

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 786 266**

51 Int. Cl.:

H04B 10/50 (2013.01)

H04B 10/572 (2013.01)

H04B 10/00 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.05.2016** **E 16170669 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.02.2020** **EP 3096472**

54 Título: **Método y sistema para la transmisión óptica de datos**

30 Prioridad:

21.05.2015 DE 102015108101

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

09.10.2020

73 Titular/es:

**DEUTSCHE TELEKOM AG (100.0%)
Friedrich-Ebert-Allee 140
53113 Bonn, DE**

72 Inventor/es:

**WISSEL, FELIX y
WEIERSHAUSEN, WERNER**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 786 266 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 sistema para la transmisión óptica de datos

5 La invención se refiere a una solución para la transmisión de datos en una red óptica, en la que se transmiten datos entre una pluralidad de emisores y receptores ópticos utilizando un método de multiplexación a través de guías de ondas o fibras ópticas utilizadas al menos en parte de forma común en canales ópticos diferentes entre sí. En particular se refiere al aumento del caudal de datos en una guía de ondas utilizada simultáneamente con diferentes canales ópticos con vistas a una transmisión de datos con el mayor ancho de banda posible. En este contexto, los objetos de la invención consisten en un método correspondiente y en un sistema para la transmisión óptica de datos configurado para la realización de este método.

15 La multiplexación óptica (método de multiplexación de longitud de onda) permite un uso eficiente de las fibras ópticas o guías de ondas de una red óptica. En este contexto es posible utilizar una única guía de ondas, al menos por secciones, simultáneamente para la transmisión de datos entre una pluralidad de emisores ópticos y receptores ópticos. Para ello, los datos emitidos por los emisores individuales se transmiten dentro de la guía de ondas en diferentes canales de frecuencias, es decir, utilizando señales de portadora ópticas diferentes en cuanto a su longitud de onda. Por lo tanto, los datos que han de ser transmitidos, es decir, los datos útiles, se modulan en el lado del emisor en ondas de luz con longitudes de onda diferentes en relación con los emisores individuales. Las ondas de luz que actúan como portadoras consisten por regla general en radiación láser, al menos en el contexto de la invención descrita en la presente memoria.

25 El acoplamiento de la radiación láser modulada con los datos útiles en una guía de ondas de la red óptica tiene lugar en el lado del emisor con ayuda de, así llamadas, SFP de color, en donde SFP representa *Small Form-Factor Pluggable* (Unidad Enchufable con Factor de Forma Pequeño) y designa módulos optoelectrónicos de construcción compacta. Con vistas a una bidireccionalidad deseada, además de un láser que actúa como emisor, los módulos de este tipo también incluyen, entre otras cosas, un receptor óptico. La señal útil se modula en la onda portadora emitida por el láser que actúa como emisor y se separa de nuevo de la señal de portadora mediante desmodulación en el lado del receptor en cada caso en un fotodiodo o un receptor óptico comparable de una SFP. Entre los 30 emisores y receptores, en los extremos de secciones de guías de ondas utilizadas de forma común, están dispuestos multiplexores y desmultiplexores ópticos o filtros de WDM (WDM = *Wavelength Division Multiplexing* - Multiplexación por División de la Longitud de Onda).

35 Con vistas a la utilización común de secciones de guías de ondas por varios emisores y receptores se han normalizado diferentes sistemas de WDM. En el caso de la CWDM (C = *coarse* - aproximada), la transmisión tiene lugar en 8 o 16 canales de frecuencias, por consiguiente con 8 o 16 señales de portadora diferentes en cuanto a su longitud de onda y en consecuencia también en cuanto a su frecuencia, estando especificada para cada canal individual una frecuencia central (y una longitud de onda o longitud de onda de pico correspondiente a la misma) y presentando los canales individuales una determinada distancia de canal entre sí. Otro sistema de WDM está especificado como DWDM (con D = *dense* por densa). En este caso se definen normalmente de 40 a 80, pero en parte también más, canales de frecuencias con una distancia entre canales claramente menor y anchuras de canal menores con frecuencia central especificada, en comparación con la CWDM.

