

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 762 788**

51 Int. Cl.:

**H04B 10/079** (2013.01)

**H04J 14/02** (2006.01)

**H04N 7/22** (2006.01)

**H04B 10/2575** (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.04.2015 PCT/US2015/023983**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.10.2015 WO15164036**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.04.2015 E 15718301 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2019 EP 3134985**

54 Título: **Sistema y aparato para la calibración del índice de modulación óptica en una red de televisión por cable (CATV)**

30 Prioridad:

**21.04.2014 US 201461982089 P**

**25.04.2014 US 201461984303 P**

**29.08.2014 US 201462043793 P**

**18.09.2014 US 201462052213 P**

**18.02.2015 US 201514625608**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.05.2020**

73 Titular/es:

**ARRIS ENTERPRISES LLC (100.0%)**

**3871 Lakefield Drive**

**Suwanee, GA 30024, US**

72 Inventor/es:

**SCHEMMANN, MARCEL F. y**

**MUTALIK, VENKATESH G.**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 762 788 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**

Sistema y aparato para la calibración del índice de modulación óptica en una red de televisión por cable (CATV)

5 REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

Esta aplicación reivindica el beneficio de prioridad bajo 35 U.S.C. § 119(e) a la Solicitud Provisional de los EE.UU. N°. 62/043793 presentada el 29 de agosto de 2014, la Solicitud Provisional de los EE.UU. N°. 62/052213, presentada el 18 de septiembre de 2014, la Solicitud Provisional de los EE.UU. N°. 61/984303 presentada el 25 de abril de 2014, y la Solicitud Provisional de los EE.UU. N°. 61/982089, presentada el 21 de abril de 2014.

10

ANTECEDENTES

La presente descripción se refiere a sistemas y métodos que procesan señales a través de una red de transmisión por cable.

15

Aunque las redes de Televisión por Cable (CATV) originalmente entregaban contenido a los abonados a grandes distancias utilizando un sistema de transmisión exclusivamente de RF, los sistemas de transmisión de CATV modernos han reemplazado gran parte de la trayectoria de transmisión de RF con una red óptica más eficaz, creando un sistema de transmisión híbrido donde se origina el contenido del cable y termina como señales de RF sobre cables coaxiales, pero se convierte en señales ópticas para la transmisión en la mayor parte de la distancia intermedia entre el proveedor de contenido y el abonado. Específicamente, las redes CATV incluyen una cabecera en el proveedor de contenido para recibir señales de RF que representan muchos canales de contenido. La cabecera recibe las respectivas señales de contenido de RF, las multiplexa utilizando una red de combinación de RF, convierte la señal de RF combinada en una señal óptica (típicamente utilizando la señal de RF para modular un láser) y emite 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 abonados. A continuación, el nodo invierte el proceso de conversión demultiplexando la señal óptica recibida y convirtiéndola nuevamente en una señal de RF para que pueda ser recibida por los espectadores.

20

25

Las redes de televisión por cable (CATV) han evolucionado continuamente desde su primer despliegue como sistemas relativamente simples que entregan canales de video unidireccionales desde un proveedor de contenido. Los primeros sistemas incluían transmisores que asignaban varios canales CATV a bandas de frecuencia separadas, cada una de aproximadamente 6 MHz. Los avances posteriores han permitido una comunicación de retorno limitada de los abonados de vuelta al proveedor de contenido, bien a través de una pequeña señal dedicada de baja frecuencia propagada a la red coaxial. Sin embargo, las redes CATV modernas proporcionan no solamente una cantidad mucho mayor de canales de contenido, sino que también proporcionan servicios de datos (tal como el acceso a Internet) que requieren que se asigne un ancho de banda mucho mayor para las trayectorias de ida y vuelta. En la especificación, los dibujos y las reivindicaciones, los términos "trayectoria hacia delante" y "aguas abajo" se pueden utilizar indistintamente para referirse a una trayectoria desde una cabecera a un nodo, un nodo a un usuario final o una cabecera a un usuario final. A la inversa, los términos "trayectoria de retorno", "trayectoria inversa" y "aguas arriba" pueden utilizarse indistintamente para referirse a una trayectoria desde un usuario final a un nodo, un nodo a una cabecera o un usuario final a una cabecera.

30

35

40

Las mejoras recientes en las arquitecturas de CATV que proporcionan mejoras adicionales en la entrega de contenido incluyen arquitecturas de Fibra Óptica hasta las Instalaciones (FTTP) que reemplazan la red coaxial entre un nodo y el hogar de un abonado con una red de fibra óptica. Tales arquitecturas también se denominan arquitecturas de radiofrecuencia sobre fibra (RFOG). Un beneficio clave de RFOG es que proporciona velocidades de conexión más rápidas y más ancho de banda de lo que las trayectorias de transmisión coaxial actuales son capaces de ofrecer. Por ejemplo, un solo conductor de par coaxial de cobre puede transportar seis llamadas telefónicas simultáneas, mientras que un solo par de fibra puede transportar más de 2,5 millones de llamadas telefónicas simultáneamente. FTTP también permite a los consumidores agrupar sus servicios de comunicaciones para recibir teléfono, video, audio, televisión cualesquiera otros productos o servicios de datos digitales simultáneamente.

45

50

Un impedimento existente de los canales de comunicación RFOG es la Interferencia Óptica por Golpes (OBI), que afecta a las redes tradicionales de RFOG. La OBI ocurre cuando dos o más transmisores de trayectoria inversa están encendidos, y tienen una longitud de onda muy cercana entre sí. La OBI limita el tráfico aguas arriba, pero también puede limitar el tráfico aguas abajo. Los esfuerzos existentes para mitigar la OBI se han centrado en las Unidades de Red Óptica (ONU) en las instalaciones del cliente, o en el CMTS en la cabecera. Por ejemplo, algunos intentos de mitigar la OBI hacen que la longitud de onda de las ONU sea específica, mientras que otros intentos crean un planificador compatible con RFOG en el CMTS. Otros intentos más han incluido cambiar las longitudes de onda de la ONU sobre la marcha. Debido a la naturaleza fundamental de los láseres y el tráfico DOCSIS, ninguna de las técnicas anteriores arroja resultados satisfactorios ya que todavía se producen colisiones de longitud de onda o el coste es elevado. Así, puede ser deseable en despliegues de RFOG para reducir o eliminar aún más la OBI.

55

60

El documento EP 1 235 434 A2 describe una red de telecomunicaciones que hace uso de fibras ópticas para transportar la señal CATV de ancho de banda modulada en amplitud a las instalaciones del abonado y para transportar una señal del tipo DOCSIS desde las instalaciones del abonado a la cabecera. Un repetidor optoelectrónico de ancho de banda dual regenera la señal que llega desde la cabecera y la retransmite a lo largo de

65

una pluralidad de fibras en paralelo que la transmiten a las instalaciones del abonado. El mismo repetidor regenera la señal óptica que llega desde los abonados individuales y la retransmite óptica o eléctricamente a la cabecera. Un microprocesador programable se utiliza para la conexión y desconexión remota de los abonados individuales hacia y desde el repetidor de ancho de banda.

- 5
- BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS DISTINTAS VISTAS DE LOS DIBUJOS
- La Figura 1 muestra una arquitectura de RFoG existente.  
 La Figura 2 muestra una arquitectura de RFoG mejorada.  
 La Figura 3 compara las capacidades de las arquitecturas de las Figuras 1 y 2.  
 10 La Figura 4 muestra una trayectoria de transmisión de RFoG entre un CMTS y un cable módem.  
 La Figura 5 muestra una ONU mejorada que mitiga el recorte.  
 La Figura 6 muestra una segunda ONU mejorada que mitiga el recorte.  
 La Figura 7 muestra un espectro de salida de ONU que tiene un tiempo de subida de 100 ns.  
 La Figura 8 muestra un espectro de salida de ONU que tiene un tiempo de subida de 1000 ns.  
 15 La Figura 9 muestra un tiempo de respuesta de una ONU a una señal de RF.  
 La Figura 10 muestra una ONU que tiene una polarización del láser y un control de ganancia del amplificador de RF.  
 La Figura 11 muestra el tiempo de respuesta de una ONU con un control de ganancia de RF en proporción al control de polarización del láser.  
 20 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 del láser.  
 La Figura 13 muestra una ONU que tiene una ganancia de amplificador separada y un control de polarización del láser.  
 La Figura 14 muestra una estructura de receptor de línea de transmisión.  
 25 La Figura 15 muestra una conexión del receptor de línea de transmisión a 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 funcionamiento en modo ráfaga óptica.  
 La Figura 18 muestra un combinador activo con un funcionamiento de modo de ráfaga óptica que incluye control de polarización del amplificador.  
 30 La Figura 19 muestra un combinador activo con OBM, polarización del láser, polarización del amplificador y control de ganancia.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

35 La Figura 1 muestra un sistema 10 de RFoG ejemplar existente, donde una cabecera 12 entrega contenido a una ONU 14 en las instalaciones de un cliente a través de un nodo 16. Una topología de RFoG incluye un servicio totalmente de fibra desde la cabecera 12 a un nodo de campo o unidad de red óptica (ONU), que típicamente se encuentra en o cerca de las instalaciones del usuario. En la cabecera 12, un láser aguas abajo envía una señal de transmisión que se divide ópticamente varias veces. La unidad de red óptica, u ONU, recupera la señal de  
 40 transmisión de RF y la pasa a la red coaxial del abonado.

La cabecera 12 incluye típicamente un transmisor 18 que entrega una señal aguas abajo a uno o más divisores pasivos 20 de 1x32 que incluye 32 puertos de salida, cada puerto de salida conectado a un divisor 28 de multiplexor de división de longitud de onda (WDM) que entrega el contenido aguas abajo sobre una segmento 24 de transmisión  
 45 de fibra al nodo 16, que a su vez incluye otro divisor 22 de 1x32, donde cada puerto de salida del divisor 22 está conectado mediante otro segmento 26 de fibra a una ONU 14 particular en las instalaciones de un abonado.

Las unidades de red óptica (ONU) en un entorno de RFoG finalizan la conexión de fibra en una interfaz del lado del abonado y convierten el tráfico para la entrega a través de la red doméstica en las instalaciones del cliente. El cable coaxial se puede utilizar para conectar las ONU de una red RFoG a uno o más dispositivos de usuario, donde los dispositivos de usuario de RFoG pueden incluir cable módems, EMTA o decodificadores, como con los dispositivos de usuario de una red HFC. Por ejemplo, la ONU 14 puede conectarse a decodificadores, cable módems o elementos de red similares mediante un cable coaxial, y uno o más de los cable módems pueden conectarse al cableado telefónico interno del abonado y/o a ordenadores personales o dispositivos similares mediante conexiones  
 50 Ethernet o Wi-Fi.  
 55

Los expertos en la técnica apreciarán que la arquitectura anterior es solamente ilustrativa. Por ejemplo, el número de puertos de los divisores 20 y 22 puede cambiarse, según se desee. También debería comprenderse que la cabecera 12 puede incluir más divisores 20, teniendo cada divisor salidas conectadas a un nodo respectivo de tal manera que sirva a un gran número de abonados.  
 60

A lo largo de la trayectoria de retorno desde la ONU 14 del abonado hasta la cabecera 12, el divisor 22 funciona como un combinador, es decir, hasta 32 ONU pueden entregar señales de trayectoria de retorno al nodo 16, que las combina para la transmisión aguas arriba a lo largo de la longitud 24 de fibra. Cada una de las señales de la ONU 14 respectiva se separa a continuación de otras señales por el WDM 28 para ser recibida por un receptor 30 separado en la cabecera 12. Las señales de los receptores respectivos se combinan a continuación mediante un combinador  
 65

32 para su transmisión a un Servicio de Terminación de Cable Módem (CMTS) en la cabecera 12. El combinador 32 combina las señales en el dominio de RF en la cabecera 12 antes de que se conecten al puerto aguas arriba CMTS. En combinación con el límite de potencia hacia delante en la fibra, las señales combinadas requieren una fibra hacia delante (L1 km) por grupo de 32 abonados.

En la dirección hacia delante, el transmisor hacia delante se proporciona a un amplificador de multi-puerto de mayor potencia que distribuye la potencia. Por ejemplo, en la cabecera 12, el transmisor 18 proporciona salida a un amplificador de Fibra Dopada con Erblio (EDFA) 34 que distribuye internamente la potencia a través de las 32 salidas del combinador 20, cada salida funciona a una potencia relativamente alta, por ejemplo aproximadamente 18 decibelios-milivatios (dBm). El WDM 28 típicamente pasa luz a 1550 nm desde el EDFA 34 en dirección hacia delante y dirige la luz inversa, típicamente a 1610 nm o quizás a 1310 nm en dirección inversa a los receptores 30. El WDM 28 puede estar conectado a una fibra de longitud L1 que alimenta el divisor 22 en el nodo 16. Las salidas del divisor 22 se proporcionan cada una a las segundas fibras de longitud L2 que están conectadas respectivamente a las ONU 14 en los hogares de los abonados. Típicamente, L1+L2 puede ser de hasta 25 km. Las ONU 14 convierten la luz transmitida hacia adelante a señales de RF para la red coaxial doméstica. Las ONU 14 también reciben señales de RF desde la red doméstica y modulan estas señales en un láser, que funciona a 1610 nm, por ejemplo, y la salida del láser se envía aguas arriba en la fibra L2. La señal aguas arriba se combina con otras señales aguas arriba en el combinador 22 y se transmite más aguas arriba en la fibra L1. En el WDM 28, las señales aguas arriba se dirigen hacia los receptores 30 de cabecera.

El presupuesto de pérdidas para 32 abonados y 25 km de fibra requiere un receptor en la cabecera 12 por cada grupo de 32 abonados; dada una potencia de transmisión aguas arriba de 3 dBm, los receptores 30 y el WDM 28 pueden funcionar típicamente a una potencia entre -18 y -21 dBm, haciendo un reto la buena relación señal a ruido, de tal manera que normalmente se requieren receptores de banda limitada para un rendimiento aceptable. Además, el combinador 22 óptico pasivo que combina múltiples entradas ópticas a una sola salida, por definición, crea una OBI entre estas entradas, como se ha descrito anteriormente y, por lo tanto, creará ruido en el dominio de RF en los receptores 30 de cabecera. Además, también se debe asumir una pérdida de alrededor de 24 dB en la trayectoria hacia delante; para una potencia de salida EDFA de 18 dBm por puerto, esto proporciona una potencia de -6 dBm a los receptores. Esto es suficiente para un rendimiento aceptable en la ONU a 1 GHz, siempre que se utilicen receptores de bajo ruido y de alta ganancia.

Las técnicas descritas para eliminar una OBI son deseables, y la manera descrita para eliminar una OBI como se ha descrito puede posibilitar una mayor capacidad en el flujo aguas arriba y aguas abajo. Además, el combinador descrito y las características del combinador pueden posibilitar la coexistencia de RFoG junto con los sistemas HFC/D3.1 tradicionales y futuros sistemas PON potenciales. La eliminación de la OBI es crítica en algunos sistemas para desbloquear el vasto potencial de la fibra óptica. En la presente memoria se describen con más detalle realizaciones para una arquitectura que incorpora el sistema combinador óptico descrito.

La Figura 2 muestra un sistema 100 mejorado para entregar contenido de CATV a una pluralidad de abonados a través de una red RFoG. La arquitectura muestra una cabecera 110 que tiene un transmisor 112 y un receptor 114 cada uno conectado a un divisor 116 de WDM que emite una señal hacia y recibe una señal desde un enlace 118 de fibra de L1 km. El enlace 118 de fibra está conectado a una unidad 120 de divisor/combinador activo. La unidad 120 de divisor/combinador puede incluir preferiblemente un WDM 122 que separa las señales de trayectoria hacia delante de las señales de trayectoria inversa. La señal de trayectoria hacia delante del WDM 122 se proporciona a un EDFA 124 que emite una señal óptica amplificada a un divisor 126 de 1x32 activo que tiene 32 puertos de salida, cada uno a los respectivos segundos enlaces 128 de fibra. En cada puerto, el nivel de potencia puede ser modesto (por ejemplo, en el intervalo de 0-10 dBm) pero también puede ser elevado (por ejemplo, en el intervalo de 18 dBm).

En la dirección inversa, el divisor 126 de puerto de 1x32 funciona como un combinador 126 activo, e incluye, en cada puerto, un WDM que dirige la luz aguas arriba a un detector en el puerto, que convierte las señales ópticas recibidas en señales eléctricas, las amplifica en el dominio de RF y proporciona las señales eléctricas a un transmisor 129 que emite luz a, por ejemplo, 1610 nm, 1310 nm, o alguna otra longitud de onda apropiada, proporcionada al WDM 122, que a su vez dirige la luz aguas arriba hacia la fibra 118. En la cabecera 110, la fibra 118 está conectada al WDM 116 que dirige la luz aguas arriba al receptor 114.

Cada uno de los 32 puertos del divisor/combinador 126, a través de una fibra 128 respectiva, emite una señal respectiva a una segunda unidad 130 de divisor/combinador activo del mismo tipo y configuración que la unidad 120 de divisor/combinador. La longitud o longitudes de la fibra 128 pueden variar entre sí. La potencia de salida por puerto divisor es baja, alrededor de 0 dBm. Los puertos divisores están conectados a las ONU 140, por ejemplo en una Unidad de Vivienda Múltiple (MDU) o en un vecindario, mediante la fibra 132 de longitud L3. En un sistema RFoG básico, la suma de las longitudes de fibra L1+L2+L3 es de hasta 25 km. Sin embargo, el sistema 100 permitirá una mayor longitud total de fibra entre la cabecera 110 y las ONU 140, tal como 40 km, porque el sistema 100 puede tolerar una pérdida de SNR más alta, como se describe más adelante.

Las señales aguas arriba de la ONU 140 se terminan individualmente de manera directa en la unidad 130 de divisor/combinador activo; incluso para las ONU que funcionan a 0 dBm, la potencia que llega a los detectores es de

alrededor de - 2 dBm (la fibra 132 es una fibra corta de unos pocos kilómetros y la pérdida de WDM dentro del combinador activo es pequeña). Esto es casi 20 dB más alto que en los sistemas RFoG existentes, lo que significa que los niveles de RF después del detector en el divisor 134 son casi 40 dB más altos que en los sistemas RFoG existentes. Como consecuencia, la cifra de ruido del receptor no es crítica, y los receptores de alto ancho de banda se pueden utilizar con un rendimiento de ruido relativamente pobre. La señal de RF recibida se retransmite mediante el transmisor 136 a lo largo de la trayectoria inversa hacia la fibra 128 y es recibida y retransmitida por la unidad 120 de divisor/combinador activo precedente y después a la cabecera 110. Aunque la retransmisión repetida conduce a una reducción incremental en la SNR, las mejoras en la SNR de la arquitectura activa proporcionan un rendimiento general mucho mayor en relación con los sistemas RFoG tradicionales. Más importante, ya que todas las señales inversas se terminan individualmente en detectores separados, no puede haber interferencia óptica por golpes (OBI) entre diferentes señales inversas. Las señales inversas no se combinan ópticamente, por lo tanto, la OBI no puede ocurrir.

Aunque en algunas realizaciones, las unidades de divisor/combinador de RF tales como 120 y 130 puede utilizar un combinador de RF para combinar las respectivas señales eléctricas de cada detector en cada puerto, esto puede producir pérdidas inaceptables en la transmisión aguas arriba de la ONU a la cabecera. Por lo tanto, las unidades 120 y 130 de divisor/combinador de RF tienen preferiblemente los detectores dispuestos en una estructura de línea de transmisión tal como se muestra en la Figura 14, que no incurrirá en tal pérdida de señal alta.

En la dirección hacia delante puede haber múltiples EDFA, tales como EFDA 124 en la unidad 120 de divisor/combinador; Estos EDFA son dispositivos rentables de una sola etapa con baja disipación de energía, típicamente de 2 vatios o menos. La conexión en cascada de los EDFA da como resultado una acumulación de ruido debido a las cifras de ruido finito de los EDFA. Mientras que la arquitectura de divisor activo no requiere los EDFA, dado que un EFDA (no mostrado) en una cabecera 110 de alta potencia todavía podría utilizarse para proporcionar energía a las ONU 140, el uso de los EDFA, tales como el EFDA 124, dentro de las unidades de divisor activo proporcionan algunas ventajas. Por ejemplo, la complejidad y la disipación de potencia de equipos en la cabecera 110 se reducen considerablemente, al igual que el recuento de fibras que emana de la cabecera 110. La cantidad de energía entregada a las ONU 140 se incrementa fácilmente a aproximadamente 0 dBm desde -6 dBm en un sistema RFoG tradicional. Como consecuencia, los receptores ONU obtienen 12 dB más de nivel de RF de sus detectores y no necesitan una ganancia de ruido tan alta o una contribución de ruido tan baja. Incluso con requisitos de ruido flexibles en los receptores de la ONU, el impacto de SNR debido al ruido EDFA se supera fácilmente debido a la mayor potencia recibida. Además, se puede soportar más espectro en la dirección hacia delante con una SNR aceptable en relación con las arquitecturas actuales, tales como 4 GHz en lugar de 1 GHz en la 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 descarga de 40 Gbps y velocidades de carga de 10 Gbps.

