaciones, los cambios en la atenuación realizados por el microcontrolador tienen lugar en etapas separadas en tiempo y magnitud.
- 30 En algunas realizaciones de la descripción anterior el microcontrolador puede poner la atenuación a un nivel bastante alto para impedir cortes, pero menos que lo necesario para obtener un índice de modulación nominal.
- 35 Algunas de las realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una arquitectura bidireccional de RF sobre fibra con más de un enlace de retransmisión en la dirección inversa, en donde las señales detectadas de enlaces anteriores se combinen en cada enlace de retransmisión.
- 40 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un receptor calibrado en una cabecera que proporcione un nivel de salida de RF específico para un índice de modulación de entrada, con un control de ganancia de manera que para niveles de entrada ópticos diferentes, el nivel de salida de RF para un índice de modulación dado se mantenga constante. En algunas realizaciones, un receptor puede incluir dos salidas, al menos una conectada a un CMTS sin ninguna combinación de RF y redes de separación.
- 45 Algunas de las realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un separador activo con al menos dos configuraciones de ganancia, una configuración de ganancia optimizada para las ONU que puedan transmitir todo el espectro inverso que el sistema pueda soportar, y una configuración optimizada para las ONU que puedan transmitir una cantidad de espectro menor que el espectro completo que el sistema pueda soportar, en donde el separador activo combina entradas de varias ONU y puede transmitir todo el espectro que el sistema pueda soportar.
- 50 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un separador activo que tenga potencia de transmisión inversa ajustable y ganancia ajustable de manera que, para un índice ascendente recibido dado de modulación de señal, el separador activo mantenga un índice de modulación óptica constante sin importar la potencia de salida óptica. En algunas realizaciones, el índice de modulación óptica retransmitido es igual que el índice de modulación óptica recibido. En algunas realizaciones, el índice de modulación óptica retransmitido es una fracción predeterminada del índice de modulación óptica recibido, y el separador habilita una opción para variar esa fracción.
- 55 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un separador activo que pueda recibir y decodificar señales de comunicación directa, p. ej. un diodo de monitoreo de entrada para un EDFA, u otro diodo de monitoreo.
- 60
- 65

Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un separador activo que pueda transmitir señales de comunicación directa con, por ejemplo, un láser directo, o mediante la modulación de la corriente de bomba de un EDFA.

5 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un separador activo que pueda recibir y decodificar señales de comunicación ascendentes, p. ej., al monitorear corrientes de detector ascendentes. Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un separador activo que pueda transmitir señales de comunicación ascendentes, p. ej. mediante modulación del láser inverso.

10 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un sistema con al menos dos separadores activos, en donde un primer separador activo instruya a un segundo separador activo para ajustar su nivel de potencia de transmisión inversa. Algunas realizaciones pueden utilizar un algoritmo para ecualizar y optimizar el nivel de transmisión inversa de todos los separadores activos descendentes conectados a un separador activo ascendente. En algunas realizaciones, el algoritmo se ejecuta automáticamente en el arranque de manera que los separadores
15 activos descendentes (y opcionalmente las ONU) obtengan una dirección y opcionalmente informen en la dirección ascendente el número de serie y el estado del separador (u ONU). En algunas realizaciones, la activación posterior de puertos en el separador lleva a una calibración automática de nuevos puertos sin interrumpir el servicio de puertos existentes, y con monitoreo continuo del estado del puerto.

20 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un separador activo capaz de comunicación ascendente y capaz de recibir y decodificar comunicaciones ascendentes de otro separador.

En algunas realizaciones, un separador activo puede establecer un mapa del sistema en el cual está incluido y puede informar el estado del sistema y la información de topología a una cabecera y puede emitir alarmas si es
25 necesario. El mapa puede incluir los números de serie de los separadores activos y puede incluir los números de serie de las ONU conectadas. Algunas realizaciones pueden crear un mapa del sistema automáticamente y (i) pueden monitorear los niveles de entrada de enlace de la ONU a los separadores activos; (ii) pueden detectar ONU con vibraciones o defectuosas de otro modo y opcionalmente instruir al separador activo para que apague los detectores de ONU defectuosas o con vibraciones; y/o (iii) pueden monitorear el estado del separador activo que
30 construye el mapa. En algunas realizaciones, la función de monitoreo se utiliza para activar automáticamente la redundancia de la ruta al monitorear el tráfico ascendente de un enlace, para determinar si el enlace está intacto, y si el enlace es defectuoso, cambiar el tráfico descendente a un enlace ascendente alternativo. En algunas realizaciones, los separadores activos ascendentes monitorean los separadores activos descendentes que al comunicarse con los separadores activos descendentes.

35 Algunas de las realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una cabecera que instruya a los separadores activos descendentes para iniciar un procedimiento de autocalibración.

40 Algunas realizaciones incluyen un combinador que pueda supervisar cada uno de los puertos de entrada ascendentes y así detectar una pérdida de un enlace a tal puerto. La pérdida de un enlace ascendente implica la pérdida del enlace descendente asociado. La detección de un enlace se puede utilizar para iniciar el cambio a un enlace de fibra redundante, preferiblemente siguiendo una ruta de fibra diferente.

45 En uno o más ejemplos, las funciones aquí descritas pueden implementarse en hardware, software, firmware o cualquier combinación de estos. Si se implementan en software, las funciones pueden almacenarse o transmitirse como una o más instrucciones o códigos en un medio legible por ordenador y ejecutarse mediante 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 como medios de almacenamiento de datos o medios de comunicación, que incluyen cualquier medio que facilite la transferencia de un programa de ordenador de un
50 lugar a otro, p. ej., según un protocolo de comunicación. De esta manera, los medios legibles por ordenador generalmente pueden corresponder a (1) medios tangibles de almacenamiento legibles por ordenador que no son transitorios o (2) un medio de comunicación como una señal u onda portadora. Los medios de almacenamiento de datos pueden ser cualquier medio disponible al que puedan acceder uno o más ordenadores o uno o más procesadores para recuperar instrucciones, código y/o estructuras de datos para la implementación de las técnicas descritas en la presente descripción. Un producto de programa de ordenador puede incluir un medio legible por
55 ordenador.

A modo de ejemplo y sin limitación, estos medios de almacenamiento legibles por ordenador pueden incluir RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM u otro almacenamiento en disco óptico, almacenamiento en disco magnético u otros
60 dispositivos de almacenamiento magnético, memoria flash o cualquier otro medio que pueda utilizarse para almacenar el código de programa deseado en forma de instrucciones o estructuras de datos y al que pueda acceder un ordenador. Además, cualquier conexión se denomina correctamente un medio legible por ordenador. Por ejemplo, si las instrucciones se transmiten desde un sitio web, servidor u otra fuente remota mediante el uso de un cable coaxial, cable de fibra óptica, par trenzado, línea de abonado digital (DSL) o tecnologías inalámbricas como infrarrojos, radio y microondas, entonces el cable coaxial, cable de fibra óptica, par trenzado, DSL o tecnologías
65 inalámbricas como infrarrojos, radio y microondas se incluyen en la definición de medio. Debe entenderse, sin

5 embargo, 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 se refieren a medios de almacenamiento tangibles y no transitorios. Disco, como se emplea en esta memoria, incluye disco compacto (CD), disco láser, disco óptico, disco versátil digital (DVD), disquete y disco de Blu-ray, en donde algunos discos suelen reproducir datos magnéticamente, mientras que otros discos reproducen los datos ópticamente con láseres. Las combinaciones de lo anterior también deben incluirse en el ámbito de los medios legibles por ordenador.

10 Las instrucciones pueden ser ejecutadas por uno o más procesadores, tales como uno o más procesadores de señales digitales (DSP), microprocesadores de propósito general, circuitos integrados específicos de aplicación (ASIC), arreglos lógicos programables en campo (FPGA) u otros circuitos lógicos integrados o separados equivalentes. Por consiguiente, el término "procesador", como se emplea en esta memoria, puede referirse a cualquiera de las estructuras anteriores o a cualquier otra estructura adecuada para la aplicación de las técnicas descritas en la presente memoria. Además, en algunos aspectos, la funcionalidad descrita en la presente memoria puede proporcionarse dentro de módulos dedicados de hardware y/o software configurados para la codificación y decodificación, o incorporados en un códec combinado. Además, las técnicas pueden ser implementadas completamente en uno o más circuitos o elementos lógicos.

20 Las técnicas de la presente descripción pueden implementarse en una amplia variedad de dispositivos o aparatos, que incluyen un dispositivo de mano inalámbrico, un circuito integrado (IC) o un conjunto de IC (p. ej., un conjunto de chips). Se describen diversos componentes, módulos, o unidades en la presente descripción para enfatizar aspectos funcionales de dispositivos configurados para realizar las técnicas divulgadas, pero no necesariamente requieren la realización mediante unidades de hardware diferentes. Más bien, como se describió anteriormente, diversas unidades pueden combinarse en una unidad de hardware de códec o ser proporcionadas mediante un conjunto de unidades de hardware interoperativas, que incluyen uno o más procesadores como se describió anteriormente, junto con el software y/o firmware adecuados.

25

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un sistema óptico que comprende al menos un separador/combinador óptico de agregación (120), una pluralidad de separadores/combinadores ópticos de contribución (130) situados en posición descendente, y una o más fibras (128); el al menos un separador/combinador óptico de agregación (120) está acoplado comunicativamente a través de una o más fibras a la pluralidad de separadores/combinadores óptico contribuyentes (130); al menos uno de la pluralidad de separadores/combinadores ópticos contribuyentes (130) está configurado para funcionar de forma pasiva sin potencia de una fuente de energía eléctrica de campo, el separador/combinador óptico de agregación (120) está configurado para detectar la entrada de múltiples señales de entrada ópticas a los puertos del combinador y retransmitir información de las múltiples señales de entrada ópticas de cada uno de los puertos del combinador a una o más fibras; y cada uno de la pluralidad de separadores/combinadores ópticos contribuyentes (130) está conectado por medio de una fibra (128) a al menos un separador/combinador óptico de agregación (120) ubicado en posición ascendente con respecto a la pluralidad de separadores/combinadores ópticos contribuyentes (130), en donde el al menos un separador/combinador óptico de agregación (120) incluye un láser de bomba (203) configurado para poner a disposición potencia a cada uno de la pluralidad de separadores/combinadores ópticos contribuyentes (130) al producir luz del láser de bomba (203) para acoplar a cada fibra y a cada uno de la pluralidad de separadores/combinadores ópticos contribuyentes (130); cada uno de la pluralidad de separadores/combinadores ópticos contribuyentes (130) comprende:
- 20 uno o más detectores configurados para detectar señales ópticas de vía inversa recibidas desde una o más unidades de red óptica, ONU, (140) y para detectar señales ópticas de vía directa recibidas desde al menos un separador/combinador óptico de agregación (120) situado en posición ascendente,
- 25 el uno o más detectores están configurados para evitar la interferencia óptica por golpes, OBI, en la dirección de la trayectoria inversa al convertir cada una de las señales ópticas de vía inversa recibidas desde una o más unidades de red óptica en señales eléctricas y al combinar las señales eléctricas individuales para crear una señal eléctrica combinada, al menos un detector adicional (137) configurado para detectar la luz inyectada en la vía directa mediante el láser de bomba (203) en al menos un separador/combinador óptico de agregación (130) situado en posición ascendente,
- 30 un circuito de energización (139) configurado para utilizar la luz de vía directa del láser de bomba del separador/combinador óptico de agregación ascendente (203) para energizar el separador/combinador óptico de contribución (130), el circuito de energización se configura además para energizar al menos uno de los circuitos descendentes o circuitos ascendentes en la pluralidad de combinadores/separadores óptico contribuyentes para el procesamiento de las señales ópticas de vía inversa y las señales ópticas de vía directa respectivas.
- 35
- 40 2. El separador/combinador óptico contribuyente de la reivindicación 1, en donde el separador/combinador óptico contribuyente no tiene una conexión de potencia eléctrica.
- 45 3. El separador/combinador óptico contribuyente de la reivindicación 1, en donde el separador/combinador óptico contribuyente tiene una necesidad de potencia umbral determinada en base a una potencia suficiente para energizar los circuitos descendentes y ascendentes para emitir señales ascendentes y descendentes en respuesta a las señales ópticas recibidas, en donde el separador/combinador óptico contribuyente se encuentra lo suficientemente cerca del separador/combinador óptico de agregación, de modo que la necesidad de potencia umbral es alcanzable a lo largo de una longitud de la fibra que conecta a los combinadores a través de los cuales la luz se inyecta desde el láser de bomba.
- 50 4. El separador/combinador óptico contribuyente de la reivindicación 1, que comprende además al menos un amplificador para amplificar las señales ópticas de vía inversa.
- 55 5. El separador/combinador óptico contribuyente de la reivindicación 4, en donde el amplificador se configura para encenderse cuando la potencia óptica es detectada por el al menos un detector adicional.
- 60 6. El separador/combinador óptico contribuyente de la reivindicación 4, que comprende, además, al menos un láser configurado para retransmitir las señales ópticas amplificadas de vía inversa.
- 65 7. El separador/combinador óptico contribuyente de la reivindicación 6, en donde el láser se configura para que se encienda cuando el detector adicional detecta la potencia óptica mediante el por lo menos un detector adicional.
8. El separador/combinador óptico contribuyente de la reivindicación 1, que comprende, además, una batería configurada para acumular energía del láser de bomba para energizar un amplificador y un láser en el separador/combinador óptico contribuyente.
9. El separador/combinador óptico contribuyente de la reivindicación 1, en donde un amplificador óptico para la luz de vía directa está configurado para ser bombeado ópticamente en el separador/combinador óptico de agregación por al menos uno de un láser de bomba de 980 nm o un láser de bomba de 1480 nm, y en donde el

separador/combinador óptico contribuyente está configurado para detectar la luz inyectada en la vía directa por al menos uno de un láser de bomba de 980 nm, un láser de bomba de 1480 nm o un láser de bomba de 850 nm.

