

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 965**

51 Int. Cl.:

H04J 14/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2003** **E 03796235 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **12.10.2005** **EP 1584147**

54 Título: **Sistema de transmisión de anillo óptico amplificado**

30 Prioridad:

15.01.2003 IT MI20030050

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

07.02.2013

73 Titular/es:

**ERICSSON AB (100.0%)
TORSHAMNSGATAN 23
164 80 STOCKHOLM, SE**

72 Inventor/es:

**GHIGGINO, PIERPAOLO;
POLETTI, FRANCESCO;
RAZZETTA, GIOVANNI y
SESSAREGO, PIERGIORGIO**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 394 965 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 de transmisión de anillo óptico amplificado.

- 5 La presente invención se refiere a un anillo de transmisión óptica en el que se necesita al menos un amplificador óptico para compensar las pérdidas en las fibras y en los componentes pasivos y en particular en un sistema de transmisión funcionando mediante la técnica de la Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM, *Wavelength Division Multiplexing*).
- 10 Uno de los principales problemas que debe afrontarse cuando se diseñan anillos ópticos amplificados para ser utilizados en aplicaciones WDM es la recirculación de emisiones espontáneas amplificadas (ASEs, *Amplified Spontaneous Emissions*) producidas por cada amplificador, generalmente de tipo fibra óptica dopada con tierras raras, por ejemplo, especialmente un Amplificador de Fibra Dopada con Erblio (EDFA, *Erbium-Doped Fiber Amplifier*).
- 15 Las estructuras de anillo WDM utilizan generalmente filtros para añadir o extraer canales específicos de la línea óptica. En muchos casos, para compensar las pérdidas en las fibras o en los filtros, se necesita utilizar un amplificador óptico o más de uno a lo largo del anillo. El ruido producido por estos amplificadores fuera de la banda asignada a los canales puede recircular en el anillo si no se controla. Si la ganancia global en el anillo de red es mayor que uno, es decir, si la ganancia total es mayor que las pérdidas totales como puede ocurrir si algún amplificador amplifica más que la atenuación de la sección precedente, el ruido de las ASE puede amplificarse como una señal y crecer de manera indiscriminada en el anillo debido a la recirculación, haciendo muy difícil controlar el estado del anillo y asegurar la supervivencia de los canales de tráfico.
- 20 Actualmente existen dos maneras para abordar el problema. La primera consiste en introducir una interrupción a lo largo del camino del ruido de las ASE en algún punto del anillo. De este modo, se soluciona el problema con la desventaja de tener que introducir componentes pasivos adicionales y/o con una pérdida de flexibilidad en el sistema. Se necesita tráfico centralizado o cualquier reconfiguración del tráfico requiere la visita del nodo que lleva a cabo la interrupción de las ASE.
- 30 La segunda manera de abordar el problema tiende a forzar que la ganancia del anillo de red se mantenga por debajo del umbral de acción láser de tal manera que la recirculación de las ASE no puede aumentar en potencia mientras se propaga a lo largo del anillo. Un problema asociado a esta aproximación es que los amplificadores EDFA o similares tienen una ganancia que depende de la potencia aplicada en la entrada, y en la rejilla de potencia la potencia aplicada a los amplificadores depende a su vez del número de canales activos en ese instante. Por esta razón, con el fin de mantener la ganancia total por debajo del umbral de acción láser bajo todas las circunstancias posibles, incluyendo la adición o la retirada de canales y nodos, se necesita un complejo algoritmo de control global del anillo con muchos puntos de monitorización, o de otro modo es necesario mantener la ganancia de los amplificadores individuales en un valor lo suficientemente bajo para asegurar que incluso bajo condiciones que conducen a la máxima ganancia de los amplificadores la ganancia total en la red será menor que la unidad. Pero esta solución implica una reducción considerable en el rendimiento global que puede conseguirse ya que cuando se está lejos de las condiciones de máxima ganancia la amplificación de los amplificadores individuales es mucho más baja que aquella que podría conseguirse.
- 40 Para proporcionar un control de ganancia de un amplificador óptico EDFA individual utilizado en la red de telecomunicaciones, se ha propuesto en la técnica anterior utilizar un oscilador local en el amplificador para generar una onda de compensación auxiliar que se suma a la señal útil. Un sistema tal se describe por ejemplo en el documento US 6.043.931. La onda auxiliar o la señal de control requieren un generador específico y son generadas en un amplificador específico del que depende el correcto funcionamiento del sistema. La ganancia de un amplificador puede estabilizarse de esta manera pero esto no resuelve los problemas mencionados anteriormente en una red de anillo porque la estabilización de la ganancia permanece como un hecho local en el amplificador individual y por lo tanto no satisface las necesidades globales de una red de anillo mencionadas anteriormente.
- 50 El documento US 6.175.436 describe un equipo y un método para controlar la ganancia de un amplificador de fibra dopada con erbio incorporado en un sistema de comunicación de múltiples longitudes de onda con el fin de amplificar cada una de las señales de longitud de onda. El amplificador funciona cerca del estado de saturación de tal manera que, si una o más de una señal de múltiples longitudes de onda es eliminada de la transmisión, los canales restantes son amplificados cada vez más, lo que produce problemas con otros componentes en el sistema que dependen de la intensidad. Consecuentemente, una señal óptica con una longitud de onda que no está incluida en ninguno de los canales de transmisión es realimentada de manera selectiva alrededor de amplificador y está obligada a lasear en una configuración de láser en anillo filtrada en longitud de onda.
- 60 El documento US 6.421.168 describe un sistema de comunicaciones ópticas con multiplexación por división de longitud de onda que incluye un anillo de fibra óptica configurado para portar al menos una señal de comunicaciones ópticas multiplexada por división de longitud de onda que tiene un número plural de canales ópticos con diferentes