En algunas realizaciones, el combinador óptico proporciona una capacidad de RFoG aguas arriba y aguas abajo y una avenida completamente transparente y recíproca para la transmisión de PON. El combinador óptico puede posibilitar una transparencia completa para los despliegues de PON. Por ejemplo, el combinador óptico puede posibilitar características libres de OBI y de alta capacidad mediante el despliegue en redes FTTH capaces con HFC D3.1 compatibles. Asimismo, el combinador óptico puede incorporarse a la GPON, 1G-EPON, XGPON1, 10G/1G-EPON, 10G/10G-EPON. La compatibilidad con HFC y D3.1 posibilita que el combinador óptico descrito se despliegue junto con una red HFC actual, y está listo para D3.1. El combinador óptico puede desplegarse en un nodo de fibra, en unidades de vivienda múltiple (MDU) y en despliegues de viviendas unifamiliares (SFU).

Las realizaciones para un combinador de RFoG incluyen impedir o eliminar la OBI en el combinador en lugar de administrarlo en las extremidades de la red (tal como utilizar un planificador CMTS en el lado de la cabecera de la red o ONU específicas de longitud de onda en la extremidad de la red del abonado) Se describen realizaciones que posibilitan la eliminación de la OBI. El combinador óptico descrito puede utilizarse para eliminar la OBI, mejorar la capacidad y/o posibilitar múltiples servicios en RFoG, la versión de cable de las redes FTTH.

El combinador óptico descrito puede ser independiente de las ONU, los cable módems y los CMTS. El combinador óptico descrito puede ser independiente del CMTS, eliminando así la necesidad de crear un planificador que reconozca RFoG, que es a la vez restrictivo y requiere mucho tiempo. El combinador óptico hace que una versión de cable de FTTH sea más factible, en comparación con las alternativas PON. Por ejemplo, en las realizaciones, el combinador óptico descrito tiene una capacidad PON directa recíproca del combinador óptico junto con una alta capacidad de flujo aguas arriba y aguas abajo, que ayuda al despliegue de RFoG sin interrupción en el sistema subyacente, o perjudica la inclusión futura de la funcionalidad PON, tal como el posterior despliegue de PON en un sistema RFOG.

En algunas realizaciones, el combinador óptico tiene 32 puertos, pero solamente requiere un puerto de transmisión, un puerto de recepción y un componente WDM en la cabecera. Así, en lugar de requerir 32 WDM y 32 puertos de recepción, el combinador óptico descrito puede ahorrar espacio y energía en la cabecera. El combinador puede ser un dispositivo activo que necesita aproximadamente 2 vatios de potencia. El combinador óptico puede ser alimentado por fuentes de potencia fácilmente disponibles en el sistema RFoG, o se puede suministrar energía al

combinador óptico. La fuente de energía puede incluir una batería de respaldo o alternativas de energía solar/fibra. Si se pierde la energía y la batería también se ha agotado, la transmisión PON recíproca completa no se ve afectada. Sin embargo, la transmisión de RFoG aguas arriba se detiene. En un sistema RFoG convencional, se habría detenido también porque la preponderancia de la OBI habría perjudicado gravemente el sistema de todos modos si el sistema fuera un sistema RFoG tradicional con un combinador pasivo. También en caso de pérdida de energía, la ONU (Unidad de Red Óptica) en los hogares dejaría de funcionar de tal manera que sin ningún respaldo de energía, tales sistemas dejarían de funcionar, ya sea que sean sistemas RFoG o PON, con o sin el combinador activo descrito aquí. El receptor 114 óptico de cabecera solamente puede necesitar un intervalo de potencia de entrada de 0.- 3 dBm, y requiere 15 dB menos de potencia de salida de RF debido a la ausencia del combinador de RF de tal manera que con una potencia de entrada óptica alta y un requisito de potencia de salida de RF baja la ganancia puede ser baja.

El combinador óptico descrito puede eliminar preferiblemente la OBI, haciendo un sistema libre de OBI. El combinador óptico posibilita grandes divisiones y de largo alcance, por ejemplo de hasta 40 km y 1024 divisiones, que se expandirán aún más. La alta capacidad aguas arriba y aguas abajo posibilitada por el combinador óptico descrito incluye hasta 10G DS/1G US, y hasta 40G DS/10G US.

En las realizaciones, el combinador óptico descrito impide la interferencia en los despliegues de RFOG en el combinador en lugar de impedir la interferencia utilizando medidas tomadas en la ONU donde los intentos previos han fallado o se ha comprobado que tienen un coste prohibitivo.

Las arquitecturas de RFoG tradicionales tienen un presupuesto de energía fijo. Esto significa que cuando aumenta la longitud de fibra entre la cabecera y las ONU, se puede utilizar un número menor de divisiones, como puede verse en la Figura 3 donde la línea curva inferior representa la arquitectura existente y la línea curva superior representa la arquitectura activa descrita en la presente memoria. Por el contrario, cuantas más divisiones se deseen, menos longitud de fibra se puede desplegar. Sin embargo, la arquitectura activa descrita posibilita una longitud de fibra de hasta aproximadamente 40 km, independientemente del número de divisiones utilizadas, lo que significa que la arquitectura activa descrita permite longitudes de fibra de 40 km o más junto con una gran cantidad de divisiones, por ejemplo, 1024, avanzando por tanto la topología y el despliegue de FTTP.

El coste total de la arquitectura de divisor activo que se muestra en la Figura 2 es similar al de una solución RFoG tradicional. El coste de los bloques de ganancia EDFA de divisor activo y los componentes de WDM y de detector en la arquitectura activa se compensa con la eliminación de engranajes de cabecera tales como receptores, EDFA de alta potencia y combinadores. Una reducción de costes de las ONU que pueden funcionar con una potencia de salida más baja es compatible con la arquitectura de divisor activo. Otras ventajas de la arquitectura de divisor activo pueden incluir una reducción en el recuento de fibra saliente desde la cabecera, que puede tener un gran impacto en el coste del sistema, así como una opción para utilizar las ONU inversas de 1310 nm mientras que se mantiene dentro de un presupuesto de pérdida de SNR típico, lo que puede reducir aún más los costes. También, el sistema que se muestra en la Figura 2 exhibe un ancho de banda aumentado en relación con lo que las arquitecturas de RFOG existentes son capaces de proporcionar, evitando los límites en los tamaños de los grupos de servicio y los requisitos concomitantes para más puertos de retorno CMTS. Finalmente, a diferencia de las técnicas de mitigación de OBI en las arquitecturas de RFoG existentes, el sistema que se muestra en la FIGURA 2 no requiere ópticas enfriadas o de temperatura controlada y enlaces de comunicación bidireccionales que requieren inteligencia adicional de la ONU.

Cada uno de estos factores proporciona una ventaja adicional de coste adicional de una solución de divisor activo a través de las arquitecturas de RFoG existentes. El espacio y la potencia requeridos en la cabecera también se reducen; La solución de divisor activo requiere un puerto de transmisión, un puerto de recepción y un componente de WDM. Las arquitecturas de RFoG existentes, por otro lado, requieren puertos de transmisión, EDFA de múltiples puertos de alta potencia, 32 puertos receptores y un combinador de RF de 32 puertos. Las arquitecturas de RFoG existentes requieren muy poco ruido, alta ganancia y receptores de potencia de salida con métodos de silenciamiento 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 requiere poca ganancia y requiere 15 dB menos de potencia de salida debido a la ausencia del combinador de RF antes del CMTS.

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 se puede lograr en configuraciones unidireccionales o bidireccionales. Un sistema unidireccional no proporciona señales de comunicación de control desde un divisor óptico activo a una ONU, es decir, las señales de comunicación de control solamente pasan desde una ONU a un divisor activo. Así, en un sistema unidireccional, un divisor óptico activo simplemente acepta un nivel de salida de una ONU y funciona con ese nivel de salida. Un sistema bidireccional transmite señales de control desde un divisor óptico activo a las ONU para indicarles que ajusten su potencia de salida; este tipo de sistema permite una igualación precisa de los niveles de entrada al divisor óptico activo de cada ONU.

Algunos sistemas de divisor/combinador activo pueden incluir preferiblemente redundancia donde los divisores

5 ópticos activos cambian su potencia láser de retorno (el láser de retorno que transporta la información combinada de las ONU conectadas a él) entre un estado de alta y baja potencia o hace funcionar este láser en modo CW. En ese caso, una cabecera aguas arriba o un divisor óptico activo pueden detectar fácilmente la pérdida de potencia en un puerto de entrada y posibilitar un segundo puerto de entrada conectado a otra trayectoria de fibra para recibir la información; en la trayectoria hacia delante, la otra trayectoria de fibra también se activaría en este caso porque generalmente la luz hacia adelante y hacia atrás comparte la misma fibra. También, algunos sistemas de divisor/combinador activo pueden incluir un láser inverso en el divisor óptico activo que ajusta su potencia de salida en función del número de transmisor de ONU al divisor óptico activo y la fotocorriente recibida de estas ONU. Aún otros sistemas de divisor/combinador activo pueden tener un factor de ganancia y potencia de láser inversa del divisor óptico activo establecido en un valor fijo.

15 Preferiblemente, la unidad de combinador óptico descrito es capaz de configurarse a sí misma en circunstancias cambiantes. Se producen momentos en los que se requieren cable módems en la ONU para comunicarse con el CMTS incluso si no hay datos para transmitir. Normalmente, sin embargo, la ONU se apaga durante los períodos en que no hay datos que se transmitan entre la ONU y el CMTS, y un cable módem podría pasar horas antes de recibir o enviar datos. Así, en algunas realizaciones, la unidad de combinador descrito puede configurarse para permanecer en comunicación con el CMTS. Es posible que se requieran cable módems para comunicarse de nuevo con el CMTS una vez cada 30 segundos, o algún otro intervalo apropiado.

20 Modos operacionales de la ONU y prevención de recorte láser

En las arquitecturas de RFOG tradicionales, las ONU transmiten información en ráfagas y, en cualquier momento, una o más ONU pueden encenderse y comenzar a transmitir información. Como lo requiere la especificación DOCSIS, todas las ONU se sondean repetidamente con un intervalo de hasta 5 minutos, aunque pero normalmente de menos tiempo. Cuando una ONU se enciende, la potencia óptica transmitida por la ONU aumenta de cero a la potencia de salida nominal en poco tiempo. Como consecuencia, la potencia óptica recibida por el divisor activo desde esa ONU pasa a través de esa misma transición. La velocidad de respuesta con la que la ONU puede encenderse está restringida por la especificación DOCSIS, pero la transición aún es relativamente abrupta, parecida a una función de paso. Como es bien conocido por la teoría de la señal, una función de paso tiene un espectro de frecuencia que contiene energía significativa en las frecuencias bajas, con una energía decreciente cuando aumenta la frecuencia. Si se permitiera que la energía de baja frecuencia se retransmitiera sin impedimentos por el láser de divisor activo al retransmitir señales, entonces la señal podría sobre-impulsar el láser y causar el recorte del láser. Para evitar tal recorte, se pueden utilizar varios enfoques.

35 En primer lugar, se puede implementar un filtro de paso alto empinado después de los detectores de divisor activo, lo que asegura que las señales de baja frecuencia inducidas en los fotodetectores de las ONU que encienden y apagan no sobre-impulsan el láser utilizado para la retransmisión. Tal filtro de paso alto debería construirse de manera que presente baja impedancia a los fotodetectores para bajas frecuencias, de tal manera que los fotodetectores no vean una fluctuación de polarización significativa cuando las ONU se encienden y apagan. Por ejemplo, si se utilizara un condensador de acoplamiento como primer elemento en un filtro que presenta una alta impedancia para los fotodetectores, entonces una ONU que se encienda podría dar como resultado una fluctuación de polarización significativa de los fotodetectores; tal filtro preferiblemente no debería utilizarse. En este contexto, una fluctuación de polarización significativa sería una fluctuación de más del 10%. Preferiblemente, el filtro de paso alto está configurado para limitar las fluctuaciones a niveles muy por debajo de esta cifra, por ejemplo del 5% o incluso del 2%. También, si el láser de retransmisión se utiliza en modo ráfaga, a continuación la velocidad de respuesta del láser de retransmisión debería limitarse preferiblemente cuando se enciende, de tal manera que limite la cantidad de espectro de baja frecuencia a los fotodetectores de las unidades de divisor activo precedentes.

50 Como se ha observado anteriormente, las ONU normalmente funcionan en modo ráfaga y esto causa los problemas asociados que se acaban de describir. El funcionamiento en modo de ráfaga de las ONU se requiere en una arquitectura de RFOG existente porque, de lo contrario, la probabilidad de ocurrencia de OBI sería muy alta y el sistema generalmente no funcionaría. Sin embargo, con la arquitectura de divisor activo, el OBI no puede ocurrir y la señal al margen de ruido es mucho mayor que con RFOG. Debido a esto, un segundo enfoque para reducir el recorte es hacer funcionar las ONU en un estado continuo "encendido" con la arquitectura activa descrita previamente. Para señales de entrega de 32 ONU a un divisor activo, el ruido de disparo y el ruido del láser se acumulan, pero el presupuesto de señal a ruido es tan alto que el rendimiento de SNR resultante es aún mucho mejor en relación con los sistemas de RFOG existentes. Como consecuencia, la arquitectura de divisor activo permite la operación de todas las ONU conectadas simultáneamente dado que la arquitectura de divisor activo elimina la OBI.

60 Una tercera opción para aliviar el recorte por láser es permitir que las ONU funcionen en modo ráfaga, pero detectar la cantidad de energía que sale de la ONU y atenuar la señal de las ONU de tal manera que impida el recorte. Con referencia a la Figura 4, utilizando un sistema 200 de RFOG tradicional, el CMTS 210 puede mantener constante el nivel de RF en un puerto de entrada de retorno. La señal de retorno se genera por un cable módem 220, proporcionado a una ONU 230 que incluye un transmisor óptico inverso y transmitido a través de una red óptica 240 a un receptor 250 ubicado junto con el CMTS que convierte la señal óptica de nuevo en una señal de RF y proporciona eso al CMTS 210. Debería comprenderse que la red óptica 240 puede contener elementos activos y pasivos. También debería comprenderse que la comunicación entre el cable módem 220 y el CMTS 210 es

bidireccional, es decir, hay señales de trayectoria tanto "hacia adelante" como "hacia atrás".

La trayectoria de comunicación que se muestra en la Figura 4 puede utilizarse para ajustar el nivel de salida del cable módem 220. En caso de que la pérdida de la ONU 230 al receptor 250 sea alta, o la pérdida del receptor 250 al CMTS 210 sea alta, entonces el CMTS 210 ajustará el nivel de salida del cable módem 220 a un nivel alto con el fin de obtener un nivel de entrada establecido en el CMTS o un nivel dentro de un rango predefinido en el CMTS. En los sistemas 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 cable módem 220 sobre-impulse la ONU 230, particularmente cuando aumenta la cantidad de espectro utilizado por el cable módem para soportar futuras cargas de datos pesadas. Cuando la ONU 230 se sobre-impulsa, entonces la señal de RF modulada en el láser de la ONU 230 se vuelve tan alta que el láser inverso en la ONU 230 es impulsado al recorte, es decir, la potencia de salida del láser oscila tan bajo que el láser está apagado. Esto provoca distorsiones graves de la señal y crea un amplio espectro de frecuencias que interfiere con la comunicación a lo largo de todo ese espectro.

La red óptica típicamente combina señales de múltiples ONU, cada ONU se comunica típicamente en otra banda del espectro de frecuencia. La comunicación de todas estas ONU se ve afectada por el amplio espectro inducido por las distorsiones, incluso si solo una ONU está recortando. Preferiblemente, este problema se resuelve de tal manera que las otras ONU no se vean afectadas, la ONU de recorte se lleva a un estado en el que todavía puede comunicarse y el CMTS genera una advertencia de que una ONU no está funcionando de manera óptima.

Una variación de la tercera opción que se acaba de describir es hacer funcionar las ONU en modo ráfaga, 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 la ONU nunca se apaga completamente, es decir, el láser siempre funciona por encima de su umbral de láser, y siempre puede ser vigilado por el divisor activo. La reducción de la potencia de salida cuando no está transmitiendo señales de RF reduce el ruido de disparo y del láser acumulado en el divisor activo de tal manera que se minimiza el impacto de la señal al ruido.

En circunstancias donde la unidad del combinador óptico transita a un estado de baja potencia en lugar de a un estado completamente apagado, la corriente del fotodiodo y un máximo/mínimo pueden rastrearse para la corriente del fotodiodo a través de todos los puertos del combinador, y así se puede utilizar un microcontrolador en el combinador óptico para seguir continuamente el máximo y el mínimo en un intervalo de tiempo especificado. Por ejemplo, si durante diez minutos la corriente máxima del fotodiodo es 0, entonces el combinador óptico determina que el cable módem o bien no está conectado, o bien tiene un enlace óptico defectuoso o bien está defectuoso. Opcionalmente, el combinador óptico activo puede indicar la ausencia de fotocorriente a una cabecera. El combinador óptico también es capaz de auto-configurarse si el combinador óptico puede determinar o no si la luz recibida es recibida en modo ráfaga, como en el funcionamiento normal de RFoG o CW (onda continua) como con un transmisor inverso de nodo. El combinador óptico es capaz de saber utilizando la señalización CMTS aguas arriba impuesta por el CMTS a los módems para analizar qué puertos funcionan, qué puertos están en silencio, qué puertos de entrada están conectados a las ONU y qué puertos de entrada están conectados a los transmisores inversos del combinador óptico, 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 potencia baja y alta o puede transportar información embebida en la señalización que indica la presencia de un combinador óptico adicional entre la ONU y el combinador óptico.

Para los divisores activos en cascada, los láseres de retorno en los divisores activos en cascada se pueden hacer funcionar de manera similar en modo ráfaga convencional donde el láser se apaga entre ráfagas, en modo de CW o en modo ráfaga que cambia entre un estado de potencia alta y baja. También debería comprenderse que el funcionamiento de CW de láseres inversos y/o de la ONU, o el funcionamiento en modo ráfaga con un nivel bajo y alto facilitan aún más la determinación de los niveles de entrada óptica a los puertos de entrada aguas arriba de los divisores activos. También debería comprenderse que, aunque los dispositivos y métodos descritos en la presente solicitud que impiden o de otro modo reducen el recorte por un láser que funciona en modo ráfaga se han descrito en el contexto de una ONU, los dispositivos y métodos utilizados para impedir el recorte por un láser en una ONU igualmente se pueden aplicar para impedir el recorte por un láser en un divisor activo como se ha descrito previamente.

La Figura 5 muestra un sistema que mitiga el recorte de láser que de otro modo podría resultar de las comunicaciones en modo ráfaga desde una ONU. Específicamente, una ONU 300 puede incluir un detector 310 rms de RF, un microcontrolador 320 y un algoritmo para ajustar un atenuador 330 en la ONU como resultado de la potencia detectada en el detector 310 rms de RF. La trayectoria inversa desde la ONU 300 se puede hacer funcionar en modo ráfaga; cuando se presenta una señal de RF a la entrada 340, entonces el láser 350 de ONU se enciende mediante el circuito 360 de polarización. Esto se puede lograr bien mediante un detector de RF adicional (no mostrado en la figura) en el circuito de entrada que activa directamente el circuito de polarización (flecha discontinua) o bien mediante el detector 310 de RF 310 y el microcontrolador 320 que activan la polarización y ajustan el nivel de polarización. Cuando se produce una ráfaga, el detector 310 de RF mide un nivel de potencia y se lo proporciona al microcontrolador 320. El microcontrolador también es consciente de la corriente de funcionamiento del láser 350 cuando se establece mediante el circuito 360 de polarización. Así, el microcontrolador 320 puede



calcular si el nivel de señal de RF es lo suficientemente grande como para inducir el recorte del láser inverso. Si no se produce ningún recorte, no es necesario tomar acciones adicionales y la ONU 300 puede retener un valor de atenuación de RF nominal. Si, en ese momento, la ONU no está en un valor de atenuación de RF nominal, el procedimiento es más complicado, esto será descrito más adelante en la especificación.

Si se produce un recorte, el microcontrolador 320 almacena el evento. Si se ha contado un número específico de eventos de recorte dentro de un intervalo de tiempo específico, entonces el microcontrolador 320 determina que la ONU 300 está teniendo una degradación significativa del rendimiento debido al recorte, y también está afectando significativamente a otras ONU en el sistema. En ese caso, el microcontrolador 320 calcula cuánto necesita aumentarse la atenuación de RF para eliminar el recorte utilizando mediciones de potencia de RF que se han registrado previamente. El microcontrolador 320 aumenta entonces la atenuación de RF a un nuevo valor de tal manera que el láser 350 se modula más fuertemente de lo normal (más índice de modulación que el valor nominal), pero aún por debajo del recorte. El microcontrolador 320 también puede aumentar opcionalmente el ajuste de polarización del láser para proporcionar más margen para la modulación láser.