45 Para posibilitar la utilización de los diferentes canales de frecuencias, en realidad habría que emplear SFP diferentes, que se diferenciarían en cuanto a la longitud de onda de la luz emitida como señal de portadora por el emisor o láser utilizado. Sin embargo, con vistas al mantenimiento y/o la reparación de redes ópticas correspondientes, esto requeriría la disponibilidad de unas existencias de numerosas SFP de color especificadas diferentes. Pero esto implicaría unos costes muy altos, ya que las SFP correspondientes son muy caras.

50 Por ello, con el fin de reducir los costes, se han dado a conocer soluciones en las que se hace uso del principio de la *injection locking* o del acoplamiento de modos. En este contexto, en las SFP se utilizan láseres de banda relativamente ancha, que pueden emitir señales de portadora en modos diferentes en cuanto a la longitud de onda y la frecuencia, distribuidos en todo el espectro de frecuencias utilizado para la transmisión de datos. Los láseres correspondientes se excitan con ayuda de una fuente de luz bombeada con longitud de onda definida para la emisión de una radiación láser que actúa como señal de portadora, en cada caso dentro de uno de los canales utilizados para la transmisión en la red óptica. Como fuente de luz bombeada también se utiliza preferiblemente un láser de banda ancha de una disposición óptica dispuesta entre los emisores y receptores que sirven para la transmisión de datos, cuya radiación de banda ancha se despliega en abanico con ayuda de elementos ópticos adecuados, como por ejemplo un resonador anular, en longitudes de onda diferentes para la excitación de los 60 láseres de los diferentes emisores.

La *injection locking* se basa en el principio de la *injection seeding* (siembra por inyección), tal como se describe, por ejemplo, en el documento DE 41 27 407 A1. En la *injection seeding* se excita un láser con ayuda de un láser de onda continua, designado como *seeder* (sembrador) o como *seeding laser* (láser de siembra), para la estimulación de oscilaciones con un modo determinado y para la emisión de radiación láser de banda estrecha con una longitud

de onda determinada. Si esta longitud de onda corresponde a la longitud de onda del *seeding laser*, se habla de *injection locking*.

5 En el documento US 2005/0276606 también se describe una solución que utiliza el principio de la *injection locking* para la transmisión de datos en una red óptica pasiva empleando el método de multiplexación de longitud de onda. De acuerdo con esta solución, las ondas de luz utilizadas para la excitación de los láseres en los emisores individuales con el fin de transmitir los datos útiles se proporcionan mediante un láser de Fabry-Pérot que emite
10 varios modos con longitudes de onda equidistantes entre sí. Los modos emitidos por el láser de Fabry-Pérot, antes de su transmisión a los láseres bombeados por los mismos, se conducen al emisor para los datos útiles a través de un *flattening filter* (filtro aplanador) que nivela su intensidad y un amplificador óptico de semiconductores que sirve para la autoinyección del láser de Fabry-Pérot.

15 En www.infinera.com/wp-content/uploads/2015/11/AN_iWDM-PON_B.pdf también se describe, una vez más, la utilización del principio de la *injection locking* para la transmisión de datos en redes ópticas pasivas (PON, por sus siglas en inglés).

20 Como ya se ha explicado, en la *injection locking*, las ondas de luz del láser de bombeo utilizadas para la excitación de los láseres en los emisores individuales se proporcionan preferiblemente en un espectro con longitudes de onda equidistantes entre sí. La trama, es decir, la distancia entre las longitudes de onda individuales (longitudes de onda de pico) de este espectro se establece de tal modo que para cada canal de frecuencias previsto en función del sistema de WDM utilizado (preferiblemente de un sistema de CWDM) esté disponible al menos una longitud de onda que excita un emisor para la emisión de una señal de portadora con un modo situado dentro del canal de frecuencias respectivo. No obstante, normalmente, en caso de una trama de longitudes de onda suficientemente
25 estrecha de las ondas de luz que sirven para la excitación de los láseres, al menos dos modos propios de un láser utilizado en un emisor están situados dentro del canal de transmisión previsto para el emisor correspondiente. Esto está relacionado con el hecho de que la distancia entre frecuencias o la distancia entre longitudes de onda establecidas para los canales de frecuencias normalizados se diferencian normalmente de la distancia típica para los modos de láseres. Por ejemplo, en sistemas usuales están establecidos canales de frecuencias con una distancia de 100 GHz entre sí, mientras que los modos propios de láseres utilizados en este contexto presentan una distancia de 30 46 GHz. A este respecto, cuál de los modos propios del láser de un emisor se excita en cada caso dentro de un canal de frecuencias es casual. Pero lo más grave es que esto no es estable en la medida en que también se producen casualmente fluctuaciones entre los modos propios del láser de un emisor. Por lo tanto, el láser correspondiente salta de un lado a otro entre al menos dos modos.