- 5 10. El separador/combinador óptico contribuyente de la reivindicación 1, en donde el láser de bomba tiene una atenuación de fibra de no más de 1dB de pérdida por 1km de fibra.
11. El separador/combinador óptico contribuyente de la reivindicación 1, en donde la longitud de la fibra entre los combinadores no es superior a 3 km.
- 10 12. El separador/combinador óptico contribuyente de la reivindicación 1, en donde el al menos un detector adicional es al menos uno de un detector de Si, un detector de InGaAsP basado en InP, o un detector de InGaAsP basado en GaAs.
- 15 13. El separador/combinador óptico contribuyente de la reivindicación 1, que comprende, además, un amplificador de transistor configurado para amplificar las señales ópticas de la vía inversa y un láser configurado para retransmitir las señales ópticas de la vía inversa amplificadas, en donde los uno o más detectores están dispuestos en una estructura de línea de transmisión y una salida de la estructura de línea de transmisión se proporciona al amplificador de transistor con una impedancia de entrada ajustada a una impedancia de línea de transmisión y una impedancia de salida ajustada a una impedancia de láser.
- 20 14. El separador/combinador óptico contribuyente de la reivindicación 13, en donde un voltaje de suministro al uno o más detectores es superior a 5 veces el valor de rms de una salida de señal de RF desde la estructura de línea de transmisión al amplificador de transistor, y un voltaje de suministro al amplificador de transistor es inferior a un voltaje de suministro a uno o más detectores, pero no superior a un voltaje de suministro a un circuito de polarización láser.
- 25 15. El separador/combinador óptico contribuyente de la reivindicación 14, en donde el voltaje de suministro al amplificador de transistor no es mayor que la caída de voltaje a través de un láser utilizado para transmitir señales ascendentes.
- 30

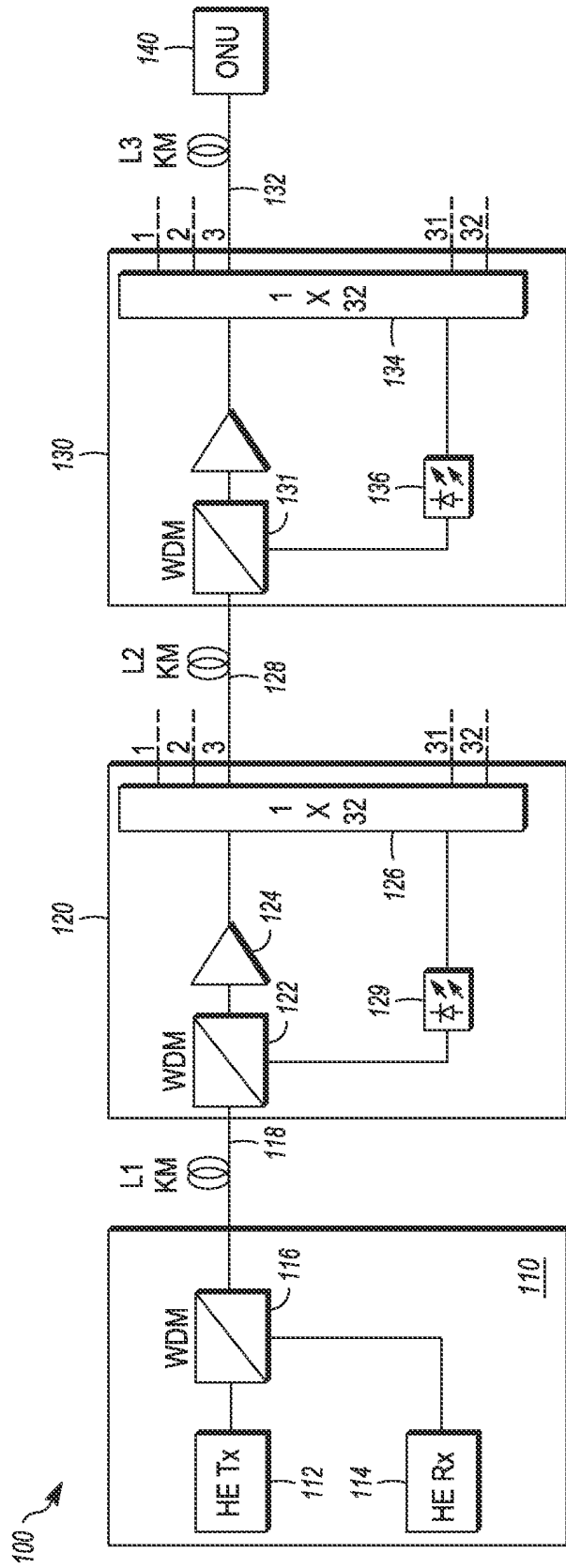


FIG. 1

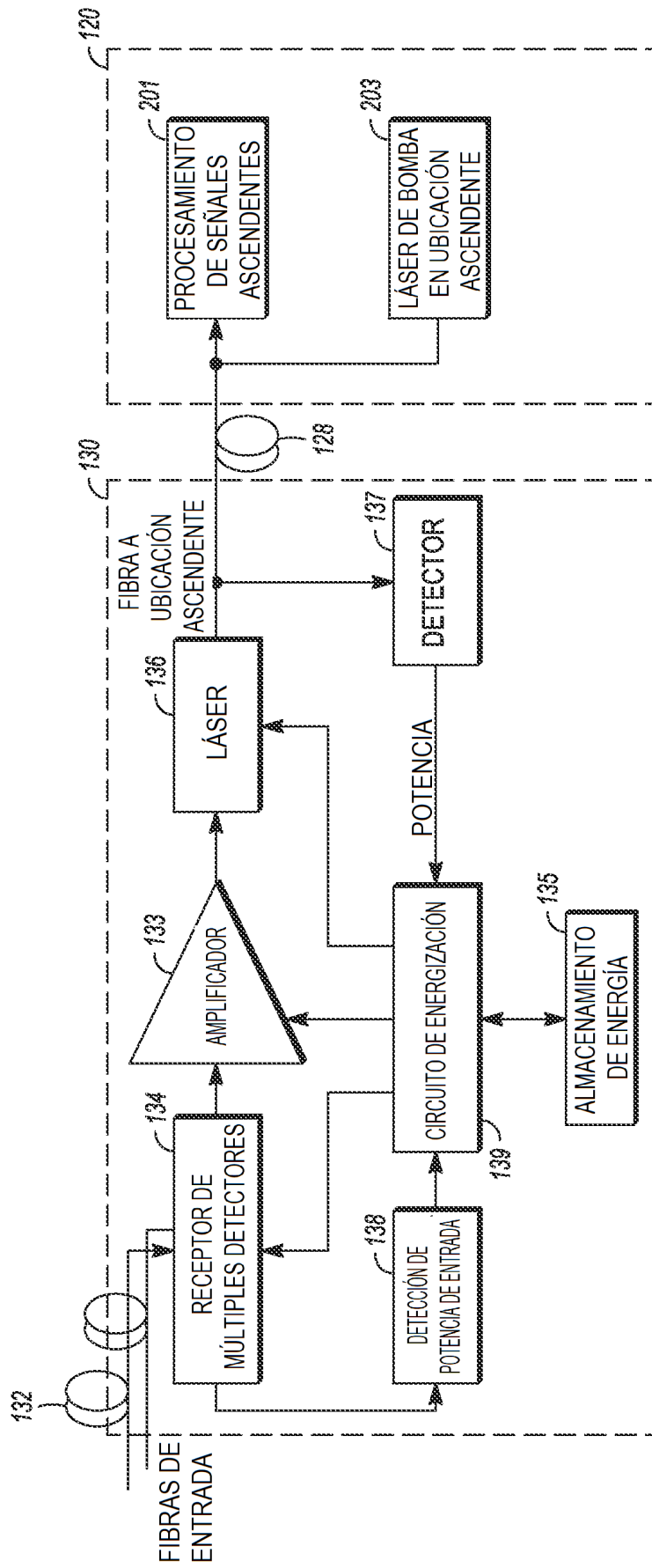


FIG. 2A

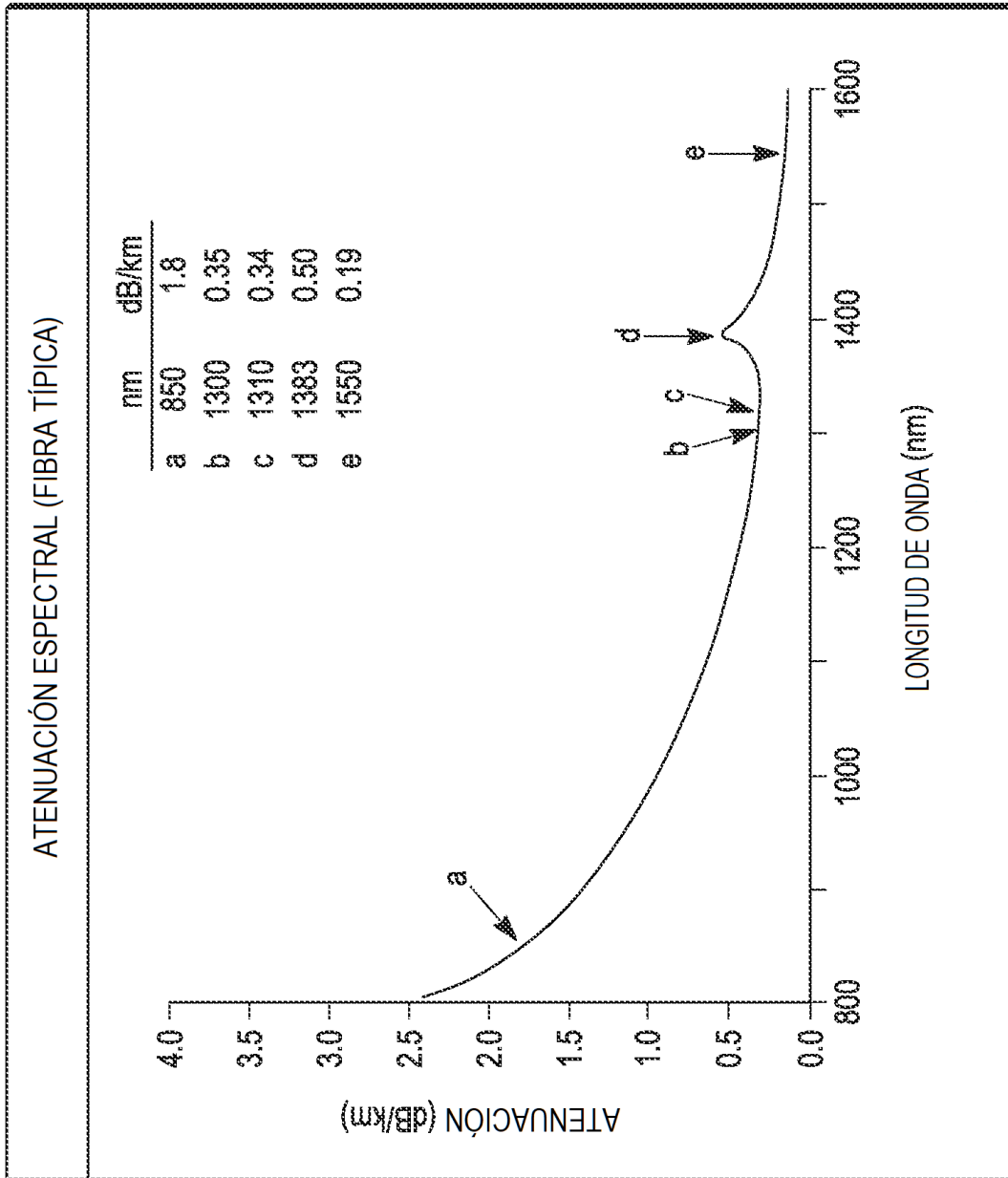
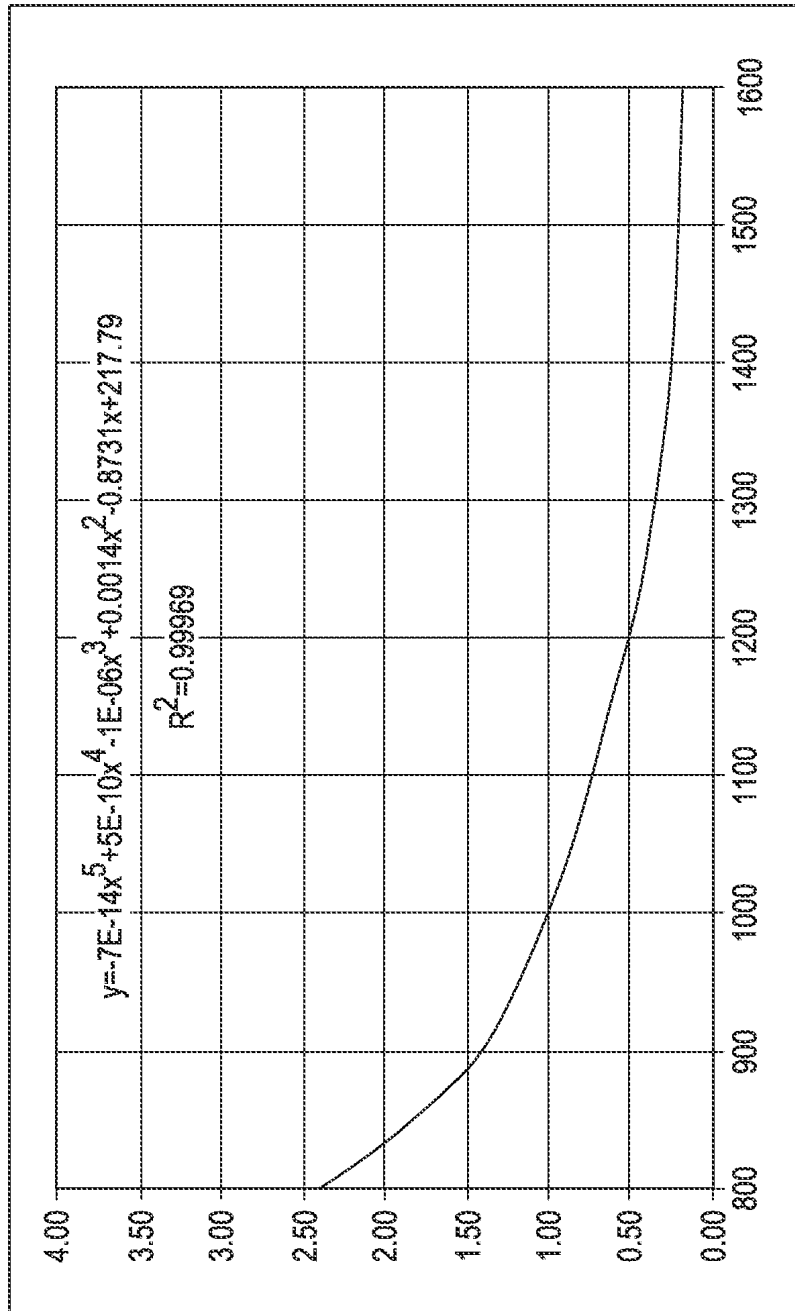


