

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 845**

51 Int. Cl.:

H04B 10/2543 (2013.01)

H04B 10/079 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.06.2012 PCT/CN2012/077761**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.01.2014 WO14000229**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.06.2012 E 12879652 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.01.2017 EP 2858271**

54 Título: **Método y dispositivo para calcular la reducción de transmisión no lineal de enlace de fibra óptica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.07.2017

73 Titular/es:

**HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. (100.0%)
Huawei Administration Building, Bantian
Longgang District , Shenzhen, Guangdong
518129, CN**

72 Inventor/es:

**ZHANG, SEN;
ZHOU, ENBO y
YE, YABIN**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 621 845 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

Método y dispositivo para calcular la reducción de transmisión no lineal de enlace de fibra óptica.

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a tecnologías de comunicaciones de red y, en particular, a un método y un aparato para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica.

Antecedentes

10 Con el rápido desarrollo de las tecnologías de comunicaciones ópticas, la implementación de la tecnología de multiplexación por división de longitud de onda densa (Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa, DWDM, por sus siglas en inglés) mejora ampliamente la capacidad y distancia de transmisión de un sistema de comunicaciones de fibra óptica y, desde un extremo de envío a un extremo de recepción, cada señal de longitud de onda necesita atravesar dispositivos de filtro como, por ejemplo, un multiplexor, un filtro de peine, y un demultiplexor. Por otro lado, una estructura de red óptica evoluciona de una red en anillo a una red en malla, y se usarán filtros ópticos masivos en una red para procesar un servicio de longitud de onda.

15 Con el aumento de una velocidad de modulación de señal, el ancho de un espectro de señal se vuelve también más amplio. En un sistema de alta velocidad como, por ejemplo, 40G y 100G, el rendimiento de un enlace de fibra óptica se ve influenciado cuando un filtro óptico filtra un servicio de longitud de onda, donde las influencias incluyen principalmente dos aspectos: un aspecto es el siguiente: en un sistema sin una fibra óptica, una penalidad en la relación señal a ruido óptica (Relación Señal a Ruido Óptica, OSNR, por sus siglas en inglés), llamada una reducción lineal, se genera porque un filtro óptico corta un espectro, y la reducción lineal se mantiene sin cambios en
20 una situación en la que el número de filtros ópticos es fijo y el número de espectros de señal es fijo, por lo que es fácil establecer una simple tabla de consulta a través de una medición de laboratorio. El otro aspecto es el siguiente: en un sistema con una fibra óptica, en una situación en la que la potencia óptica incidente es relativamente alta, un efecto de fibra óptica y un efecto no lineal trabajan de manera conjunta y generan una reducción no lineal en una señal, donde un efecto de la reducción no se puede ignorar, y un tamaño de una reducción generada es diferente si
25 el número de filtros ópticos es diferente o una ubicación en la cual un filtro óptico se dispone en un enlace de fibra óptica es diferente.

30 La ecuación de Schrodinger no lineal es una ecuación fundamental para estudiar la transmisión de un pulso óptico en una fibra óptica, y es una forma de aproximación escalar de una ecuación de onda que puede explicar la absorción, dispersión y no linealidad. Actualmente, el método más convencional para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica que tiene un filtro óptico es: resolver la ecuación de Schrodinger no lineal mediante el uso de un método numérico y llegar a cabo la simulación para la transmisión de una señal óptica en el enlace, con el fin de obtener la reducción de transmisión no lineal, la cual se genera por varios factores incluido el filtro óptico, del enlace de fibra óptica. Actualmente, existen varios métodos para resolver la ecuación de Schrodinger no lineal para una solución numérica rápida como, por ejemplo, el método de distribución de Fourier.

35 Sin embargo, no se puede obtener una solución analítica de la ecuación de Schrodinger no lineal. Por lo tanto, se requieren al menos varias horas para calcular de manera precisa una reducción no lineal de un enlace de fibra óptica de larga distancia incluso mediante el uso de un servidor profesional, y se requiere la ocupación de recursos informáticos masivos. Dicha velocidad de cálculo no se puede tolerar en un escenario que requiere un cálculo rápido como, por ejemplo, la implementación de red conectada, expansión y mantenimiento.

40 Compendio

Las realizaciones de la presente invención proveen un método y un aparato para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica, los cuales resuelven un problema de una baja velocidad de cálculo y ocupación de recursos de cálculo masivos en la técnica anterior.

Las realizaciones de la presente invención adoptan las siguientes soluciones técnicas:

45 Un aspecto de la presente invención provee un método para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica, que incluye:

determinar que no existe luz de bombeo en un enlace de fibra óptica, obtener un factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y obtener potencia integral en el ancho de banda de la luz de señal de un vano en el enlace de fibra óptica;

50 corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico;

calcular el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$P_{NL} = \alpha_{intra}(n) \cdot (P_S)^3 ;$$

donde,

P_{NL} representa el ruido no lineal del vano;

$\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

5 n representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa una luz de señal del vano; y

P_S representa la potencia integral en el ancho de banda de luz de señal del vano; y

obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica, y

10 obtener una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

Otro aspecto de la presente invención provee un método para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica, que incluye:

15 determinar que existe una o más luces de bombeo en un enlace de fibra óptica, obtener un factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y obtener potencia integral en el ancho de banda de luz de señal de un vano en el enlace de fibra óptica y potencia integral en el ancho de banda de luz de bombeo del vano en el enlace de fibra óptica;

20 corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico y el factor de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico;

calcular el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$P_{NL} = \alpha_{intra}(n) \cdot (P_S)^3 + \sum_{j=1}^k \alpha_{inter}(n, m) \cdot P_S \cdot (P_{Nj})^2 ;$$

donde,

25 P_{NL} representa el ruido no lineal del vano;

$\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

$\alpha_{inter}(n, m)$ representa el factor de ruido no lineal interbanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

n representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa una señal de luz del vano, y m representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa una luz de bombeo del vano;

30 P_S representa la potencia integral en el ancho de banda de luz de señal del vano;

P_{Nj} representa la potencia integral en el ancho de banda de la luz de bombeo $j^{\text{ésima}}$ del vano; y k representa el número de luces de bombeo en el enlace de fibra óptica; y

35 obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica, y obtener una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

Otro aspecto de la presente invención provee un aparato para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica, que incluye:

40 una primera unidad de obtención, configurada para determinar que no existe luz de bombeo en un enlace de fibra óptica, obtener un factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y obtener potencia integral en el ancho de banda de luz de señal de un vano en el enlace de fibra óptica;

una unidad de corrección, configurada para corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico;

45 una unidad de cálculo, configurada para calcular el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$P_{NL} = \alpha_{intra}(n) \cdot (P_S)^3;$$

donde,

P_{NL} representa el ruido no lineal del vano;

$\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

5 n representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa una luz de señal del vano; y

P_S representa la potencia integral en el ancho de banda de luz de señal del vano;

una segunda unidad de obtención, configurada para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica; y

10 una tercera unidad de obtención, configurada para obtener una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

Incluso otro aspecto de la presente invención provee un aparato para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica, que incluye:

15 una primera unidad de obtención, configurada para determinar que existe una o más luces de bombeo en un enlace de fibra óptica, obtener un factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y obtener potencia integral en el ancho de banda de luz de señal de un vano en el enlace de fibra óptica y potencia integral en el ancho de banda de luz de bombeo del vano en el enlace de fibra óptica;

20 una unidad de corrección, configurada para corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico y el factor de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico;

una unidad de cálculo, configurada para calcular el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$P_{NL} = \alpha_{intra}(n) \cdot (P_S)^3 + \sum_{j=1}^k \alpha_{inter}(n, m) \cdot P_S \cdot (P_{Nj})^2;$$

25 donde,

P_{NL} representa el ruido no lineal del vano;

$\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

$\alpha_{inter}(n, m)$ representa el factor de ruido no lineal interbanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

30 n representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa una luz de señal del vano, y m representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa una luz de bombeo del vano;

P_S representa la potencia integral en el ancho de banda de luz de señal del vano;

P_{Nj} representa la potencia integral en el ancho de banda de la luz de bombeo $j^{\text{ésima}}$ del vano; y

k representa el número de luces de bombeo en el enlace de fibra óptica;

35 una segunda unidad de obtención, configurada para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica; y

una tercera unidad de obtención, configurada para obtener una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

40 Según el método y aparato para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica previsto en las realizaciones de la presente invención, se corrige un factor no lineal que es de un enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, con el fin de obtener ruido no lineal que es del enlace de fibra óptica y atraviesa un filtro óptico, calculando así rápida y correctamente una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica, ahorrando recursos del sistema y tiempo de cálculo, y reduciendo costos del sistema.

Breve descripción de los dibujos

5 Con el fin de describir las soluciones técnicas en las realizaciones de la presente invención de forma más clara, a continuación se presentan brevemente los dibujos anexos requeridos para describir las realizaciones. De manera aparente, los dibujos anexos en la siguiente descripción muestran simplemente algunas realizaciones de la presente invención, y una persona con experiencia ordinaria en la técnica puede derivar otros dibujos a partir de dichos dibujos anexos sin esfuerzos creativos.

La Figura 1a es una forma espectral de filtro de cascada de diferentes WSSs según una realización de la presente invención;

La Figura 1b es un espectro de una señal que atraviesa diferentes WSSs en cascada mientras mantiene la misma potencia integral de señal según una realización de la presente invención;

10 la Figura 2a es un diagrama de flujo de un método para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica según una realización de la presente invención;

la Figura 2b es un diagrama de flujo de un método para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica según otra realización de la presente invención;

15 la Figura 3 es un diagrama esquemático de topología de un enlace de fibra óptica según una realización de la presente invención; y

la Figura 4 es un diagrama estructural de bloques de un aparato para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica según una realización de la presente invención.

Descripción de las realizaciones

20 Las realizaciones de la presente invención proveen un método y un aparato para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica. Con el fin de hacer las soluciones técnicas en la presente invención más comprensibles, a continuación se describen de forma clara las realizaciones de la presente invención con referencia a los dibujos anexos.

25 Se debe aclarar que las realizaciones descritas son solo algunas realizaciones a modo de ejemplo de la presente invención, pero no todas las realizaciones de la presente invención. Todas las otras realizaciones que una persona con experiencia ordinaria en la técnica obtenga según las realizaciones de la presente invención sin esfuerzos creativos caerán dentro del alcance de protección de la presente invención.

En primer lugar, se describe un principio en el cual se basan el método y aparato para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica en las realizaciones de la presente invención.

30 Después de que una señal óptica se filtra mediante múltiples niveles de filtros ópticos, una forma espectral de la señal óptica se vuelve cada vez más estrecha. La señal óptica puede ser una luz de señal (luz de señal) o un canal de bombeo (canal de bombeo). La luz de señal es luz observada, y el canal de bombeo es luz que existe en todos los otros canales excepto la luz de señal.