Ya que la atenuación de la señal de la ONU 300 se ha aumentado, el nivel de RF visto por el CMTS al final del enlace cae. El CMTS intentará entonces indicarle al cable módem que aumente el nivel de salida para restaurar el nivel de entrada deseado para el CMTS. Esto puede resultar en cualquiera de los dos escenarios. En primer lugar, puede que el cable módem no sea capaz de aumentar aún más el nivel de salida y el CMTS enumerará el cable módem como una unidad problemática que no es capaz de alcanzar el nivel de entrada deseado para el CMTS. Esto no significa que el CMTS ya no pueda recibir señales del cable módem, ya que el CMTS tiene un amplio rango de entrada para aceptar señales. Por lo tanto, la trayectoria inversa todavía funciona en general, mientras que se habría visto gravemente afectada si el problema de recorte no se hubiera resuelto. En segundo lugar, el cable módem puede tener más margen, en cuyo caso el CMTS le indicará que aumente su nivel de salida y restablezca el nivel de entrada del CMTS al valor deseado. Como consecuencia, el láser inverso se volverá a recortar de nuevo y el microcontrolador ONU aumentará aún más la atenuación de RF. Este ciclo continuará hasta que el cable módem haya alcanzado su capacidad de salida máxima y a continuación el sistema vuelva al primer escenario.

El sistema que se muestra en la FIGURA 5 proporciona protección contra el recorte por parte de las ONU, y también hace que el CMTS sea consciente de los módems o ONU problemáticos. Como se ha observado previamente, la causa raíz del problema ha sido que la pérdida de ONU a CMTS era demasiado grande, debido, por ejemplo, a una mala conexión de fibra en la red óptica desde la ONU al receptor. Este problema se señala y eventualmente se solucionará. Sin embargo, cuando se soluciona el problema, el nivel de entrada CMTS aumenta más allá del nivel de entrada CMTS preferido y a continuación el CMTS dirigirá el cable módem para reducir el nivel de salida. Si la ONU no está en el valor de atenuación nominal y se da cuenta de que el índice de modulación real está en o por debajo del nivel nominal, entonces esto puede reconocerse como diferente del "nuevo valor" previo para las ONU que habían sido sobre-impulsadas que se ha establecido deliberadamente por encima del índice de modulación nominal. Esto implica que el problema en el sistema se ha solucionado y el microcontrolador puede reducir la atenuación hasta el valor nominal, gradualmente o en un solo paso. Así, esta técnica se recupera automáticamente del estado en el que protege a la ONU del recorte con una atenuación aumentada a atenuación nominal una vez que el sistema ha sido reparado.

Como se ha indicado previamente, una ONU tarda en encenderse después de detectar una ráfaga. Por ejemplo, la especificación de RFG indica que el tiempo de encendido de una ONU debería estar entre 100ns y 1000ns (es decir, 1µs). Un tiempo de encendido que es demasiado rápido indeseablemente crea un ruido de baja frecuencia muy alto, que disminuye cuando aumenta la frecuencia. Desafortunadamente, ya que este ruido se extiende a alrededor de 50MHz o más, la mayoría de las señales aguas arriba actualmente desplegables se propagan dentro del intervalo de frecuencia que se ve afectado por el ruido debido a un tiempo de encendido abrupto. La exacerbación de la degradación de la señal es el hecho de que el ruido es puntiagudo, ya que la ráfaga de ruido instantánea podría ser mucho mayor de lo que comúnmente se ve en un analizador de espectro con un ancho de banda de video moderado.

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

Las Figuras 7 y 8 muestran espectros estimados para un tiempo de subida de 100 ns y 1 µs, respectivamente, para una señal típica a 40 MHz. Durante un tiempo de subida corto, el ruido debido al encendido de la ONU es del mismo orden de magnitud que la señal deseada. Con un encendido de láser más lento, este efecto puede mitigarse.

Si solo hay una ONU encendida en un momento dado, el efecto del ruido de baja frecuencia debido al encendido de

la ONU es insignificante, porque la carga DOCSIS se inserta después de que el láser se ha encendido por completo. Sin embargo, cuando hay múltiples ONU que pueden encenderse en un momento dado, entonces el ruido a menudo no es insignificante. Si ha habido una primera ONU encendida y una segunda ONU encendida mientras la primera está transmitiendo datos, entonces los picos de alto ruido, descritos anteriormente, están presentes en un amplio rango del espectro de frecuencia de la señal aguas arriba mientras la primera ONU está transmitiendo datos. Dependiendo de los niveles relativos de RF de las señales y la magnitud de los picos de ruido, la señal puede experimentar errores de corrección de errores (FEC) anteriores o incluso posteriores, cuando se mide en el CMTS, por ejemplo. El potencial para la debilitación del ruido se vuelve cada vez más pronunciado cuando aumenta el número de ONU que pueden encenderse, como es probable que ocurra cuando las arquitecturas migren al estándar DOCSIS 3.1. Mientras que siempre ha existido este problema, solamente se hace evidente, como un piso de error residual, cuando se elimina la OBI y sus errores son inducidos.

Un deterioro adicional es causado por la aplicación de la señal de RF antes de que el láser se encienda completamente y se estabilice. Específicamente, puede producirse un deterioro, por ejemplo, si el tiempo de encendido del láser es más lento que el Preámbulo DOCSIS que puede aplicarse antes de que el láser haya alcanzado el estado estable. Típicamente, el Preámbulo DOCSIS se envía como una señal QPSK y, a menudo, puede ser de 6 a 10 dB más alto que la señal de RF normal que sigue, dependiendo de las condiciones de la señal. En tal caso, el láser se sobre-impulsará mientras esté aún en un estado de baja potencia y experimentará eventos de recorte muy grandes que pueden causar picos de ruido a lo largo de todo el espectro de RF de la señal aguas arriba y así, ocultar otras señales que puedan existir en el mismo momento. Como se ha indicado previamente, aunque este efecto siempre ha ocurrido, solo se puede observar con la eliminación de la OBI y sus errores inducidos por la OBI concomitante.

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 recorta. Para un encendido láser más lento, la duración del recorte aumenta. Mientras puede ser deseable reducir los picos de RF de baja frecuencia que se producen en el espectro de frecuencia aguas arriba al tener un tiempo de encendido más lento, el aumento en el recorte descrito anteriormente puede contrarrestar el beneficio del tiempo de encendido lento. Se ha descrito técnicas novedosas que permiten un tiempo de encendido lento mientras evitan los artefactos de recorte.

Con referencia a la Figura 10, una nueva arquitectura 500 aguas arriba de la ONU incluye un detector 510 de RF que detecta si una señal de RF está presente en su entrada 520. Si se detecta una señal, el detector 510 de RF pasa la señal a un amplificador 550 y también señala un módulo 530 de control de polarización del láser para que encienda en el tiempo  $t_0$  un láser 540, que tiene un tiempo 560 de encendido. El módulo 530 de control de polarización del láser preferiblemente modula la polarización del láser 540 para lograr un encendido completo del láser 540 durante un tiempo 560 de encendido que es preferiblemente lo más lento posible, por ejemplo el tiempo de encendido más lento permitido por el estándar de RFoG, o en algunas realizaciones, incluso más tiempo. En algunas realizaciones, el tiempo de encendido del láser 540 podría ser de hasta 500ns,  $1\mu\text{s}$  o más. Esto puede reducir en gran medida el ruido de baja frecuencia. El tiempo de encendido del láser puede ser lineal, como se muestra en la Figura 10, o puede implementar una transición a lo largo de cualquier otra curva deseada, tal como una curva polinómica, una curva exponencial, una curva logarítmica o cualquier otra respuesta deseada.

El amplificador 550 amplifica la señal de RF que pasa a través del circuito 510 detector de RF. La señal amplificada impulsa el láser 540. Preferiblemente, cuando se amplifica la señal de RF del detector 510 de RF, el módulo 530 de control de polarización del láser incluye un circuito que modula la ganancia del amplificador para que sea proporcional a la polarización del láser. Esto establece efectivamente que la ganancia del amplificador 550 sea proporcional al encendido 560 del láser y, por lo tanto, que reduzca o incluso impida el disparo excesivo y el recorte por el láser 540. La salida del láser a continuación se propaga desde la ONU sobre 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, el recorte ya no se produce. Sin embargo, la variación en el nivel de RF durante el encendido del láser potencialmente puede causar 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 rápida que el encendido de la 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 rápida que el encendido de la potencia óptica. Específicamente, una nueva arquitectura 600 aguas arriba de la ONU incluye un detector 610 de RF que detecta si una señal de RF está presente en su entrada 620. Si se detecta una señal, el detector 610 de RF pasa la señal a un amplificador 650 y también señala un módulo 630 de control de polarización de láser/amplificador para que encienda en el tiempo  $t_0$  un láser 640, que tiene un tiempo 560 de encendido. El módulo 630 de control de polarización del láser/amplificador preferiblemente modula la polarización del láser 640 para lograr un encendido completo del láser 640 durante un tiempo 660 de encendido que es preferiblemente lo más lento posible, por ejemplo el tiempo de encendido más lento permitido por el estándar de RFoG, o en algunas realizaciones, incluso

más tiempo. En algunas realizaciones, el tiempo de encendido del láser 640 podría ser de hasta 500ns, 1µs o más. Esto puede reducir en gran medida el ruido de baja frecuencia. El tiempo de encendido del láser puede ser lineal, como se muestra en la Figura 13, o puede implementar una transición a lo largo de cualquier otra curva deseada, como una curva polinómica, una curva exponencial, una curva logarítmica o cualquier otra respuesta deseada.

5 El amplificador 650 amplifica la señal de RF que pasa a través del circuito 610 detector de RF. La señal amplificada impulsa el láser 640. Preferiblemente, al amplificar la señal de RF desde el detector 610 de RF, el módulo 630 de control de polarización del láser/amplificador 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 tiempo  $t_0$  en que el láser 640 comienza a encenderse. Preferiblemente, el tiempo de subida de la ganancia del amplificador es más rápido que el tiempo de subida del encendido del láser. En algunas realizaciones, el módulo 630 de control de polarización del láser/amplificador simplemente activa la ganancia de RF, es decir, el tiempo de subida es tan corto como lo permite el amplificador. La salida del láser a continuación se propaga desde la ONU sobre una fibra 670.

15 Esta ONU que se muestra en la Figura 13 establece de forma eficaz la ganancia del amplificador 650 para que sea proporcional al encendido 560 del láser y, por lo tanto, que reduzca o incluso impida el disparo excesivo y el recorte del láser 640, al tiempo que mitiga los problemas causados por un receptor que espera un nivel de RF casi constante durante el tiempo que se enciende el láser. La habilidad de reducir simultáneamente el tiempo de encendido del láser y proporcionar una ganancia de RF al láser en proporción al tiempo de encendido del láser, pero retrasado 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, estas técnicas se pueden utilizar para cualquier aplicación analógica como DOCISIS 3.0 o 3.1.

25 Cualquiera (o ambas) de las arquitecturas que se muestran en las Figuras 10 y 13 pueden utilizarse junto con la arquitectura que se muestra en la Figura 2 de tal manera que se mejore aún más la velocidad y la estabilidad de los sistemas HFC. Estas pueden utilizarse además junto con la reducción de recorte a largo plazo descrita en la descripción anterior para reducir los efectos tanto del recorte a largo como a corto plazo en el sistema.

#### Detección de ráfaga

30 Como se ha indicado anteriormente, las transmisiones aguas arriba típicamente funcionan en modo ráfaga (BM), donde las ONU encienden un transmisor, por ejemplo un láser, solamente durante intervalos de tiempo cuando la información ha de transmitirse a lo largo de la trayectoria aguas arriba. Un sistema de modo de ráfaga generalmente proporciona un entorno de menor ruido y así posibilita una mejor SNR, y en el caso de que el transmisor sea un dispositivo óptico, el uso del modo de ráfaga tiende a reducir la Interferencia óptica por golpes (OBI). Así, en algunas realizaciones preferidas del sistema combinador óptico previamente descrito en esta especificación, donde se va a suprimir el OBI, tales combinadores ópticos son hechos funcionar preferiblemente en modo ráfaga.

40 También como se ha indicado anteriormente, las arquitecturas de RFoG que utilizan el modo de ráfaga detectan el nivel de RF en la ONU, alimentando el láser de la ONU cuando se detecta una señal de RF y apagando el láser cuando la señal de RF no está presente. Este procedimiento se conoce como "detección de RF". En un combinador óptico, todas las entradas de luz óptica que provienen de las ONU se detectan y se recogen las salidas del detector. Si se utiliza la detección de RF con un combinador óptico, se aplicaría un comparador de RF 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 se encendería el láser óptico en el combinador óptico.

45 Sin embargo, tal detección puede estar llena de dificultades porque la entrada de nivel de RF podría ser muy pequeña. Por ejemplo, una sola ONU podría producir una porción muy pequeña de una señal D3.1, por lo tanto, el índice de modulación de la ONU sería bajo, lo que daría como resultado un nivel de RF bajo en el combinador óptico. También, la potencia de entrada óptica al combinador óptico desde una ONU dada podría ser baja; Con un intervalo de entrada óptica que abarca hasta 12 dB, el nivel de RF después de la detección podría variar en 24 dB. Como resultado, el nivel de RF de un fotodiodo aún podría ser tan bajo que el nivel de RF que se ha de detectar sería menor que el del comparador, incluso si el nivel de RF fuera alto en relación con el Índice de Modulación Óptica del láser de ONU que ha generado la señal de RF. En las realizaciones de la ONU, el nivel de RF podría activarse después de que se active la salida óptica, o mientras se activa la salida óptica, de tal manera que la detección de un nivel de RF en el combinador óptico descrito se retrasaría. Además, la detección también podría ser lenta, porque depende del circuito comparador.

60 Una alternativa al uso de detección de ráfagas en las unidades de combinador óptico en cascada descrita en la presente solicitud sería mantener la transmisión de luz encendida aguas arriba todo el tiempo, independientemente de si se proporcionan o no señales al combinador óptico, es decir, un "combinador óptico siempre encendido". Aunque esto aseguraría que el combinador óptico transmita información de forma transparente aguas arriba, daría como resultado una entrada de luz constante en todos los puertos en un dispositivo combinador óptico o receptor de múltiples puertos aguas arriba. La entrada de luz total en los puertos podría así conducir a una suma de ruido de disparo de todos los puertos, degradando el rendimiento de SNR del sistema total. Por esta razón, en las realizaciones preferidas, la unidad de combinador óptico transmite luz aguas arriba solamente cuando se recibe y se ha de enviar una señal de RF.

Se describe en la presente memoria un método novedoso de detección de ráfagas que es rápido, simple, estable y robusto, posibilitando así múltiples arquitecturas nuevas. Específicamente, en términos generales, el sistema de combinador óptico descrito puede vigilar la corriente óptica de cada fotodiodo, así como la corriente de la suma de todos los fotodiodos. Si alguno de los fotodiodos registra una corriente de foto, o alternativamente, una corriente por encima de un cierto valor mínimo, el láser de retransmisión se enciende automáticamente. La generación de corriente de fotodiodo es instantánea y, beneficiosamente, es un valor de CC que es más fácil de comparar. Cuando las velocidades de las redes de interconexión aumentan con el tiempo, tales circuitos de detección óptica resultarán más útiles.

Tal detector de Modo de Ráfaga Óptica (OBM) promueve la fiabilidad y puede tener las siguientes ventajas: (1) en el caso de múltiples combinadores ópticos encadenados como se describe en la presente solicitud, se logra una reducción sustancial en el ruido de disparo aditivo en relación con una solución de "siempre encendido"; (2) en el caso de la 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 debido a diferentes longitudes ópticas entre las ONU y el combinador óptico activo descrito, o longitudes ópticas variables entre múltiples encadenados tales como los combinadores ópticos activos, todavía se puede lograr un funcionamiento en modo de ráfaga fiable.

Además, la detección de ráfaga novedosa descrita también posibilita la detección de luz en la entrada inmediatamente al comienzo de una ráfaga en la entrada del combinador óptico. Por el contrario, cuando no hay luz en la entrada, o alternativamente no hay luz durante un cierto período de tiempo, los amplificadores de RF auxiliares en el combinador óptico activo descrito pueden apagarse, reduciendo así 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 ha comenzado a encenderse. Ya que los amplificadores de RF tardan un tiempo finito en encenderse y establecer amplificación; La detección temprana de una ráfaga es importante para proporcionar suficiente tiempo para establecer el funcionamiento normal. Tal ciclo de potencia podría reducir la disipación de potencia hasta diez veces, mejorando así drásticamente las métricas críticas de la infraestructura. Así, por ejemplo, en el caso de un corte de energía, el combinador óptico puede conservar la energía requerida no solamente utilizando el funcionamiento de ráfaga óptica, sino también los circuitos para el funcionamiento de ráfaga de RF, y extender la vida útil de la batería, si está disponible.

La implementación de un circuito de detección de potencia óptica capaz de cubrir un amplio rango de potencia de entrada óptica, en una arquitectura que tiene múltiples detectores, no es trivial. Dada la gran cantidad de detectores presentes, combinados con un amplio rango de potencia de entrada óptica, la cantidad y el rango de fotocorriente que necesita detectarse de manera fiable es considerable. Simplemente la medición de la caída de tensión a través de una resistencia en la red de polarización del detector es difícil; a potencia de entrada baja en un solo detector, una pequeña caída de tensión puede detectarse de manera fiable solamente si el valor de una resistencia, a través de la cual hay una caída de tensión igual a la polarización del fotodetector, es relativamente alto. Sin embargo, no es deseable aumentar el valor de tal resistencia porque esto conduce a una mayor caída de tensión cuando hay altas corrientes de detector en múltiples detectores; la polarización del detector se convertiría en una función importante de la luz óptica presente en los detectores. En algunas realizaciones, la polarización del detector se mantiene constante porque la respuesta del detector depende de la polarización del detector; así, una variación de la polarización del detector podría conducir a una variación en la ganancia del sistema. Incluso un valor de resistencia tan bajo como una impedancia de línea de transmisión típica, tal como de 75 ohmios, puede ser problemático cuando una gran cantidad de detectores están activos y, por ejemplo, 100 mA de corriente de detector fluye en el sistema de detectores múltiples, lo que lleva a una caída excesiva en la polarización del detector.

Se describe un método para detectar luz óptica en un amplio rango de potencia de entrada mientras se mantiene una polarización constante en los detectores presentes en el receptor de la línea de transmisión. Con el fin de lograr esto, se utilizan una combinación de un amplificador de RF y un amplificador de trans-impedancia con la estructura de detectores múltiples. En algunas realizaciones, el amplificador de trans-impedancia está conectado a una estructura de paso alto frente al amplificador de RF de tal manera que para frecuencias bajas el amplificador de trans-impedancia tiene una conexión de impedancia muy baja (menor que la impedancia de la línea de transmisión) a la polarización del detector.

Con referencia a la Figura 14, que muestra un ejemplo de una estructura 700 de receptor de línea de transmisión, un fotodetector puede modelarse con precisión hasta frecuencias bastante altas (~ 1 GHz) mediante una capacitancia en paralelo con una fuente de corriente para niveles de potencia de entrada razonables (> 1 uW). Así, en esta figura, cada uno de los elementos 710 de circuito sería un modelo de un fotodetector. Los diseños de receptores convencionales utilizan un amplificador de trans-impedancia o adaptan el detector a la impedancia más alta posible, tal como de 300 ohmios, de tal manera que se convierta la señal de fuente de corriente en una señal de RF con el mejor rendimiento de ruido posible. Estos enfoques están limitados por la capacitancia del detector de tal manera que un aumento en el número de detectores simplemente combinando detectores o área del detector conduce a una

pérdida de rendimiento del detector debido a un aumento en la capacitancia combinada del detector y, por lo tanto, una gran cantidad de detectores (por ejemplo, 32) no se puede esperar razonablemente que funcione bien con un solo amplificador de RF. Esto implica que se necesitan múltiples amplificadores para recibir una gran cantidad de fibras.

5 Como alternativa, podrían proporcionarse múltiples detectores a un combinador de RF antes de amplificarse. Un combinador de RF requiere que cada detector se termine individualmente con una impedancia de RF que típicamente es menor de 100 ohmios, que consumirá la mitad de la corriente del detector y, debido a las señales de combinación de múltiples detectores, el combinador de RF introducirá una pérdida adicional de al menos  $10 \cdot \log(N)$  dB, donde N es el número de detectores combinados. Esta pérdida resulta excesiva para 8 detectores o más. Además, otras pérdidas son causadas por implementaciones prácticas de combinadores de RF que requieren transformadores costosos en su realización. Los transformadores también causan limitaciones de ancho de banda y otras pérdidas antes mencionadas, y son difíciles de implementar para altas impedancias (tales como mayores de 100 ohmios).