FIG. 2B



nm	dB/km
800	2.40
850	1.80
900	1.40
1000	1.00
1100	0.75
1200	0.50
1300	0.35
1310	0.34
1550	0.19
1600	0.17

FIG. 2C

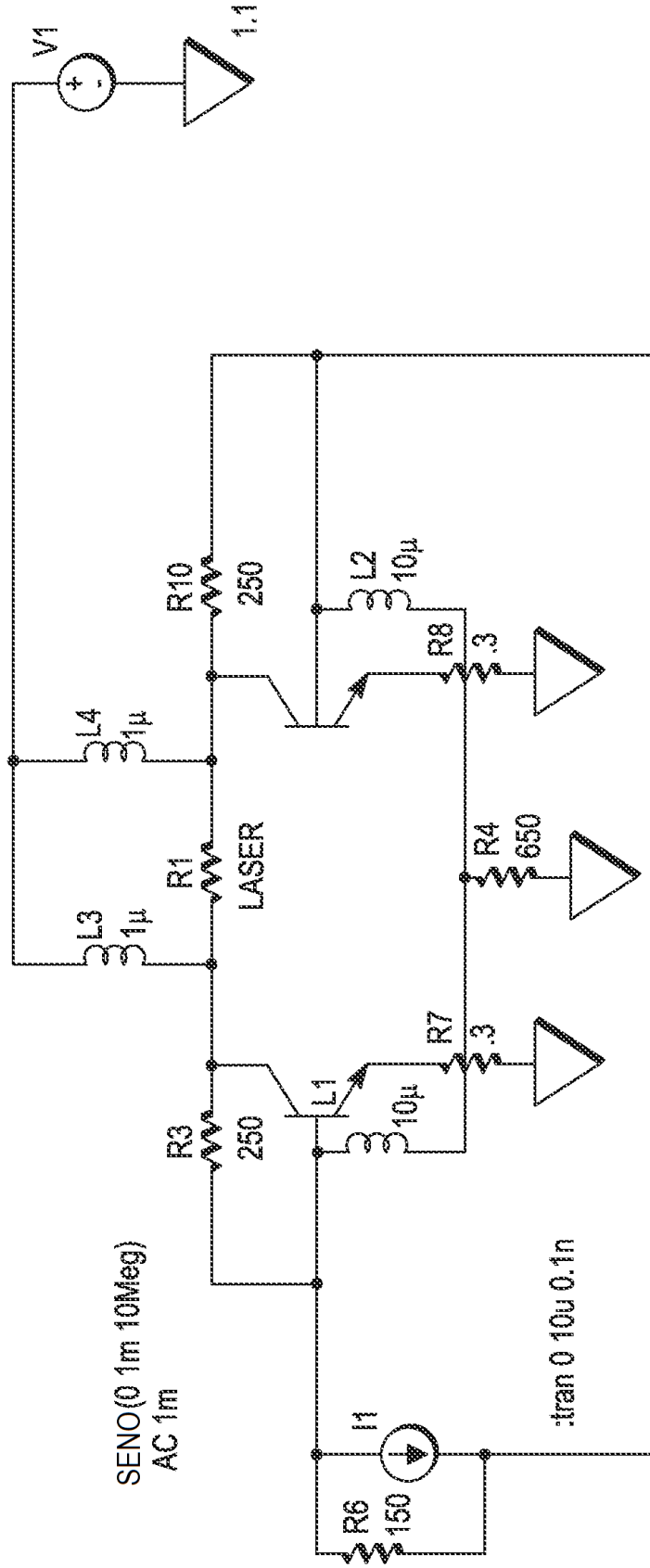


FIG. 2D

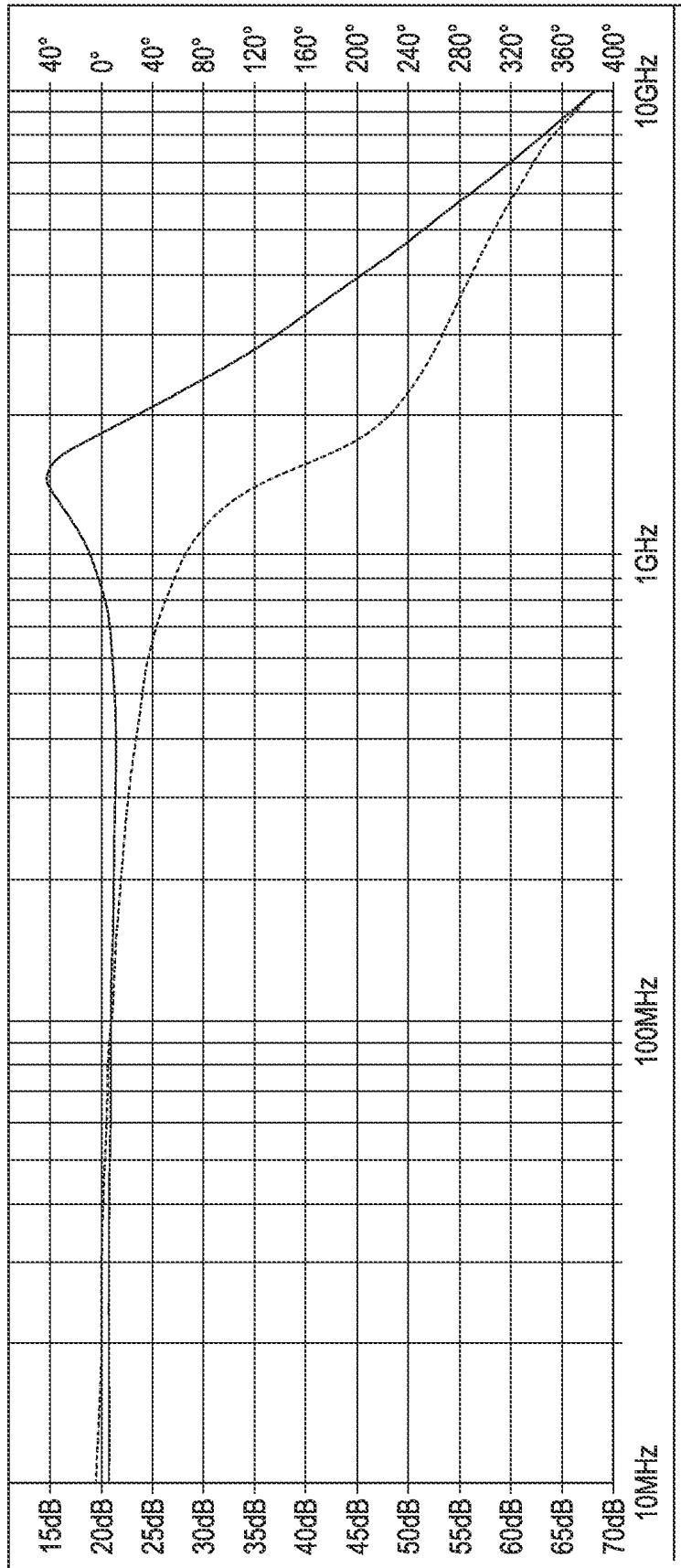
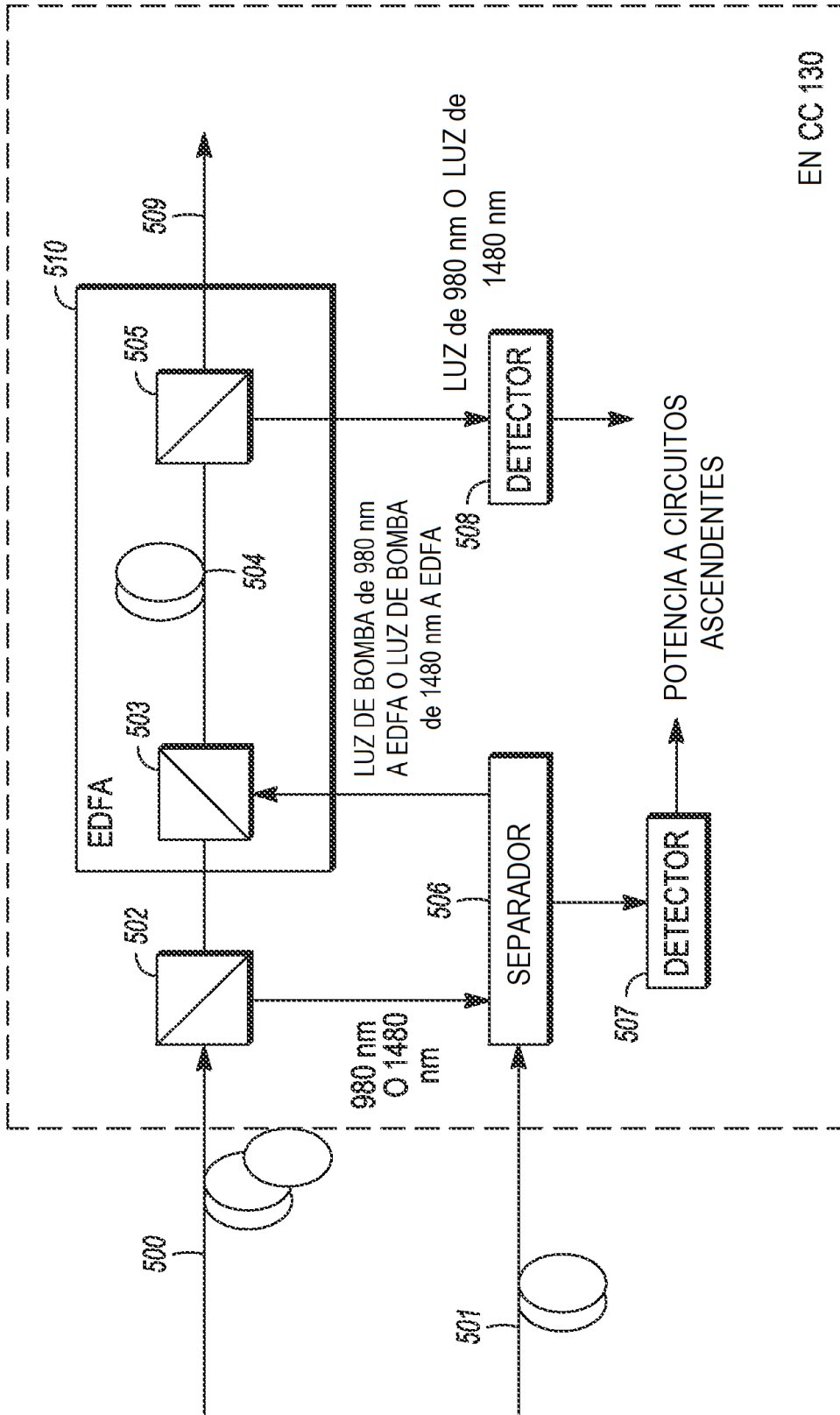