35 Un interruptor selectivo de longitud de onda (Interruptor Selectivo de Longitud de Onda, WSS, por sus siglas en inglés) de un filtro óptico que se usa con mayor frecuencia en una red óptica dinámica de larga distancia se usa como un ejemplo. Una función de filtro del WSS para un espectro puede aproximarse a un tipo súper-Gaussiano. Después de que una señal óptica se filtra mediante múltiples niveles de WSSs, una forma espectral de la señal óptica se vuelve cada vez más estrecha. La Figura 1a es una forma espectral de filtro normalizado de cascada de un número diferente de WSSs. Se puede observar que si una señal óptica atraviesa más niveles de WSSs, un espectro de frecuencia de la señal se filtra para ser más estrecho.

40 Durante el ajuste de potencia, un sistema de transmisión óptica en principio ajusta la potencia integral de cada longitud de onda en un enlace de fibra óptica para abordar la potencia. A medida que una forma espectral filtrada por múltiples niveles de WSSs se vuelve más estrecha, con la misma potencia integral, se pasan más WSSs, y la potencia pico es más alta. Un cambio de densidad espectral de una señal óptica genera un cambio de una reducción no lineal de la señal óptica en el enlace de fibra óptica. Un enlace de fibra óptica cuyo ancho de banda es de 50 GHz se usa como un ejemplo. La Figura 1b es una forma espectral de una señal óptica después de que atraviesa WSSs de diferentes niveles mientras mantiene la misma potencia integral en 50 GHz, y se puede observar que cuantos más niveles de WSSs se pasan, más alta es la potencia pico de la señal.

50 Una diferencia de tamaño de una reducción generada por un cambio de una ubicación WSS se compara a través de simulación. Para un enlace coherente no compensado que tiene 25 ondas, un espaciado de 50 GHz, y una velocidad de transmisión de 100 G, una onda de señal observada se encuentra en el punto intermedio, un enlace de fibra óptica contiene 20 vanos, y cada vano tiene una longitud de 80 km. Se supone que el enlace de fibra óptica contiene cuatro sitios de multiplexor óptico reconfigurable de suma/caída (Multiplexor Óptico Reconfigurable de Suma/Caída, ROADM, por sus siglas en inglés); cada sitio ROADM contiene dos WSSs; cada WSS filtra una onda de señal; la potencia incidente de todas las longitudes de onda de cada vano es de 4 dBm; y los ROADMs se

5 disponen de forma separada en la parte delantera del enlace, es decir, el primero al cuarto vano, o la parte media del enlace, es decir, el noveno al décimo segundo vano, o la parte posterior del enlace, es decir, el décimo sexto al décimo noveno vano, o los ROADMs se puede distribuir de forma pareja en el enlace, es decir, el cuarto, el octavo, el décimo segundo y el décimo sexto vano. Las penalidades OSNR de los ROADMs cuando se disponen en diferentes ubicaciones se comparan en la simulación, según se describe en la tabla 1. Se puede observar que las disposiciones de los ROADMs en diferentes ubicaciones del enlace generan una gran diferencia de una influencia en una reducción de transmisión no lineal.

Tabla 1

Ubicación WSS en un Enlace	Penalidad OSNR (dB)
Sin WSS	4,49
Vano 1 a vano 4	7,78
Vano 9 a vano 12	6,92
Vano 16 a vano 19	5,74
Vanos 4, 8, 12 y 16	6,81

10 De manera similar, si un filtro óptico de cualquier tipo se dispone en diferentes ubicaciones de un enlace de fibra óptica, ello genera diferentes influencias en una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica. Por lo tanto, cuando se calcula la reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica, se necesita calcular una reducción de transmisión no lineal de cada vano en el enlace de fibra óptica.

15 Para un enlace de fibra óptica sin compensación de dispersión, el ruido no lineal generado en el enlace de fibra óptica puede ser equivalente al ruido Gaussiano. Por lo tanto, cuando se calcula una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica, el ruido no lineal y el ruido de emisión espontánea amplificada (Emisión Espontánea Amplificada, ASE, por sus siglas en inglés) generado por un amplificador en el enlace se pueden añadir directamente de manera conjunta. Teniendo en cuenta que una OSNR de la suma de dichos dos tipos de ruido se llama una OSNR equivalente, la OSNR equivalente se puede definir de la siguiente manera:

20
$$OSNR_{eq} = \frac{P_S}{P_{ASE} + P_{NL}} \quad (1)$$

P_S es la potencia integral de una luz de señal en el enlace de fibra óptica, P_{ASE} es potencia ASE acumulada del amplificador en el enlace, y P_{NL} es el ruido no lineal.

Se supone que una longitud de onda de solo una luz de señal existe en el enlace de fibra óptica, de modo que el ruido no lineal que es de un vano y no atraviesa un filtro óptico se puede expresar de la siguiente manera:

25
$$P_{NL} = \alpha_{intra} \cdot (P_S)^3 \quad (2)$$

Se supone que las longitudes de onda (k+1) existen en el enlace de fibra óptica, donde existe una luz de señal, y existen canales de bombeo k, de modo que el ruido no lineal que es de un vano y no atraviesa un filtro óptico se puede expresar de la siguiente manera:

30
$$P_{NL} = \alpha_{intra} \cdot (P_S)^3 + \sum_{j=1}^k \alpha_{inter} \cdot P_S \cdot (P_{Nj})^2 \quad (3)$$

P_{Nj} es potencia integral en el ancho de banda del canal de bombeo $j^{\text{ésimo}}$ del vano;

α_{intra} es un factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, α_{inter} es un factor de ruido no lineal interbanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y los dos son parámetros relacionados con un transmisor característico de la luz de señal, un enlace de fibra óptica característico, y un parámetro de configuración de red de una capa óptica. El transmisor característico incluye una velocidad de modulación de transmisor y un tipo de código de modulación; el enlace de fibra óptica característico incluye una categoría de fibra óptica, una longitud de vano, el número de vanos, y una topología de dispersión; y el parámetro de configuración de red de la capa óptica incluye espaciado de longitud de onda, el

número de longitudes de onda, un tipo de código de modulación de longitudes de onda vecinas, y una velocidad de modulación de las longitudes de onda vecinas.

Después de obtener el ruido no lineal de cada vano en el enlace de fibra óptica, se lleva a cabo una superposición para el ruido no lineal de cada vano para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica. La superposición coherente o incoherente se puede llevar a cabo para el ruido no lineal de cada vano con el fin de obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica. Por lo tanto, una penalidad OSNR del enlace de fibra óptica en el caso de una tasa de error de bits fija, es decir, la reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica se puede expresar de la siguiente manera:

$$OSNR_{\text{penalidad}} = \frac{P_S}{P_S - P_{NL} \cdot OSNR_{btb}} = \frac{1}{1 - \frac{P_{NL}}{P_S} \cdot OSNR_{btb}} \quad (4)$$

10 $OSNR_{btb}$ es un valor OSNR en el caso de la tasa de error de bits fija y al momento de oposición (BTB, por sus siglas en ingles):

$$OSNR_{btb} = \frac{P_S}{P_{ASE}} \quad (5)$$

15 Para un enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico, porque se filtra una señal óptica, su densidad espectral cambia, y en una situación en la que la potencia integral no se modifica, la potencia pico de la señal óptica es más alta que la potencia pico de una señal óptica que no se filtra. Por consiguiente, un factor de ruido no lineal que no atraviesa un filtro óptico se corrige de la siguiente manera:

Si una luz de señal atraviesa filtros ópticos n, un factor de corrección para un factor α_{intra} de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico es

$$W1(n) = \left(\frac{P_{sp}^n}{P_{sp}^0} \right)^{k1}$$

20 y un factor de corrección para un factor α_{inter} de ruido no lineal interbanda es

$$W2(n) = \left(\frac{P_{sp}^n}{P_{sp}^0} \right)^{k2}$$

y si un canal de bombeo atraviesa filtros ópticos m, el factor de corrección para el factor α_{inter} de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico es

$$W3(m) = \left(\frac{P_{pp}^m}{P_{pp}^0} \right)^{k3}$$

25 Después de la corrección, se obtiene el factor de ruidos no lineales que atraviesan un filtro óptico, incluido un factor $\alpha_{intra}(n)$ de ruido no lineal intrabanda que atraviesa un filtro óptico y un factor $\alpha_{inter}(n, m)$ de ruido no lineal interbanda que atraviesa un filtro óptico:

$$\alpha_{intra}(n) = \alpha_{intra} \cdot W1(n) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp}^n}{P_{sp}^0} \right)^{k1} \quad (6)$$

$$\alpha_{inter}(n, m) = \alpha_{inter} \cdot W2(n) \cdot W3(m) = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{sp}^n}{P_{sp}^0} \right)^{k2} \cdot \left(\frac{P_{pp}^m}{P_{pp}^0} \right)^{k3}$$

30 (7)

P_{sp}^0 es potencia pico de una luz de señal que es del vano y no atraviesa un filtro óptico, P_{sp}^n es potencia pico de una luz de señal del vano que atraviesa filtros ópticos n, P_{pp}^0 es potencia pico de un canal de bombeo que es del

vano y no atraviesa un filtro óptico, y P_{pp}^m es potencia pico de un canal de bombeo del vano que atraviesa filtros ópticos m. P_{sp}^0 y P_{pp}^0 se puede obtener mediante la medición de un espectro original que no atraviesa un filtro óptico, y P_{sp}^n y P_{pp}^m se pueden obtener a través de la medición o cálculo real según una función de filtro del filtro óptico.

- 5 $k1$ es una constante de corrección del factor de ruido no lineal intrabanda cuando la luz de señal atraviesa un filtro óptico, $k2$ es una constante de corrección del factor de ruido no lineal interbanda cuando la luz de señal atraviesa un filtro óptico, y $k3$ es una constante de corrección del factor de ruido no lineal interbanda cuando el canal de bombeo atraviesa un filtro óptico. $k1$, $k2$ y $k3$ se relacionan con un transmisor característico de una señal óptica y un parámetro de una función de filtro de un filtro óptico, se pueden adquirir a través de la simulación o a través de un experimento, y se pueden adquirir mediante el uso específico del siguiente método:

Después de determinar las formas espectrales de la luz de señal y el canal de bombeo y una forma espectral de filtro de un filtro óptico, se determina una proporción de la potencia pico de la luz de señal que atraviesa un filtro óptico con respecto a la potencia pico de la luz de señal que no atraviesa un filtro óptico.