longitudes de onda. Los amplificadores ópticos están interpuestos a lo largo del anillo de fibra óptica para amplificar de manera óptica la señal de comunicaciones ópticas multiplexada por división de longitud de onda. Cada amplificador óptico genera emisiones espontáneas amplificadas y también amplifica los canales ópticos de la señal WDM. En cada amplificador, se selecciona una emisión espontánea amplificada mediante un selector de realimentación óptica y se realimenta a la entrada del amplificador óptico a través de un camino de realimentación óptica; la longitud de onda generada viaja a lo largo del anillo y es depositada cerca de la entrada del siguiente amplificador adyacente, reduciendo las ASE en el anillo de fibra óptica. El documento US 6.421.168 explica que utilizando esta técnica pueden fabricarse redes metropolitanas WDM amplificadas en anillo cerrado sin necesidad de "romper el anillo" con el fin de evitar la formación de ASE.

Los anillos de transporte óptico presentan muchas ventajas debido a que, en cualquier punto de acceso o nodo, un canal que atraviesa el nodo no necesita ser regenerado como sí sería necesario en un sistema punto-a-punto cerrado en un anillo. Por consiguiente, los anillos ópticos constituyen la estructura de transporte más apropiada en áreas metropolitanas o regionales en las que se necesita una mezcla de servicios centralizados y de servicios de red. Para estas aplicaciones resulta esencial proporcionar la solución más económica y más simple para amplificar la señal sin introducir costes y desventajas excesivas. La presente invención proporciona una manera de conseguir esto.

El propósito general de la presente invención es superar las limitaciones mencionadas anteriormente haciendo disponible un método de control y un sistema de anillo óptico amplificado WDM materializado de acuerdo con el método que posee un alto rendimiento, fiabilidad, facilidad de realización y control y costes reducidos.