FIG. 2E



EN CC 130

FIG. 2F

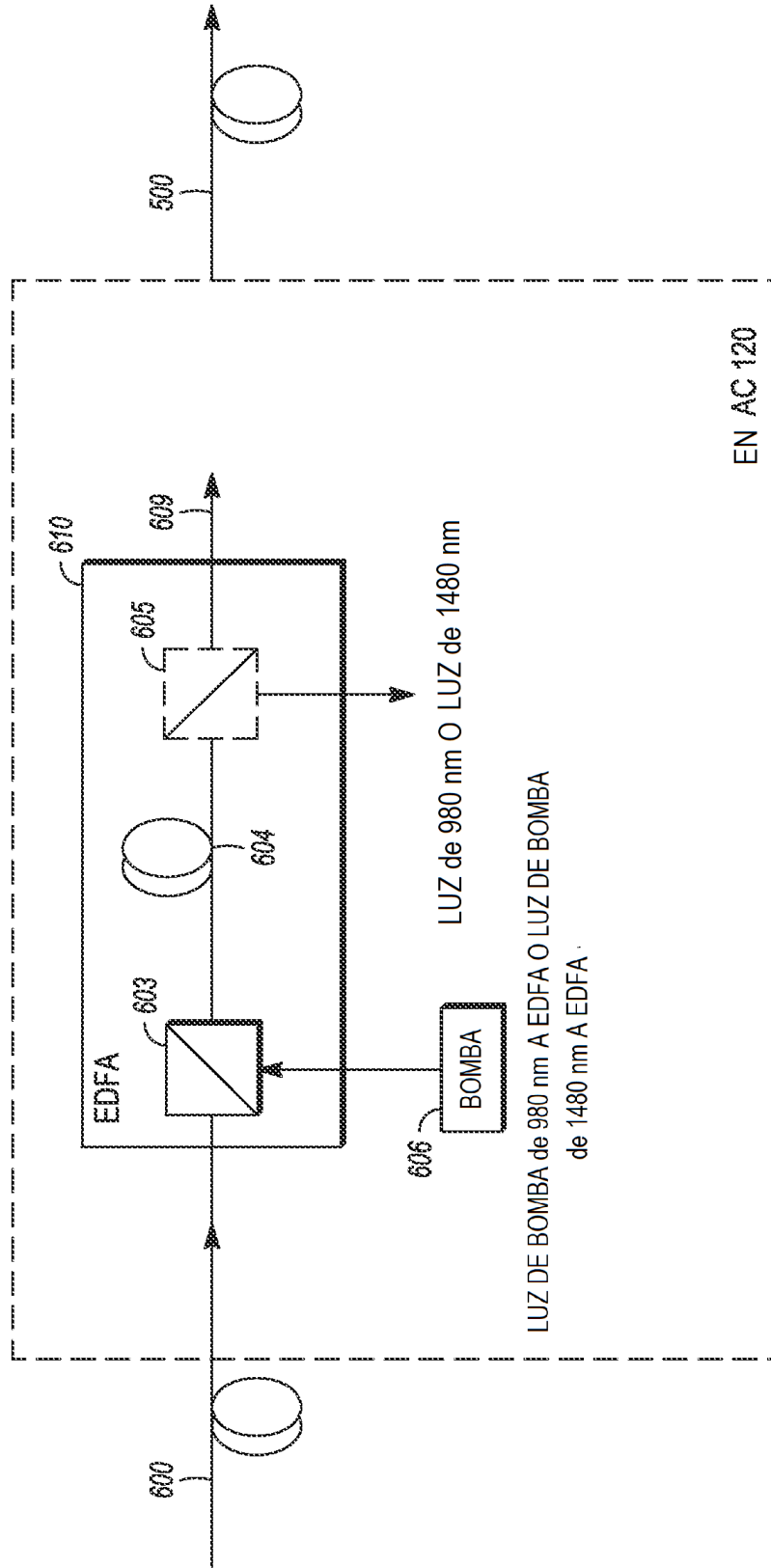


FIG. 2G

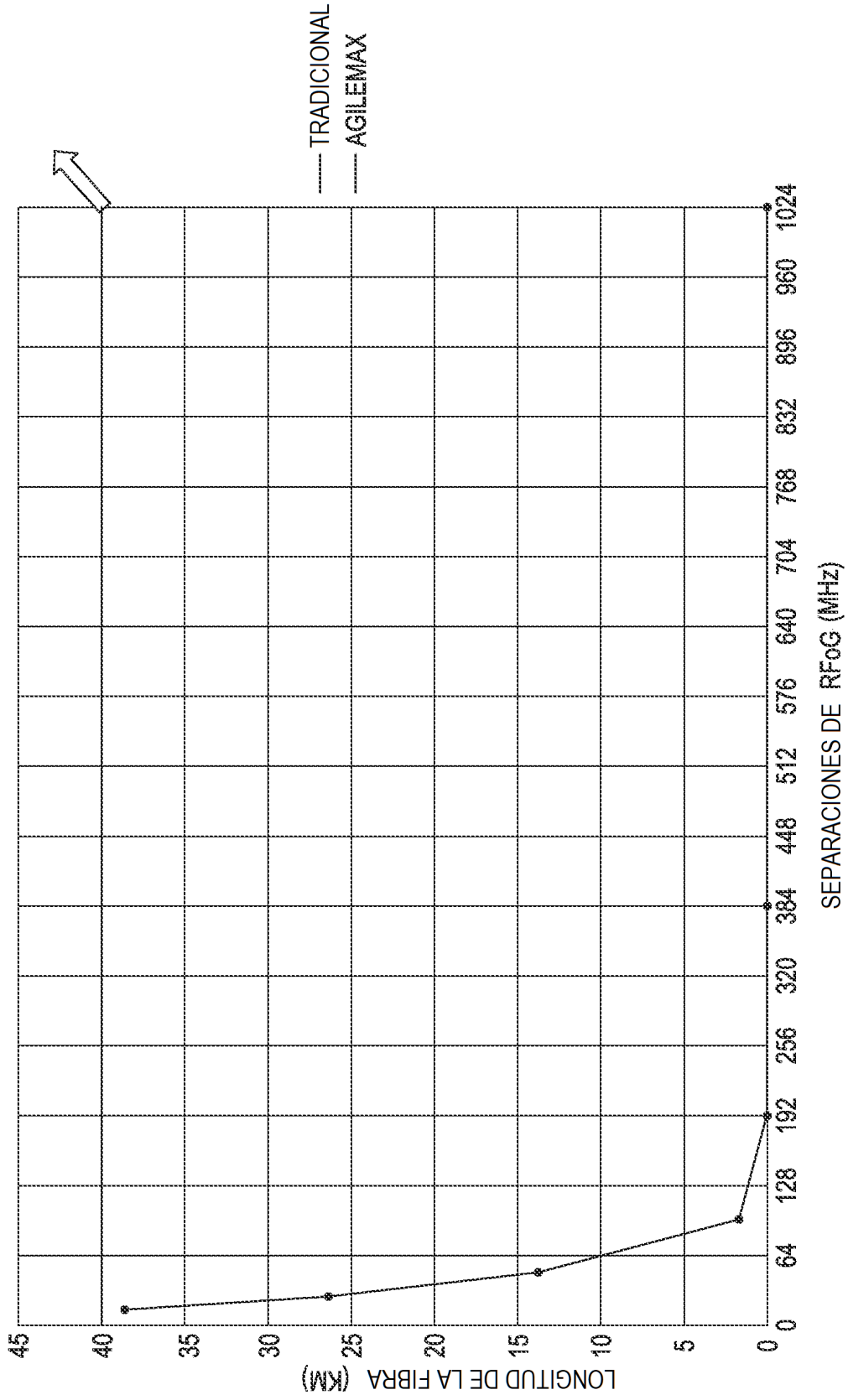


FIG. 3

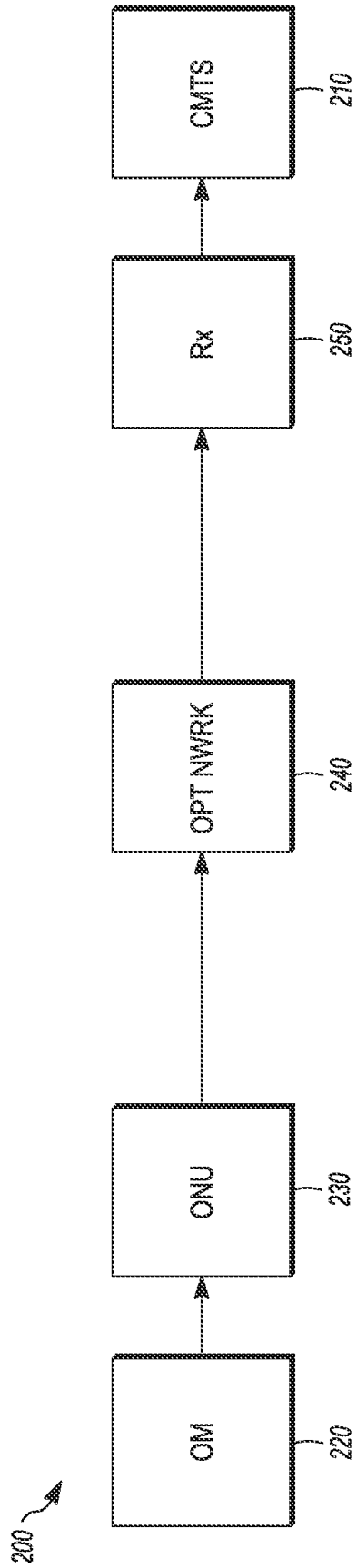


FIG. 4

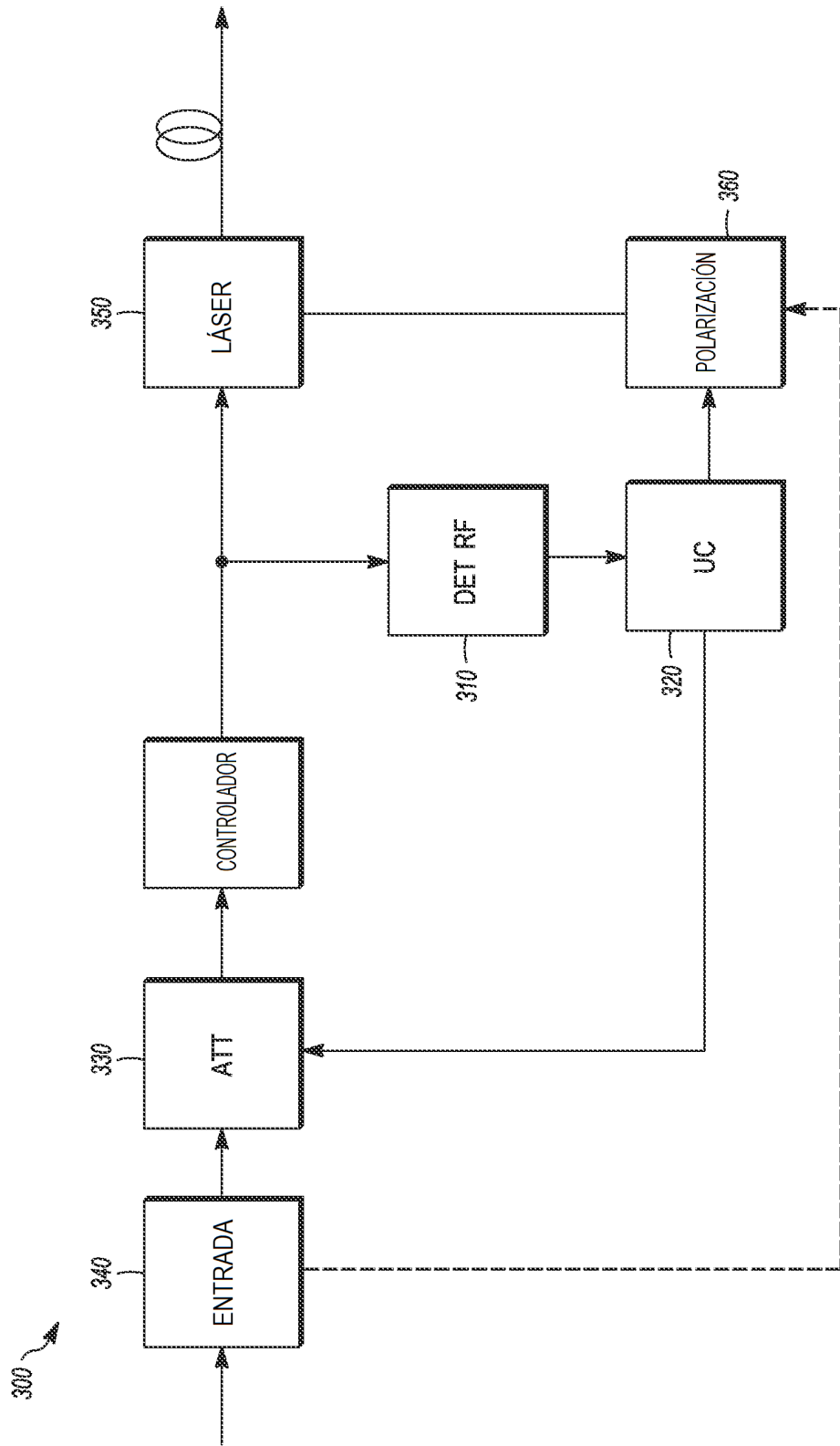


FIG. 5

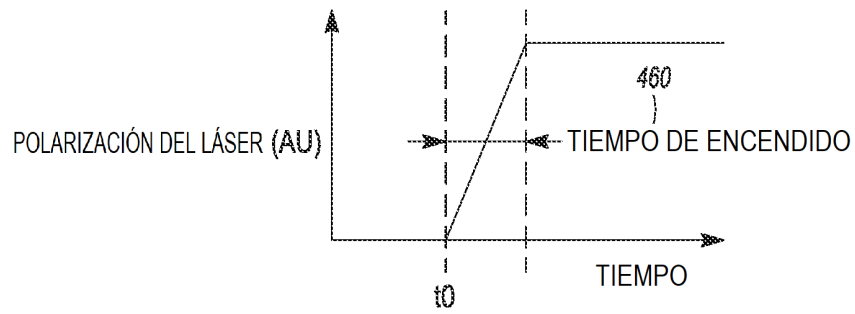
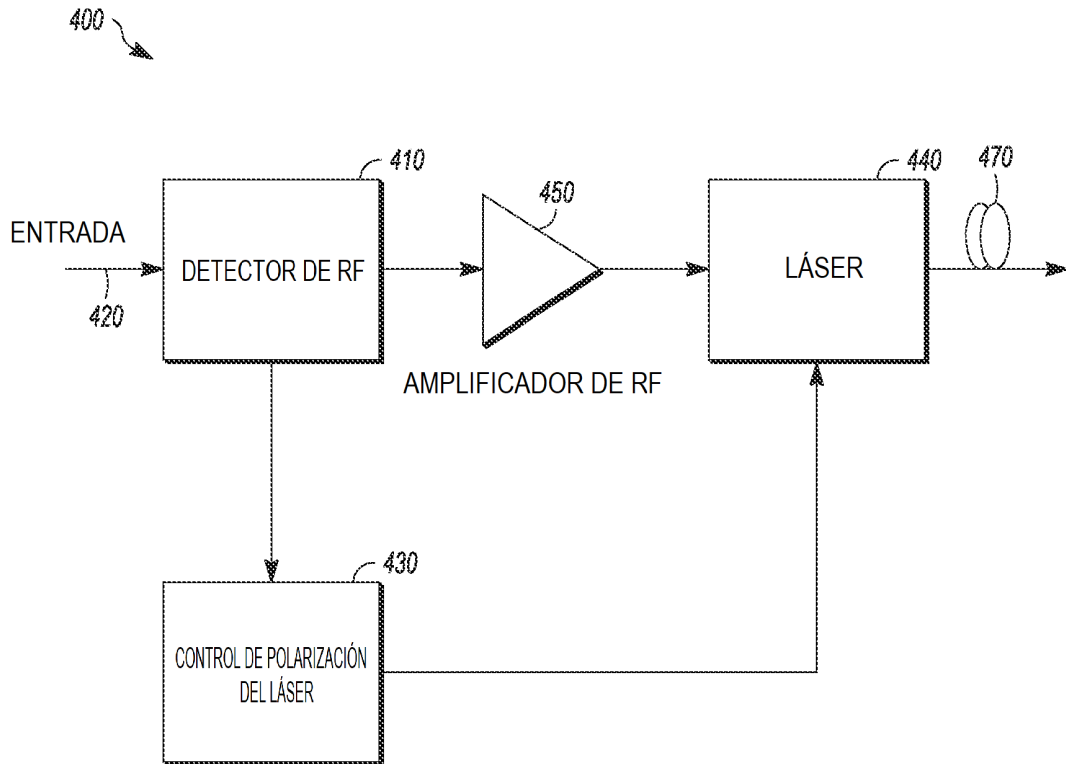