- 15 Para $k1$, dos escenarios de onda única y vano único, un escenario en el cual la luz de señal atraviesa filtros ópticos r y un escenario en el cual la luz de señal no atraviesa un filtro óptico, se pueden simular o experimentar, para adquirir, de forma separada, una penalidad OSNR de un enlace de fibra óptica de vano único con cierta potencia en dichos dos escenarios, el ruido no lineal se calcula según la fórmula (4), y luego lo siguiente se obtiene a través de un cálculo según la fórmula (2) y la fórmula (6):

$$k1 = \log\left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0}\right) \left(\frac{\alpha_{intra}(r)}{\alpha_{intra}}\right) = \frac{\log_{10}\left(\frac{\alpha_{intra}(r)}{\alpha_{intra}}\right)}{\log_{10}\left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0}\right)} \quad (8)$$

- 20 Un método de adquisición $k2$ es simular o experimentar dos escenarios de dos ondas y vano único: escenario uno: la luz de señal atraviesa filtros ópticos r y el canal de bombeo no atraviesa un filtro óptico; y escenario dos: ni la luz de señal ni el canal de bombeo atraviesan un filtro óptico; para adquirir, de manera separada, una penalidad OSNR de un enlace de dos ondas y vano único con cierta potencia en dichos dos escenarios, el ruido no lineal se calcula según la fórmula (4), y luego lo siguiente se obtiene a través de un cálculo según las fórmulas (3), (6) y (7):

$$k2 = \log\left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0}\right) \left(\frac{\alpha_{inter}(r,0)}{\alpha_{inter}}\right) = \frac{\log_{10}\left(\frac{\alpha_{inter}(r,0)}{\alpha_{inter}}\right)}{\log_{10}\left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0}\right)} \quad (9)$$

- 25 Un método de adquisición $k3$ es simular o experimentar dos escenarios de dos ondas y vano único: escenario uno: la luz de señal no atraviesa un filtro óptico y el canal de bombeo atraviesa filtros ópticos s; y escenario dos: ni la luz de señal ni el canal de bombeo atraviesan un filtro óptico, para adquirir, de manera separada, una penalidad OSNR de un enlace de dos ondas y vano único con cierta potencia en dichos dos escenarios, el ruido no lineal se calcula según la fórmula (4), y luego lo siguiente se obtiene a través de un cálculo según las fórmulas (3) y (7):

$$k3 = \log\left(\frac{P_{pp}^s}{P_{pp}^0}\right) \left(\frac{\alpha_{inter}(0,s)}{\alpha_{inter}}\right) = \frac{\log_{10}\left(\frac{\alpha_{inter}(0,s)}{\alpha_{inter}}\right)}{\log_{10}\left(\frac{P_{pp}^s}{P_{pp}^0}\right)} \quad (10)$$

Según un factor de ruido no lineal que es de cada vano en el enlace de fibra óptica y atraviesa un filtro óptico y con referencia a las fórmulas (2) y (3), el ruido no lineal de cada vano en el enlace de fibra óptica se calcula de la siguiente manera:

$$35 \quad P_{NL} = \alpha_{intra}(n) \cdot (P_S)^3, k = 0: (11)$$

$$P_{NL} = \alpha_{intra}(n) \cdot (P_S)^3 + \sum_{j=1}^k \alpha_{inter}(n,m) \cdot P_S \cdot (P_{Nj})^2, k > 0 \quad :$$

(12)

k representa el número de canales de bombeo en el enlace de fibra óptica.

5 Luego, se lleva a cabo la superposición para el ruido no lineal de cada vano para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica, y la superposición coherente o incoherente se puede llevar a cabo para el ruido no lineal de cada vano para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica. Según la fórmula (4), se puede obtener una penalidad OSNR del enlace de fibra óptica en el caso de una tasa de error de bits fija, es decir, una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica.

En una realización de la presente invención, un proceso de un método para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica se muestra en la Figura 2a, y el método incluye las siguientes etapas:

10 Etapa E101a: determinar que no existe canal de bombeo en un enlace de fibra óptica, obtener un factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y obtener potencia integral en el ancho de banda de la luz de señal de un vano en el enlace de fibra óptica.

Etapa E102a: corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico.

Etapa E103a: calcular el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$P_{NL} = \alpha_{intra}(n) \cdot (P_s)^3;$$

15 donde,

P_{NL} representa el ruido no lineal del vano;

$\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

n representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa una luz de señal del vano; y

P_s representa la potencia integral en el ancho de banda de luz de señal del vano.

20 Etapa E104a: obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica, y obtener una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica.

Además, en la etapa E104a, si existen múltiples vanos en el enlace de fibra óptica, obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica específicamente incluye: llevar a cabo la superposición en el ruido no lineal de los vanos en el enlace de fibra óptica para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

25 Además, en la etapa E102a, el factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico se obtiene mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$\alpha_{intra}(n) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp}^n}{P_{sp}^0} \right)^{k1};$$

donde,

30 $\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

α_{intra} representa el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico;

P_{sp}^0 representa la potencia pico de una luz de señal que es del vano y no atraviesa un filtro óptico;

P_{sp}^n representa la potencia pico de una luz de señal del vano que atraviesa filtros ópticos n ; y

35 $k1$ representa una constante de corrección del factor de ruido no lineal intrabanda cuando la luz de señal atraviesa un filtro óptico.

Además, $k1$ se puede obtener mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$k1 = \log \left(\frac{P_{sp}^n}{P_{sp}^0} \right) \left(\frac{\alpha_{intra}(n)}{\alpha_{intra}} \right) = \frac{\log_{10} \left(\frac{\alpha_{intra}(n)}{\alpha_{intra}} \right)}{\log_{10} \left(\frac{P_{sp}^n}{P_{sp}^0} \right)};$$

donde,

$\alpha_{intra}(r)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico cuando $n = r$;

P_{sp}^r representa la potencia pico de una luz de señal del vano que atraviesa filtros ópticos r ; y

r es un entero positivo.

5 En otra realización de la presente invención, un proceso de un método para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica se muestra en la Figura 2b, y el método incluye las siguientes etapas:

10 Etapa E101b: determinar que existe uno o más canales de bombeo en un enlace de fibra óptica, obtener un factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y obtener potencia integral en el ancho de banda de luz de señal de un vano en el enlace de fibra óptica y potencia integral en el ancho de banda de canal de bombeo del vano en el enlace de fibra óptica.

Etapa E102b: corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico y el factor de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico.

15 Etapa E103b: calcular el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$P_{NL} = \alpha_{intra}(n) \cdot (P_S)^3 + \sum_{j=1}^k \alpha_{inter}(n, m) \cdot P_S \cdot (P_{Nj})^2;$$

donde,

P_{NL} representa el ruido no lineal del vano;

$\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

20 $\alpha_{inter}(n, m)$ representa el factor de ruido no lineal interbanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

n representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa una luz de señal del vano, y m representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa un canal de bombeo del vano;

P_S representa la potencia integral en el ancho de banda de luz de señal del vano;

P_{Nj} representa la potencia integral en el ancho de banda del canal de bombeo $j^{\text{ésimo}}$ del vano; y

25 k representa el número de canales de bombeo en el enlace de fibra óptica.

Etapa E104b: obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica, y obtener una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica.

Además, en la etapa E104b, si existen múltiples vanos en el enlace de fibra óptica, obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica específicamente incluye:

30 llevar a cabo la superposición en el ruido no lineal de los vanos en el enlace de fibra óptica para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

Además, en la etapa E102b, el factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico se obtiene mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$\alpha_{intra}(n) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp}^n}{P_{sp}^0} \right)^{k1};$$

35 y el factor de ruido no lineal interbanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico se obtiene mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$\alpha_{inter}(n, m) = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{sp}^n}{P_{sp}^0} \right)^{k2} \cdot \left(\frac{P_{pp}^m}{P_{pp}^0} \right)^{k3};$$

donde,

$\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

$\alpha_{inter}(n, m)$ representa el factor de ruido no lineal interbanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

α_{intra} representa el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico;

α_{inter} representa el factor de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico;

P_{sp}^0 representa la potencia pico de una luz de señal que es del vano y no atraviesa un filtro óptico;

5 P_{sp}^n representa la potencia pico de una luz de señal del vano que atraviesa filtros ópticos n;

P_{pp}^0 representa la potencia pico de un canal de bombeo que es del vano y no atraviesa un filtro óptico;

P_{pp}^m representa la potencia pico de canal de bombeo del vano que atraviesa filtros ópticos m;

k_1 representa una constante de corrección del factor de ruido no lineal intrabanda cuando la luz de señal atraviesa un filtro óptico;

10 k_2 representa una constante de corrección del factor de ruido no lineal interbanda cuando la luz de señal atraviesa un filtro óptico; y

k_3 representa una constante de corrección del factor de ruido no lineal interbanda cuando el canal de bombeo atraviesa un filtro óptico.

Además, k_1 se obtiene mediante el uso de la siguiente fórmula:

15
$$k_1 = \log \left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0} \right) \left(\frac{\alpha_{intra}(r)}{\alpha_{intra}} \right) = \frac{\log_{10} \left(\frac{\alpha_{intra}(r)}{\alpha_{intra}} \right)}{\log_{10} \left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0} \right)}$$

k_2 se obtiene mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$k_2 = \log \left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0} \right) \left(\frac{\alpha_{inter}(r,0)}{\alpha_{inter}} \right) = \frac{\log_{10} \left(\frac{\alpha_{inter}(r,0)}{\alpha_{inter}} \right)}{\log_{10} \left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0} \right)}$$

y k_3 se obtiene mediante el uso de la siguiente fórmula:

20
$$k_3 = \log \left(\frac{P_{pp}^s}{P_{pp}^0} \right) \left(\frac{\alpha_{inter}(0,s)}{\alpha_{inter}} \right) = \frac{\log_{10} \left(\frac{\alpha_{inter}(0,s)}{\alpha_{inter}} \right)}{\log_{10} \left(\frac{P_{pp}^s}{P_{pp}^0} \right)}$$

donde,

$\alpha_{intra}(r)$ representa un factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico cuando $n = r$,

$\alpha_{inter}(r, 0)$ representa un factor de ruido no lineal interbanda del vano que atraviesa un filtro óptico cuando $n = r, m = 0$;

25 $\alpha_{inter}(0, s)$ representa un factor de ruido no lineal interbanda del vano que atraviesa un filtro óptico cuando $n = 0, m = s$;

P_{sp}^r representa la potencia pico de una luz de señal del vano que atraviesa filtros ópticos r;

P_{pp}^s representa la potencia pico de un canal de bombeo del vano que atraviesa filtros ópticos s; y

r y s son enteros positivos.

30 Con referencia a los dibujos anexos, a continuación se describe en detalle un método y un aparato para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica que se proveen en las realizaciones de la presente invención.

Se debe aclarar que las realizaciones descritas son solo algunas realizaciones a modo de ejemplo de la presente invención, antes que todas las realizaciones de la presente invención. Todas las otras realizaciones que una persona con experiencia ordinaria en la técnica obtenga según las realizaciones de la presente invención sin esfuerzos creativos caerán dentro del alcance de protección de la presente invención.

- 5 En las siguientes realizaciones, un enlace de fibra óptica es un canal de longitud de onda y se refiere a un enlace desde un extremo de envío hasta un extremo de recepción.

Realización 1: la presente realización de la presente invención provee un método para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica. Como se muestra en la Figura 3, un enlace de fibra óptica incluye solo una longitud de onda de luz de señal y contiene cuatro vanos en total, donde los lugares de entrada del primer vano y el tercer vano tienen, de forma separada, un filtro óptico para filtrar una luz de señal. El método específicamente incluye las siguientes etapas:

10 Etapa E201: determinar que no existe un canal de bombeo en un enlace de fibra óptica, obtener un factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y obtener potencia integral en el ancho de banda de la luz de señal de un vano en el enlace de fibra óptica.

15 El factor de ruidos no lineales incluye un factor α_{intra} de ruido no lineal intrabanda y un factor α_{inter} de ruido no lineal interbanda, y los dos son parámetros relacionados con un transmisor característico de una luz de señal, un enlace de fibra óptica característico, y un parámetro de configuración de red de una capa óptica. El factor α_{intra} de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico y un factor α_{inter} de ruido no lineal interbanda que no pasa un filtro óptico se pueden obtener llevando a cabo una medición o simulación.