En vista de este propósito, se buscó proporcionar de acuerdo con la presente invención un método de control de ganancia en un sistema de transmisión óptica en anillo que incluye a lo largo del anillo amplificadores de fibra dopada con tierras raras y que incluye posicionar un pico de ganancia a una longitud de onda (λ_{ASE}) fuera de la banda ($\lambda_1 - \lambda_n$) de los canales transmitidos a lo largo del anillo y que corresponde a un pico de emisión de ASE de los amplificadores en el anillo y que emplea el pico de acción láser producido como una señal de estabilización de ganancia.

De acuerdo con la presente invención, se buscó también realizar un sistema de transmisión óptica en anillo que incluye amplificadores de fibra dopada con tierras raras a lo largo del anillo y caracterizado porque existe un pico de ganancia a una longitud de onda (λ_{ASE}) fuera de la banda ($\lambda_1 - \lambda_n$) de los canales a lo largo del anillo y dicha longitud de onda corresponde a un pico de emisión de ASE de los amplificadores en el anillo con el fin de producir un pico de acción láser que actúa como una señal de estabilización de ganancia.

Para clarificar la explicación de los principios innovadores de la presente invención y sus ventajas en comparación con la técnica anterior, se describen más abajo posibles realizaciones de la misma utilizando ejemplos con referencia a los dibujos anexos.

En los dibujos:

La Figura 1 muestra en forma de diagrama una red óptica en anillo aplicando los principios de la presente invención,

La Figura 2 muestra una primera variante de acuerdo con la presente invención,

La Figura 3 muestra una segunda posible variante de acuerdo con la presente invención, y

La Figura 4 muestra en forma de diagrama un gráfico del comportamiento de la ganancia en función de la longitud de onda.

En referencia a las figuras, la Figura 1 muestra en forma de diagrama una red en anillo con multiplexación por división de frecuencia (WDM) designada globalmente mediante el número 10 de referencia y que corresponde a la aplicación de los principios de la presente invención. El anillo incluye típicamente amplificadores 12 de fibra dopada con tierras raras EDFA conectados en un anillo 11 de fibra óptica. Los amplificadores son de un tipo conocido y no se discuten ni se muestran de manera adicional ya que aquellas personas expertas en la técnica pueden concebirlos sin esfuerzo. En ciertos puntos de la red existen nodos 13 en los cuales emergen o llegan los canales 14. El número de canales que emergen o que llegan puede variar de un nodo al siguiente y de un instante al siguiente de acuerdo con las necesidades específicas de la red.

Adicionalmente a las señales de los canales, también circula en la red un ruido de ASE producido por los amplificadores.

La Figura 4 muestra en forma de diagrama el comportamiento del espectro de ganancia de un amplificador EDFA o de una cadena de amplificadores EDFA. La curva se muestra a título meramente explicativo y su comportamiento exacto depende de muchos factores conocidos que no se discuten en la presente memoria porque no son de interés en este caso específico. Basta con comprender que los amplificadores utilizados se construyen o bien, tal como se clarifica más adelante, tienen dispositivos tales como filtros de entrada de tal manera que el espectro de ganancia tendrá un comportamiento tan plano como se desee en la banda $\lambda_1 - \lambda_n$ de los canales y un pico relativamente alto

en la longitud de onda λ_{ASE} (fuera de la banda de canales) que corresponde a un pico de emisión de ASE. Para un amplificador EDFA, este pico está aproximadamente en una longitud de onda de 1.532 nm.

Considerando la ganancia en el anillo (que tiene el mismo comportamiento general), en el pico la ganancia tendrá un valor unidad (1) para evitar un aumento incontrolado de la señal de ASE. El sistema alcanza este valor como una condición de equilibrio. Se encontró que la diferencia de ganancia ΔG entre el pico de ganancia y la ganancia en la banda de los canales debe ser preferiblemente mayor o igual a 1 dB de tal manera que el pico permanecerá estable en la posición seleccionada lejos de los canales pero no demasiado lejos del valor de 1 dB de tal manera que los canales tendrán suficiente amplificación. El valor preferido óptimo encontrado para ΔG fue, por lo tanto, de aproximadamente 1 dB.