35 Este último fenómeno descrito no es crítico con las velocidades de transmisión de hasta 2,5 GBit/s todavía utilizadas con frecuencia hasta la fecha. Sin embargo, en caso de mayores anchos de banda o velocidades de transmisión, esto hace que el receptor ya no pueda diferenciar la fluctuación entre los modos de la señal útil con la que se modula la señal de portadora del emisor. Por lo tanto, en redes ópticas con velocidades de transmisión de 10 GBit/s o más ya no es posible sin más una transmisión de datos segura correspondientemente al método previamente
40 descrito con un láser de bombeo de banda ancha como una, así llamada, *seeding light* (luz de siembra).

Una posible alternativa podría consistir en utilizar, en lugar del láser de bombeo de banda ancha, una pluralidad de láseres de banda estrecha, es decir, monocromos, como *seeding light*, y excitar cada uno de los láseres dispuestos en el emisor de la SFP con ayuda de uno de estos láseres de banda estrecha para emitir únicamente un modo muy
45 determinado. Sin embargo, esto conduciría a su vez a un gasto elevado para la disposición óptica con el fin de proporcionar la *seeding light* con un espectro correspondiente de diferentes longitudes de onda de pico situadas muy juntas entre sí. En particular, en este contexto se tendrían que estabilizar los láseres de bombeo utilizados, en concreto con vistas a la constancia de la longitud de onda de la luz de bombeo emitida por los mismos.

50 En este punto se ha de señalar lo siguiente en lo que respecta a una longitud de onda correspondiente al modo de un láser, y en lo que respecta a las longitudes de onda del espectro proporcionado por la disposición óptica descrita para el bombeo de los láseres en los emisores. La radiación emitida por un láser como resultado de la excitación de un modo propio del láser también tiene un determinado ancho, aunque pequeño, en relación con su longitud de onda. Dentro de este intervalo de longitudes de onda infinitesimalmente pequeño de un modo del láser, esta
55 radiación emite con una potencia máxima, por lo que en este contexto se habla de una longitud de onda de pico, aunque realmente en el sentido estricto se trate de un intervalo de longitudes de onda. Por ello, siempre que no se indique otra cosa, los conceptos "longitud de onda" y "longitud de onda de pico" se utilizan como sinónimos en el contexto de las realizaciones de la invención y en las reivindicaciones.

60 El objetivo de la invención consiste en proporcionar un método y un sistema para la transmisión de datos en una red óptica, con los que se resuelvan los problemas anteriormente mencionados. En este sentido, la solución que ha de ser indicada ha de posibilitar en particular seguir utilizando SFP universales, es decir, utilizables sin cambios para diferentes canales de frecuencias, en redes ópticas, y excitar los láseres dispuestos como emisores dentro de las mismas con un gasto relativamente pequeño a través del acoplamiento de modos, únicamente con respecto a uno
65 de sus modos propios.

Este objetivo se resuelve mediante un método con las características indicadas en la reivindicación 1. Un sistema que resuelve este objetivo se caracteriza mediante la primera reivindicación de producto. Las reivindicaciones subordinadas respectivas indican realizaciones y perfeccionamientos ventajosos de la invención.

5 De acuerdo con las realizaciones anteriores y el objetivo, el método propuesto para resolver el objetivo consiste en un método para la transmisión óptica de datos en el que se transmiten datos entre una pluralidad de emisores ópticos y receptores ópticos a través de guías de ondas y multiplexores/desmultiplexores en una red óptica utilizando diferentes canales de frecuencias. Tal como ya se conoce por el estado actual de la técnica, los emisores, que emiten luz láser para utilizarla como señal de portadora que ha de ser modulada con los datos que han de ser transmitidos, se excitan con longitudes de onda diferentes entre sí y en lo que respecta a su asignación a los canales de frecuencias, con el fin de emitir señales de portadora. Esto tiene lugar mediante acoplamiento de modos, es decir, *injection locking*, con ayuda de una disposición óptica que incluye al menos una fuente de luz mediante la cual se proporciona un espectro periódico de ondas de luz con longitudes de onda equidistantes entre sí, siendo bloqueado cada emisor, es decir, excitado para la emisión de luz láser, mediante otra de las ondas de luz o modos proporcionados por dicha disposición óptica.