15 En el receptor de línea de transmisión descrito, se hace uso de la idea de que un fotodetector con polarización inversa se comporta como una fuente de corriente en paralelo con un condensador con una baja pérdida a frecuencias de RF. Este receptor de línea de transmisión no inducirá la pérdida de  $10 \cdot \log(N)$  del combinador de RF, no requerirá transformadores, ofrecerá un ancho de banda alto y será capaz de proporcionar una señal de salida representativa de una suma retardada de una gran cantidad de detectores. Una línea de transmisión con impedancia Z puede ser modelada por una red en escalera de inductores y condensadores con  $L/C=Z^2$ , que funciona bien para frecuencias por debajo de la frecuencia de resonancia de L y C. Los valores prácticos de capacitancia del detector son del orden de 0.6 pF, de tal manera que una línea de transmisión de 75 Ohm requeriría  $L=3,4$  nH. La frecuencia de resonancia está muy por encima de 1 GHz, de tal manera que, hasta 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. La calidad de la capacitancia parásita de los detectores con polarización inversa es de tal manera que pueden considerarse condensadores de baja pérdida a frecuencias de RF. El 3,4 nH también se puede distribuir alrededor de los detectores como  $2 \times 1,7$  nH, lo que lleva a un diseño como se muestra en la Figura 14.

20 Como se ha indicado anteriormente, cada combinación 710 de fuente de corriente/condensador representa un detector. La Figura 14 muestra varios de estos en serie, separados por secciones 720 de línea de transmisión respectivas (100 por segundo o del orden de 1 cm a bordo) que tienen una impedancia de 75 ohmios. Los detectores se combinan 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 de RF de 75 ohmios de bajo ruido (no mostrado). Debería comprenderse que, aunque la Figura 14 muestra seis detectores, no hay límite en la cantidad de detectores que pueden combinarse concatenando estas secciones, y hasta la frecuencia de resonancia LC hay un impacto insignificante en el ancho de banda alcanzable para una gran cantidad de detectores. En la práctica, los inductores de 1,7 nH podrían implementarse en el diseño de PCB como secciones de línea más estrechas, y una línea de transmisión balanceada con impedancia diferencial de 100 Ohmios o 150 Ohmios pueden utilizarse para mejorar ligeramente la figura de ruido.

30 Como se muestra en la Figura 14, cada combinación 710 de fuente de corriente/condensador representa un fotodetector, donde la fuente de corriente es la corriente detectada en el detector; y el condensador representa la capacitancia parásita del detector. Múltiples detectores están conectados con secciones de línea de transmisión (tal como T2) e inductores de adaptación (tales como LI y L2). Los inductores de adaptación se eligen de tal manera que la capacitancia parásita de los fotodetectores se adapte a la impedancia de la línea de transmisión (típicamente 75 ohmios). Así, se pueden conectar y concatenar múltiples detectores a una línea de transmisión, de tal manera que las corrientes del detector se proporcionan a la línea de transmisión y estas corrientes del detector se dividen por igual para propagarse tanto a la salida 750 como a la resistencia 740 de terminación en la otra extremidad de la estructura de la línea de transmisión. Cada corriente del detector generalmente pasa a través de secciones de la línea de transmisión, inductores de adaptación y terminales del detector antes de alcanzar una extremidad de la línea de transmisión. Así, las señales de los detectores adyacentes afectan a las tensiones de señal presentes en cada terminal del detector y, por lo tanto, podrían afectar a la propia corriente del detector, causando una modulación cruzada de las señales del detector. Sin embargo, ya que un detector con polarización inversa puede modelarse como una buena fuente de corriente, no se produce tal modulación cruzada. Cada mitad de corriente del detector es así presentada en la salida de la línea de transmisión como una señal con un retraso proporcional a la distancia del detector a la salida de la línea de transmisión. Esta distancia determina el retraso de una señal eléctrica en el terminal del detector a la salida de la línea de transmisión e incluye un retraso debido a los inductores de adaptación y la capacitancia del fotodetector. Por lo tanto, la señal en la salida de la línea de transmisión es proporcional a la suma de las mitades de corriente del detector retardado, independientemente del número de detectores en la estructura de la línea de transmisión. Se puede decir así, que la señal a la salida de la línea de transmisión representa la suma de las corrientes de detector retardadas.

45 El ancho de banda de la estructura de la línea de transmisión está limitado solamente por la adaptación inductiva de la capacitancia del fotodiodo y puede ser muy grande, excediendo 1 GHz. La salida 750 está conectada a un amplificador de RF adaptado a la impedancia de la línea de transmisión, que amplifica las señales emitidas desde la

estructura de la línea de transmisión. Obsérvese que el uso de un amplificador de trans-impedancia que no se adapte a la estructura de la línea de transmisión provocaría un reflejo muy grande de las señales de salida de nuevo hacia la estructura de la línea de transmisión; Un amplificador de trans-impedancia no es un medio preferible para amplificar la salida de un receptor de línea de transmisión.

5 Típicamente, los fotodetectores necesitan estar polarizados, por ejemplo con 5 V. Con el fin de desacoplar la tensión de polarización del amplificador, típicamente se puede utilizar un condensador de desacoplamiento. La polarización a continuación se puede proporcionar mediante un inductor en una disposición de polarización en T como se muestra en la Figura 15, por ejemplo. La señal de la línea 760 de transmisión se proporciona a un amplificador (no  
10 mostrado) mediante un condensador (770) que transmite señales de alta frecuencia, y la polarización de una fuente 775 de tensión se proporciona a la línea de transmisión mediante un inductor 780 que transmite señales de baja frecuencia. La resistencia 740 de terminación en la otra extremidad de la línea de transmisión se desacopla así capacitivamente para permitir una polarización de CC. La corriente a través de la fuente 775 de tensión se puede medir para determinar la fotocorriente; la fuente 775 de tensión podría construirse como un amplificador de trans-impedancia que proporciona una tensión constante y una salida proporcional a la corriente proporcionada. Sin embargo, en implementaciones, el inductor 780 necesita ser elegido con un valor lo suficientemente grande como para que no afecte la respuesta de baja frecuencia del amplificador. Como consecuencia, 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.

20 La Figura 16 muestra una implementación 800 que utiliza ambas extremidades de la estructura del receptor de la línea de transmisión para aliviar tal retraso. La resistencia R1 en la Figura 16 es la resistencia 740 de terminación que se muestra en la Figura 14, y el inductor L1 es el inductor 780 en la Figura 15. La fuente 810 de tensión proporciona polarización tanto a la resistencia 740 de terminación como al inductor 780. La corriente en la  
25 resistencia 740 responde instantáneamente a una fotocorriente de tal manera que se posibilita una detección rápida de fotocorriente. El inductor 780 puede soportar grandes fotocorrientes sin una caída de tensión significativa, de tal manera que se puedan soportar grandes corrientes fotográficas sin una caída significativa en la polarización de los fotodetectores. Se puede colocar una capacitancia 815 adyacente a la fuente 810 de tensión; para una fuente de tensión ideal, puede no transportar ninguna corriente porque la tensión es constante. Sin embargo, a frecuencias de  
30 RF puede ser difícil realizar una fuente de tensión perfecta, por lo tanto, el condensador 815 proporciona una baja impedancia a tierra de tal manera que las corrientes de RF en la resistencia 740 de terminación no causen la modulación de la tensión en la fuente 810 de tensión.

35 Con el fin de realizar un circuito de detección eficiente de la corriente en la fuente 810 de tensión, la fuente 810 de tensión se implementa preferiblemente como un amplificador de trans-impedancia. Un amplificador de trans-impedancia es un circuito electrónico básico que mantiene un nodo entre dos trayectorias de corriente a una tensión constante y tiene una salida que cambia su tensión de salida en proporción a la corriente provista en ese nodo. Así, externamente, el amplificador de trans-impedancia parece una fuente de tensión para ese nodo, pero hay una salida adicional que representa la corriente provista. Esta salida se puede utilizar para impulsar un circuito de decisión para decidir si fluye o no una fotocorriente. Debido al hecho de que el amplificador de trans-impedancia se realiza con un  
40 circuito de transistor práctico, no tiene un ancho de banda infinito, lo que significa que no es capaz de mantener constante la tensión del nodo para frecuencias muy altas y por esa razón el condensador 815 puede ser añadido en algunas realizaciones.

45 Debería comprenderse que en algunas realizaciones, la red de polarización LC anterior al amplificador (condensador 770 e inductor 780) puede ser reemplazada por circuitos más complejos, o incluso con filtros diplex, siempre que la red proporcione una trayectoria de pérdida baja, frecuencia alta desde el detector de línea de transmisión al amplificador, y una trayectoria de pérdida baja (impedancia baja) a baja frecuencia desde la fuente de tensión (amplificador de trans-impedancia) a la polarización del detector de línea de transmisión. También debería observarse que el amplificador de trans-impedancia puede implementarse de tal manera que la tensión de salida primero cambie linealmente como una función de fotocorriente, pero a continuación se sature a una fotocorriente que sea suficientemente alta.

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

60 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 820 de múltiples detectores que produce una salida 825 que señala que se ha detectado energía desde cualquiera de las entradas múltiples 830. Esta detección puede basarse en un método de detección como se ha descrito en la sección anterior o en múltiples circuitos detectores que están vigilando detectores individuales 835.  
65 Cuando se ha detectado la entrada óptica en el tiempo  $t_0$ , a continuación la polarización del láser se activa con un tiempo de subida controlado  $t_{on\_l}$  y el combinador activo puede retransmitir las señales presentes en las entradas.

La detección del modo de ráfaga óptica puede utilizarse además para controlar la polarización del amplificador como se muestra en la Figura 18; cuando se detecta potencia óptica en  $t_0$ , los amplificadores se encienden inmediatamente. El láser se enciende más lentamente, de tal manera que los amplificadores se estabilizan en el momento en que se enciende la potencia óptica. Opcionalmente, este esquema puede expandirse mediante una tercera señal 850 de control que controla la ganancia del amplificador, como se muestra en la FIGURA 19.

#### Índice de modulación óptica y autocalibración

Para implementaciones que permiten el funcionamiento de todas las entradas aguas arriba del divisor activo simultáneamente, la cantidad total de fotocorriente en los detectores que siguen a las entradas aguas arriba puede ser alta. La impedancia del circuito de polarización y, como se ha descrito, de los medios de filtrado mencionados anteriormente en la trayectoria 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 cable módem con las ONU que están transmitiendo señales de RF a una cabecera de tal manera que se obtiene un nivel de entrada deseado para el CMTS. Esto implica que el nivel de salida de un receptor que precede al CMTS se ajusta a un nivel conocido. Si este receptor es de un tipo que tiene una cantidad conocida de ganancia de tal manera que un nivel de salida corresponde a un índice de modulación óptica conocido, entonces 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 ganancia de 2 dB por cada reducción de dB en el nivel de entrada óptica) de tal 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 aguas arriba en el divisor activo conectado a ese receptor; así, el CMTS controla implícitamente el índice de modulación de esa salida del divisor activo.

La ganancia del divisor activo debería establecerse preferiblemente de tal manera que un índice de modulación de salida de ese divisor activo tenga una relación conocida con un índice de modulación de entrada en uno o más de los fotodetectores que reciben señales aguas arriba de divisores activos o ONU más aguas abajo. Esto requiere el conocimiento de las fotocorrientes en estos fotodetectores, y preferiblemente el divisor activo puede vigilar la fotocorriente de cada enlace aguas arriba utilizando un detector por enlace aguas arriba como en un detector de línea de transmisión, por ejemplo. Ya que algunos sistemas pueden funcionar en modo ráfaga, estas fotocorrientes no siempre están disponibles. Sin embargo, en un sistema DOCSIS todas las ONU se sondean repetidamente para obtener una señal de reconocimiento con un intervalo de hasta cinco minutos. Esto implica que los divisores activos aguas arriba vuelven a transmitir la información, y todos los divisores activos en tal sistema tienen cada una de las entradas aguas arriba activas al menos una vez cada cinco minutos. El divisor activo puede registrar así los niveles de ráfaga y construir un mapa de niveles de entrada óptica a los puertos de entrada. Utilizando esta información, el divisor activo puede establecer un nivel de ganancia interna de tal manera que el índice de modulación aguas arriba se maximice, pero no se recortará mientras las señales de entrada al divisor activo no se recorten. Mientras que la longitud de fibra desde la cabecera hasta el primer divisor activo es generalmente larga, aquellas longitudes de fibra entre los divisores activos y aquellas longitudes de fibra desde los divisores activos hasta las ONU son generalmente cortas y tienen una pérdida lo suficientemente pequeña como para que los valores de potencia de entrada óptica a los diferentes puertos de entradas aguas arriba están cerca, y la configuración de ganancia óptima es similar para todos los puertos. Como consecuencia, la configuración de ganancia óptima en el divisor activo es casi la misma para todos los puertos de entrada y el compromiso en SNR de asumir un índice de modulación láser inversa en el peor de los casos de una señal sobre cualquiera de los puertos de entrada es pequeño.

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

Mientras que los niveles de potencia de entrada aguas arriba para los detectores en un divisor activo son típicamente similares, en algunos casos pueden diferir debido a diferencias en la pérdida del conector o la pérdida de fibra. Preferiblemente, todas las entradas ópticas tendrían el mismo nivel o el mismo nivel de RF que siguen al detector para una carga de canal equivalente. Ya que el divisor activo puede vigilar el nivel de potencia en cada detector y esquematizar esos niveles de entrada óptica, puede calcular ajustes al nivel de potencia de entrada óptica o en el índice de modulación de esas entradas que serían requeridas para igualar los niveles de RF que siguen a los detectores de cada entrada. El divisor activo puede comunicar esas configuraciones preferidas para el nivel de potencia de salida o ganancia para los transmisores inversos aguas abajo que están conectados a las entradas.

Las señales de comunicación pueden modularse sobre un láser inyectado en las señales aguas abajo o sobre las corrientes de láser de bombeo en los EDFA que amplifican las señales aguas abajo. La modulación se puede seleccionar para que sea lo suficientemente pequeña, y en tal banda de frecuencia, que las señales de comunicación no interfieran con la carga útil aguas abajo.

5 Preferiblemente, no solamente los divisores activos reciben e interpretan estas señales de comunicación, sino que también las unidades ONU aguas abajo 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 divisor activo. Dada la presencia de un láser aguas arriba, y la habilidad de todos los componentes en un sistema divisor activo para recibir una señal aguas arriba, todos los componentes en un sistema divisor activo son capaces de comunicación aguas arriba con la adición de una simple modulación de tono u otro esquema. Así, se posibilita la comunicación bidireccional, y los divisores activos y la cabecera pueden comunicarse entre sí, descubrir por sí mismos el sistema y configurar niveles ópticos y de ganancia óptimos.

15 Un objetivo de la arquitectura de divisor activo es proporcionar niveles de RF precisos al CMTS que representen un índice de modulación óptica. Hacerlo no es trivial, y requiere un procedimiento específico de autocalibración (descrito más adelante) que se espera que dé como resultado una de índice de modulación precisa con los niveles de RF de salida del receptor de cabecera del divisor activo. El receptor es, bien un complemento CMTS, o bien está conectado directamente al CMTS sin contribuciones de pérdida de RF desconocidas en el medio (en caso de que se necesite un toque para otros servicios que no sean el CMTS, el toque se puede integrar en el receptor para evitar pérdidas de RF externas) Como consecuencia, el índice de modulación de las unidades de retransmisor del divisor activo se establece con precisión.

25 En caso de que la comunicación bidireccional no esté disponible, a continuación el nivel de potencia de salida de la ONU no puede ser ajustado por el divisor activo y el índice de modulación de la ONU aún tendrá cierta incertidumbre ya que la pérdida óptica entre la ONU y el divisor/receptor activo puede variar; una variación de pérdida de +/- 1dB desde ONU a un divisor activo daría como resultado una tolerancia de +/- 2 dB en el nivel de RF, así una ventana dinámica al menos tendrá que acomodar esa variación y margen para otras tolerancias y precisión de configuración de CMTS. Esto debería estar fácilmente disponible para anchos de banda de hasta 200 MHz, de tal manera que incluso sin el divisor activo que controle la potencia de salida de la ONU, se pueda obtener un rendimiento aceptable del sistema. Con el control bidireccional antes mencionado se puede lograr un margen adicional del sistema adicional.

35 Cuando se utiliza un ancho de banda de retorno de 1200 MHz, de tal manera que a las ONU se les asignen anchos de espectro de 200 MHz, todas las ONU pueden funcionar con unos pocos dB por debajo de su punto de recorte, es decir, lo suficiente como para cubrir la incertidumbre en la pérdida desde la ONU al divisor activo para evitar el recorte de las ONU. Esto optimiza el rendimiento del enlace crítico desde la ONU al divisor activo, de tal manera que las ONU de 0 dBm son suficientes. En este tipo de operación, se puede hacer una elección arbitraria para el número de ONU que funcionan con tal banda de 200 MHz, por ejemplo, hasta seis ONU. Esto a su vez provocaría un recorte en el transmisor de divisor activo; así, para un funcionamiento de 1200 MHz, la ganancia de los receptores del divisor activo que sigue a las ONU puede reducirse en 8 dB, de tal manera que cuando seis ONU transmiten 200 MHz de ancho de banda de señal, el transmisor inversor de divisor activo es hecho funcionar justo por debajo del recorte. Este método de funcionamiento maximiza la SNR y elimina la incertidumbre - el impacto de la variación en el enlace entre la ONU al divisor activo se minimiza, y los enlaces de divisor activo son hechos funcionar 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 las tolerancias en la configuración del nivel de CMTS y la calibración del nivel de salida del divisor activo, lo que permite el funcionamiento con un índice de modulación óptimo.

50 El análisis de la SNR alcanzable que utiliza el sistema que se acaba de describir, para un funcionamiento de 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 aproximadamente un 20% más de capacidad de rendimiento en el sistema. Con 1200 MHz de ancho de banda, la velocidad total de datos aguas arriba podría ser tan alta como 10 Gbs.

55 En caso de que el sistema se configure inicialmente de manera que las unidades de divisor 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 produce una penalización de alrededor de 7 dB en términos de rendimiento de NPR pico. Por lo tanto, el modo de funcionamiento se puede cambiar preferiblemente entre el funcionamiento normal, donde una ONU única puede ocupar todo el espectro, y el funcionamiento de ancho de banda alto donde a una ONU única se le puede asignar una cantidad limitada de espectro en cualquier momento y el transmisor inverso del divisor activo soporta todo el espectro a la vez.

65 La arquitectura propuesta tiene múltiples enlaces de retransmisión que son hechos funcionar preferiblemente con el mejor índice de modulación posible en el supuesto de una alineación perfecta de las curvas de NPR (relación de potencia de ruido) de esos enlaces. Como se ha observado anteriormente, la alineación de la retransmisión en los enlaces de retorno del divisor activo es crítica para obtener el mejor rendimiento posible (cada dB de desalineación resulta directamente en una reducción de la SNR disponible), por lo tanto, se necesita una técnica de calibración



para establecer y mantener la alineación correcta de los factores de ganancia del transmisor.

Con el fin de proporcionar tal calibración, la ganancia del transmisor de retorno del divisor activo se establecerá con precisión, de tal manera que para una corriente de detector dada de los diodos receptores del divisor activo, el índice de modulación del transmisor es igual a la entrada del índice de modulación al detector. Esto solamente requiere conocimiento de la corriente del detector; La potencia de entrada óptica real al detector y la capacidad de respuesta del detector son irrelevantes. Con el fin de lograr esto, se implementan medios en cada detector para medir la corriente del detector de tal manera que se pueda establecer una ganancia apropiada para el transmisor de retorno.

La ganancia puede establecerse individualmente para cada detector, pero ya que múltiples detectores pueden recibir señales al mismo tiempo, esto requeriría un atenuador controlable para cada detector (hay 32 detectores en una unidad de divisor activo típica). Preferiblemente, se utiliza un único atenuador para todos los detectores. Esto se logra utilizando transmisores de salida variable en las unidades de divisor activo, que se comunican con un divisor activo aguas arriba o con transmisores de salida variable en ONU que se comunican con un divisor activo aguas arriba. A continuación se describe un método para establecer el nivel de salida de cada uno de los transmisores inversos de tal manera que cada transmisor proporcione la misma fotocorriente en el detector al que está acoplado. Durante el funcionamiento normal, el receptor de divisor activo vigila las corrientes del detector durante las ráfagas para posibilitar la emisión de una advertencia en caso de que un enlace óptico se degrade o se pierda.

Para un enlace inverso de 1310 nm desde el divisor activo a un divisor activo aguas arriba, la potencia del láser inverso típicamente necesita controlarse desde, bien 3-10 dBm, o bien 6-10 dBm, dependiendo del diseño del receptor del divisor activo. Para un enlace inverso de 1610 nm, estas cifras son típicamente de 3-7 dBm o 6-7 dBm, respectivamente. Estos controles aseguran que la potencia recibida al final de un enlace de 25 km, con alguna pérdida de WDM, sea al menos de 0 dBm. Debería comprenderse que los números dados son ejemplos. El divisor activo puede transmitir información en la dirección hacia delante a través de la modulación de la bomba del EDFA o una inyección de una señal hacia la trayectoria hacia delante. Este último es más caro; el primero da como resultado una velocidad de datos más baja, ya que solamente se puede permitir una fluctuación mínima de la bomba sin afectar la trayectoria hacia delante. Una velocidad de datos baja es suficiente y puede leerse mediante un receptor simple, por ejemplo, un receptor de control remoto que funciona en el intervalo de kHz acoplado a un procesador de bajo coste. Debería comprenderse que la función de transmisión aguas abajo solamente se requiere en las unidades de divisor activo aguas arriba a menos que las ONU también se controlen. En las figuras mostradas, esa sería una de las 33 unidades de divisor activo en el sistema.