20 En la presente realización, no existe ningún canal de bombeo en el enlace de fibra óptica, se obtiene el factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y el factor de ruido no lineal interbanda que no pasa un filtro óptico no necesita obtenerse.

La potencia integral en el ancho de banda de luz de señal del vano en el enlace de fibra óptica se puede obtener a través de la medición de dispositivo o a través de un cálculo según cada parámetro del enlace.

25 Etapa E202: corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico.

30 Un valor empírico se puede usar como un factor de corrección para corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener el factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico; o el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico se pueden corregir según la fórmula (6), para calcular y obtener el factor de ruido no lineal intrabanda que atraviesa un filtro óptico. En la presente realización, el factor de ruido no lineal intrabanda que atraviesa un filtro óptico se calcula mediante el uso de la fórmula (6):

Un factor de ruido no lineal intrabanda del primer vano donde una luz de señal pasa un filtro óptico es:

$$\alpha_{intra_1}(1) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp_1}^1}{P_{sp_1}^0} \right)^{k1};$$

35 un factor de ruido no lineal intrabanda del segundo vano donde una luz de señal pasa un filtro óptico es:

$$\alpha_{intra_2}(1) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp_2}^1}{P_{sp_2}^0} \right)^{k1};$$

un factor de ruido no lineal intrabanda del tercer vano donde una luz de señal pasa dos filtros ópticos es:

$$\alpha_{intra_3}(2) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp_3}^2}{P_{sp_3}^0} \right)^{k1};$$

y un factor de ruido no lineal intrabanda del cuarto vano donde una luz de señal pasa dos filtros ópticos es:

$$\alpha_{intra_4}(2) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp_4}^2}{P_{sp_4}^0} \right)^{k1}.$$

40 $\alpha_{intra_i}(n)$ ($i=1,2,3,4$) representa el factor de ruido no lineal intrabanda que es del vano $i^{\text{ésimo}}$ y atraviesa un filtro óptico.

Etapa E203: calcular el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica.

45 En la presente realización, existe solo una longitud de onda de luz de señal, y el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica se calcula según la fórmula (11) de la siguiente manera:

el ruido no lineal del primer vano es:

$$P_{NL1} = \alpha_{intra_1}(1) \cdot (P_{S1})^3 = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{Sp_1}^1}{P_{Sp_1}^0}\right)^{k1} \cdot (P_{S1})^3;$$

el ruido no lineal del segundo vano es:

$$P_{NL2} = \alpha_{intra_2}(1) \cdot (P_{S2})^3 = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{Sp_2}^1}{P_{Sp_2}^0}\right)^{k1} \cdot (P_{S2})^3;$$

5 el ruido no lineal del tercer vano es:

$$P_{NL3} = \alpha_{intra_3}(2) \cdot (P_{S3})^3 = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{Sp_3}^2}{P_{Sp_3}^0}\right)^{k1} \cdot (P_{S3})^3;$$

y el ruido no lineal del cuarto vano es:

$$P_{NL4} = \alpha_{intra_4}(2) \cdot (P_{S4})^3 = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{Sp_4}^2}{P_{Sp_4}^0}\right)^{k1} \cdot (P_{S4})^3.$$

$P_{Si}(i=1,2,3,4)$ es potencia óptica integral en el ancho de banda de señal de un lugar incidente del vano i ésimo.

10 Etapa E204: obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica, y obtener una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica.

Si solo existe un vano en el enlace de fibra óptica, el ruido no lineal del vano es el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica; y si existen múltiples vanos en el enlace de fibra óptica, la superposición se lleva a cabo para el ruido no lineal de los vanos en el enlace de fibra óptica para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

15 En la presente realización, existen múltiples vanos en el enlace de fibra óptica, y la superposición coherente o incoherente se lleva a cabo para el ruido no lineal P_{NL1} , P_{NL2} , P_{NL3} , y P_{NL4} de cada vano para obtener el ruido no lineal total P_{NL} del enlace de fibra óptica.

Si la potencia óptica integral en el ancho de banda de señal de un lugar incidente de cada vano es la misma y es P_S , la reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica se calcula directamente según la fórmula (4).

20 Si la potencia óptica integral en el ancho de banda de señal del lugar incidente de cada vano es diferente, la potencia incidente del primer vano es P_{S1} , y el ruido no lineal generado es P_{NL1} ; la potencia incidente del segundo vano es P_{S2} , y el ruido no lineal generado es P_{NL2} ; y la potencia incidente del tercer vano es P_{S3} , y el ruido no lineal generado es P_{NL3} . La potencia óptica integral en el ancho de banda de señal del lugar incidente de cada vano se puede escalar a la misma potencia incidente equivalente P_S .

25 Si se supone que

$$\beta_1 = \frac{P_{S1}}{P_S} \quad \beta_2 = \frac{P_{S2}}{P_S} \quad \beta_3 = \frac{P_{S3}}{P_S}$$

el ruido no lineal generado por el primer vano después del escalado es

$$P'_{NL1} = P_{NL1} \cdot \beta_1$$

y el ruido no lineal generado por el segundo vano después del escalado es

$$P'_{NL2} = P_{NL2} \cdot \beta_2$$

y el ruido no lineal generado por el tercer vano después del escalado es

$$P'_{NL3} = P_{NL3} \cdot \beta_3$$

30 La superposición se lleva a cabo para el ruido de cada vano después del escalado para obtener el ruido no lineal total P'_{NL} del enlace de fibra óptica, y la potencia incidente equivalente P_S y el ruido no lineal total

P'_{NL} del enlace de fibra óptica se sustituyen en la fórmula (4) para calcular la reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica.

$$OSNR_{penalidad} = \frac{P_S}{P_S - P'_{NL} \cdot OSNR_{btb}} = \frac{1}{1 - \frac{P'_{NL}}{P_S} \cdot OSNR_{btb}}$$

5 Realización 2: la presente realización de la presente invención provee un método para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica. Como se muestra en la Figura 3, dos longitudes de onda, una longitud de onda de señal y una longitud de onda de bombeo, existen en un enlace de fibra óptica. Cuatro vanos se contienen en total, y los lugares de entrada del primer vano y el tercer vano incluyen, de forma separada, un filtro óptico que filtra una luz de señal. Solamente se filtra la luz de señal, y no se filtra un canal de bombeo. El método específicamente incluye las siguientes etapas:

10 Etapa E301: determinar que existe uno o más canales de bombeo en un enlace de fibra óptica, obtener un factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y obtener potencia integral en el ancho de banda de luz de señal de un vano en el enlace de fibra óptica y potencia integral en el ancho de banda del canal de bombeo del vano en el enlace de fibra óptica.

15 En la presente realización, existe un canal de bombeo en el enlace de fibra óptica, y se obtienen el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico y el factor de ruido no lineal interbanda que no pasa un filtro óptico en el enlace de fibra óptica.

20 De manera similar a la etapa E201 en la Realización 1, el factor α_{intra} de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico y el factor α_{inter} de ruido no lineal interbanda que no pasa un filtro óptico se pueden obtener llevando a cabo una medición o simulación.

Se obtienen la potencia integral en el ancho de banda de luz de señal del vano en el enlace de fibra óptica y la potencia integral en el ancho de banda del canal de bombeo del vano en el enlace de fibra óptica, y dichas dos se pueden obtener a través de la medición de dispositivo o a través de un cálculo según cada parámetro del enlace.

25 Etapa E302: corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico y el factor de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico.

30 Un valor empírico se puede usar como un factor de corrección para corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico y el factor de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener el factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico y el factor de ruido no lineal interbanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico; o el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico se pueden corregir según la fórmula (6), para calcular y obtener el factor de ruido no lineal intrabanda que atraviesa un filtro óptico, y el factor de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico se puede corregir según la fórmula (7), para calcular y obtener el factor de ruido no lineal interbanda que atraviesa un filtro óptico.

En la presente realización, el factor de ruido no lineal intrabanda que atraviesa un filtro óptico se calcula mediante el uso de la fórmula (6), y el factor de ruido no lineal interbanda que atraviesa un filtro óptico se calcula mediante el uso de la fórmula (7). Solamente se filtra la luz de señal, y no se filtra el canal de bombeo.

Un factor de ruido no lineal intrabanda del primer vano donde una luz de señal pasa un filtro óptico es:

$$40 \alpha_{intra_1}(1) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp_1}^1}{P_{sp_1}^0} \right)^{k1};$$

un factor de ruido no lineal interbanda del primer vano donde una luz de señal atraviesa un filtro óptico y un canal de bombeo no atraviesa un filtro óptico es:

$$\alpha_{inter_1}(1,0) = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{sp_1}^1}{P_{sp_1}^0}\right)^{k2} \cdot \left(\frac{P_{pp_1}^0}{P_{pp_1}^0}\right)^{k3} = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{sp_1}^1}{P_{sp_1}^0}\right)^{k2}$$

; un factor de ruido no lineal intrabanda del segundo vano donde una luz de señal pasa un filtro óptico es:

$$\alpha_{intra_2}(1) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp_2}^1}{P_{sp_2}^0}\right)^{k1} ;$$

5 un factor de ruido no lineal interbanda del segundo vano donde una luz de señal atraviesa un filtro óptico y un canal de bombeo no atraviesa un filtro óptico es:

$$\alpha_{inter_2}(1,0) = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{sp_2}^1}{P_{sp_2}^0}\right)^{k2} \cdot \left(\frac{P_{pp_2}^0}{P_{pp_2}^0}\right)^{k3} = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{sp_2}^1}{P_{sp_2}^0}\right)^{k2}$$

; un factor de ruido no lineal intrabanda del tercer vano donde una luz de señal pasa dos filtros ópticos es:

$$\alpha_{intra_3}(2) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp_3}^2}{P_{sp_3}^0}\right)^{k1} ;$$

10 un factor de ruido no lineal interbanda del tercer vano donde una luz de señal atraviesa dos filtros ópticos y un canal de bombeo no atraviesa un filtro óptico es:

$$\alpha_{inter_3}(2,0) = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{sp_3}^2}{P_{sp_3}^0}\right)^{k2} \cdot \left(\frac{P_{pp_3}^0}{P_{pp_3}^0}\right)^{k3} = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{sp_3}^2}{P_{sp_3}^0}\right)^{k2}$$

; un factor de ruido no lineal intrabanda del cuarto vano donde una luz de señal que atraviesa dos filtros ópticos es:

$$\alpha_{intra_4}(2) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp_4}^2}{P_{sp_4}^0}\right)^{k1} ;$$

15 y un factor de ruido no lineal interbanda del cuarto vano donde una luz de señal atraviesa dos filtros ópticos y un canal de bombeo no atraviesa un filtro óptico es:

$$\alpha_{inter_4}(2,0) = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{sp_4}^2}{P_{sp_4}^0}\right)^{k2} \cdot \left(\frac{P_{pp_4}^0}{P_{pp_4}^0}\right)^{k3} = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{sp_4}^2}{P_{sp_4}^0}\right)^{k2}$$

$\alpha_{intra_i}(n)$ ($i=1,2,3,4$) representa un factor de ruido no lineal intrabanda que es del vano $i^{\text{ésimo}}$ y atraviesa un filtro óptico, y $\alpha_{inter_i}(n,m)$ ($i=1,2,3,4$) representa un factor de ruido no lineal interbanda que es del vano $i^{\text{ésimo}}$ y atraviesa un filtro óptico.