Para evitar el problema mencionado de los saltos del láser que actúa como emisor de un lado a otro entre dos modos situados dentro del canal de frecuencias para el emisor, algunas ondas de luz con longitudes de onda seleccionadas del espectro de las diferentes ondas de luz (modos) proporcionadas por la disposición óptica con longitudes de onda equidistantes entre sí no se utilizan para la excitación de los emisores, en la medida en que se eliminan de dicho espectro mediante filtración con ayuda de una disposición de resonadores. Esto, es decir, la eliminación por filtración de las longitudes de onda que no han de ser utilizadas para la excitación de láseres de los emisores, tiene lugar utilizando el efecto Vernier. Más adelante se indicarán realizaciones en relación con el efecto Vernier y el modo de utilizarlo en el marco de la invención, por medio de dibujos.

Como resultado de ello, a partir del espectro original con ondas de luz equidistantes entre sí en lo que respecta a la longitud de onda de la disposición óptica configurada correspondientemente y ya mencionada varias veces, se obtiene un espectro con longitudes de onda que, en lo que respeta a sus longitudes de onda, siguen estando tan cercanas entre sí o se diferencian tan poco entre sí que para cada canal de frecuencias previsto para la transmisión de datos está disponible una y solo una fuente de luz o modo, que es adecuada para excitar un láser por medio del acoplamiento de modos con el fin de emitir una radiación láser como señal de portadora para el canal correspondiente. Para cada uno de los canales (40, 80 o más) establecidos preferiblemente de acuerdo con la DWDM con el fin de utilizarlos para la transmisión de datos se excita exactamente un láser, es decir, un emisor para la emisión de una radiación láser que actúa como señal de portadora seleccionando exactamente un modo propio.

Correspondientemente a una ejecución del método relevante en la práctica, para la eliminación por filtración de longitudes de onda que no han de ser utilizadas para el bombeo de los láseres de emisores, las ondas de luz del espectro de luz proporcionado por la disposición óptica para la excitación de los emisores, antes de su transmisión diferenciada en cuanto a las longitudes de onda a los emisores individuales que han de ser excitados o a los láseres que han de ser bombeados, se conducen a través de una disposición de resonadores que incluye al menos dos resonadores que se diferencian en cuanto a su longitud de resonador y, por lo tanto, en cuanto a las longitudes de onda que se pueden desacoplar de los mismos. En este contexto, para la disposición de resonadores se utilizan resonadores cuyas longitudes de resonador presentan una relación entre sí que no corresponde a un número entero, es decir, que tienen valores coprimos entre sí por pares. En este contexto, en una realización preferible, las ondas de luz proporcionadas por la disposición óptica se dividen por medio de un divisor de haz entre dichos al menos dos resonadores anulares con valores de longitud de resonador coprimos entre sí por pares. Las ondas de luz desacopladas de los al menos dos resonadores anulares se conducen primero a un acoplador de haz y finalmente a los emisores que han de ser excitados por las mismas para la emisión de una señal de portadora. De acuerdo con este entendimiento, los valores de longitud de resonador coprimos entre sí son aquellos que no tienen ningún divisor común excepto el número 1. Los valores de longitud de resonador coprimos entre sí por pares son aquellos en los que cada par cualquiera comparado entre sí de un grupo de resonadores de este tipo presenta valores de longitud de resonador coprimos entre sí.

El sistema para la transmisión óptica de datos propuesto para la realización del método anteriormente detallado consiste en primer lugar en una pluralidad de emisores ópticos configurados como láseres, que están conectados con una pluralidad de receptores ópticos a través de guías de ondas y multiplexores/desmultiplexores en una red óptica. Otro componente del sistema consiste en una disposición óptica que está dispuesta en la red y que incluye al menos una fuente de luz como *seeding light*, para proporcionar un espectro periódico de ondas de luz con modos equidistantes entre sí en cuanto a sus longitudes de onda. Las ondas de luz proporcionadas por esta disposición óptica se conducen a los emisores con el fin de excitar los mismos para la emisión de luz láser que actúa como señal de portadora para los datos, con longitudes de onda diferentes entre sí en lo que respecta a los emisores.