En una ejecución de autocalibración, la unidad de divisor activo aguas arriba transmite un comando aguas abajo a las unidades de divisor activo para iniciar la autocalibración. Posteriormente, las unidades aguas abajo encienden y apagan sus transmisores al azar a plena potencia con un ciclo de trabajo bajo, de tal manera que en casi todos los casos, como máximo, una de las unidades aguas abajo está encendida. El divisor activo aguas arriba reporta información aguas abajo sobre qué puerto está encendido y qué corriente de detector se ha obtenido de esa unidad. Las unidades aguas abajo registran esa información en la memoria no volátil; ya que puede correlacionar los mensajes con su propia actividad, esto proporciona información a la unidad aguas abajo sobre que puerto está activo y que potencia proporciona a ese puerto. Después de que todos los puertos hayan sido activados al menos una vez, o haya ocurrido un tiempo de espera (por ejemplo, si uno o más puertos no están conectados), la unidad de divisor activo aguas arriba determina qué divisor activo aguas abajo produce la corriente del detector más pequeña. A continuación, el divisor activo aguas arriba calcula cómo deben establecerse las potencias aguas arriba de cada una de las unidades aguas abajo, de tal manera que todas las corrientes del detector sean iguales y se encuentren dentro de un intervalo específico. Ese intervalo puede corresponder, por ejemplo, a una potencia de entrada de 0-3 dBm (o 6 dBm) en los detectores. Debería comprenderse que esto puede lograrse configurando una corriente de fotodetector, y no requiere la medición de una potencia de entrada óptica exacta.

En general, la unidad aguas arriba del divisor activo establecerá esta potencia al mejor (o máximo) valor que se puede obtener para optimizar la SNR de los enlaces. Las unidades de divisor activo tendrán todas entonces una potencia de salida conocida y, en consecuencia, su ganancia interna se configurará para tener un índice de modulación calibrado para una potencia de entrada e índice de modulación dados. Todos los enlaces en un divisor activo aguas arriba pueden comportarse de manera idéntica. La unidad de divisor activo aguas arriba puede sacar a continuación las unidades aguas abajo del modo de calibración.

En caso de que se ilumine un puerto adicional en un puerto receptor del divisor activo aguas arriba, entonces el algoritmo de autocalibración puede proceder sin interrupción del servicio de las unidades de divisor activo ya conectadas. Esto se logra activando la autocalibración en el receptor de divisor activo aguas abajo que se acaba de activar solicitando un modo de calibración solamente para unidades con número de puerto desconocido (esa es solamente la nueva unidad). Su salida se encenderá y la unidad de divisor activo aguas arriba asignará a continuación un número de puerto al puerto nuevo, hasta ahora no utilizado, y configurará una potencia a la nueva unidad, y la sacará del modo de calibración.

Durante el funcionamiento normal, la unidad de divisor activo aguas arriba continúa vigilando las corrientes del receptor para los enlaces aguas arriba entrantes. Si hay una desviación significativa, aún puede emitir un comando

aguas abajo del modo sin calibración para reajustar la potencia, y también puede señalar problemas de la planta aguas arriba.

5 Las unidades de divisor activo que funcionan de la manera descrita también pueden construir un mapa de unidades conectadas de divisor activo. También, se puede crear un mapa de potencia aguas arriba de las ONU conectadas y se pueden recopilar estadísticas sobre el funcionamiento de una ONU individual y sobre la pérdida de enlace, por ejemplo, para ubicar las ONU que vibran o las conexiones pobres de ONU.

10 El transmisor de cabecera también puede enviar un comando a las unidades de divisor activo aguas abajo para iniciar la calibración o cambiar un modo de funcionamiento (por ejemplo, funcionamiento optimizado de 200 MHz a 1200 MHz). Se puede prever cualquier otro tipo de vigilancia bidireccional del sistema EMS para las unidades de divisor activo que pueden recibir y transmitir tráfico de baja velocidad de datos. Debería comprenderse que esto no requiere sistemas complejos o costosos de HFC EMS; fluctuaciones menores de potencia óptica, bien por variación de potencia de la bomba, o bien por inyección de señal de bajo nivel en la trayectoria de señal aguas abajo, o  
15 variación de potencia del láser inverso en la trayectoria aguas arriba, son suficientes para detectar patrones de datos modulados de rango binario o kHz (como chips de control remoto). También debería comprenderse que la opción más costosa, la inyección de una señal óptica aguas abajo, solamente es relevante en la cabecera, o en la trayectoria aguas arriba, típicamente solo es relevante en 1 de 33 ubicaciones de divisor activo.

20 Otra consideración importante es que el CMTS debería configurar los niveles de módem correctamente. En los sistemas de retorno regular o RFoG, existe una considerable incertidumbre en los niveles del sistema debido a los componentes de RF o las redes aplicadas de combinador. Sin embargo, en el sistema de divisor activo, no hay componentes de RF en el enlace, el grupo de servicio se agrega en el dominio óptico, y solamente se requiere un receptor de baja ganancia, bajo rendimiento y bajo nivel de salida que esté acoplado directamente al puerto de  
25 retorno de CMTS. En algunas realizaciones, puede ser deseable producir un receptor de divisor activo dedicado con un nivel de salida calibrado con precisión en función del índice de modulación de entrada. Tal receptor no necesita un amplio intervalo de entrada; -3 a +3 (o 0 a +6) dBm es suficiente. El alto nivel de entrada 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 debería poder obtenerse en un factor de forma de alta densidad y baja potencia. Con tal receptor, puede requerirse poco o ningún cableado de RF en la cabecera, y el CMTS puede establecer con precisión los niveles inversos para obtener el índice de modulación óptica correcto. En algunos casos, puede ser necesario conectar otros equipos que no sean el CMTS a la trayectoria inversa. El receptor puede utilizar una salida auxiliar para proporcionar esta funcionalidad, en lugar de la salida principal con divisores de RF  
30 externos. Esto elimina cualquier nivel de incertidumbre debido a los componentes de RF entre el receptor y el CMTS.

#### Realizaciones

Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden abarcar múltiples divisores activos en cascada que están configurados para trabajar con ONU basadas principalmente en niveles de entrada óptica sin requerir comunicación  
40 bidireccional. Otras realizaciones pueden abarcar múltiples divisores activos en cascada que están configurados para trabajar con ONU utilizando una comunicación bidireccional.

Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un divisor activo con múltiples entradas ópticas, cada una de las cuales proporciona una entrada óptica a uno o más detectores que juntos emiten una señal combinada a un filtro de paso alto que presenta una baja impedancia a los detectores y rechaza todas las señales a continuación 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 de retransmisión.  
45

Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un divisor activo con múltiples entradas ópticas, cada una de las cuales proporciona una entrada óptica a uno o más detectores que juntos emiten una señal combinada, donde el divisor activo tiene un circuito de polarización con una impedancia suficientemente baja a baja frecuencia de tal manera que todos los detectores se pueden iluminar al mismo tiempo sin una caída significativa en la polarización de los detectores.  
50

Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un divisor activo con un láser inverso donde el láser inverso se enciende cuando una fotocorriente en los detectores de entrada del divisor activo está por encima de un umbral, y donde la velocidad de rotación cuando se enciende el láser está limitada de tal manera que no crea un estado transitorio que tenga un espectro que interfiera con el espectro aguas arriba que se ha de transmitir.  
55

Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una arquitectura de divisor activo de RFoG donde los láseres inversos del divisor o divisores activos y/o ONU conectados al divisor o divisores activos son hechos funcionar con una salida continua. Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una arquitectura de divisor activo de RFoG donde los láseres inversos del divisor o divisores activos y/o ONU conectadas a los divisores activos son hechos funcionar entre un modo de alta y baja potencia de tal manera que la potencia de salida es alta durante las ráfagas de transmisión aguas arriba y, de lo contrario, es baja en la salida. Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una arquitectura de divisor activo de RFoG donde los láseres inversos del  
60

divisor o divisores activos y/o ONU conectados a los divisores activos pueden establecerse selectivamente en uno cualquiera de un modo continuo y un modo de ráfaga.

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

10 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un sistema de RFoG que mide las corrientes del detector en todas las entradas, construyendo una tabla de corrientes del 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 tal manera que un índice de modulación del láser de transmisión inversa tenga una relación conocida con un índice de modulación en las entradas ópticas al divisor activo, de tal manera que el láser de transmisión inversa tenga un índice de modulación óptimo pero se impida el recorte, incluso para el puerto con el nivel más alto entrada óptica. En algunas realizaciones de la descripción anterior, el índice de modulación óptimo del transmisor inverso es nominalmente el mismo que para las entradas ópticas.

20 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una ONU de RFoG con un detector de señal de RF que detecta ráfagas de señales de entrada y activa un láser en un modo de alta potencia cuando se detecta una ráfaga y, de lo contrario, activa el láser en un modo de baja potencia, tal como potencia cero. Un atenuador eléctrico puede preceder al controlador láser y puede atenuar una señal de entrada de RF, de tal manera que en el estado de baja potencia de salida, el láser no puede ser recortado por una señal de entrada de RF. La atenuación de RF antes del láser puede reducirse cuando aumenta la potencia del láser desde el estado de baja potencia, de tal manera que la atenuación de RF se elimina rápidamente para tener un impacto mínimo en la ráfaga, pero durante la transición, el láser aún no se recorta.

25 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una ONU de RFoG con un detector de señal de RF que detecta ráfagas de señales de entrada e incluye un atenuador eléctrico que precede al controlador láser para atenuar la señal de entrada de RF, de tal manera que cuando no hay una entrada nominal presente, se impide el ruido canalizado por la ONU de señales de ruido débil hacia la ONU y la atenuación de RF se elimina rápidamente cuando se detecta una ráfaga que tiene un impacto mínimo en la ráfaga.

30 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una ONU de RFoG que puede recibir una señal aguas abajo que le indica que ajuste el nivel de potencia de salida, la ganancia de RF o ambos. En algunas realizaciones, tal ONU puede recibir números de puerto asignados y solicitudes de vigilancia de estado. En algunas realizaciones, tal ONU puede transmitir información aguas arriba, tal como el estado, el número de serie, etc.

35 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un divisor activo que puede transmitir una señal aguas abajo con solicitudes a las unidades aguas abajo para ajustar el nivel de potencia óptica, la ganancia o para solicitar información de estado. Algunas realizaciones pueden incluir un divisor activo que puede recibir tales señales aguas abajo. Algunas realizaciones pueden incluir un divisor activo que también puede transmitir y/o recibir tales señales en la dirección aguas arriba.

40 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una ONU con un detector de RF, un atenuador, un circuito de polarización y un microcontrolador donde el microcontrolador estima el recorte del láser en función de los niveles de potencia de RF medidos y realiza un seguimiento de qué fracción del tiempo está recortando el láser y aumenta la atenuación en caso de que esta fracción exceda un umbral. El microcontrolador también puede ajustar la polarización del láser para impedir el recorte. En algunas realizaciones, el microcontrolador lleva la atenuación a un valor nominal cuando la potencia de RF para el láser es igual o inferior a un valor nominal. En algunas realizaciones, los cambios en la atenuación realizados por el microcontrolador tienen lugar en pasos discretos en tiempo y magnitud.

45 En algunas realizaciones de la descripción anterior, el microcontrolador puede establecer la atenuación a un nivel suficientemente alto para impedir el recorte pero menos de lo necesario para obtener un índice de modulación nominal.

50 Algunas 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, donde las señales detectadas de los enlaces precedentes se combinan en cada enlace de retransmisión.

55 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un receptor calibrado en una cabecera que proporciona un nivel de salida de RF específico para un índice de modulación de entrada, con un control de ganancia de tal manera que para diferentes niveles de entrada óptica, el nivel de salida de RF para un índice de modulación dado se mantiene constante. En algunas realizaciones, un receptor puede incluir dos salidas, al menos una conectada a un CMTS sin ninguna red de combinación y división de RF.

60 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un divisor activo con al menos dos configuraciones de

ganancia, una configuración de ganancia optimizada para las ONU que pueden transmitir el espectro inverso completo que el sistema puede soportar, y una configuración optimizada para las ONU que pueden transmitir una cantidad de espectro menos del espectro completo que el sistema puede soportar, donde el divisor activo combina entradas de múltiples ONU y puede transmitir el espectro completo que el sistema puede soportar.

5 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un divisor activo que tiene una potencia de transmisión inversa ajustable y una ganancia ajustable de tal manera que, para un índice de modulación de señal aguas arriba recibido, el divisor activo mantiene un índice de modulación óptica constante independientemente de la potencia de salida óptica. En algunas realizaciones, el índice de modulación óptica retransmitido es el mismo 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 divisor posibilita una opción para variar esa fracción.

15 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un divisor activo que puede recibir y decodificar señales de comunicación hacia delante, por ejemplo, un diodo de vigilancia de entrada para un EDFA u otro diodo de vigilancia.

20 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un divisor activo que puede transmitir señales de comunicación hacia delante, por ejemplo con un láser hacia delante, o modulando la corriente de la bomba de un EDFA.

25 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un divisor activo que puede recibir y decodificar señales de comunicación aguas arriba, por ejemplo, vigilando las corrientes del detector aguas arriba. Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un divisor activo que puede transmitir señales de comunicación aguas arriba, por ejemplo modulando el láser inverso.

30 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un sistema con al menos dos divisores activos donde un primer divisor activo indica a un segundo divisor activo que ajuste su nivel de potencia de transmisión inversa. Algunas realizaciones pueden utilizar un algoritmo para igualar y optimizar el nivel de transmisión inversa de todos los divisores activos aguas abajo conectados a un divisor activo aguas arriba. En algunas realizaciones, el algoritmo se ejecuta automáticamente al inicio de tal manera que los divisores activos aguas abajo (y opcionalmente las ONU) obtienen una dirección e informan opcionalmente en la dirección aguas arriba el número de serie y el estado del divisor (u ONU). En algunas realizaciones, la activación posterior de los puertos en el divisor conduce a una calibración automática de nuevos puertos sin interrumpir el servicio de los puertos existentes y con una vigilancia continua del estado del puerto.

35 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir un divisor activo capaz de comunicación aguas arriba, y capaz de recibir y decodificar corriente comunicaciones aguas arriba de otro divisor.

40 En algunas realizaciones, un divisor activo puede establecer un mapa del sistema en el que está incluido, y puede informar el estado del sistema y la información de topología a una cabecera y puede emitir alarmas si es necesario. El mapa puede incluir números de serie de divisores activos, y puede incluir números de serie de ONU conectadas. Algunas realizaciones pueden crear un mapa del sistema automáticamente, y (i) pueden vigilar los niveles de entrada del enlace de ONU a los divisores activos; (ii) pueden detectar ONU que vibran o de otro modo defectuosas y, opcionalmente, puede indicare al divisor activo que apague los detectores de ONU defectuosas o que vibran; y/o (iii) pueden vigilar el estado del divisor activo que construye el mapa. En algunas realizaciones, la función de vigilancia se utiliza para activar automáticamente la redundancia de trayectoria que vigila el tráfico aguas arriba sobre un enlace, para determinar si el enlace está intacto y si el enlace se encuentra defectuoso, cambiando el tráfico aguas abajo a un enlace aguas arriba alternativo. En algunas realizaciones, los divisores activos aguas arriba vigilan los divisores activos aguas abajo comunicándose con los divisores activos aguas abajo.

45 Algunas realizaciones de la descripción anterior pueden incluir una cabecera que indica a los divisores activos aguas abajo que inicien un procedimiento de autocalibración.

55 Algunas realizaciones incluyen un combinador que puede vigilar cada uno de los puertos de entrada aguas arriba y así detectar una pérdida de un enlace a tal puerto. La pérdida de un enlace aguas arriba implica que el enlace aguas abajo asociado se ha perdido. La detección de un enlace se puede utilizar para iniciar el cambio a un enlace de fibra redundante, preferiblemente siguiendo una trayectoria de fibra diferente.

60 Los términos y expresiones que se han empleado en la especificación anterior se utilizan en ella como términos de descripción y no de limitación, y no hay ninguna intención, en el uso de tales términos y expresiones, de excluir equivalentes de las características mostradas y descritas o partes del mismo, se reconoce que el alcance del objeto reivindicado está definido y limitado solamente por las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema que comprende una cabecera (110), una pluralidad de unidades de red óptica, ONU, (140), y al menos un divisor activo (120), comprendiendo el divisor activo:
- 5 una unidad (126) configurada para funcionar como un divisor en una primera dirección y como un combinador activo en una segunda dirección opuesta a la primera dirección, teniendo el combinador una pluralidad de entradas, siendo cada una capaz de recibir una señal óptica aguas arriba procedente de una ONU respectiva, y combinar las señales ópticas aguas arriba recibidas para crear una señal eléctrica combinada en una salida;
- 10 un transmisor (129, 136) configurado para recibir la señal eléctrica combinada y para convertir la señal eléctrica combinada a una señal óptica de trayectoria inversa a un nivel de potencia calibrada; y un multiplexor (122) configurado para multiplexar la señal óptica de trayectoria inversa con una señal óptica de trayectoria de hacia delante; en donde
- 15 el divisor activo está configurado para determinar el nivel de potencia calibrada realizando al menos uno de: (i) calibrar al menos uno del nivel de potencia óptica de transmisión inversa y de la ganancia de señal de RF propios del divisor activo con relación a la potencia óptica y a la ganancia de señal de RF recibidas procedentes de al menos un detector del divisor activo, y en respuesta a una señal aguas abajo; (ii) calibrar al menos uno del nivel de potencia óptica de transmisión inversa y de la ganancia de señal de RF propios del divisor activo con relación a la potencia óptica y a la ganancia de señal de RF recibidas procedentes de al menos un detector del divisor activo, y en respuesta a una señal aguas arriba; y (iii) calibrar al menos uno de
- 20 un nivel de potencia óptica de transmisión inversa y una ganancia de señal de RF de otro dispositivo que utiliza una señal aguas abajo enviada desde el divisor activo hacia el otro dispositivo.
2. El sistema de la reivindicación 1 donde el divisor activo está configurado para decodificar las señales de comunicación de trayectoria de avance recibidas.
- 25 3. El sistema de la reivindicación 1 donde el divisor activo está configurado para recibir una señal de comunicación de trayectoria hacia delante, modulando la señal de comunicación de trayectoria hacia delante recibida, y emitiendo la señal de trayectoria hacia delante modulada a otro dispositivo.
- 30 4. El sistema de la reivindicación 1 donde el divisor activo está configurado para indica a un segundo divisor activo (130) que ajuste el nivel de potencia de transmisión inversa del divisor activo.
- 35 5. El sistema de la reivindicación 1 donde el divisor activo está configurado para construir un mapa del sistema que comprende información de topología, incluyendo la información de topología al menos uno de: (i) números de serie de otros divisores activos conectados operativamente al divisor activo; (ii) números de serie de ONU conectadas operativamente al divisor activo.
- 40 6. El sistema de la reivindicación 1 donde el divisor activo está configurado para utilizar el mapa para reportar la información de estado del sistema y dicha información de topología a la cabecera.
7. El sistema de la reivindicación 6 donde dicha información de estado del sistema incluye el estado de dicho divisor activo.
- 45 8. El sistema de la reivindicación 7 donde un divisor activo (120) aguas arriba está configurado para comunicarse con y vigilar un divisor activo (130) aguas abajo.
9. El sistema de la reivindicación 5 donde el divisor activo está configurado para activar automáticamente la redundancia de trayectoria al vigilar el tráfico aguas arriba sobre un primer enlace y cambiar el tráfico aguas abajo a un segundo enlace si el primer enlace no está operativo.
- 50 10. El sistema de la reivindicación 1 donde la cabecera es capaz de informar a un divisor activo para iniciar un procedimiento de autocalibración.
- 55 11. El sistema de la reivindicación 1 donde otros divisores activos están conectados hacia y aguas abajo de dicho divisor activo, y el nivel de transmisión inversa de los otros divisores activos se iguala a un nivel optimizado.
12. El sistema de la reivindicación 11 donde dicho nivel de transmisión inversa de cualquier divisor activo aguas abajo se iguala a dicho nivel optimizado automáticamente al inicio de dicho divisor aguas abajo.
- 60 13. El sistema de la reivindicación 1 donde el divisor activo está configurado para recibir y decodificar una señal aguas arriba, y comunicarse con un dispositivo aguas arriba utilizando la señal decodificada aguas arriba.