20 Etapa E303: calcular el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica.

En la presente realización, existen una longitud de onda de señal y una longitud de onda de bombeo, solamente se filtra la luz de señal, el canal de bombeo no se filtra, y el ruido no lineal de cada vano se calcula según la fórmula (12).

El ruido no lineal del primer vano es:

$$P_{NL1} = \alpha_{intra_1}(1) \cdot (P_{S1})^3 + \sum_{j=1}^k \alpha_{inter_1}(1,0) \cdot P_{S1} \cdot (P_{Nj_1})^2 = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp_1}^1}{P_{sp_1}^0}\right)^{k1} \cdot (P_{S1})^3 + \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{sp_1}^1}{P_{sp_1}^0}\right)^{k2} \cdot P_{S1} \cdot (P_{N1_1})^2$$

25 ; el ruido no lineal del segundo vano es:

$$P_{NL2} = \alpha_{intra_2}(1) \cdot (P_{S2})^3 + \sum_{j=1}^k \alpha_{inter_2}(1,0) \cdot P_{S2} \cdot (P_{Nj_2})^2 = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{S2}^1}{P_{S2}^0}\right)^{k1} \cdot (P_{S2})^3 + \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{S2}^1}{P_{S2}^0}\right)^{k2} \cdot P_{S2} \cdot (P_{N1_2})^2$$

; el ruido no lineal del tercer vano es:

$$P_{NL3} = \alpha_{intra_3}(2) \cdot (P_{S3})^3 + \sum_{j=1}^k \alpha_{inter_3}(2,0) \cdot P_{S3} \cdot (P_{Nj_3})^2 = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{S3}^1}{P_{S3}^0}\right)^{k1} \cdot (P_{S3})^3 + \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{S3}^1}{P_{S3}^0}\right)^{k2} \cdot P_{S3} \cdot (P_{N1_3})^2$$

y el ruido no lineal del cuarto vano es:

$$P_{NL4} = \alpha_{intra_4}(2) \cdot (P_{S4})^3 + \sum_{j=1}^k \alpha_{inter_4}(2,0) \cdot P_{S4} \cdot (P_{Nj_4})^2 = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{S4}^1}{P_{S4}^0}\right)^{k1} \cdot (P_{S4})^3 + \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{S4}^1}{P_{S4}^0}\right)^{k2} \cdot P_{S4} \cdot (P_{N1_4})^2$$

5 $P_{Sj}(j=1,2,3,4)$ es potencia óptica integral en el ancho de banda de señal en un lugar incidente del vano $i^{\text{ésimo}}$, k es el número de canales de bombeo, donde $k=1$ en la presente realización; y $P_{Nj_i}(j=1,2,3,4)$ es potencia óptica integral en ancho de banda del canal óptico de bombeo $j^{\text{ésimo}}$ en el lugar incidente del vano $i^{\text{ésimo}}$.

10 Etapa E304: obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica, y obtener una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica.

Si solo existe un vano en el enlace de fibra óptica, el ruido no lineal del vano es el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica; y si existen múltiples vanos en el enlace de fibra óptica, la superposición se lleva a cabo para el ruido no lineal de los vanos en el enlace de fibra óptica para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

15 En la presente realización, existen múltiples vanos en el enlace de fibra óptica, y la superposición coherente o incoherente se lleva a cabo para el ruido no lineal P_{NL1} , P_{NL2} , P_{NL3} , y P_{NL4} de cada vano para obtener el ruido no lineal total P_{NL} del enlace de fibra óptica.

20 De manera similar a la etapa E204 en la Realización 1, si la potencia óptica integral en el ancho de banda de señal en un lugar incidente de cada vano es la misma y es P_S , la reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica se calcula directamente según la fórmula (4); y si la potencia óptica integral en el ancho de banda de señal en el lugar incidente de cada vano es diferente, la superposición se lleva a cabo para ruido escalado de cada vano para obtener el ruido no lineal total P'_{NL} del enlace de fibra óptica, y la potencia incidente equivalente P_S y el ruido no lineal total P'_{NL} del enlace de fibra óptica se sustituyen en la fórmula (4) para calcular la reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica.

25 Realización 3: la presente realización de la presente invención provee un método para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica. Como se muestra en la Figura 3, dos longitudes de onda, una longitud de onda de señal y una longitud de onda de bombeo, existen en un enlace de fibra óptica. Cuatro vanos se contienen en total, y los lugares de entrada del primer vano y el tercer vano incluyen, de forma separada, un filtro óptico que filtra un canal de bombeo. Solamente se filtra el canal de bombeo, y no se filtra una luz de señal. El método específicamente incluye las siguientes etapas:

30 Etapa E401: determinar que existe uno o más canales de bombeo en un enlace de fibra óptica, obtener un factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y obtener potencia integral en el ancho de banda de luz de señal de un vano en el enlace de fibra óptica y potencia integral en el ancho de banda de canal de bombeo del vano en el enlace de fibra óptica.

35 En la presente realización, existe un canal de bombeo en el enlace de fibra óptica, y se obtienen el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico y el factor de ruido no lineal interbanda que no pasa un filtro óptico en el enlace de fibra óptica.

40 De manera similar a la etapa E201 en la Realización 1, el factor α_{intra} de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico y el factor α_{inter} de ruido no lineal interbanda que no pasa un filtro óptico se pueden obtener llevando a cabo una medición o simulación.

Se obtienen la potencia integral en el ancho de banda de luz de señal del vano en el enlace de fibra óptica y la potencia integral en el ancho de banda de canal de bombeo del vano en el enlace de fibra óptica, y dichas dos se pueden obtener a través de la medición de dispositivo o a través de un cálculo según cada parámetro del enlace.

Etapa E402: corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico y el factor de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico.

- 5 Un valor empírico se puede usar como un factor de corrección para corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico y el factor de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener el factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico y el factor de ruido no lineal interbanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico; o el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico se puede corregir según la fórmula (6), para calcular y obtener el factor de ruido no lineal intrabanda que atraviesa un filtro óptico, y el factor de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico se puede corregir según la fórmula (7), para calcular y obtener el factor de ruido no lineal interbanda que atraviesa un filtro óptico.

15 En la presente realización, solamente se filtra el canal de bombeo, y no se filtra la luz de señal. Un factor de ruido no lineal intrabanda que es de cada vano y no atraviesa un filtro óptico es α_{intra} . También se puede obtener, a través de un cálculo mediante el uso de la fórmula (6), que el factor de ruido no lineal intrabanda que es de cada vano y no atraviesa un filtro óptico es α_{intra} . El factor de ruido no lineal interbanda que atraviesa un filtro óptico se calcula mediante el uso de la fórmula (7).

Un factor de ruido no lineal interbanda del primer vano donde un canal de bombeo atraviesa un filtro óptico y una luz de señal no atraviesa un filtro óptico es:

$$20 \alpha_{inter_1}(0,1) = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{sp_1}^0}{P_{sp_1}^0}\right)^{k2} \cdot \left(\frac{P_{pp_1}^1}{P_{pp_1}^0}\right)^{k3} = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{pp_1}^1}{P_{pp_1}^0}\right)^{k3};$$

un factor de ruido no lineal interbanda del segundo vano donde un canal de bombeo atraviesa un filtro óptico y una luz de señal no atraviesa un filtro óptico es:

$$\alpha_{inter_2}(0,1) = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{sp_2}^0}{P_{sp_2}^0}\right)^{k2} \cdot \left(\frac{P_{pp_2}^1}{P_{pp_2}^0}\right)^{k3} = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{pp_2}^1}{P_{pp_2}^0}\right)^{k3};$$

25 un factor de ruido no lineal interbanda del tercer vano donde un canal de bombeo atraviesa dos filtros ópticos y una luz de señal no atraviesa un filtro óptico es:

$$\alpha_{inter_3}(0,2) = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{sp_3}^0}{P_{sp_3}^0}\right)^{k2} \cdot \left(\frac{P_{pp_3}^2}{P_{pp_3}^0}\right)^{k3} = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{pp_3}^2}{P_{pp_3}^0}\right)^{k3};$$

y un factor de ruido no lineal interbanda del cuarto vano donde un canal de bombeo atraviesa dos filtros ópticos y una luz de señal no atraviesa un filtro óptico es:

$$\alpha_{inter_4}(0,2) = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{sp_4}^0}{P_{sp_4}^0}\right)^{k2} \cdot \left(\frac{P_{pp_4}^2}{P_{pp_4}^0}\right)^{k3} = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{pp_4}^2}{P_{pp_4}^0}\right)^{k3};$$

- 30 $\alpha_{inter_i}(n, m)$ ($i=1,2,3,4$) es un factor de ruido no lineal interbanda que es del vano $i^{\text{ésimo}}$ y atraviesa un filtro óptico.

Etapa E403: calcular el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica.

En la presente realización, existen una longitud de onda de señal y una longitud de onda de bombeo, solamente se filtra el canal de bombeo, no se filtra la luz de señal, y el ruido no lineal de cada vano se calcula según la fórmula (12).

- 35 El ruido no lineal del primer vano es:

$$P_{NL1} = \alpha_{intra} \cdot (P_{S1})^3 + \sum_{j=1}^k \alpha_{inter_1}(0,1) \cdot P_{S1} \cdot (P_{Nj1})^2 = \alpha_{intra} \cdot (P_{S1})^3 + \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{pp_1}^1}{P_{pp_1}^0}\right)^{k3} \cdot P_{S1} \cdot (P_{N11})^2;$$

el ruido no lineal del segundo vano es:

$$P_{NL2} = \alpha_{intra} \cdot (P_{S2})^3 + \sum_{j=1}^k \alpha_{inter_2}(0,1) \cdot P_{S2} \cdot (P_{Nj_2})^2 = \alpha_{intra} \cdot (P_{S2})^3 + \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{S2}^3}{P_{P,2}^0}\right)^{k3} \cdot P_{S2} \cdot (P_{N1_2})^2$$

el ruido no lineal del tercer vano es:

$$P_{NL3} = \alpha_{intra} \cdot (P_{S3})^3 + \sum_{j=1}^k \alpha_{inter_3}(0,2) \cdot P_{S3} \cdot (P_{Nj_3})^2 = \alpha_{intra} \cdot (P_{S3})^3 + \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{S3}^3}{P_{P,3}^0}\right)^{k3} \cdot P_{S3} \cdot (P_{N1_3})^2$$

y el ruido no lineal del cuarto vano es:

$$P_{NL4} = \alpha_{intra} \cdot (P_{S4})^3 + \sum_{j=1}^k \alpha_{inter_4}(0,2) \cdot P_{S4} \cdot (P_{Nj_4})^2 = \alpha_{intra} \cdot (P_{S4})^3 + \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{S4}^3}{P_{P,4}^0}\right)^{k3} \cdot P_{S4} \cdot (P_{N1_4})^2$$

$P_{Si}(i=1,2,3,4)$ es la potencia óptica integral en el ancho de banda de señal en un lugar incidente del vano $i^{\text{ésimo}}$; k es el número de canales de bombeo, donde $k=1$ en la presente realización; y $P_{Nj_i}(i=1,2,3,4)$ es la potencia óptica integral en el ancho de banda del canal óptico de bombeo $j^{\text{ésimo}}$ en el lugar incidente del vano $i^{\text{ésimo}}$.