La recirculación de ruido de ASE está sujeta a efectos de ganancia de pico que producen un pico de láser a la longitud de onda λ_{ASE} (tal como se indicó, fuera de la banda $\lambda_1 - \lambda_n$ reservada para los canales). Este pico de láser, considerado generalmente como dañino en sistemas normales conocidos, puede por el contrario utilizarse como una señal para estabilizar la ganancia de todos los amplificadores del anillo, consiguiéndose por lo tanto un anillo con ganancia bloqueada con la señal de estabilización que no está dentro de un amplificador individual particular sino que es común a todos los amplificadores del anillo.

Como se sabe, los amplificadores EDFA están hechos preferiblemente para funcionar cerca del estado de saturación porque bajo esta condición la potencia de salida es virtualmente constante. Tal como se mencionó anteriormente, el problema en general es que la variación en el número de canales cambia las potencias de entrada desplazando a su vez el punto de trabajo del amplificador.

La presente invención proporciona un anillo óptico WDM amplificado donde la estabilización de todos los puntos de trabajo de los amplificadores después de una adición o una eliminación de canales y nodos se consigue controlando el efecto de acción láser en el ruido de ASE. En otras palabras, todos los amplificadores del anillo están controlados y estabilizados mediante el aumento y el control del pico de láser del ruido de ASE.

La idea de bloquear la ganancia de un amplificador óptico individual utilizando una señal de láser completamente óptica generada por el amplificador ha sido ampliamente discutida en el campo y por ello las condiciones necesarias para conseguir este efecto no se discutirán de manera adicional en la presente memoria en lo referente a aquellos detalles que son bien conocidos por las personas expertas en la técnica.

La presente invención tiene en cuenta una red en anillo completa en lugar de un amplificador individual. El cierre del anillo puede considerarse como la realización de un circuito amplificador y un circuito de realimentación. En otras palabras, utilizando el efecto de pico de ganancia creado por una cascada de amplificadores cerrados en un anillo, la señal de realimentación óptica puede representarse mediante el mismo ruido de ASE generado por el efecto de acción láser y que circula en el anillo. Esencialmente, la red completa forma un anillo de fibra controlado.

Tal como se mencionó anteriormente, el pico de efecto láser se formará en una posición espectral que queda fuera de la banda de los canales donde el espectro de recirculación experimenta la máxima ganancia. Es por lo tanto posible posicionar el pico de ruido de efecto láser a la longitud de onda λ_{ASE} deseada fuera de la banda de las señales gracias al diseño y/o al control de los amplificadores EDFA de acuerdo con lo que ahora puede concebirse sin esfuerzo por aquellas personas expertas en la técnica. También es posible utilizar filtros de aplanamiento de ganancia (GFF, *Gain Flattening Filters*) específicos conocidos para crear el perfil de ganancia global requerido de tal manera que se fuerce al pico de acción láser a tener una cierta longitud de onda, como por ejemplo una longitud de onda lo suficientemente alejada del tráfico de canales como para evitar interacciones no lineales.

Eligiendo el ratio entre la potencia de salida de los amplificadores EDFA y la potencia total de las señales útiles, es incluso posible controlar el pico de potencia láser y en última instancia conseguir la estabilización de todas las ganancias de los amplificadores EDFA en la red. Se encontró que esta relación de potencia es ventajosa cuando el pico de potencia de ASE está aproximadamente 3 dB por encima de la potencia total de todos los canales útiles.

Debido al pico de estabilización conseguido de acuerdo con la presente invención, pueden añadirse y/o eliminarse canales de cualquier nodo del anillo sin provocar un cambio significativo en la potencia de entrada total a los amplificadores y por lo tanto a las ganancias de los amplificadores mientras se consigue de esta manera la supervivencia de la potencia de los canales. Cuando se añaden nuevos canales, el pico de potencia láser disminuirá, mientras que cuando se eliminan canales aumentará. Adicionalmente, la adición o eliminación de uno o más canales a la vez en cada nodo tiene efectos despreciables en los canales restantes.