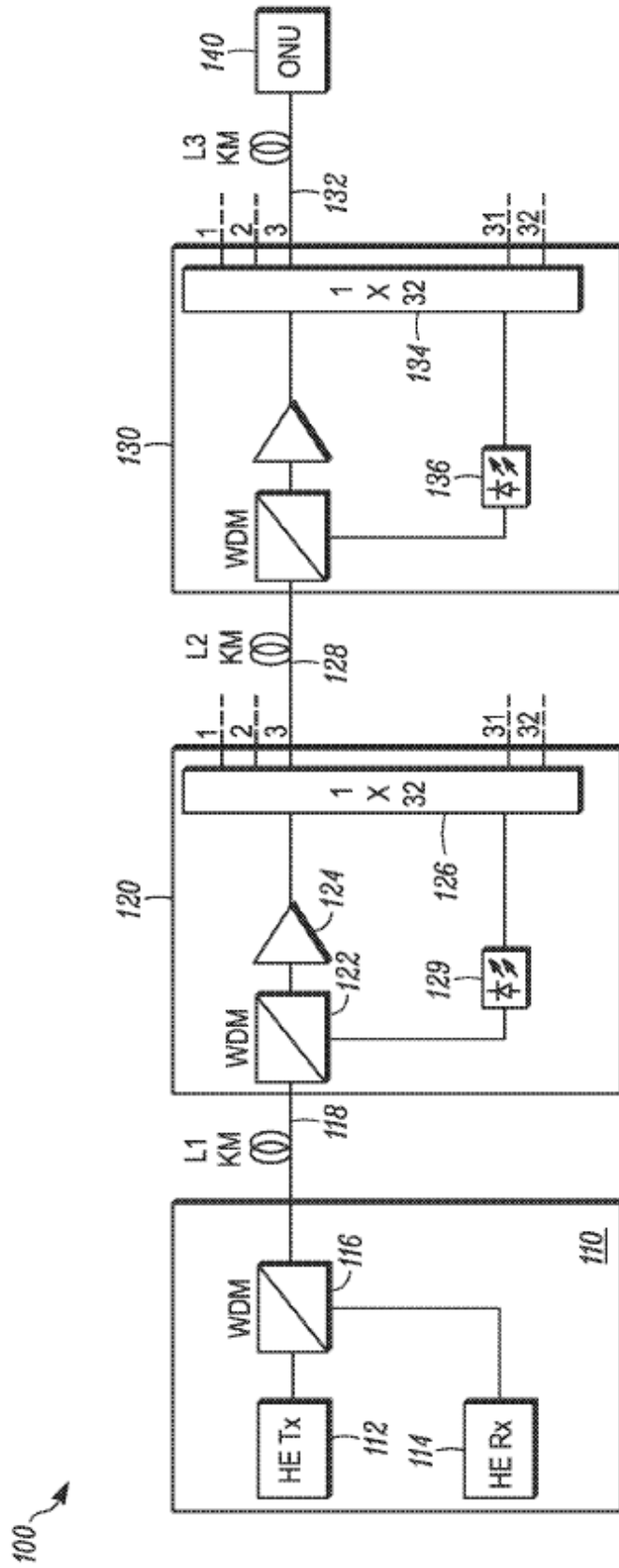


FIG. 2

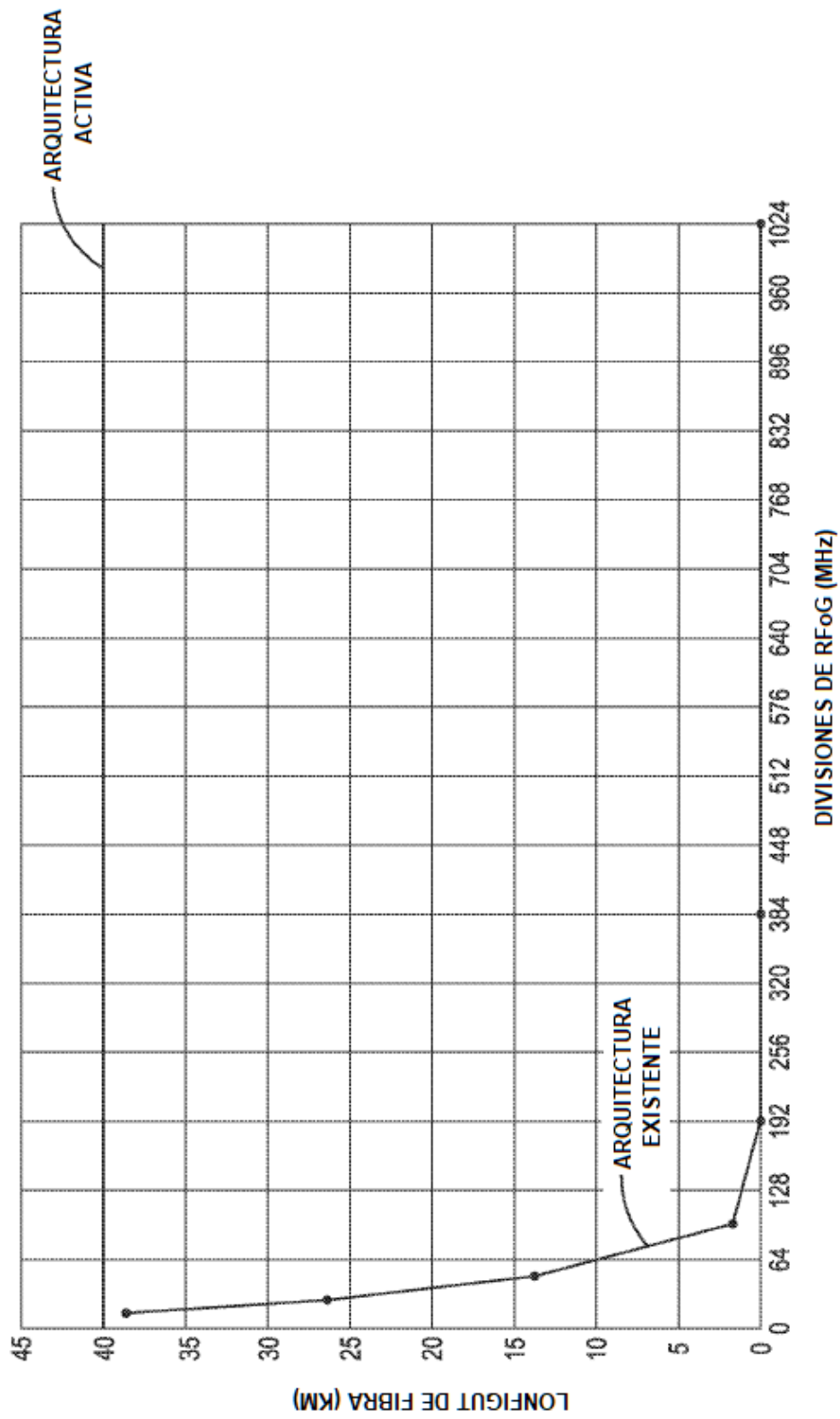


FIG. 3



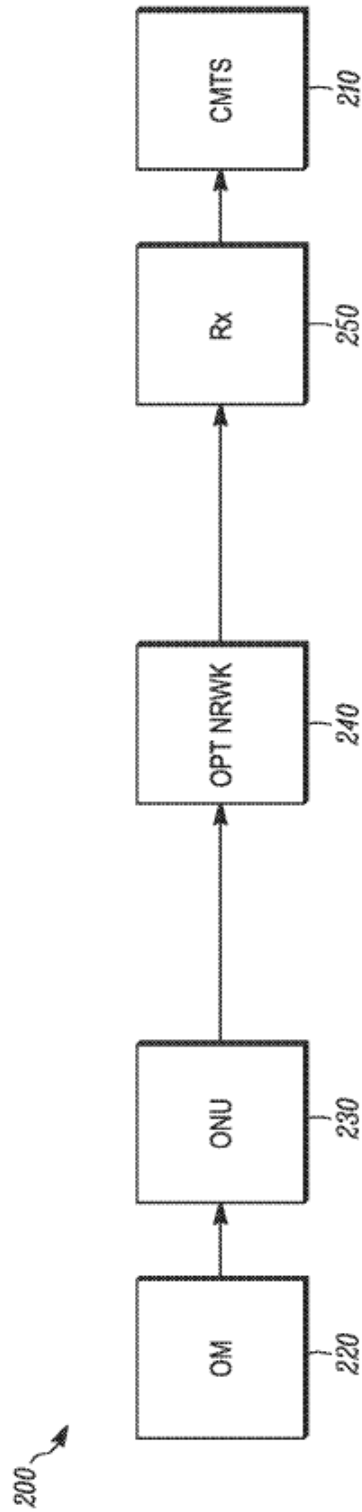


FIG. 4

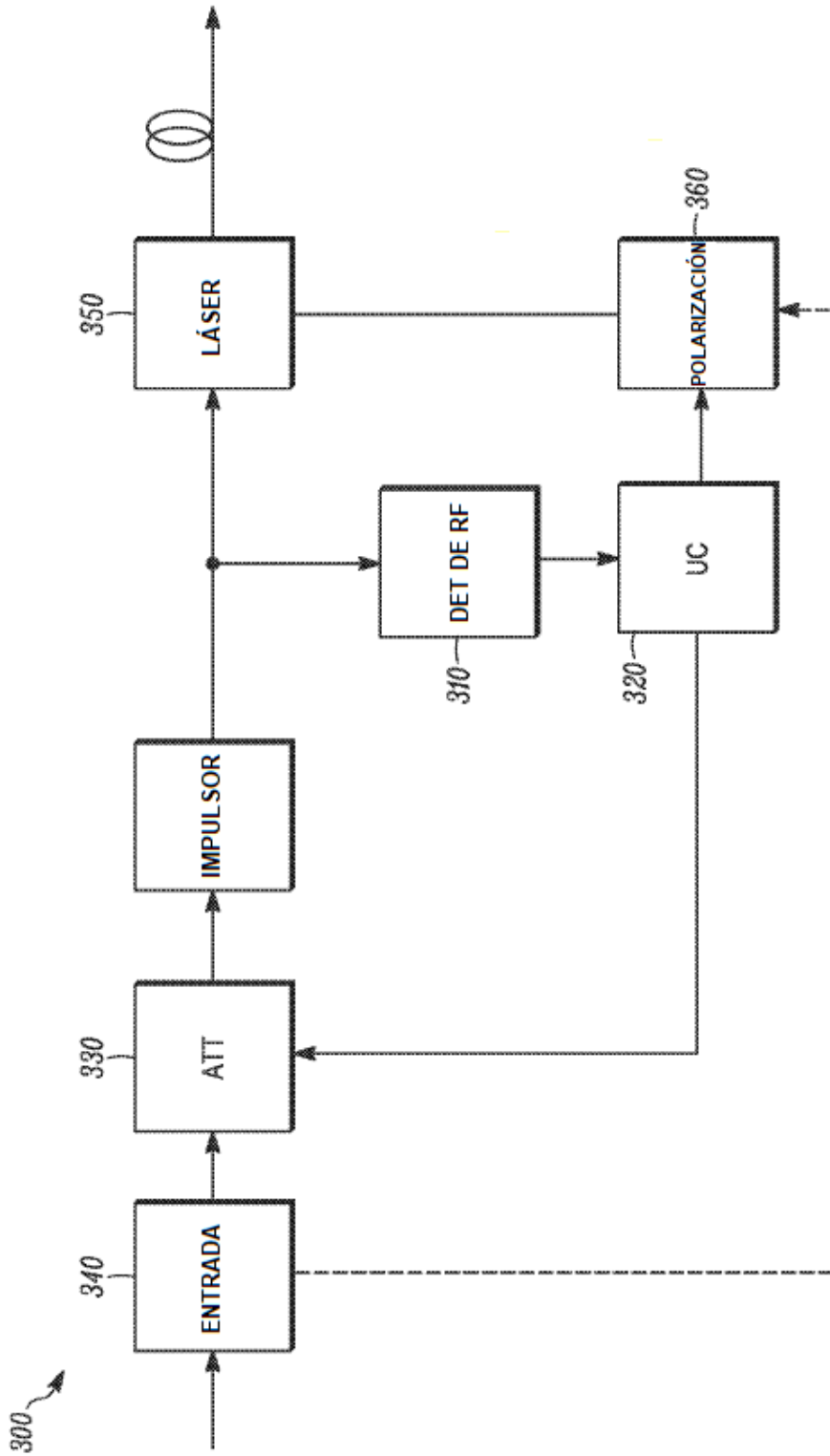


FIG. 5

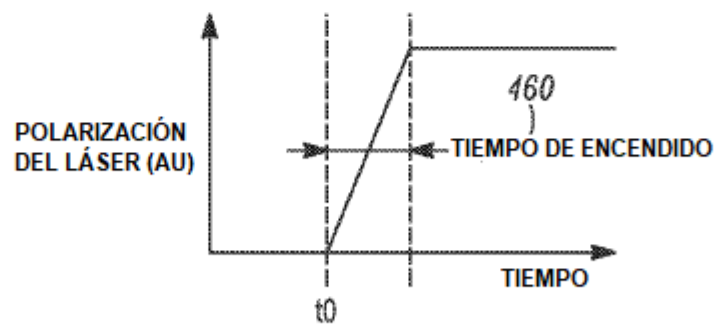
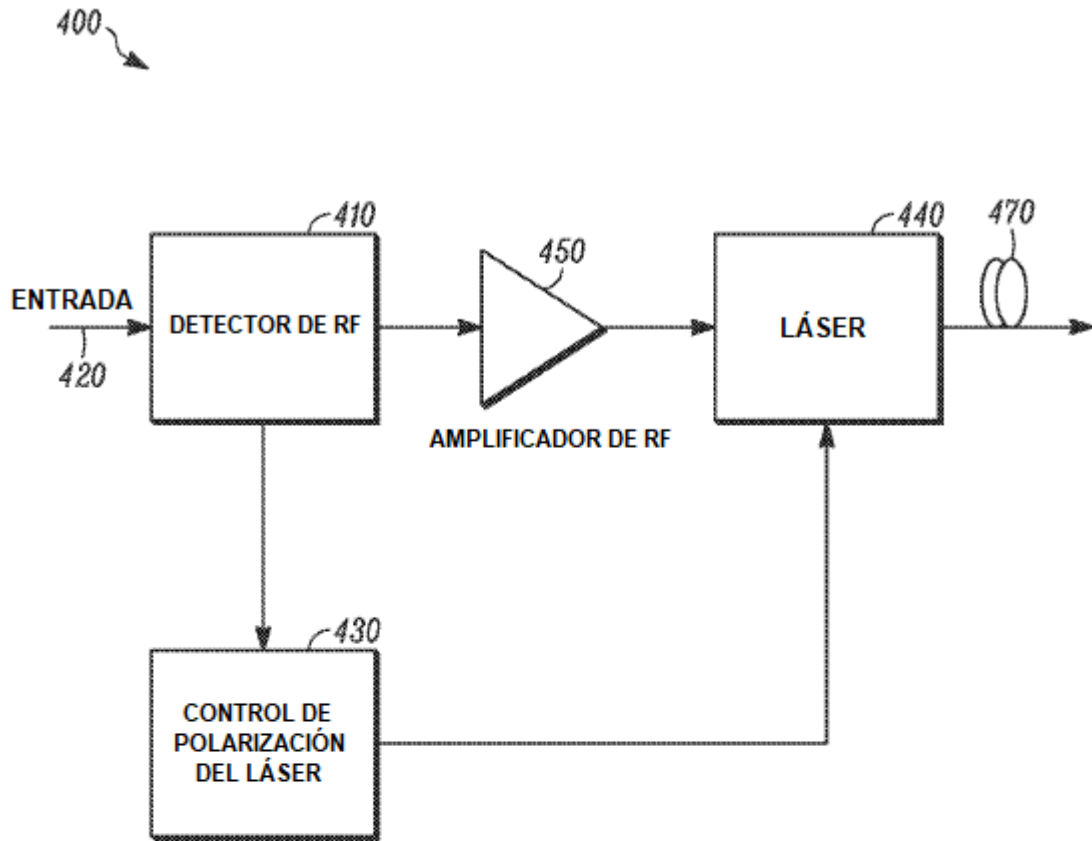