FIG. 6

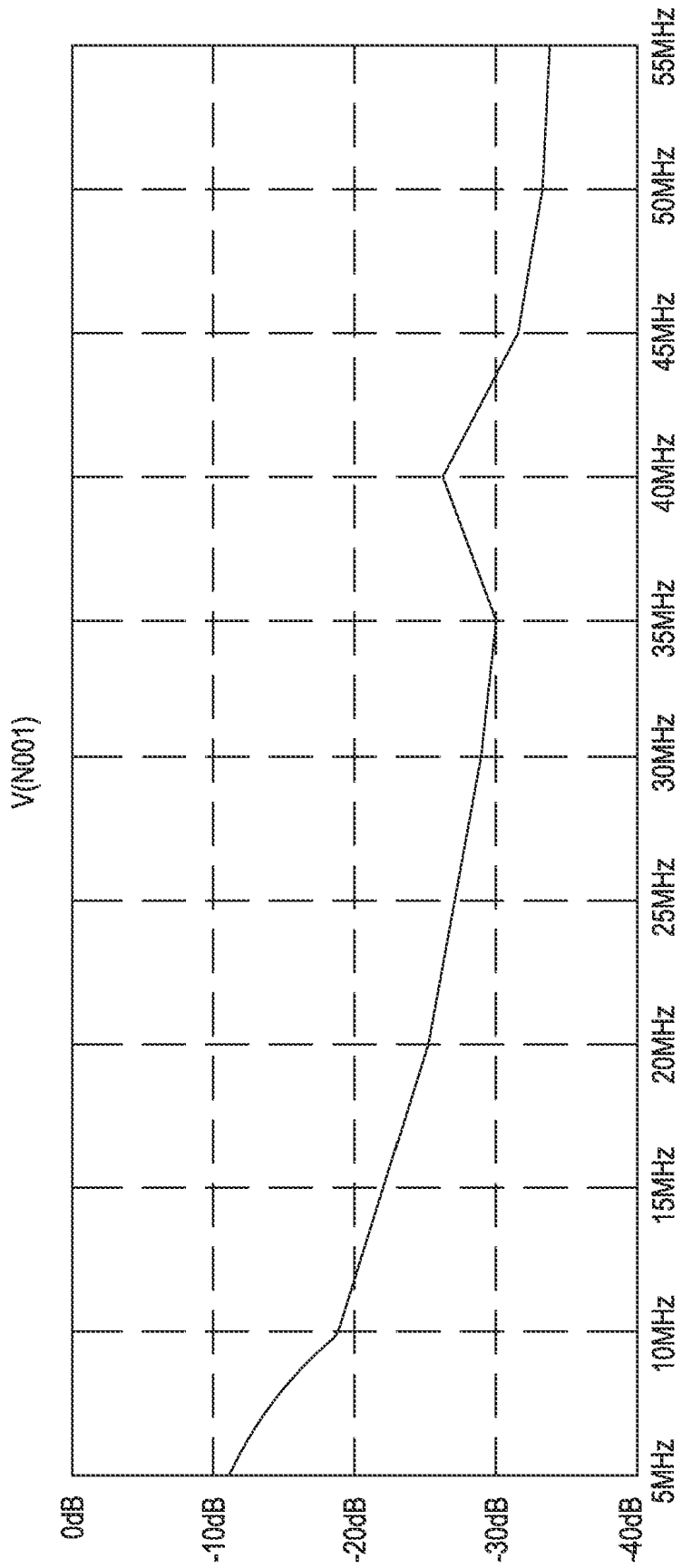


FIG. 7

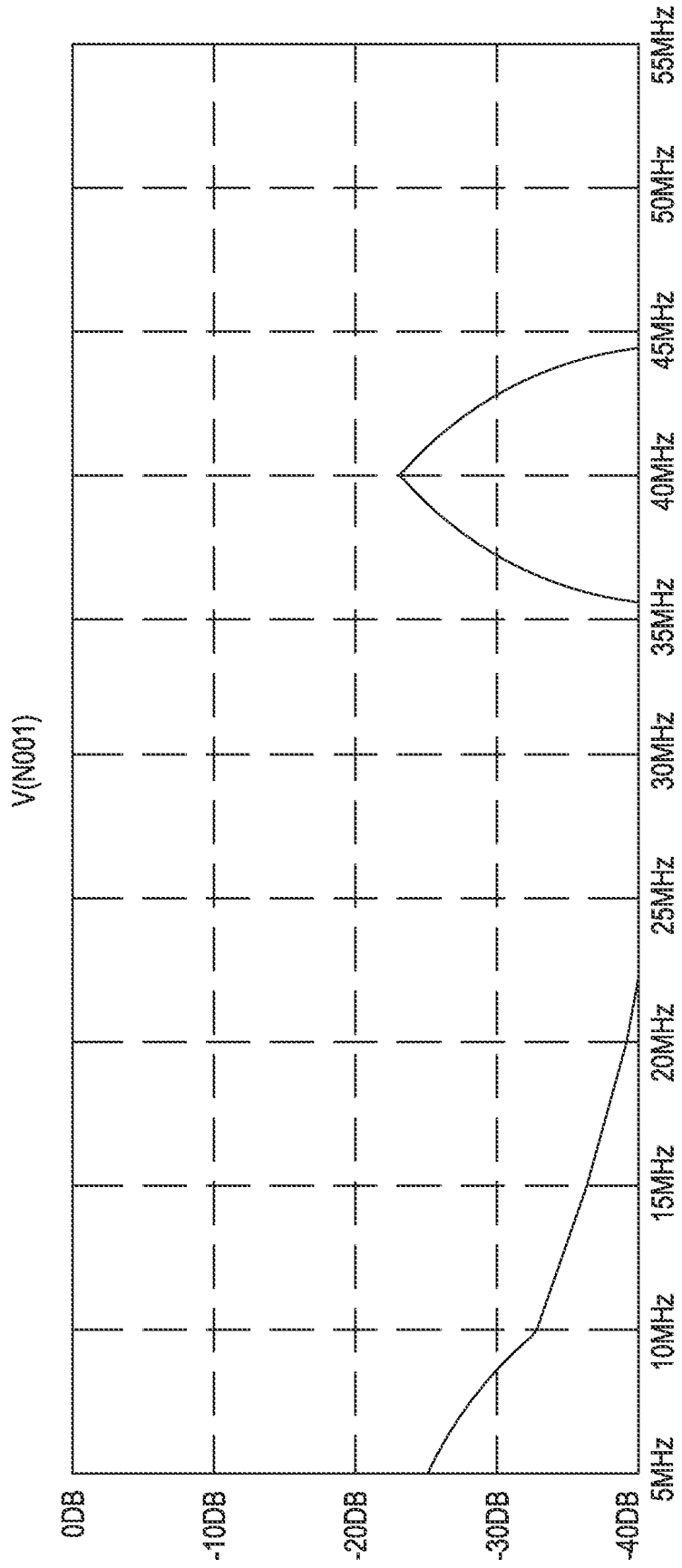


FIG. 8

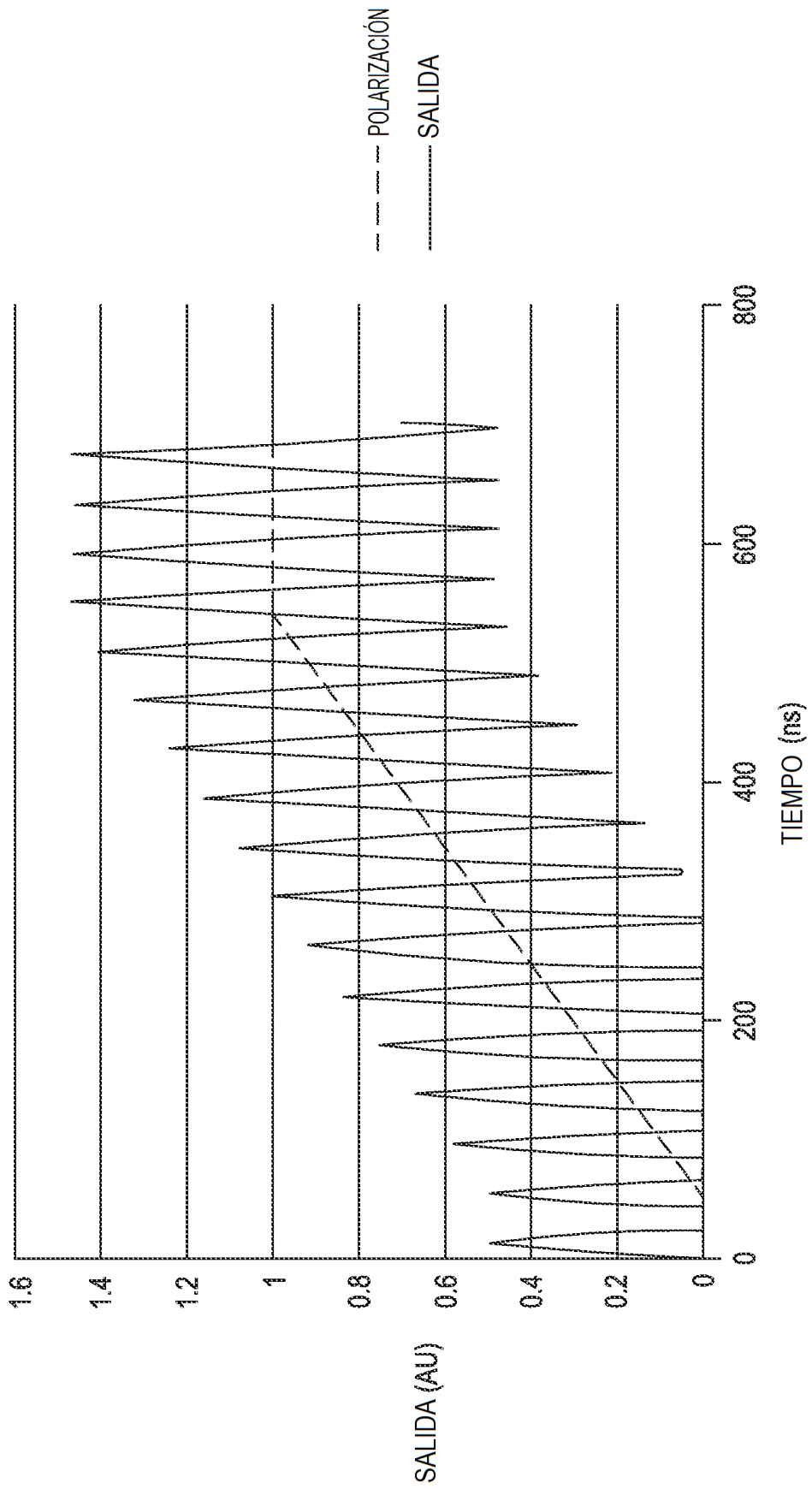


FIG. 9

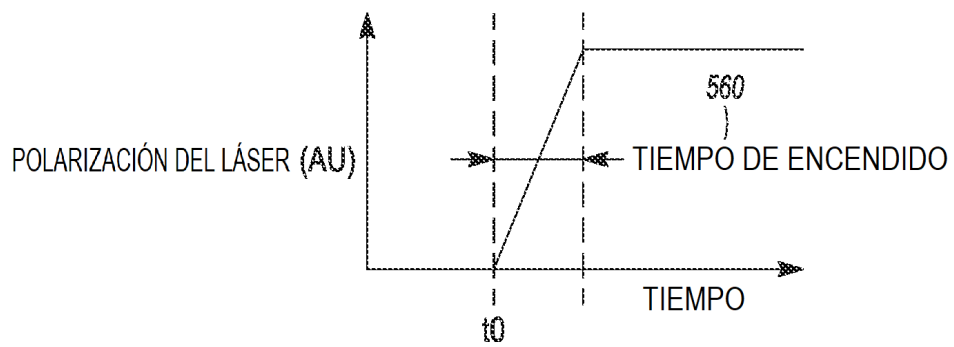
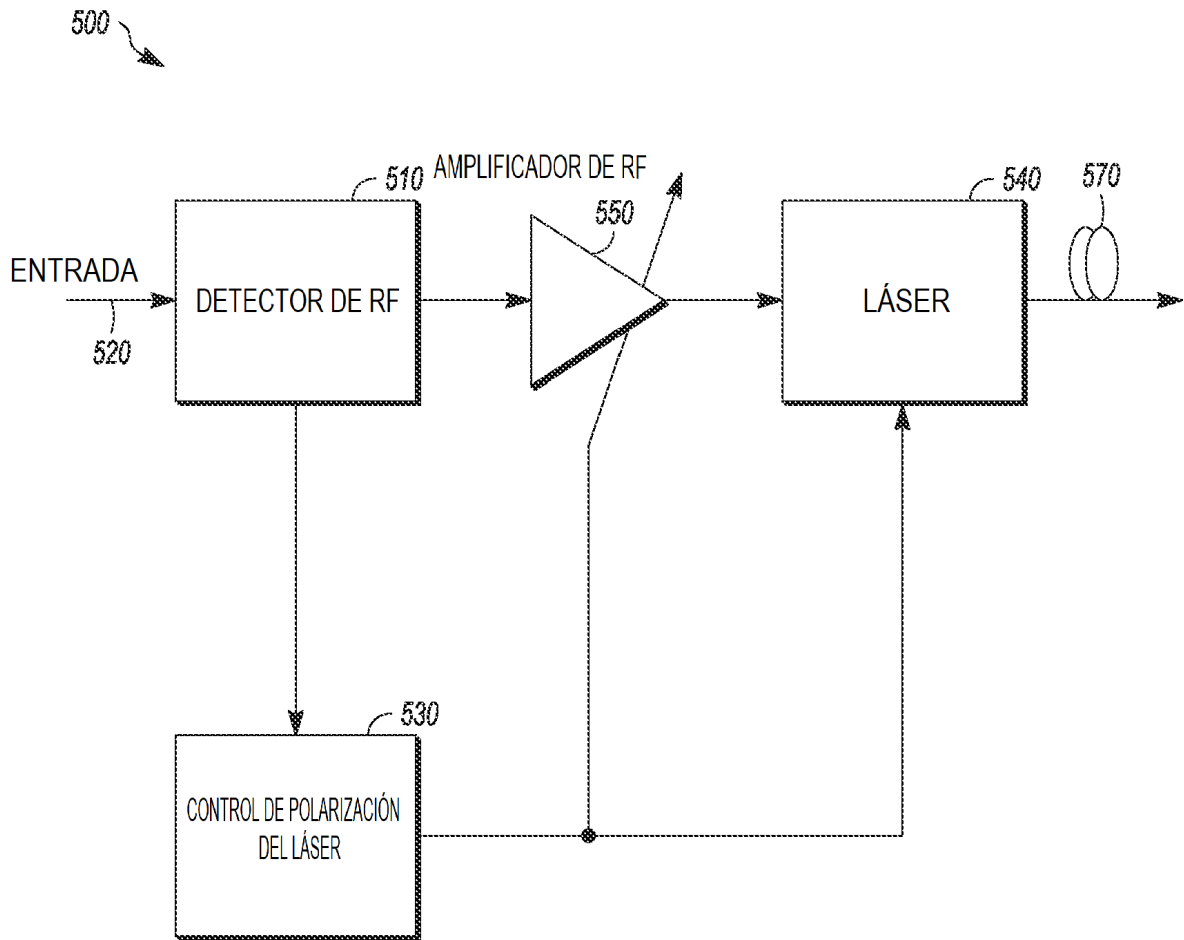