Etapa E404: obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica, y obtener una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica.

Si solo existe un vano en el enlace de fibra óptica, el ruido no lineal del vano es el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica; y si existen múltiples vanos en el enlace de fibra óptica, la superposición se lleva a cabo para el ruido no lineal de los vanos en el enlace de fibra óptica para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

En la presente realización, existen múltiples vanos en el enlace de fibra óptica, y la superposición coherente o incoherente se lleva a cabo para el ruido no lineal P_{NL1} , P_{NL2} , P_{NL3} , y P_{NL4} de cada vano para obtener el ruido no lineal total P_{NL} del enlace de fibra óptica.

De manera similar a la etapa E204 en la Realización 1, si la potencia óptica integral en el ancho de banda de señal en un lugar incidente de cada vano es la misma y es P_S , la reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica se calcula directamente según la fórmula (4); y si la potencia óptica integral en el ancho de banda de señal en el lugar incidente de cada vano es diferente, la superposición se lleva a cabo para el ruido escalado de cada vano para obtener el ruido no lineal total P_{NL}^f del enlace de fibra óptica, y la potencia incidente equivalente P_S y el ruido no lineal total P_{NL}^f del enlace de fibra óptica se sustituyen en la fórmula (4) para calcular la reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica.

Según el método para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica previsto en la presente realización de la presente invención, se corrige un factor no lineal que es de un enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, con el fin de obtener ruido no lineal que es del enlace de fibra óptica y atraviesa un filtro óptico, calculando así rápida y correctamente una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica, ahorrando recursos del sistema y tiempo de cálculo, y reduciendo costos del sistema, haciendo más conveniente integrar una función de cálculo de una reducción de transmisión no lineal en un dispositivo.

En la aplicación práctica, el método para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica previsto en la presente realización de la presente invención se aplica tanto a un sistema con una unidad de monitoreo de rendimiento óptico como a un sistema sin una unidad de monitoreo de rendimiento óptico.

Realización 4: la presente realización de la presente invención provee un aparato para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica, como se muestra en la Figura 4, incluidas:

una primera unidad de obtención 410, configurada para determinar que no existe canal de bombeo en un enlace de fibra óptica, obtener un factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y obtener potencia integral en el ancho de banda de luz de señal de un vano en el enlace de fibra óptica;

una unidad de corrección 420, configurada para corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico;

una unidad de cálculo 430, configurada para calcular el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$P_{NL} = \alpha_{intra}(n) \cdot (P_S)^3;$$

donde,

P_{NL} representa el ruido no lineal del vano;

$\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

5 n representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa una luz de señal del vano; y

P_S representa la potencia integral en el ancho de banda de luz de señal del vano;

una segunda unidad de obtención 440, configurada para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica; y

10 una tercera unidad de obtención 450, configurada para obtener una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica.

Además, si existen múltiples vanos en el enlace de fibra óptica, la segunda unidad de obtención 440 puede incluir de manera específica:

una segunda subunidad de obtención 441, configurada para llevar a cabo la superposición en el ruido no lineal de los vanos en el enlace de fibra óptica para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

15 Además, la unidad de corrección 420 puede incluir de manera específica: una subunidad de corrección 421, configurada para usar la siguiente fórmula para obtener el factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico:

$$\alpha_{intra}(n) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp}^n}{P_{sp}^0} \right)^{k1};$$

donde,

20 $\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

α_{intra} representa el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico;

P_{sp}^0 representa la potencia pico de una luz de señal que es del vano y no atraviesa un filtro óptico;

P_{sp}^n representa la potencia pico de una luz de señal del vano que atraviesa filtros ópticos n ;

25 $k1$ representa una constante de corrección del factor de ruido no lineal intrabanda cuando la luz de señal atraviesa un filtro óptico.

Además, $k1$ se puede obtener mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$k1 = \log \left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0} \right) \left(\frac{\alpha_{intra}(r)}{\alpha_{intra}} \right) = \frac{\log_{10} \left(\frac{\alpha_{intra}(r)}{\alpha_{intra}} \right)}{\log_{10} \left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0} \right)};$$

donde,

$\alpha_{intra}(r)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico cuando $n = r$,

30 P_{sp}^r representa la potencia pico de una luz de señal del vano que atraviesa filtros ópticos r ; y

r es un entero positivo.

Realización 5: la presente realización de la presente invención provee un aparato para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica, como se muestra en la Figura 4, incluidas:

35 una primera unidad de obtención 410, configurada para determinar que existe uno o más canales de bombeo en un enlace de fibra óptica, obtener un factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y obtener potencia integral en el ancho de banda de luz de señal de un vano en el enlace de fibra óptica y potencia integral en el ancho de banda de canal de bombeo del vano en el enlace de fibra óptica;

una unidad de corrección 420, configurada para corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico y el factor de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico;

- 5 una unidad de cálculo 430, configurada para calcular el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$P_{NL} = \alpha_{intra}(n) \cdot (P_S)^3 + \sum_{j=1}^k \alpha_{inter}(n, m) \cdot P_S \cdot (P_{Nj})^2;$$

donde,

P_{NL} representa el ruido no lineal del vano;

- 10 $\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

$\alpha_{inter}(n, m)$ representa el factor de ruido no lineal interbanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

n representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa una luz de señal del vano, y m representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa un canal de bombeo del vano;

P_S representa la potencia integral en el ancho de banda de luz de señal del vano;

- 15 P_{Nj} representa la potencia integral en el ancho de banda del canal de bombeo $j^{\text{ésimo}}$ del vano; y

k representa el número de canales de bombeo en el enlace de fibra óptica;

una segunda unidad de obtención 440, configurada para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica; y

- 20 una tercera unidad de obtención 450, configurada para obtener una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica.

Además, si existen múltiples vanos en el enlace de fibra óptica, la segunda unidad de obtención 440 puede incluir de manera específica:

una segunda subunidad de obtención 441, configurada para llevar a cabo la superposición en el ruido no lineal de los vanos en el enlace de fibra óptica para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

- 25 Además, la unidad de corrección 420 puede incluir de manera específica: una subunidad de corrección 421, configurada para usar la siguiente fórmula para obtener el factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico:

$$\alpha_{intra}(n) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp}^n}{P_{sp}^0} \right)^{k1};$$

- 30 y configurada para usar la siguiente fórmula para obtener el factor de ruido no lineal interbanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico:

$$\alpha_{inter}(n, m) = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{P_{sp}^n}{P_{sp}^0} \right)^{k2} \cdot \left(\frac{P_{pp}^m}{P_{pp}^0} \right)^{k3};$$

donde,

$\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

$\alpha_{inter}(n, m)$ representa el factor de ruido no lineal interbanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

- 35 α_{intra} representa el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico;

α_{inter} representa el factor de ruido no lineal interbanda del vano que no atraviesa un filtro óptico;

P_{sp}^0 representa la potencia pico de una luz de señal que es del vano y no atraviesa un filtro óptico;

P_{sp}^n representa la potencia pico de una luz de señal del vano que atraviesa filtros ópticos n ;

P_{pp}^0 representa la potencia pico de un canal de bombeo que es del vano y no atraviesa un filtro óptico;

P_{pp}^m representa la potencia pico de un canal de bombeo del vano que atraviesa filtros ópticos m;

k1 representa una constante de corrección del factor de ruido no lineal intrabanda cuando la luz de señal atraviesa un filtro óptico;

5 k2 representa una constante de corrección del factor de ruido no lineal interbanda cuando la luz de señal atraviesa un filtro óptico; y

k3 representa una constante de corrección del factor de ruido no lineal interbanda cuando el canal de bombeo atraviesa un filtro óptico.

Además, k1 se puede obtener mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$10 \quad k1 = \log \left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0} \right) \left(\frac{\alpha_{intra}(r)}{\alpha_{intra}} \right) = \frac{\log_{10} \left(\frac{\alpha_{intra}(r)}{\alpha_{intra}} \right)}{\log_{10} \left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0} \right)};$$

k2 se obtiene mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$k2 = \log \left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0} \right) \left(\frac{\alpha_{inter}(r,0)}{\alpha_{inter}} \right) = \frac{\log_{10} \left(\frac{\alpha_{inter}(r,0)}{\alpha_{inter}} \right)}{\log_{10} \left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0} \right)};$$

y k3 se obtiene mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$15 \quad k3 = \log \left(\frac{P_{pp}^s}{P_{pp}^0} \right) \left(\frac{\alpha_{inter}(0,s)}{\alpha_{inter}} \right) = \frac{\log_{10} \left(\frac{\alpha_{inter}(0,s)}{\alpha_{inter}} \right)}{\log_{10} \left(\frac{P_{pp}^s}{P_{pp}^0} \right)};$$

donde,

$\alpha_{intra}(r)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico cuando $n = r$;

$\alpha_{inter}(r,0)$ representa el factor de ruido no lineal interbanda del vano que atraviesa un filtro óptico cuando $n = r, m = 0$;

$\alpha_{inter}(0,s)$ representa el factor de ruido no lineal interbanda del vano que atraviesa un filtro óptico cuando $n = 0, m = s$;

20 P_{sp}^r representa la potencia pico de una luz de señal del vano que atraviesa filtros ópticos r;

P_{pp}^s representa la potencia pico de un canal de bombeo del vano que atraviesa filtros ópticos s; y

r y s son enteros positivos.

Debido a que el contenido, como, por ejemplo, intercambio de información y un proceso de realización entre cada módulo en los aparatos en las Realizaciones 4 y 5, y las realizaciones del método de la presente invención se basan en una misma idea, para un contenido detallado, se puede hacer referencia a las descripciones en las realizaciones del método de la presente invención, y no se proveen más detalles en la presente memoria.

Según el aparato para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica previsto en la presente realización de la presente invención, se corrige un factor no lineal que es de un enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, con el fin de obtener el ruido no lineal que es del enlace de fibra óptica y atraviesa un filtro óptico, calculando así rápida y correctamente una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica, ahorrando recursos del sistema y tiempo de cálculo, y reduciendo costos del sistema, haciendo conveniente integrar una función de cálculo de una reducción de transmisión no lineal en un dispositivo.

Una persona con experiencia ordinaria en la técnica puede comprender que todas o una parte de las etapas de las realizaciones del método se pueden implementar mediante un programa informático que ordena el hardware relevante. El programa se puede almacenar en un medio de almacenamiento legible por ordenador. Cuando el programa se ejecuta, se llevan a cabo los procesos de las realizaciones del método. El medio de almacenamiento

puede incluir: un disco magnético, un disco óptico, una memoria de solo lectura (Memoria de Solo Lectura, ROM, por sus siglas en inglés), o una memoria de acceso aleatorio (Memoria de Acceso Aleatorio, RAM, por sus siglas en inglés).