FIG. 6

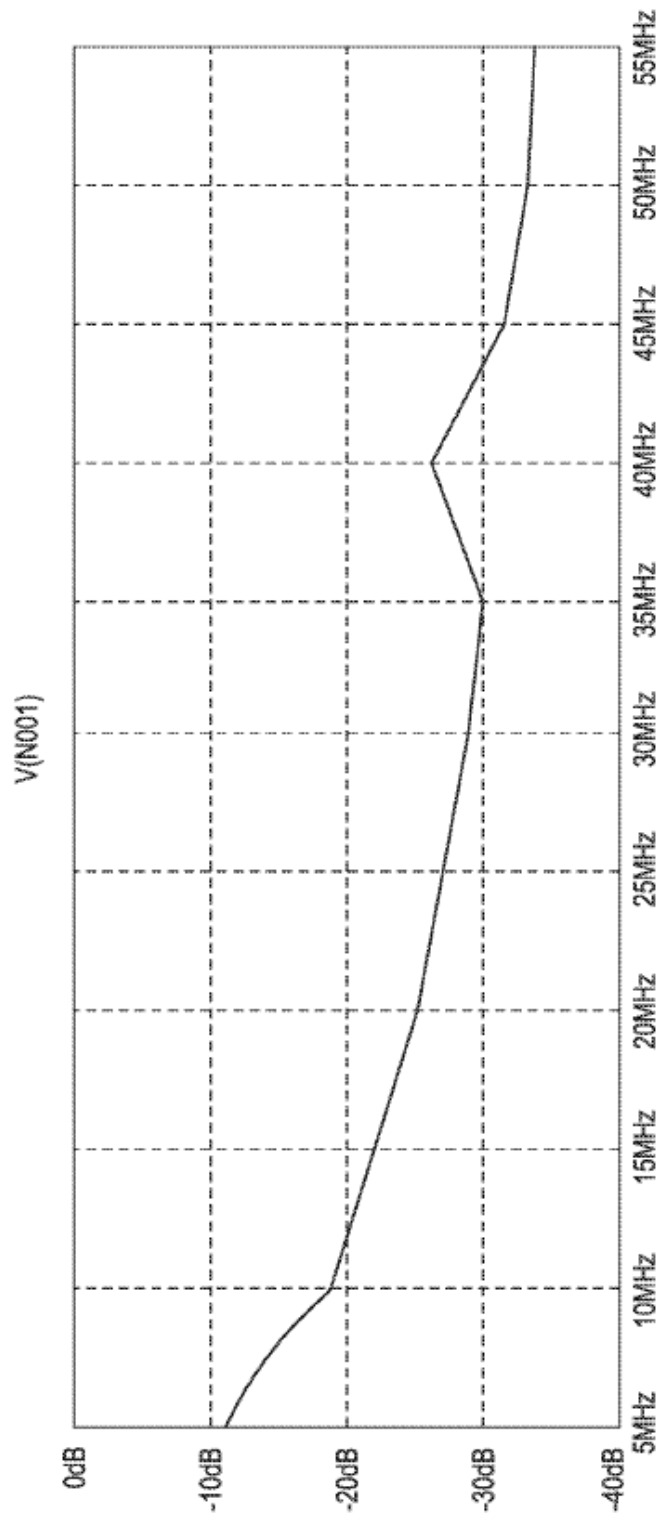


FIG. 7

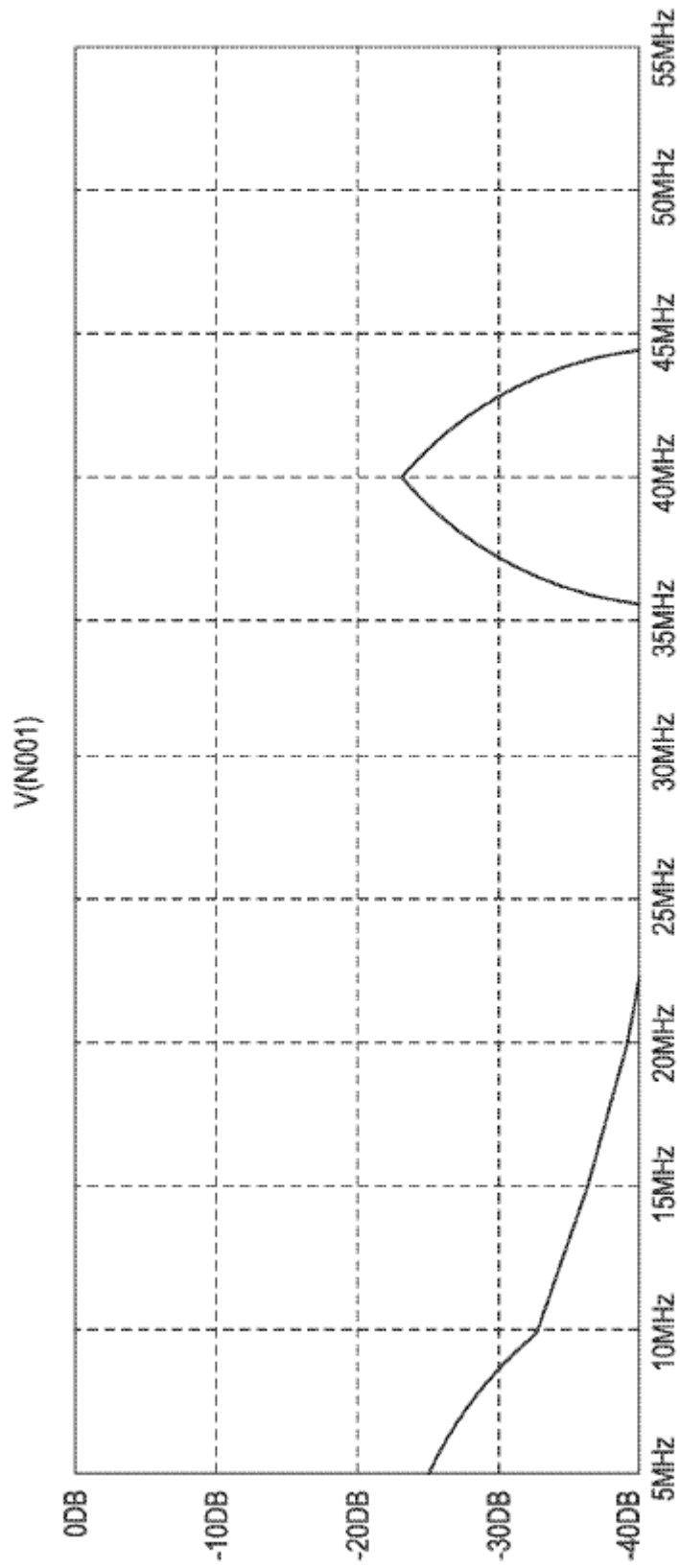
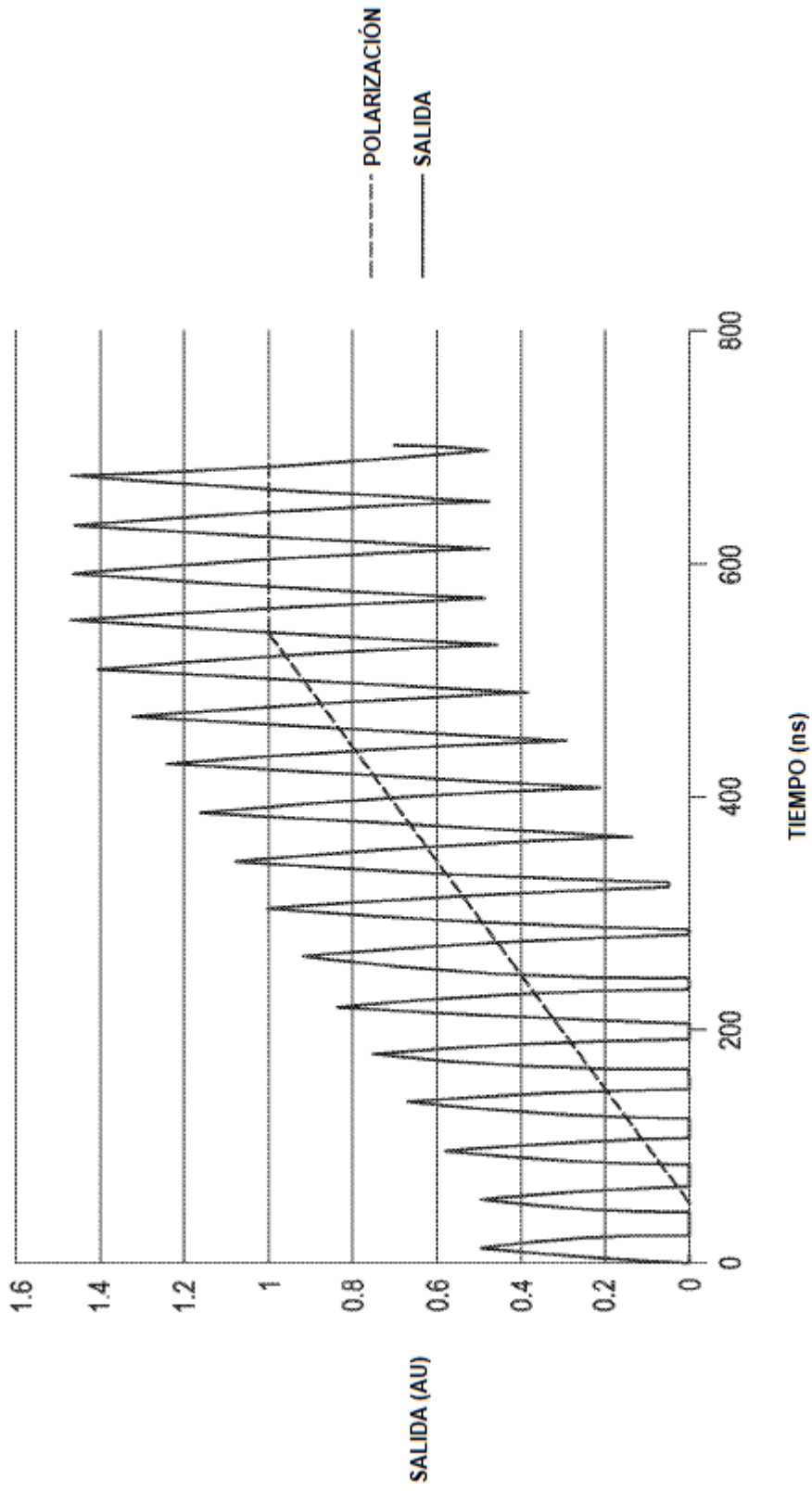


FIG. 8



*FIG. 9*

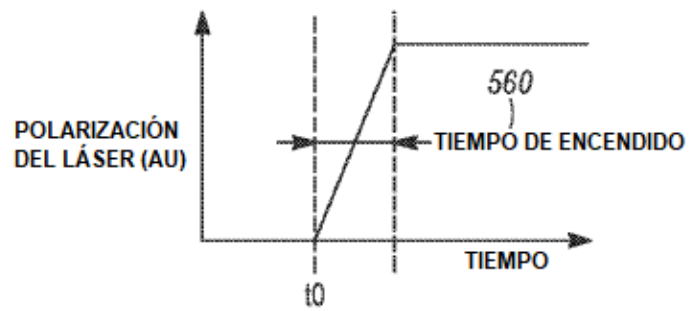
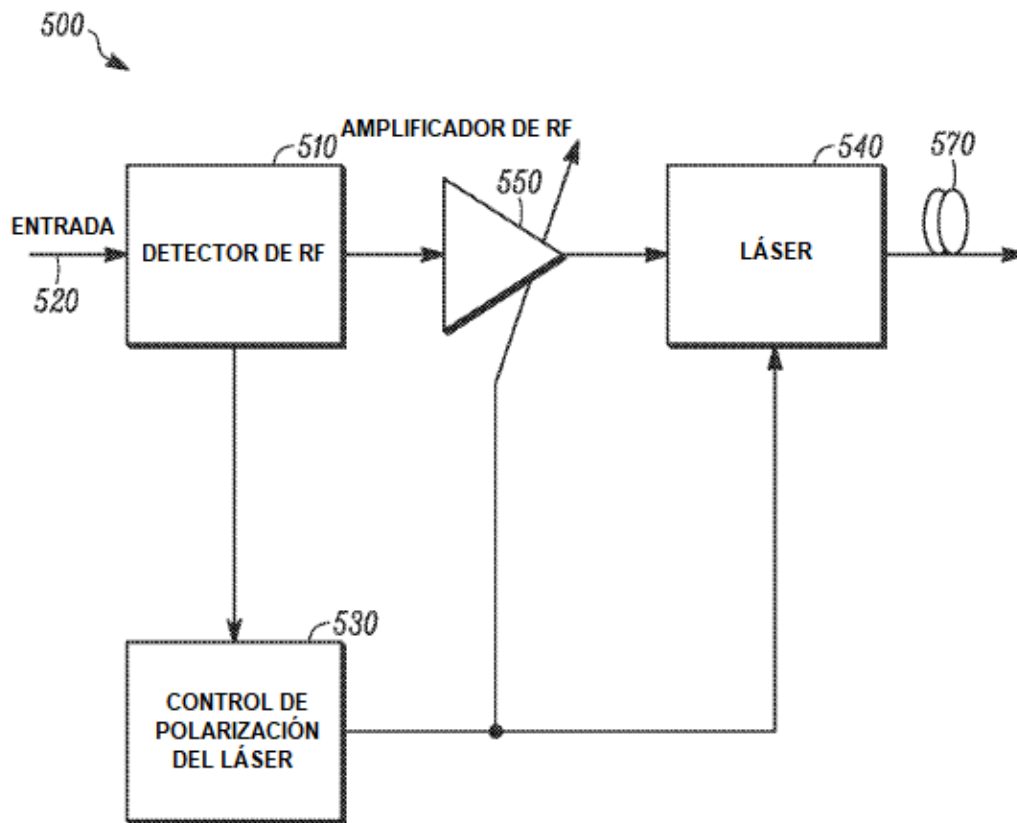
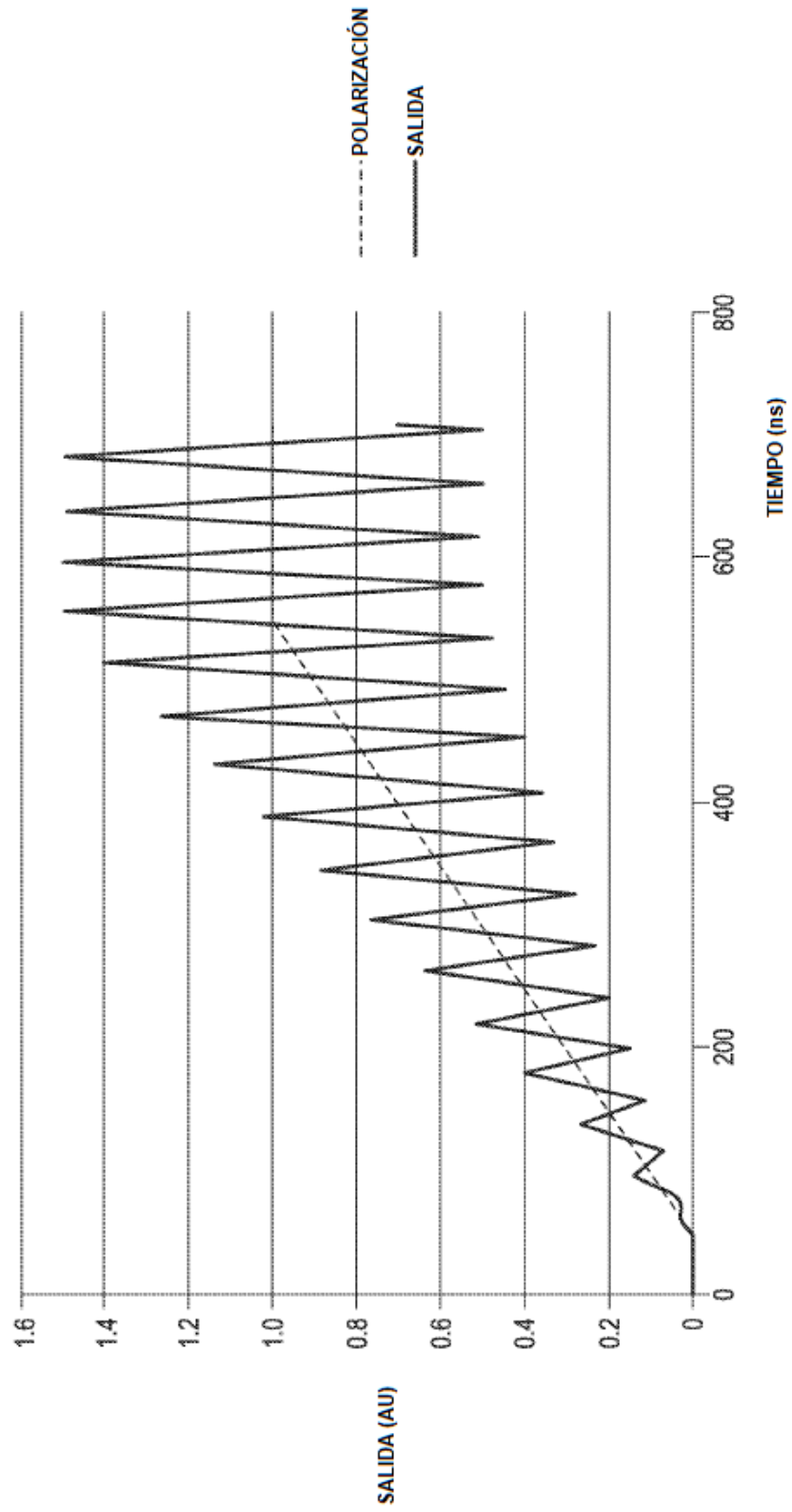


FIG. 10



*FIG. 11*



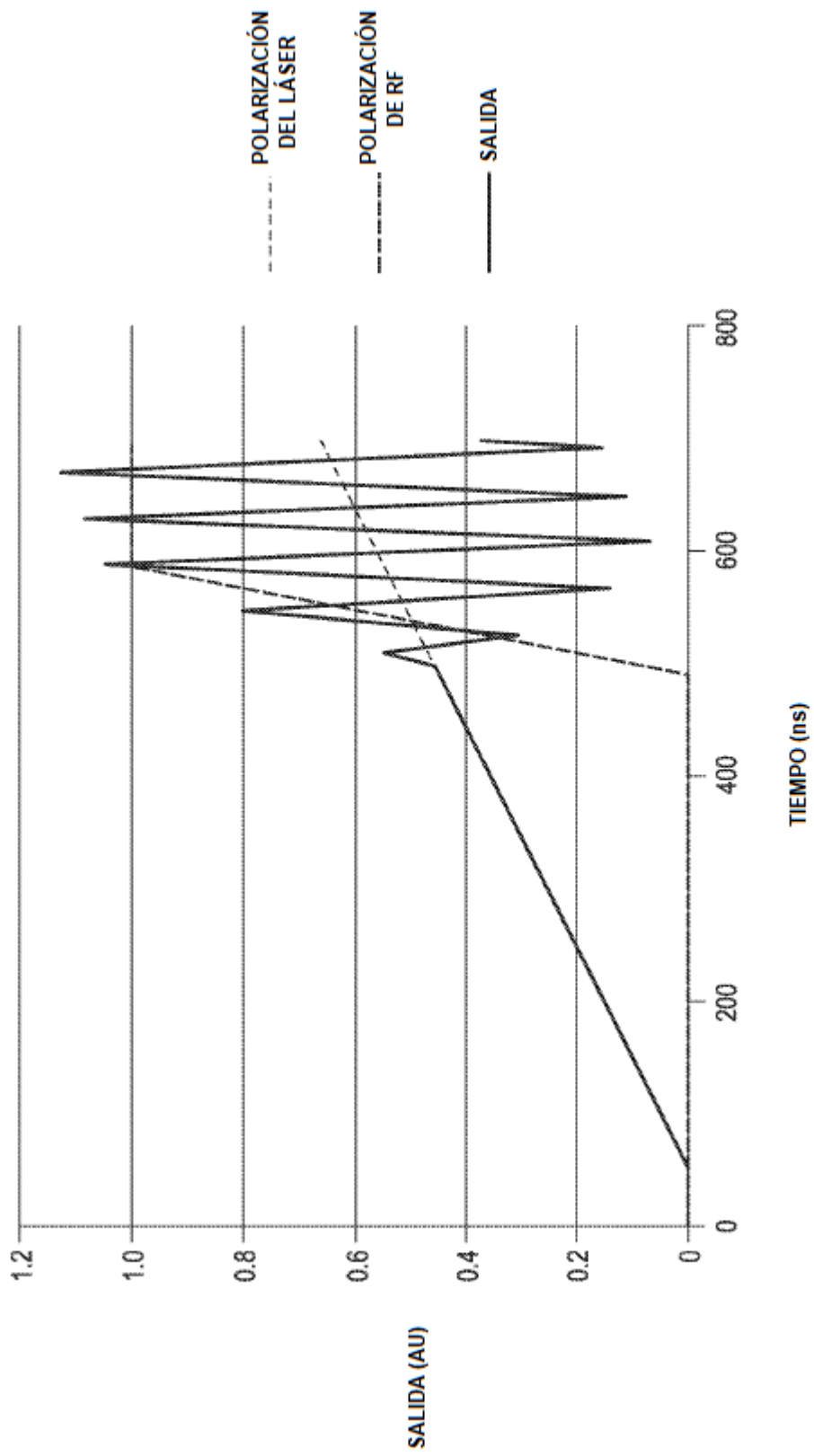


FIG. 12

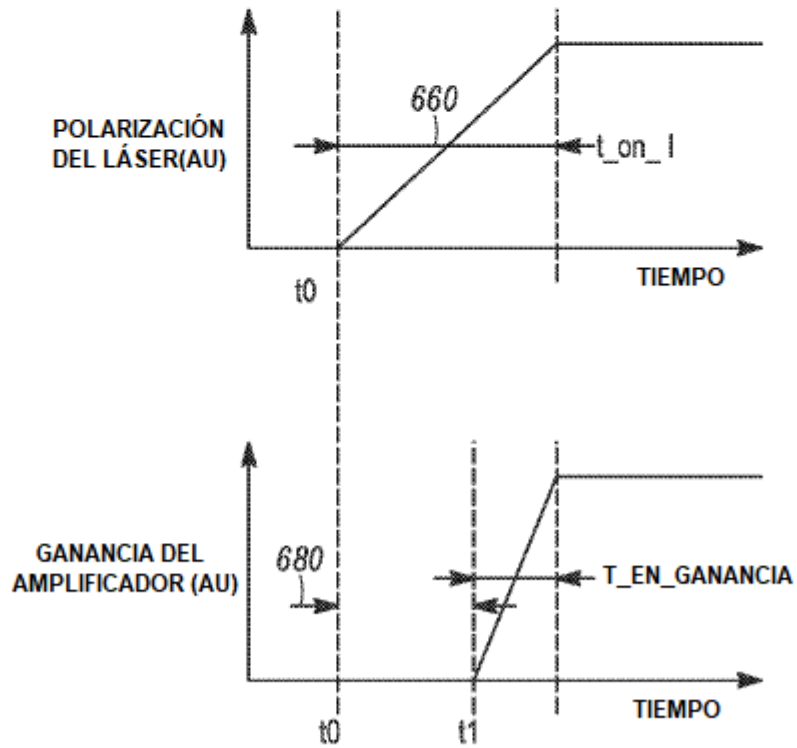
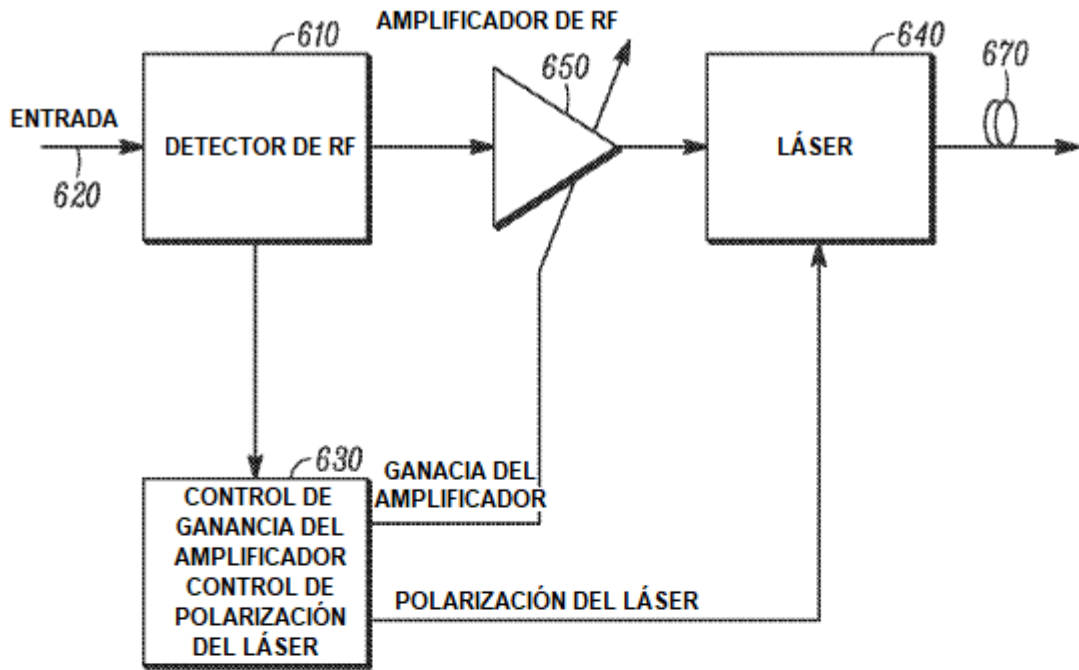