FIG. 10

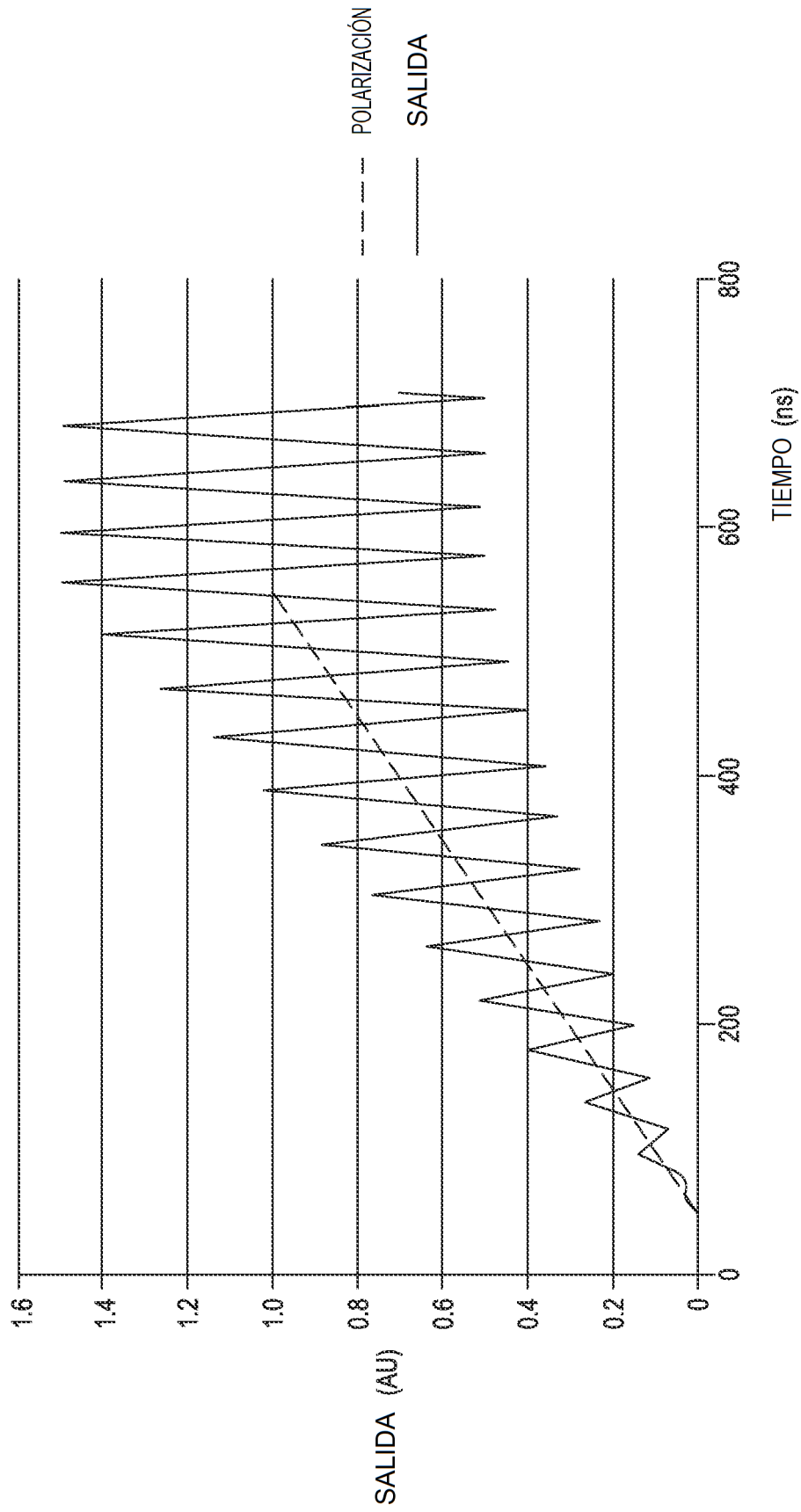


FIG. 11

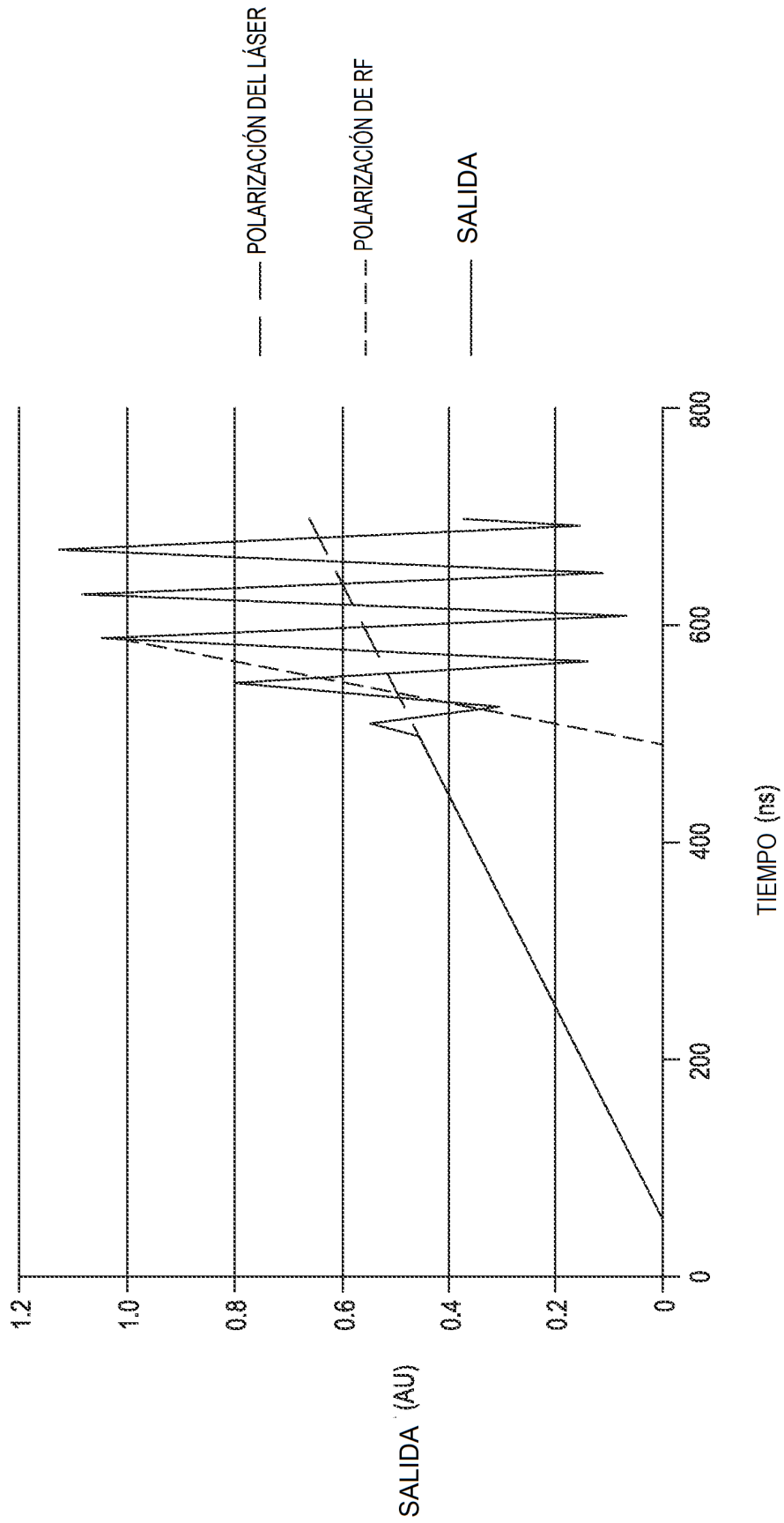


FIG. 12

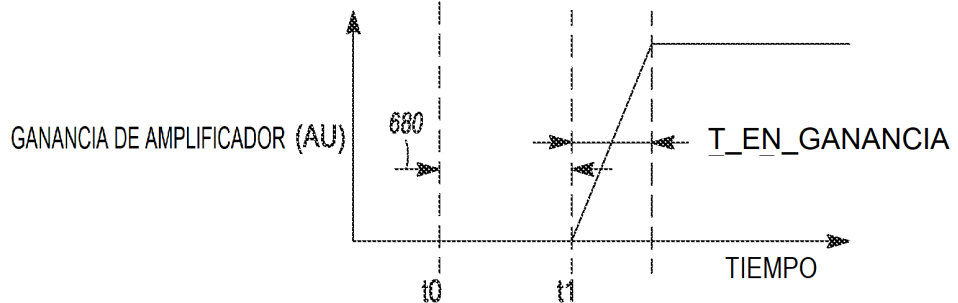
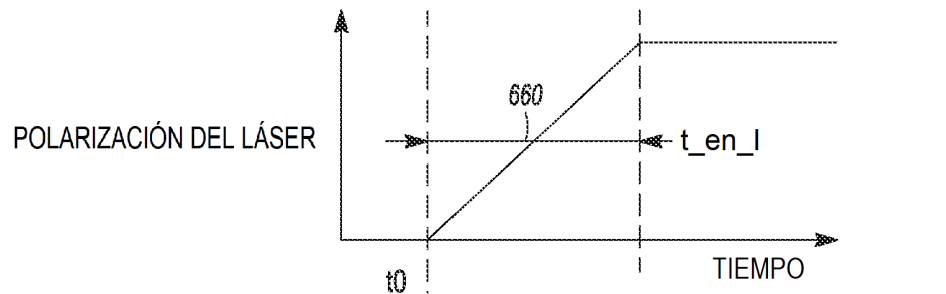
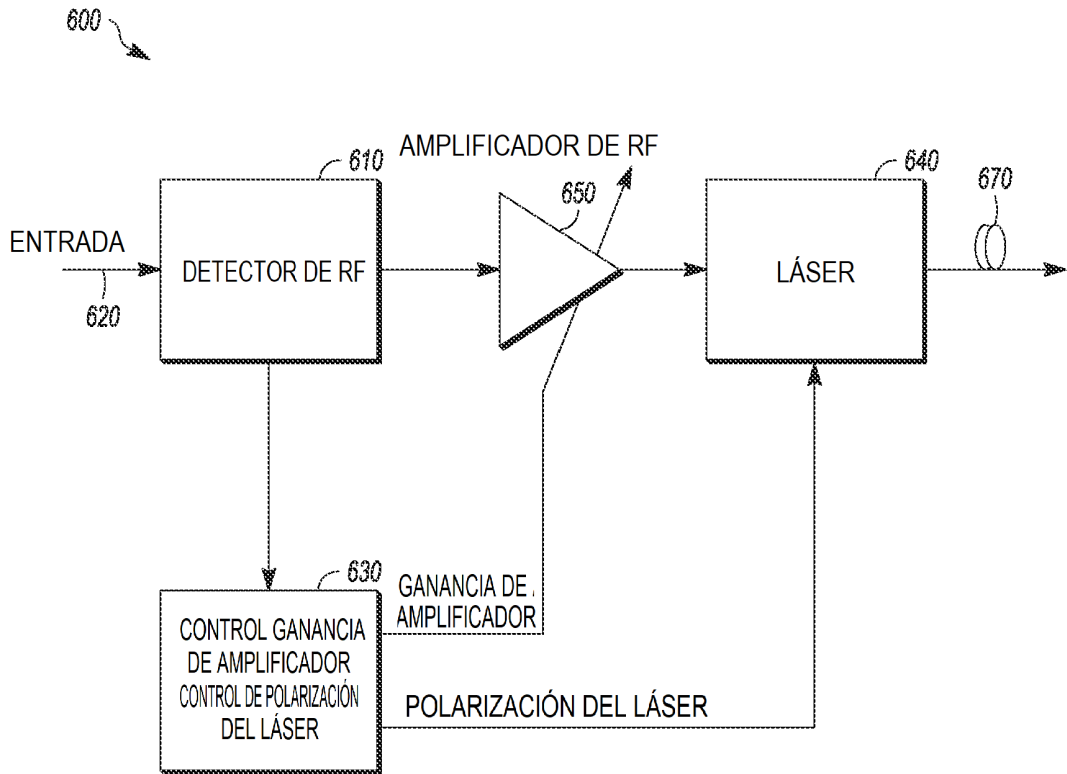