- 5 Las anteriores descripciones son meramente realizaciones específicas de la presente invención, pero no pretenden limitar el alcance de protección de la presente invención. Cualquier variación o reemplazo descubierto inmediatamente por una persona experta en la técnica dentro del alcance técnico descrito en la presente invención recaerá dentro del alcance de protección de la presente invención. Por lo tanto, el alcance de protección de la presente invención estará sujeto al alcance de protección de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica, el cual comprende:

5 determinar (E101a) que no existe luz de bombeo en un enlace de fibra óptica, obtener un factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y obtener potencia integral en el ancho de banda de luz de señal de un vano en el enlace de fibra óptica;

corregir (E102a) el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico;

calcular (E103a) el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$P_{NL} = \alpha_{intra}(n) \cdot (P_S)^3;$$

10 en donde,

P_{NL} representa la potencia de ruido no lineal del vano;

$\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

n representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa una luz de señal del vano; y

P_S representa la potencia integral en el ancho de banda de luz de señal del vano; y

15 obtener (E104a) el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica, y obtener una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

2. El método según la reivindicación 1, en donde si existen múltiples vanos en el enlace de fibra óptica, obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica específicamente comprende:

llevar a cabo la superposición del ruido no lineal de los vanos en el enlace de fibra óptica para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

3. El método según la reivindicación 1 o 2, en donde corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico específicamente comprende:

obtener, mediante el uso de la siguiente fórmula, el factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico:

$$\alpha_{intra}(n) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp}^n}{P_{sp}^0} \right)^{k1};$$

en donde,

30 $\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

α_{intra} representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que no atraviesa un filtro óptico;

P_{sp}^0 representa la potencia pico de una luz de señal que es del vano y no atraviesa un filtro óptico;

P_{sp}^n representa la potencia pico de una luz de señal del vano que atraviesa filtros ópticos n ; y

35 $k1$ representa una constante de corrección del factor de ruido no lineal intrabanda cuando la luz de señal atraviesa un filtro óptico.

4. El método según la reivindicación 3, en donde $k1$ se obtiene mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$k1 = \log \left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0} \right) \left(\frac{\alpha_{intra}(r)}{\alpha_{intra}} \right) = \frac{\log_{10} \left(\frac{\alpha_{intra}(r)}{\alpha_{intra}} \right)}{\log_{10} \left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0} \right)},$$

en donde,

$\alpha_{intra}(r)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico cuando $n = r$;

P_{sp}^r representa la potencia pico de una luz de señal del vano que atraviesa filtros ópticos r ; y

r es un entero positivo.

5. Un método para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica, que comprende:

5 determinar (E101b) que existe una o más luces de bombeo en un enlace de fibra óptica, obtener un factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y obtener potencia integral en el ancho de banda de luz de señal de un vano en el enlace de fibra óptica y potencia integral en el ancho de banda de luz de bombeo del vano en el enlace de fibra óptica;

10 corregir (E102b) el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico y el factor de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico;

calcular (E103b) el ruido del vano en el enlace de fibra óptica mediante el uso de la siguiente fórmula:

15
$$P_{NL} = \alpha_{intra}(n) \cdot (P_S)^3 + \sum_{j=1}^k \alpha_{inter}(n, m) \cdot P_S \cdot (P_{Nj})^2;$$

en donde,

P_{NL} representa la potencia de ruido no lineal del vano;

$\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

$\alpha_{inter}(n, m)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

20 n representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa una luz de señal del vano, y m representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa una luz de bombeo del vano;

P_S representa la potencia integral en el ancho de banda de luz de señal del vano;

P_{Nj} representa la potencia integral en el ancho de banda de la luz de bombeo $j^{\text{ésimo}}$ del vano; y

k representa el número de luces de bombeo en el enlace de fibra óptica; y

25 obtener (E104b) el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica, y obtener una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

6. El método según la reivindicación 5, en donde si existen múltiples vanos en el enlace de fibra óptica, el ruido no lineal total obtenido del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica específicamente comprende:

30 llevar a cabo la superposición de ruido no lineal de los vanos en el enlace de fibra óptica para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

7. El método según la reivindicación 5 o 6, en donde corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico y el factor de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico específicamente comprende:

obtener, mediante el uso de la siguiente fórmula, el factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico:

35
$$\alpha_{intra}(n) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp}^n}{P_{sp}^0} \right)^{k1};$$

40 y obtener, mediante el uso de la siguiente fórmula, el factor de ruido no lineal interbanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico:

$$\alpha_{\text{inter}}(n, m) = \alpha_{\text{inter}} \cdot \left(\frac{P_{\text{sp}}^n}{P_{\text{sp}}^o}\right)^{k2} \cdot \left(\frac{P_{\text{pp}}^m}{P_{\text{pp}}^o}\right)^{k3};$$

en donde,

$\alpha_{\text{intra}}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

$\alpha_{\text{inter}}(n, m)$ representa el factor de ruido no lineal interbanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

5 α_{intra} representa el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico;

α_{inter} representa el factor de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico;

P_{sp}^o representa la potencia pico de una luz de señal que es del vano y no atraviesa un filtro óptico;

P_{sp}^n representa la potencia pico de una luz de señal del vano que atraviesa filtros ópticos n;

P_{pp}^o representa la potencia pico de una luz de bombeo que es del vano y no atraviesa un filtro óptico;

10 P_{pp}^m representa la potencia pico de una luz de bombeo del vano que atraviesa filtros ópticos m;

k1 representa una constante de corrección del factor de ruido no lineal intrabanda cuando la luz de señal atraviesa un filtro óptico;

k2 representa una constante de corrección del factor de ruido no lineal interbanda cuando la luz de señal atraviesa un filtro óptico; y

15 k3 representa una constante de corrección del factor de ruido no lineal interbanda cuando la luz de bombeo atraviesa un filtro óptico.

8. El método según la reivindicación 7, en donde k1 se obtiene mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$k1 = \log\left(\frac{P_{\text{sp}}^r}{P_{\text{sp}}^o}\right) \left(\frac{\alpha_{\text{intra}}(r)}{\alpha_{\text{intra}}}\right) = \frac{\log_{10}\left(\frac{\alpha_{\text{intra}}(r)}{\alpha_{\text{intra}}}\right)}{\log_{10}\left(\frac{P_{\text{sp}}^r}{P_{\text{sp}}^o}\right)};$$

k2 se obtiene mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$k2 = \log\left(\frac{P_{\text{sp}}^r}{P_{\text{sp}}^o}\right) \left(\frac{\alpha_{\text{inter}}(r,0)}{\alpha_{\text{inter}}}\right) = \frac{\log_{10}\left(\frac{\alpha_{\text{inter}}(r,0)}{\alpha_{\text{inter}}}\right)}{\log_{10}\left(\frac{P_{\text{sp}}^r}{P_{\text{sp}}^o}\right)};$$

20 y k3 se obtiene mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$k3 = \log\left(\frac{P_{\text{pp}}^s}{P_{\text{pp}}^o}\right) \left(\frac{\alpha_{\text{inter}}(0,s)}{\alpha_{\text{inter}}}\right) = \frac{\log_{10}\left(\frac{\alpha_{\text{inter}}(0,s)}{\alpha_{\text{inter}}}\right)}{\log_{10}\left(\frac{P_{\text{pp}}^s}{P_{\text{pp}}^o}\right)};$$

en donde,

$\alpha_{\text{intra}}(r)$ representa un factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico cuando n = r;

25 $\alpha_{\text{inter}}(r,0)$ representa un factor de ruido no lineal interbanda del vano que atraviesa un filtro óptico cuando n = r, m = 0;

$\alpha_{\text{inter}}(0,s)$ representa un factor de ruido no lineal interbanda del vano que atraviesa un filtro óptico cuando n = 0, m = s;

P_{sp}^r representa la potencia pico de una luz de señal del vano que atraviesa filtros ópticos r;

30 P_{pp}^s representa la potencia pico de una luz de bombeo del vano que atraviesa filtros ópticos s; y

r y s son enteros positivos.

9. Un aparato para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica, que comprende una primera unidad de obtención, una unidad de corrección, una unidad de cálculo, una segunda unidad de obtención, y una tercera unidad de obtención, en donde:

5 la primera unidad de obtención (410) se configura para determinar que no existe luz de bombeo en un enlace de fibra óptica, obtener un factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y obtener potencia integral en el ancho de banda de luz de señal de un vano en el enlace de fibra óptica;

10 la unidad de corrección (420) se configura para corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico;

la unidad de cálculo (430) se configura para calcular el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica mediante el uso de la siguiente fórmula:

15
$$P_{NL} = \alpha_{intra}(n) \cdot (P_S)^3;$$

en donde,

P_{NL} representa la potencia de ruido no lineal del vano;

$\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

n representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa una luz de señal del vano; y

P_S representa la potencia integral en el ancho de banda de luz de señal del vano;

20 la segunda unidad de obtención (440) se configura para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica; y

la tercera unidad de obtención (450) configurada para obtener una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

25 10. El aparato según la reivindicación 9, en donde si existen múltiples vanos en el enlace de fibra óptica, la segunda unidad de obtención específicamente comprende:

una segunda subunidad de obtención, configurada para llevar a cabo la superposición de ruido no lineal de los vanos en el enlace de fibra óptica para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

11. El aparato según la reivindicación 9 o 10, en donde la unidad de corrección específicamente comprende:

30 una subunidad de corrección, configurada para usar la siguiente fórmula para obtener el factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico:

$$\alpha_{intra}(n) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{P_{sp}^n}{P_{sp}^o} \right)^{k1};$$

en donde,

$\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

α_{intra} representa un factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico;

35 P_{sp}^o representa la potencia pico de una luz de señal del vano y no atraviesa un filtro óptico;

P_{sp}^n representa la potencia pico de una luz de señal del vano que atraviesa filtros ópticos n; y

k1 representa una constante de corrección del factor de ruido no lineal intrabanda cuando la luz de señal atraviesa un filtro óptico.

12. El aparato según la reivindicación 11, en donde k1 se obtiene mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$k1 = \log\left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0}\right) \left(\frac{\alpha_{intra}(r)}{\alpha_{intra}}\right) = \frac{\log_{10}\left(\frac{\alpha_{intra}(r)}{\alpha_{intra}}\right)}{\log_{10}\left(\frac{P_{sp}^r}{P_{sp}^0}\right)},$$

en donde,

$\alpha_{intra}(r)$ representa un factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico cuando $n = r$;

P_{sp}^r representa la potencia pico de una luz de señal del vano que atraviesa filtros ópticos r ; y

5 r es un entero positivo.