Pueden llevarse a cabo numerosas variantes de la presente invención. Tal como se muestra en forma de diagrama en la Figura 2, una primera variante incluye un atenuador 15 óptico variable antes de cada amplificador 12 óptico para controlar su punto de trabajo y por lo tanto su perfil de ganancia espectral cuando ocurren variaciones en las pérdidas en la sección precedente, como por ejemplo por envejecimiento de las fibras de transmisión, reajustes de los cables, uniones adicionales, etc. De esta manera, es posible obtener un control muy preciso del espectro de

propagación alrededor del anillo y éste puede mantenerse a largo plazo.

5 En una segunda variante, mostrada en forma de diagrama en la Figura 3, se utiliza un atenuador 16 óptico variable individual en el anillo completo que permite un control menos preciso de la ganancia global del anillo, no sección por sección sino una sola vez en el anillo completo, mientras que todavía se tiene un rendimiento excelente con menor complejidad y costes más bajos.

10 Está claro ahora que los propósitos predeterminados se han conseguido haciendo disponible un método y un sistema de comunicación en anillo de acuerdo con el método que permiten tener un alto rendimiento sin problemas tales como los que resultan de la recirculación de ASE. Todo esto puede conseguirse sin ningún algoritmo de control complicado y sin ningún canal de comunicación dedicado entre los nodos sino con el control del espectro mencionado anteriormente y con un equilibrado de las potencias de salida de los amplificadores EDFA y los canales.

15 Naturalmente, la descripción ofrecida anteriormente de una realización que aplica los principios innovadores de la presente invención se ofrece como un ejemplo no limitante de la misma. Esta invención puede aplicarse a amplificadores ópticos, incluso estándar, dopados con tierras raras y con cualquier posible diagrama de bombeo. Adicionalmente, pueden utilizarse filtros de ecualización de ganancia, uno por amplificador o uno por anillo, para seleccionar la longitud de onda láser de ASE, cambiando así las características de ganancia del anillo en la banda de señal.

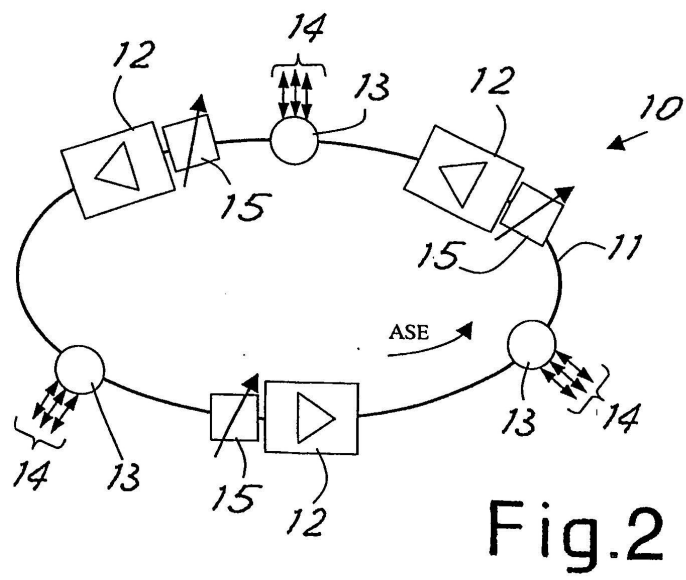
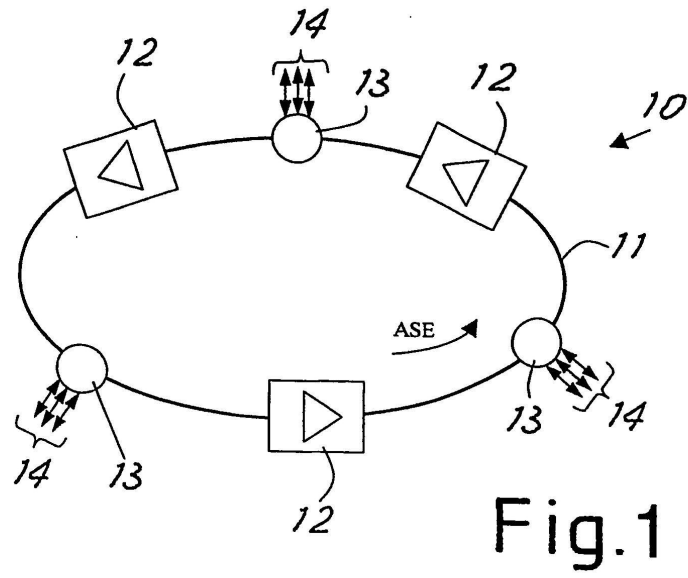
20