De acuerdo con la invención, para la ejecución del método anteriormente detallado, entre la disposición óptica que proporciona el espectro de ondas de luz de modos con longitudes de onda equidistantes entre sí y los emisores que han de ser excitados mediante las fuentes de luz proporcionadas por la misma, está dispuesta una disposición de

resonadores que consiste al menos en dos resonadores con longitudes de resonador diferentes entre sí, siendo los valores de longitud de resonador de sus resonadores preferiblemente coprimos entre sí por pares.

Preferiblemente, el sistema según la invención está conformado además de tal modo que la disposición óptica que proporciona las ondas de luz para la excitación de los emisores está configurada mediante una *seeding light* de banda ancha, en concreto un láser de banda ancha, y mediante un elemento óptico que despliega en abanico la radiación láser de este láser de banda ancha en una pluralidad de ondas de luz con longitudes de onda equidistantes entre sí. En este contexto, este último elemento óptico también se realiza preferiblemente mediante un resonador.

En el sistema según la invención se pueden utilizar tipos muy diferentes de resonadores tanto para la disposición de resonadores para la eliminación por filtración de los modos que no han de ser utilizados para el bombeo de los láseres en los emisores, como para el resonador que en caso dado forma el elemento óptico en la disposición óptica para la excitación de los emisores. Una posibilidad preferible consiste en la utilización de resonadores anulares o de al menos un resonador anular para la disposición de resonadores y/o para la disposición óptica que genera la luz para la excitación de los emisores.

También entra en consideración la utilización del principio de los resonadores que utilizan interferencia (resonadores basados en interferencia). En este contexto se pueden mencionar en particular interferómetros de Fabry-Pérot, o resonadores que están equipados con láminas de cuarto de onda en sus extremos. También es posible la utilización de resonadores que usan el *Whispering Gallery Effect* o Efecto de Galería de Murmullos, en concreto la aparición de interferencias constructivas o destructivas en esferas, cavidades o superficies cóncavas, o que usan el principio de la *Chirped Bragg Grating* (Rejilla de Bragg de Frecuencia de Impulsos). Este último principio se basa en conducir la luz a través de capas dispuestas en fila una tras otra, que presentan índices de refracción diferentes, de modo que en las mismas se producen reflexiones totales e interferencias.

En este contexto, tanto en lo que respecta a la utilización en la disposición óptica, por un lado, y en la disposición de resonadores, por otro lado, como en lo que respecta a la realización de la disposición de resonadores mediante al menos dos resonadores, en relación con la utilización de todos los tipos de resonador anteriormente mencionados es posible una utilización exclusiva de un solo tipo de resonador, pero también la utilización de diferentes resonadores en un mismo sistema.

Desde un punto de vista puramente técnico también se podría pensar en la utilización de elementos activos en lugar de los elementos pasivos preferibles mencionados, es decir, en una utilización de elementos con carácter generador, como por ejemplo generadores de peine de frecuencias, láseres de estado sólido, láseres de semiconductores u otros tipos de láseres con una cavidad. Sin embargo, desde un punto de vista económico, esto más bien no debería entrar en consideración en la ejecución práctica de la solución según la invención.

Correspondientemente a una forma de configuración posible del sistema, una disposición de resonadores utilizada para la ejecución del método consiste en dos resonadores anulares dispuestos entrelazados entre sí. En este contexto, la eliminación por filtración de modos que no han de ser utilizados para el bombeo de los láseres en los emisores tiene lugar utilizando el efecto Vernier. La disposición entrelazada de los resonadores anulares consiste en que éstos están dispuestos en cierto modo tanto en serie como en paralelo entre sí. Las explicaciones a este respecto tendrán lugar de nuevo en el marco de un ejemplo de realización.

En una forma de configuración especialmente preferible del sistema según la invención, en relación con la dirección de transmisión de las ondas de luz que excitan los emisores están dispuestos, uno detrás de otro, un divisor de haz, la disposición de resonadores propiamente dicha que consiste en al menos dos resonadores anulares, y un acoplador de haz. En este contexto, los al menos dos resonadores anulares de la disposición de resonadores están dispuestos paralelos entre sí, dividiendo el divisor de haz las ondas de luz de la disposición óptica en una cantidad de haces correspondiente a la cantidad de resonadores anulares de la disposición de resonadores. De acuerdo con una variante de esta forma de configuración, en el caso de los al menos dos resonadores anulares anteriormente mencionados dispuestos paralelos entre sí de la disposición de resonadores también se puede tratar de resonadores anulares dobles, que consisten en cada caso en dos resonadores anulares simples acoplados entrelazados entre sí.