13. Un aparato para calcular una reducción de transmisión no lineal de un enlace de fibra óptica, que comprende una primera unidad de obtención, una unidad de corrección, una unidad de cálculo, una segunda unidad de obtención, y una tercera unidad de obtención, en donde:

10 la primera unidad de obtención (410) se configura para determinar que existe una o más luces de bombeo en un enlace de fibra óptica, obtener un factor de ruido no lineal intrabanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda que se encuentra en el enlace de fibra óptica y no atraviesa un filtro óptico, y obtener potencia integral en el ancho de banda de luz de señal de un vano en el enlace de fibra óptica y potencia integral en el ancho de banda de luz de bombeo del vano en el enlace de fibra óptica;

15 la unidad de corrección (420) se configura para corregir el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico y el factor de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico, para obtener un factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico y un factor de ruido no lineal interbanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico;

20 la unidad de cálculo (430) se configura para calcular el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$P_{NL} = \alpha_{intra}(n) \cdot (P_S)^3 + \sum_{j=1}^k \alpha_{inter}(n, m) \cdot P_S \cdot (P_{Nj})^2;$$

en donde,

P_{NL} representa la potencia de ruido no lineal del vano;

$\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

25 $\alpha_{inter}(n, m)$ representa el factor de ruido no lineal interbanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

n representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa una luz de señal del vano, y m representa el número de filtros ópticos a través de los cuales pasa una luz de bombeo del vano;

P_S representa la potencia integral en el ancho de banda de luz de señal del vano;

P_{Nj} representa la potencia integral en el ancho de banda de la luz de bombeo $j^{\text{ésimo}}$ del vano; y

30 k representa el número de luces de bombeo en el enlace de fibra óptica;

la segunda unidad de obtención (440) se configura para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal del vano en el enlace de fibra óptica; y

la tercera unidad de obtención (450) se configura para obtener una reducción de transmisión no lineal del enlace de fibra óptica según el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

35 14. El aparato según la reivindicación 13, en donde si existen múltiples vanos en el enlace de fibra óptica, la segunda unidad de obtención específicamente comprende:

una segunda subunidad de obtención, configurada para llevar a cabo la superposición en ruido no lineal de los vanos en el enlace de fibra óptica para obtener el ruido no lineal total del enlace de fibra óptica.

15. El aparato según la reivindicación 13 o 14, en donde la unidad de corrección específicamente comprende:

40 una subunidad de corrección, configurada para usar la siguiente fórmula para obtener el factor de ruido no lineal intrabanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico:

$$\alpha_{intra}(n) = \alpha_{intra} \cdot \left(\frac{p_{sp}^n}{p_{sp}^0} \right)^{k1};$$

y configurada para usar la siguiente fórmula para obtener el factor de ruido no lineal interbanda del vano en el enlace de fibra óptica que atraviesa un filtro óptico:

$$\alpha_{inter}(n, m) = \alpha_{inter} \cdot \left(\frac{p_{sp}^n}{p_{sp}^0} \right)^{k2} \cdot \left(\frac{p_{pp}^m}{p_{pp}^0} \right)^{k3};$$

5 en donde,

$\alpha_{intra}(n)$ representa el factor de ruido no lineal intrabanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

$\alpha_{inter}(n, m)$ representa el factor de ruido no lineal interbanda del vano que atraviesa un filtro óptico;

α_{intra} representa el factor de ruido no lineal intrabanda que no atraviesa un filtro óptico;

α_{inter} representa el factor de ruido no lineal interbanda que no atraviesa un filtro óptico;

10 P_{sp}^0 representa la potencia pico de una luz de señal que es del vano y no atraviesa un filtro óptico;

P_{sp}^n representa la potencia pico de una luz de señal del vano que atraviesa filtros ópticos n;

P_{pp}^0 representa la potencia pico de una luz de bombeo que es del vano y no atraviesa un filtro óptico;

P_{pp}^m representa la potencia pico de una luz de bombeo del vano que atraviesa filtros ópticos m;

15 k1 representa una constante de corrección del factor de ruido no lineal intrabanda cuando la luz de señal atraviesa un filtro óptico;

k2 representa una constante de corrección del factor de ruido no lineal interbanda cuando la luz de señal atraviesa un filtro óptico; y

k3 representa una constante de corrección del factor de ruido no lineal interbanda cuando la luz de bombeo atraviesa un filtro óptico.

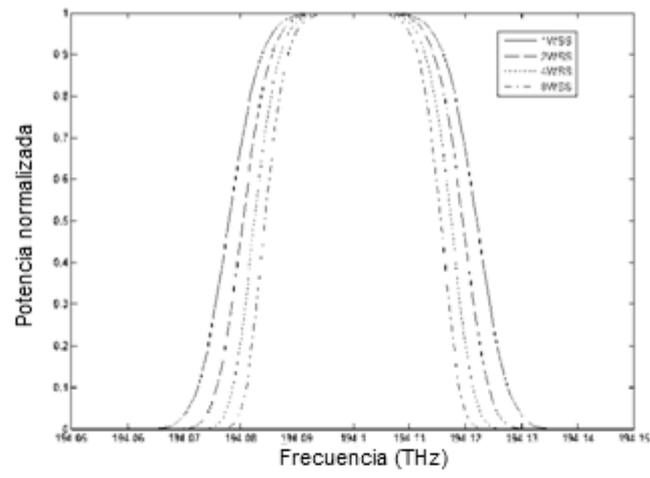


FIG. 1a

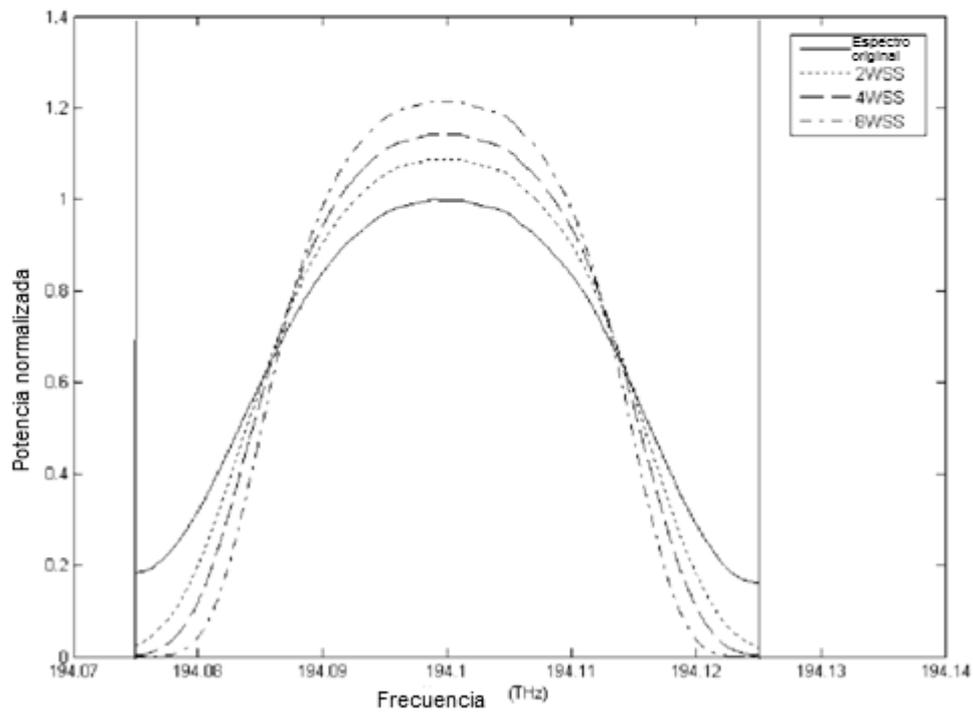


FIG. 1b

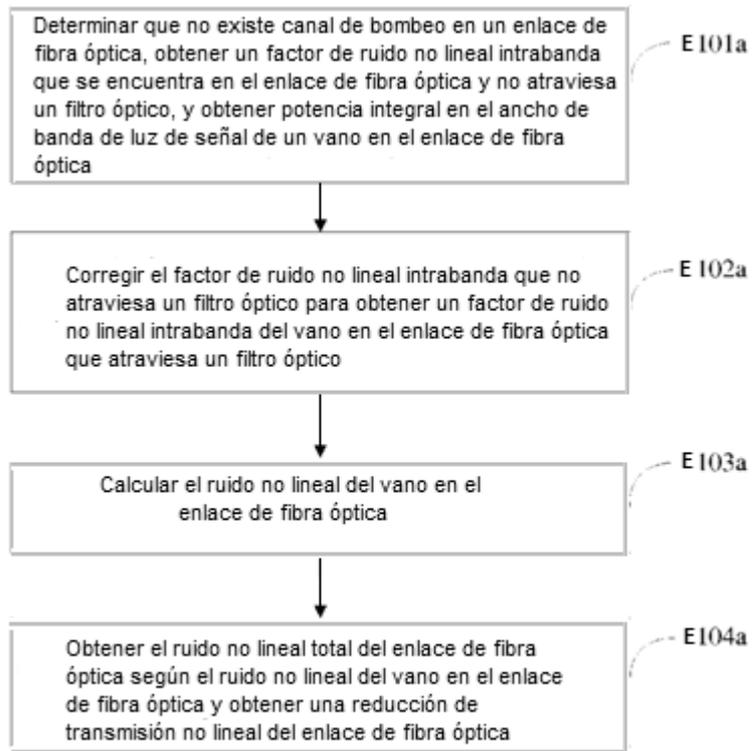


FIG. 2a

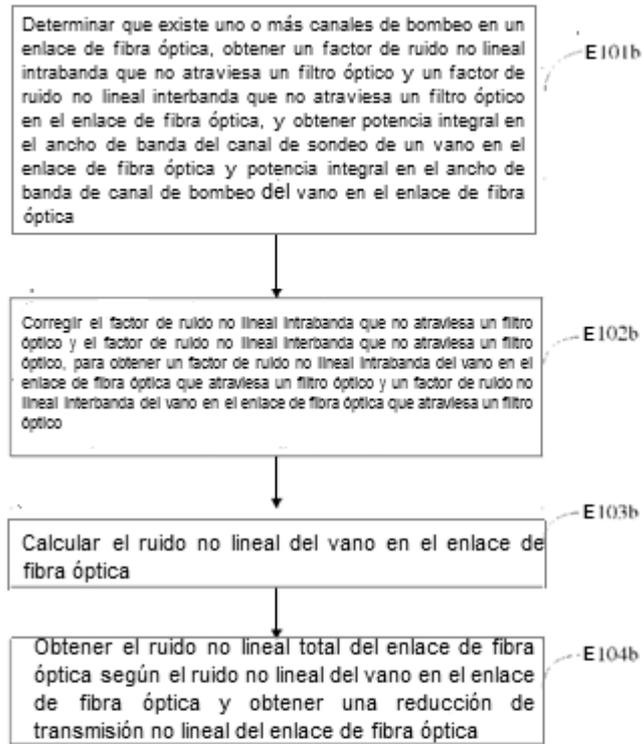


FIG. 2b



FIG. 3

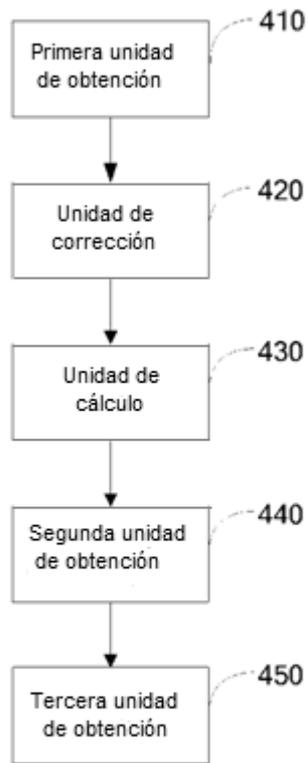


FIG. 4