FIG. 13

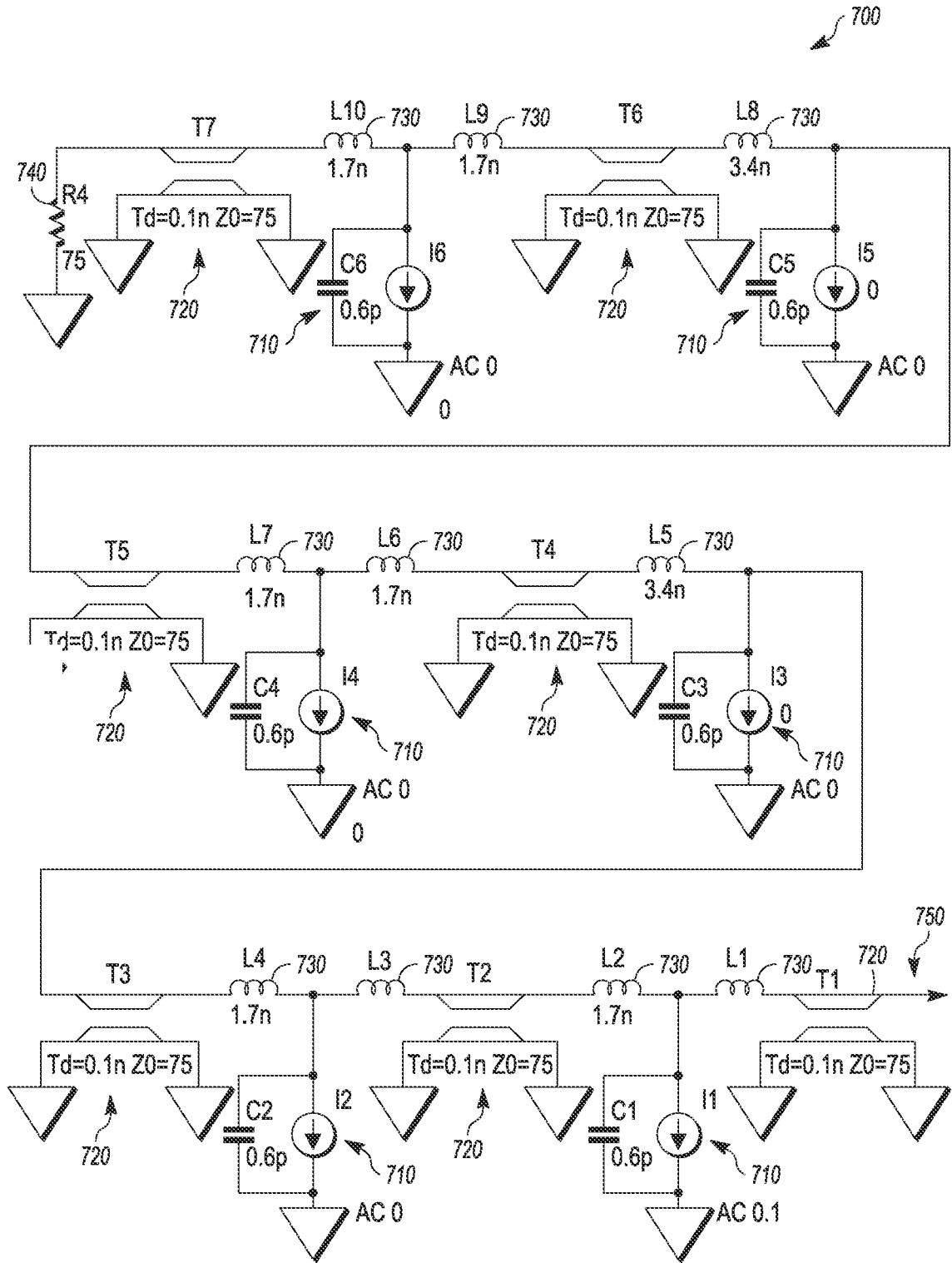


FIG. 14

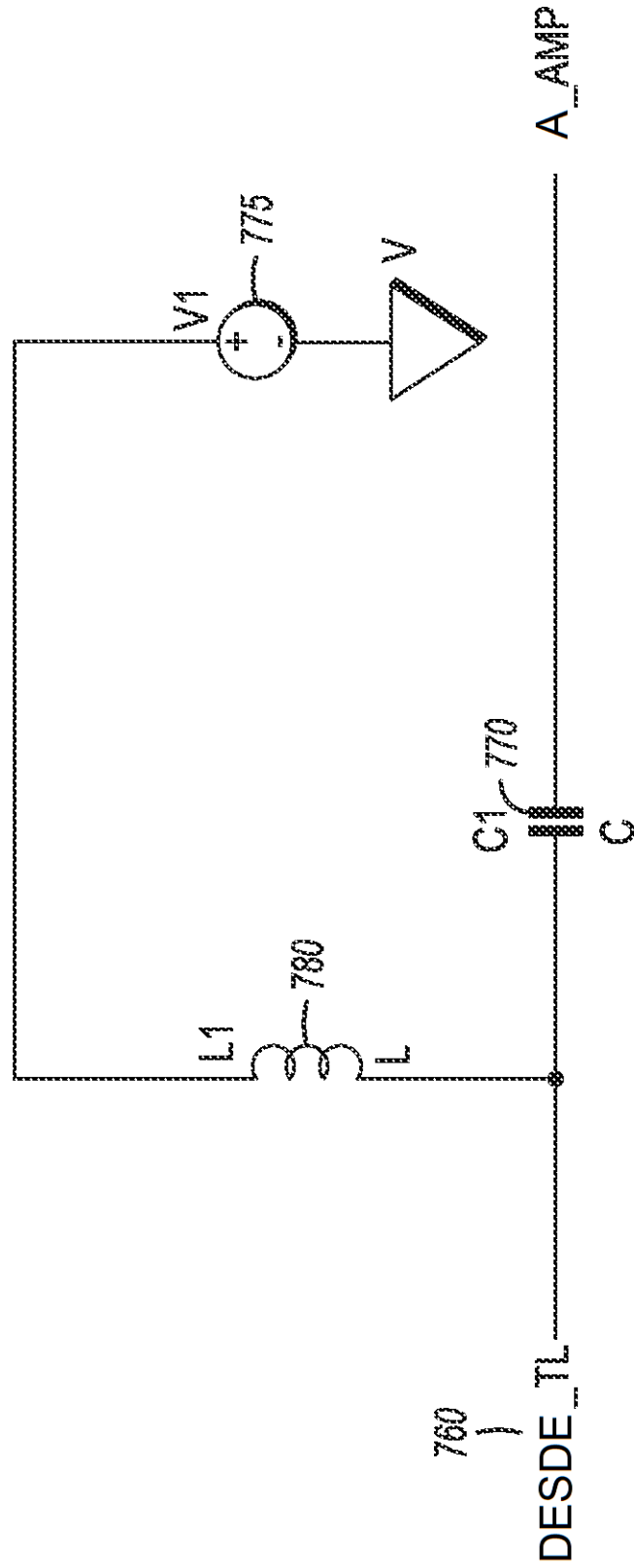


FIG. 15

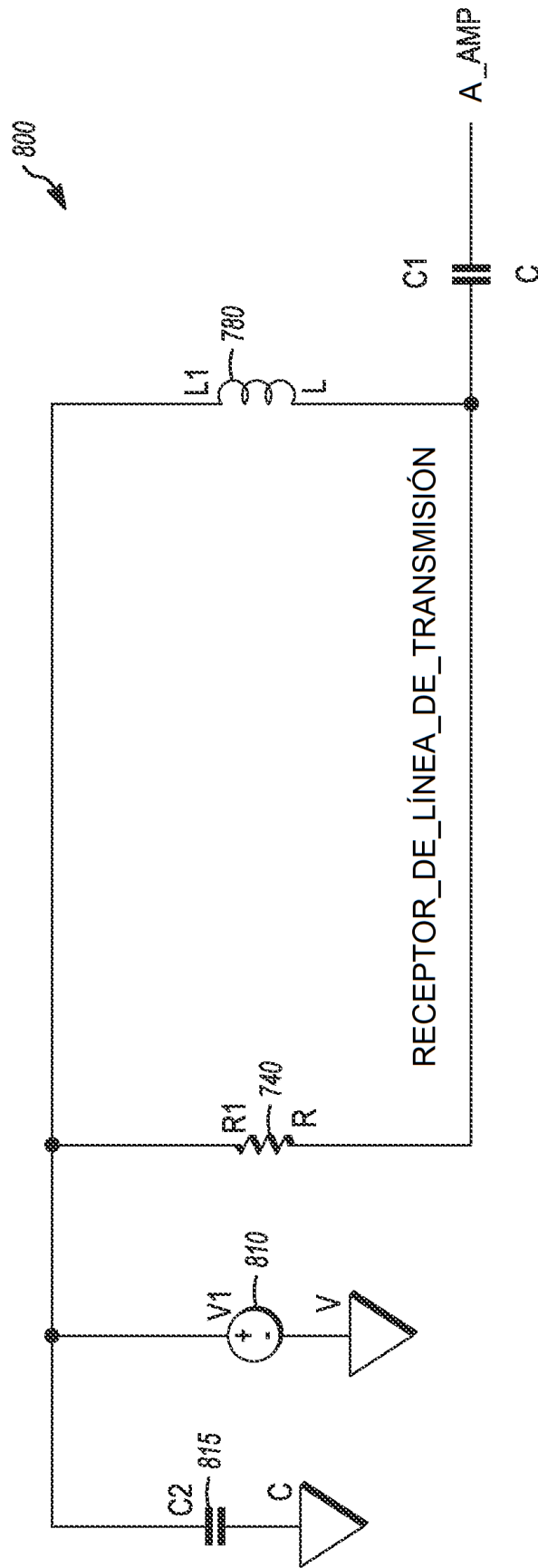


FIG. 16

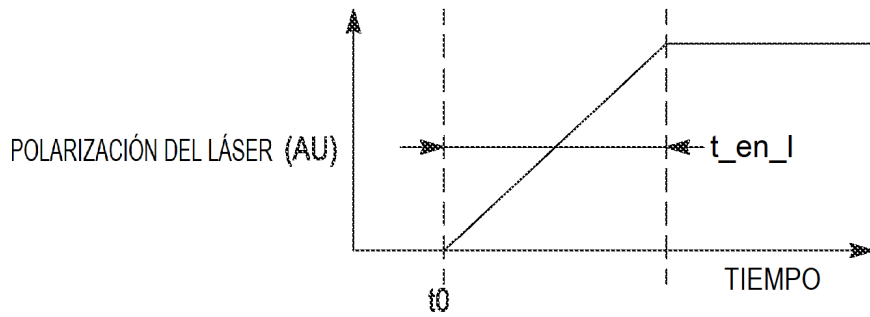