FIG. 13

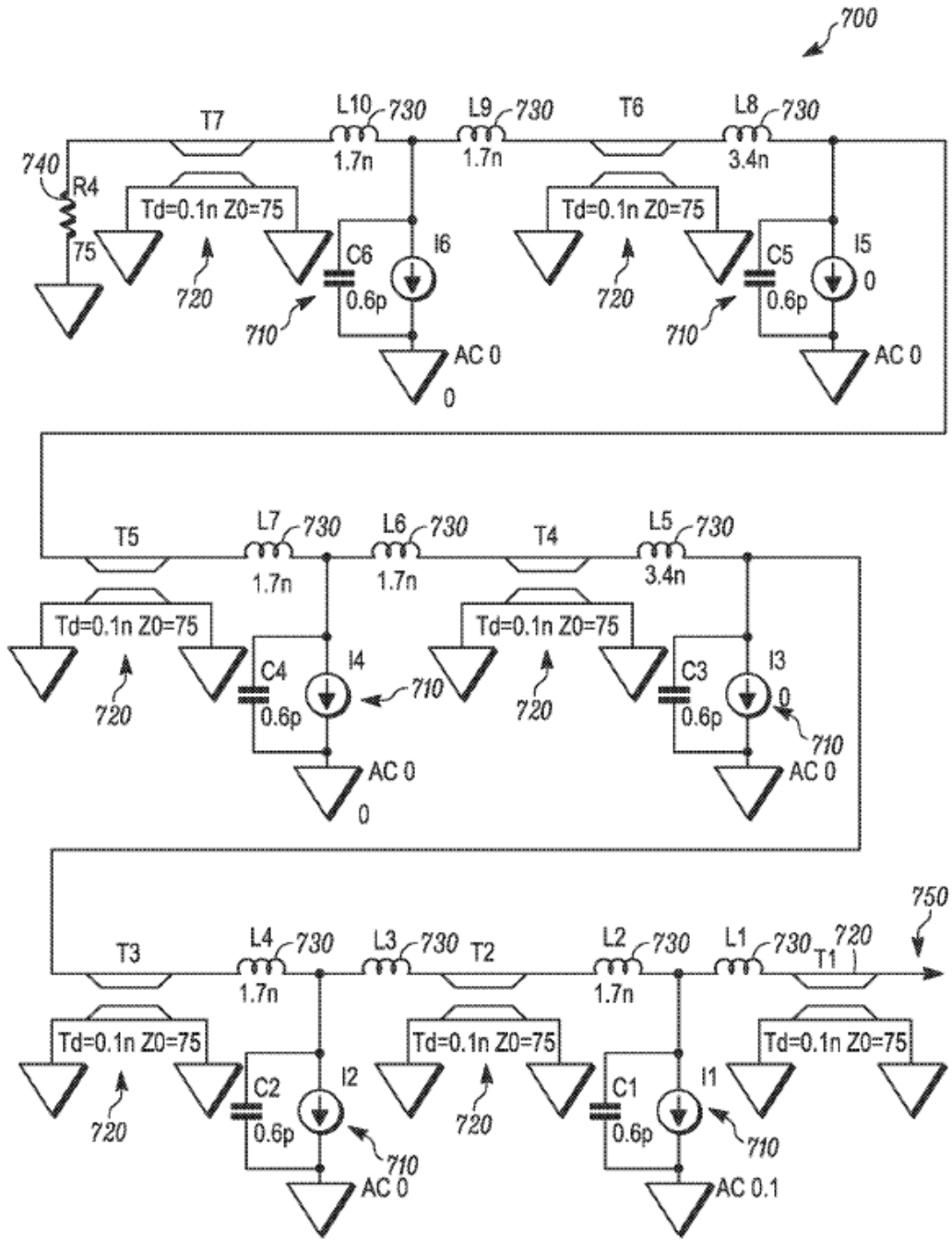
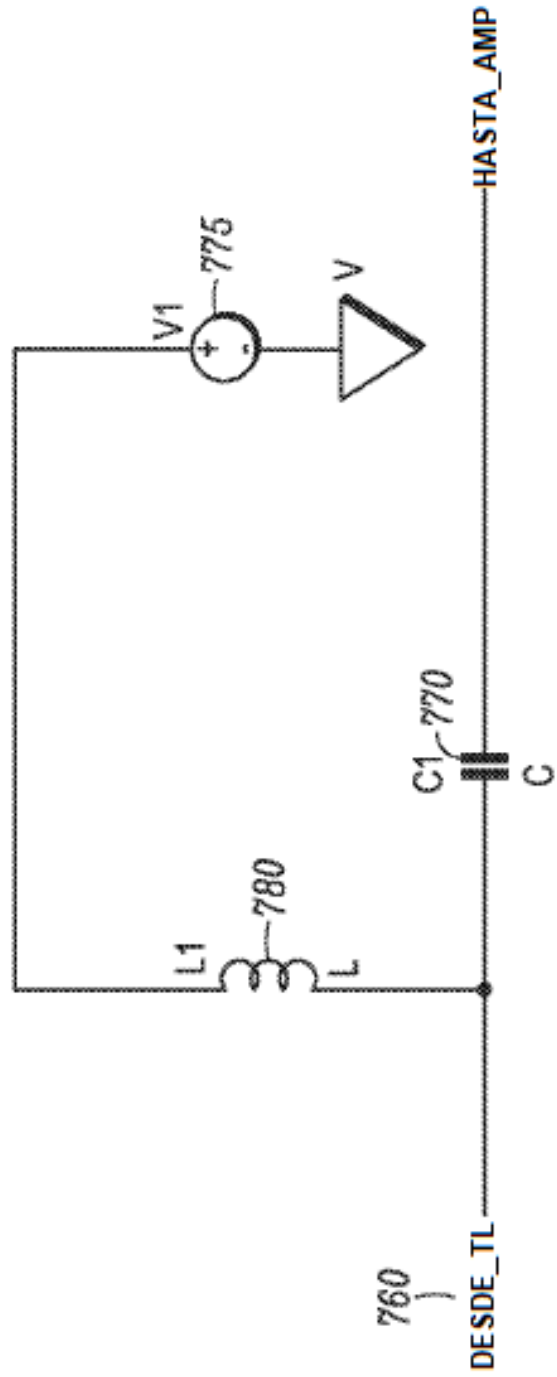


FIG. 14



*FIG. 15*

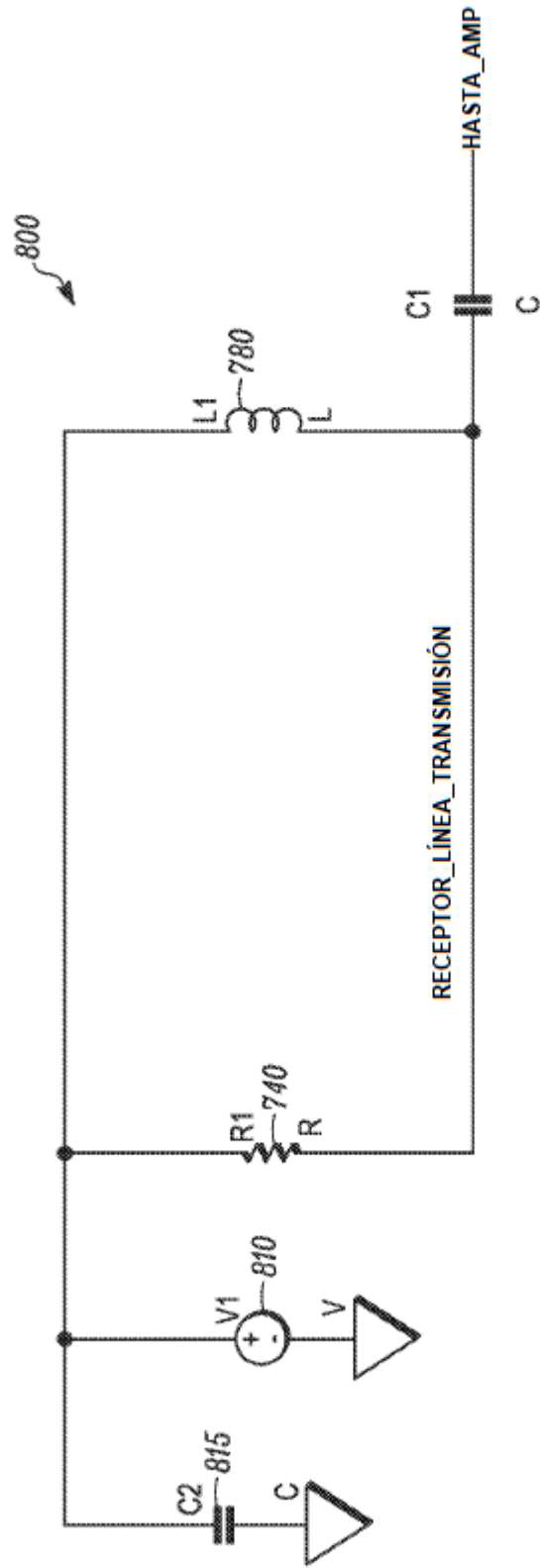


FIG. 16

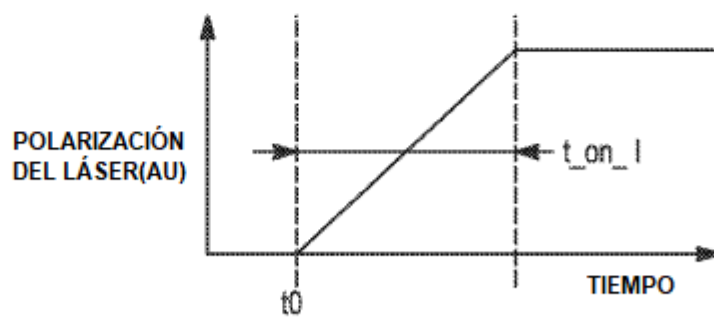
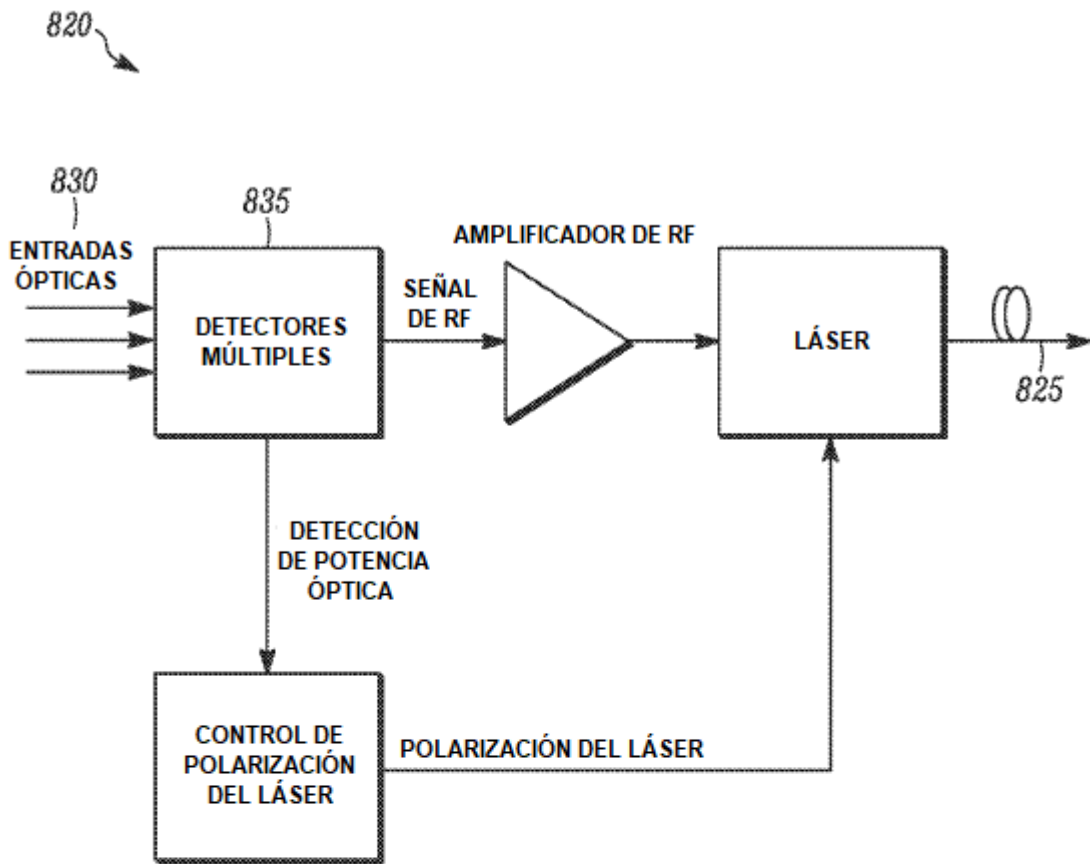


FIG. 17

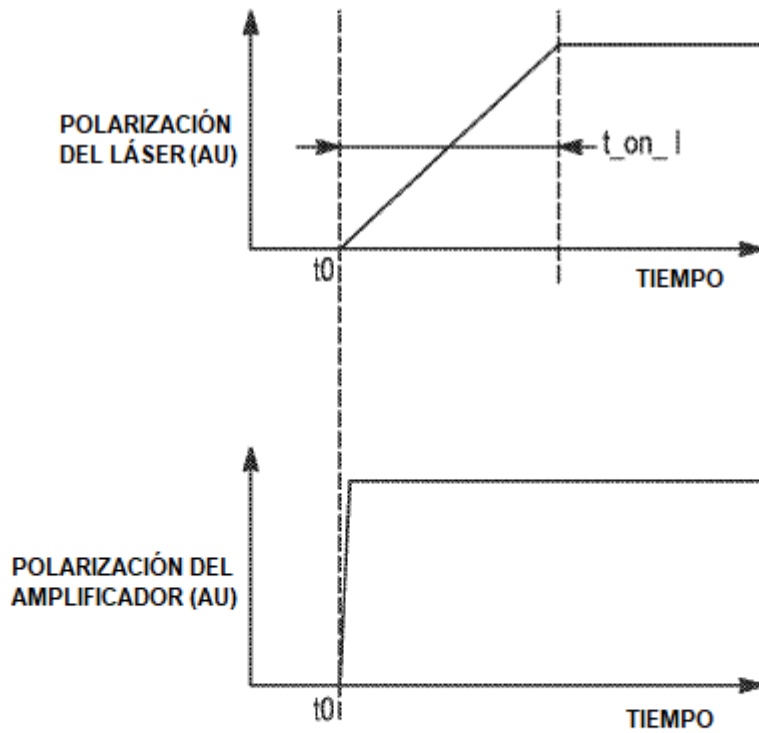
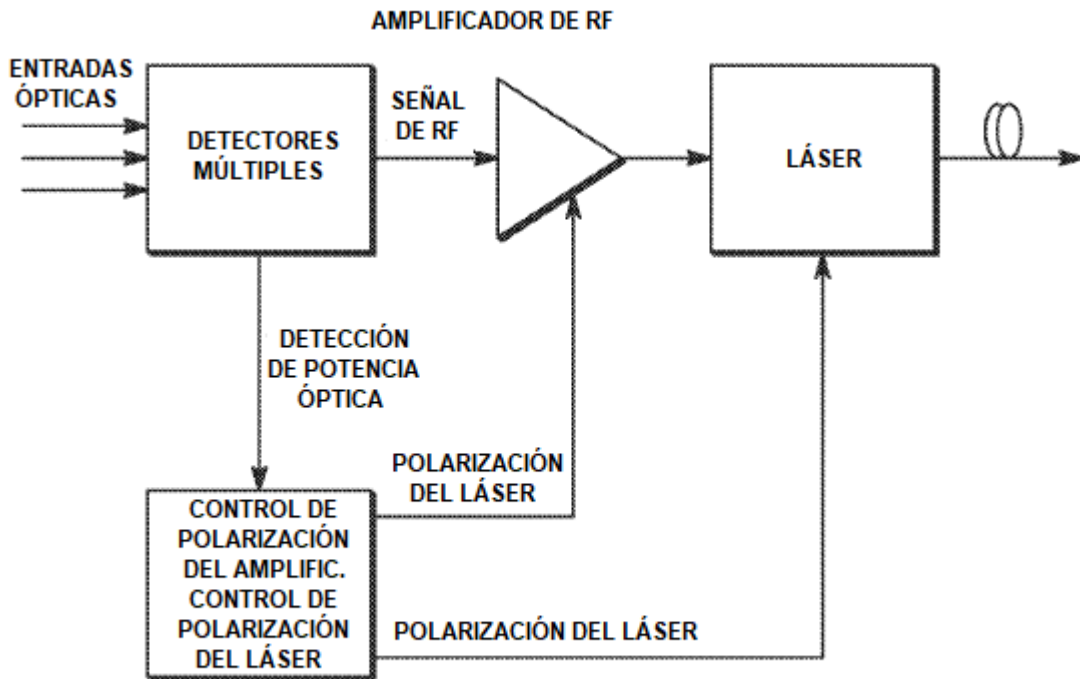


FIG. 18

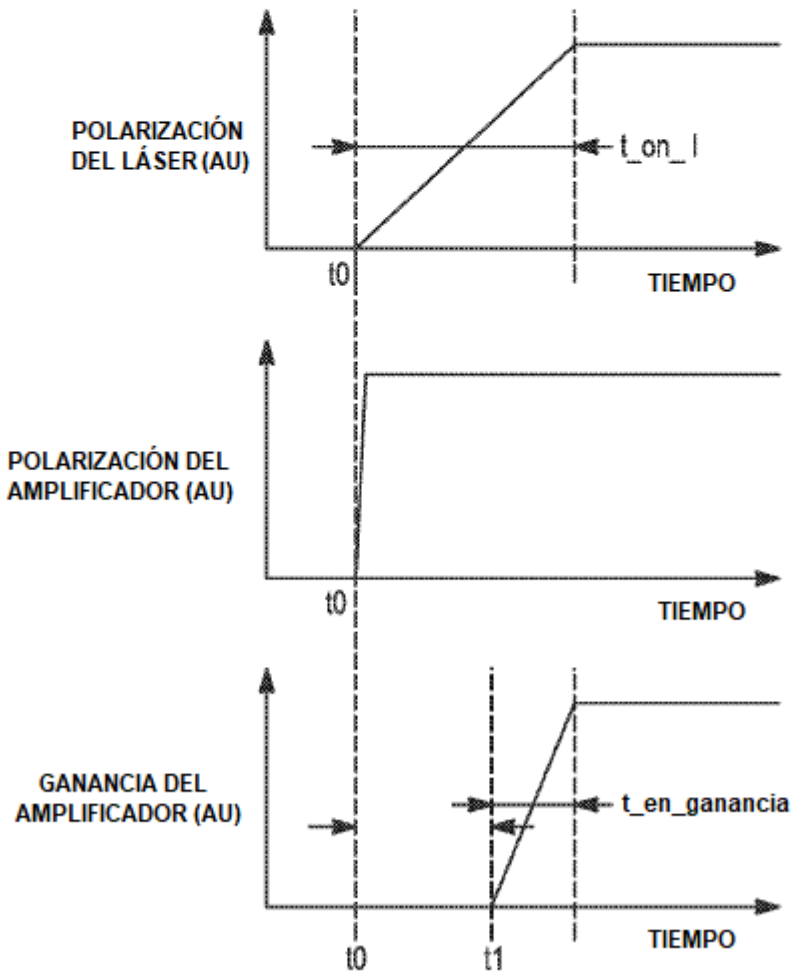
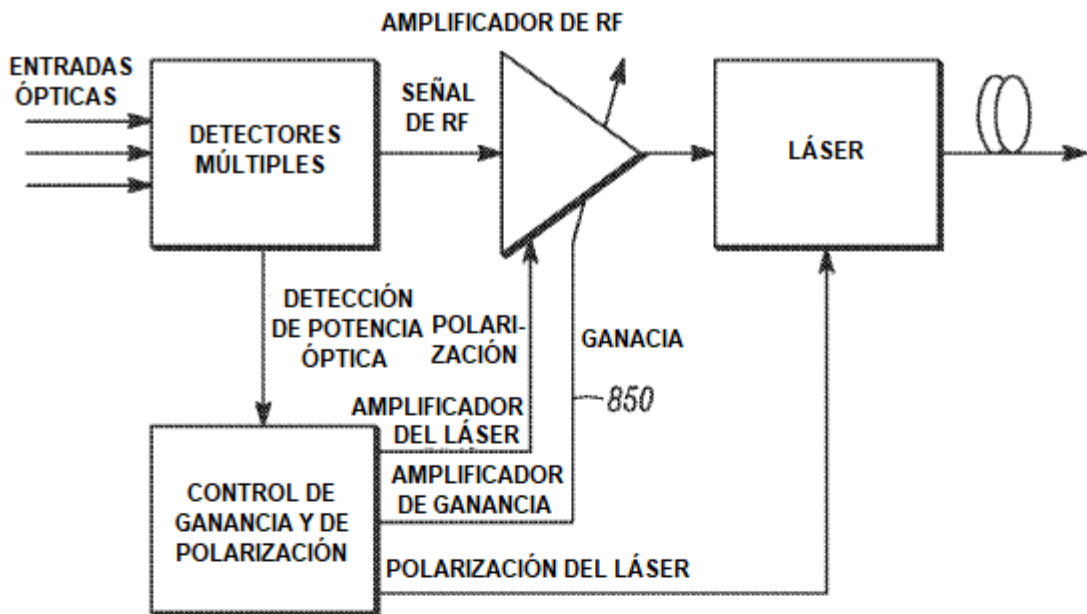


FIG. 19