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Un método de control de ganancia en un sistema de transmisión óptica en anillo que incluye al menos un amplificador (12) dopado con tierras raras alrededor del anillo (11), donde el método incluye posicionar un pico de ganancia a una longitud de onda (λ_{ASE}) fuera de la banda ($\lambda_1 - \lambda_n$) de los canales transmitidos a lo largo del anillo y que corresponde con un pico de emisión de las ASE de dicho amplificador (12) en el anillo y que utiliza el pico de efecto láser producido de este modo como una señal de estabilización de ganancia.
- 10 2.- Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el mencionado amplificador (12) de fibra dopada con tierras raras es un amplificador EDFA con un pico de ganancia a una longitud de onda (λ_{ASE}) de aproximadamente 1.532 nm.
- 15 3.- Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el pico de ganancia es aproximadamente 1 dB mayor que la ganancia en la banda ($\lambda_1 - \lambda_n$) de los canales.
- 4.- Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el pico de ganancia es aproximadamente 1 dB mayor que la ganancia en la banda ($\lambda_1 - \lambda_n$) de los canales.
- 20 5.- Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el pico de ganancia tiene un valor igual a la unidad.
- 6.- Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que la potencia del pico de ASE se mantiene alrededor de 3 dB por encima de la potencia total de los canales.
- 25 7.- Un sistema (10) de transmisión óptica en anillo que incluye al menos un amplificador (12) dopado con tierras raras a lo largo del anillo (11), configurado de tal manera que durante su utilización tiene un pico de ganancia con una longitud de onda (λ_{ASE}) fuera de la banda ($\lambda_1 - \lambda_n$) de los canales transmitidos a lo largo del anillo y de tal manera que dicha longitud de onda corresponde a un pico de emisión de las ASE de dicho amplificador (12) en el anillo con el fin de generar un pico de acción láser que actúe como una señal de estabilización de ganancia.
- 30 8.- Un sistema de acuerdo con la reivindicación 7 caracterizado porque se sitúa a lo largo del anillo (11) al menos un atenuador (16) óptico variable para permitir el cambio de la ganancia global del anillo.
- 9.- Un sistema de acuerdo con la reivindicación 7 caracterizado porque se proporciona a la entrada de cada amplificador (12) un atenuador (15) óptico variable para permitir el cambio del punto de trabajo de amplificador.
- 35 10.- Un sistema de acuerdo con la reivindicación 7 caracterizado porque los amplificadores (12) dopados con tierras raras son amplificadores EDFA con un pico de ganancia a una longitud de onda (λ_{ASE}) de aproximadamente 1.532 nm.
- 40 11.- Un sistema de acuerdo con la reivindicación 7 caracterizado porque el pico de ganancia es aproximadamente 1 dB mayor que la ganancia en la banda ($\lambda_1 - \lambda_n$) de los canales.
- 12.- Un sistema de acuerdo con la reivindicación 7 caracterizado porque el pico de ganancia tiene un valor igual a la unidad.
- 45 13.- Un sistema de acuerdo con la reivindicación 7 caracterizado porque durante su utilización el pico de potencia de ASE se mantiene alrededor de 3 dB por encima de la potencia total de los canales.
- 50 14.- Un equipo para ser utilizado en un sistema (10) de transmisión óptica en anillo que incluye al menos un amplificador (12) dopado con tierras raras en el anillo (11), donde el equipo incluye al menos un elemento (12; 15; 16) óptico para ser posicionado en el anillo, donde dicho elemento óptico está dispuesto de tal manera que, cuando se posiciona en el anillo (11), el anillo (11) tiene un pico de ganancia a una longitud de onda (λ_{ASE}) fuera de la banda ($\lambda_1 - \lambda_n$) de los canales transmitidos a lo largo del anillo y de tal manera que dicha longitud de onda corresponde a un pico de emisión de las ASE de dicho amplificador (12) en el anillo con el fin de generar un pico de acción láser que actúe como una señal de estabilización de ganancia.
- 55 15.- Un equipo tal como se reivindica en la reivindicación 14, en el que el mencionado elemento óptico es un filtro de aplanamiento de ganancia configurado para crear durante su uso el perfil de ganancia global necesario.
- 60 16.- Un equipo tal como se reivindica en la reivindicación 14, en el que el mencionado elemento óptico es un atenuador (15) óptico variable preparado para ser posicionado antes de cada amplificador (12) óptico para controlar el punto de trabajo del amplificador y de este modo el perfil de ganancia espectral cuando ocurren variaciones en las pérdidas en la sección precedente.
- 65 17.- Un equipo tal como se reivindica en la reivindicación 14, en el que este elemento óptico es un atenuador (16)