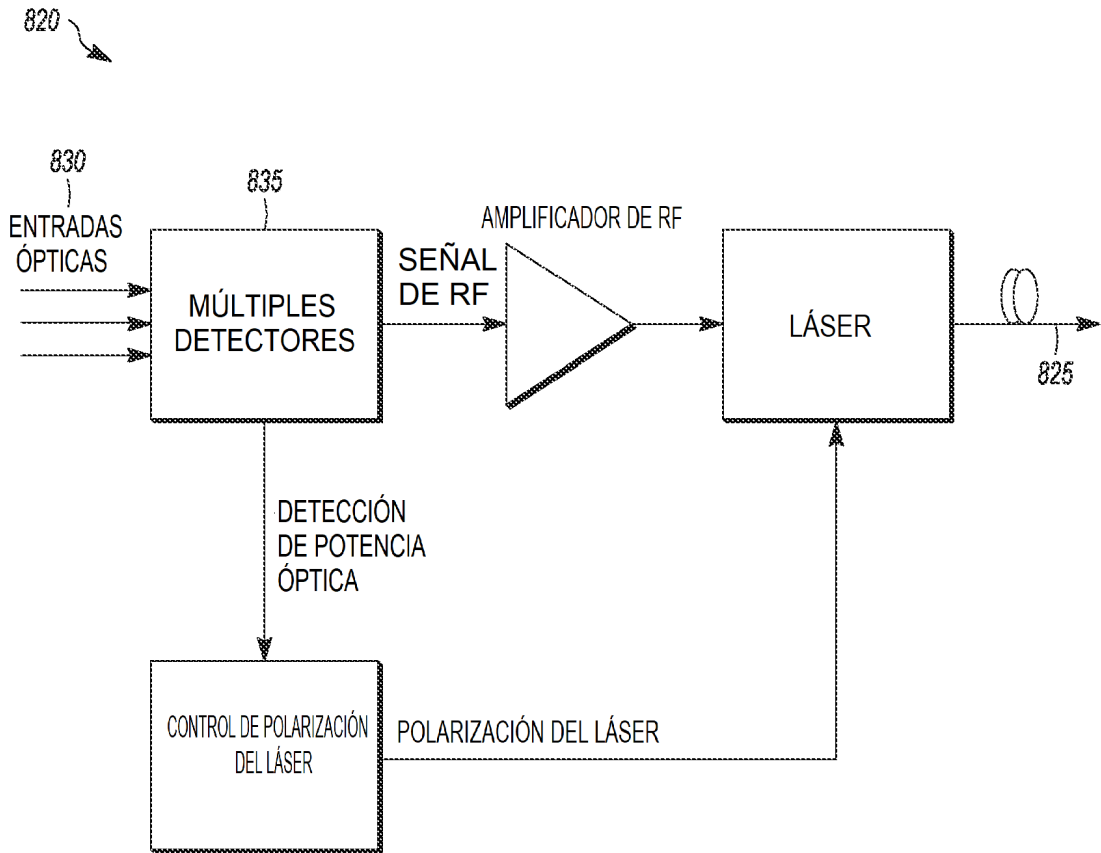


FIG. 17

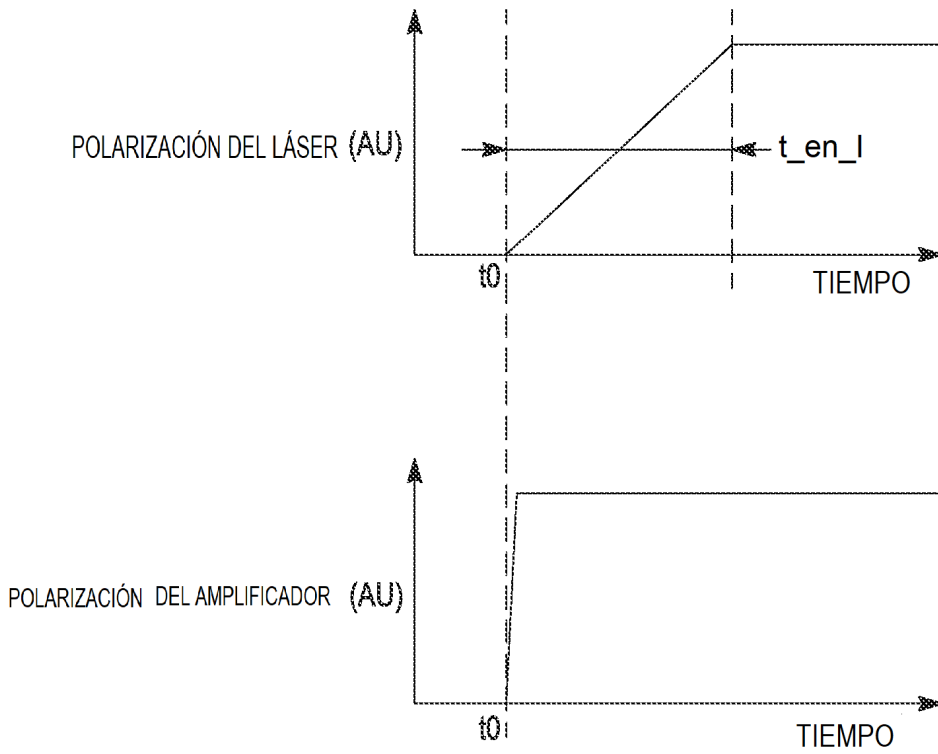
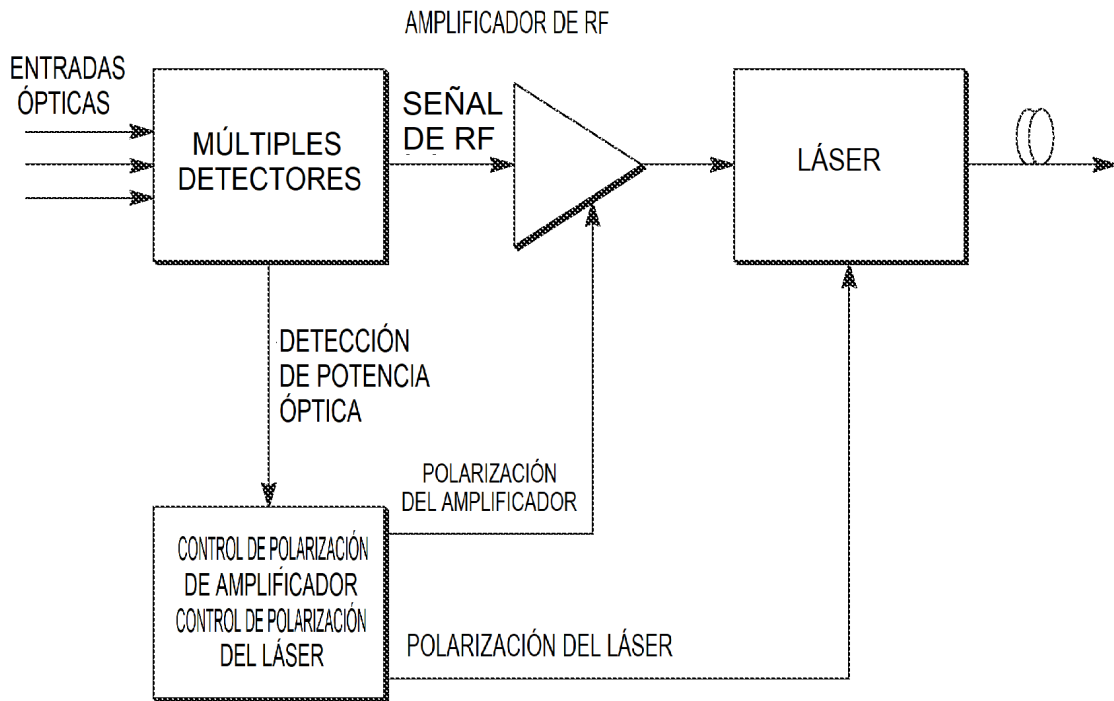


FIG. 18

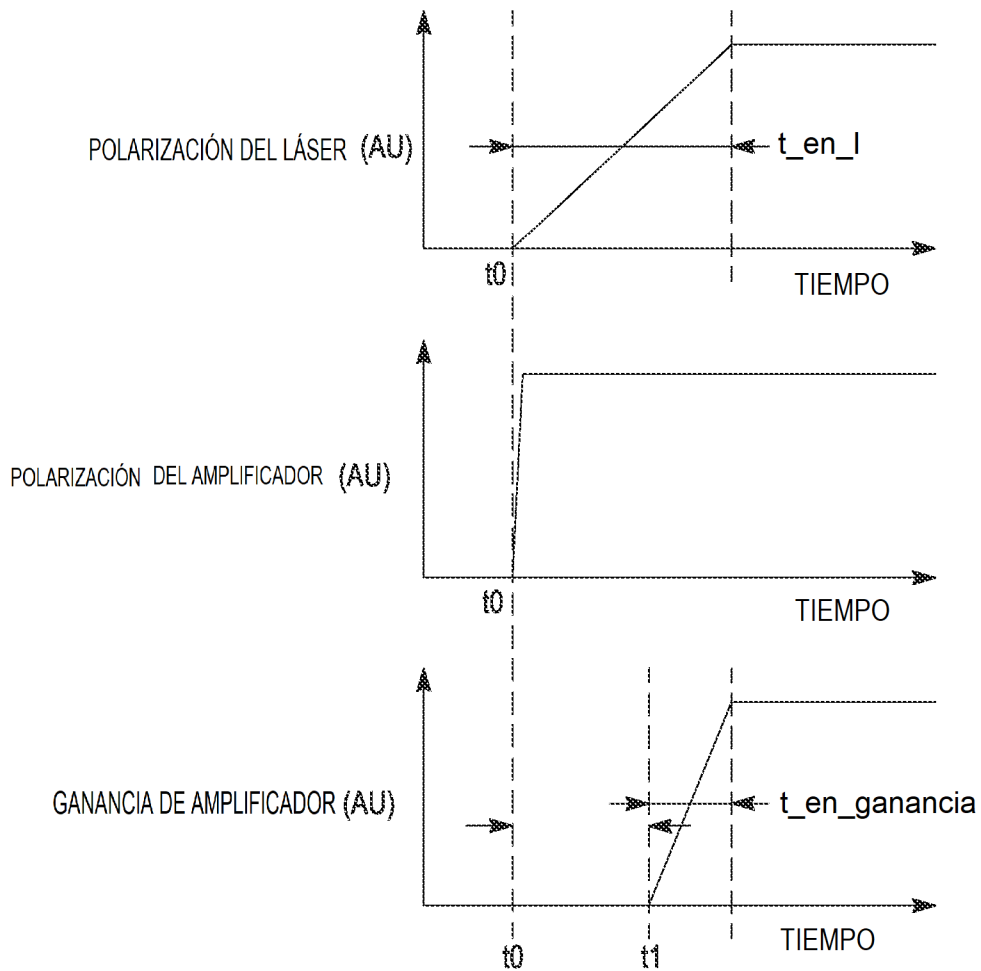
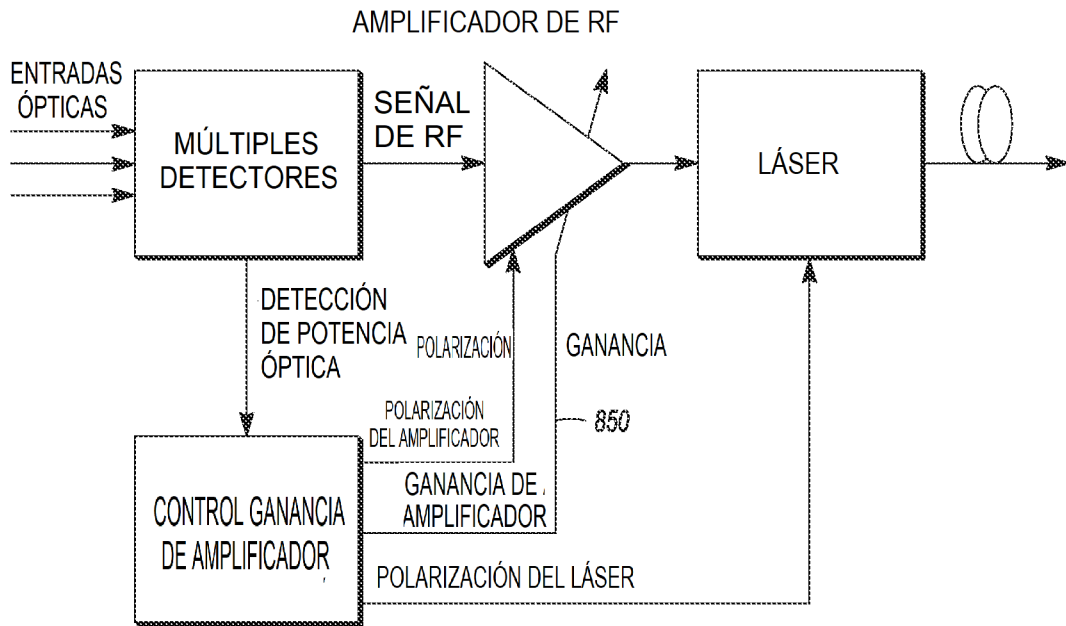


FIG. 19