óptico variable individual preparado para ser utilizado en el anillo (11) completo.

18.- Un equipo tal como se reivindica en la reivindicación 14, en el que el mencionado elemento óptico es el mencionado amplificador (12).



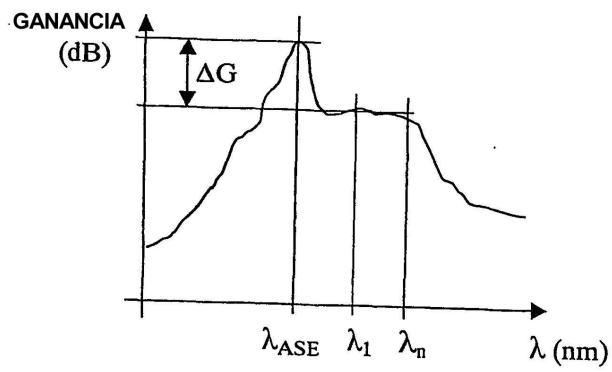
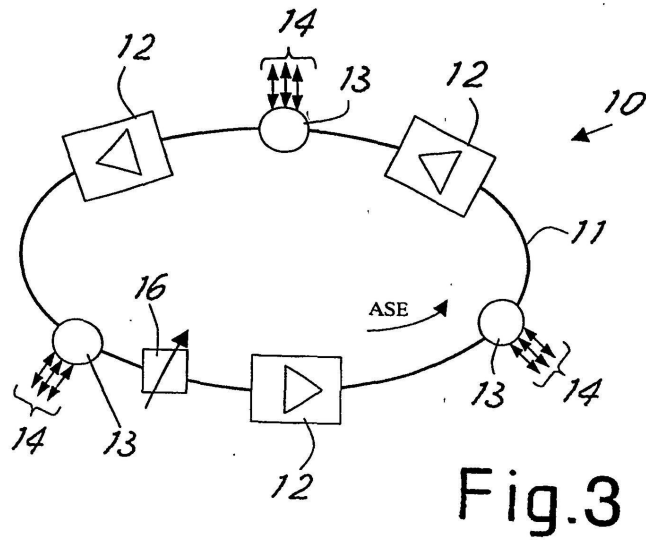


Fig. 4