A continuación se explican de nuevo aspectos de la invención por medio de dibujos y ejemplos de realización. Los dibujos muestran en concreto:

- La figura 1: una forma de configuración ejemplar del sistema según la invención en una representación esquemática,
- la figura 2: un ejemplo de un espectro periódico de ondas de luz proporcionado por la disposición óptica según la figura 1,
- la figura 3: el principio de la eliminación por filtración de longitudes de onda seleccionadas por medio de dos resonadores anulares dispuestos entrelazados,
- la figura 4: una forma de configuración de una disposición de resonadores dispuesta entre la disposición óptica según la figura 1 y los emisores excitados por medio de la misma;

la figura 5: un espectro de ondas de luz resultante de la eliminación por filtración de ondas de luz individuales proporcionadas por la disposición según la figura 1.

5 La figura 1 muestra una representación esquemática de un sistema configurado según la invención para la transmisión óptica de datos. El sistema consiste en una pluralidad de emisores ópticos $1_1 - 1_n$, que están conectados con una pluralidad de receptores ópticos $2_1 - 2_n$ a través de guías de ondas y multiplexores/desmultiplexores 3, 3' en una red óptica. Los emisores ópticos $1_1 - 1_n$ y los receptores ópticos $2_1 - 2_n$ están configurados como componentes de elementos $10_1 - 10_n$ de red en forma de SFP (*Small Form-Factor Pluggables*). En lo que respecta al carácter bidireccional de la red, de acuerdo con el cual cada SFP de un elemento $10_1 - 10_n$ de red puede actuar como emisor $1_1 - 1_n$ y también como receptor $2_1 - 2_n$, las SFP dispuestas en los elementos $10_1 - 10_n$ de red consisten en unidades compactas tanto para la conversión eléctrica-óptica como para la conversión óptica-eléctrica, que disponen en cada caso de un láser como emisor $1_1 - 1_n$ y de un receptor óptico $2_1 - 2_n$, como por ejemplo un fotodiodo. Entre los elementos $10_1 - 10_n$ de red, es decir, entre los emisores $1_1 - 1_n$ y receptores $2_1 - 2_n$, están dispuestos multiplexores/desmultiplexores ópticos 3, 4, 3', 4'. En este contexto, en relación con la dirección de transmisión respectiva, las portadoras ópticas de frecuencias o longitudes de onda diferentes, moduladas con los datos que han de ser transmitidos, son multiplexadas por un multiplexor óptico 3, 3' en una señal transmitida entre los multiplexores/desmultiplexores 3, 4, 3', 4', de modo que las señales son transmitidas conjuntamente en canales de frecuencias diferentes a través de las guías de ondas correspondientes que conectan los multiplexores/desmultiplexores 3, 4, 3', 4' entre sí o de la sección correspondiente de la red óptica. Al final de esta sección, las señales de los canales de frecuencias individuales se separan de nuevo entre sí en un desmultiplexor 4, 4'.

25 Preferiblemente, en el área de uno de los multiplexores/desmultiplexores 3, 4, 3', 4' está prevista una disposición óptica 5 como componente de la red óptica, que proporciona un espectro periódico de ondas de luz equidistantes entre sí en lo que respecta a sus longitudes de onda, a través de las cuales se excitan los láseres, es decir, los emisores $1_1 - 1_n$, en las SFP de los elementos $10_1 - 10_n$ de red para la emisión de haces de láser que sirven como señal de portadora con longitudes de onda diferentes entre sí, por lo tanto, a través de las cuales se bombean los láseres de los emisores $1_1 - 1_n$. La disposición óptica 5, que consiste por ejemplo en un láser de banda ancha como *seeding light* y un resonador anular, está configurada de tal modo que, para cada uno de los canales de frecuencias establecidos para la transmisión de datos, proporciona al menos una onda de luz o un modo con una longitud de onda situada dentro del canal respectivo. En este contexto, la luz emitida por la fuente de luz o por la *seeding light* se despliega en abanico en un espectro de ondas de luz con longitudes de onda equidistantes entre sí, por medio de un elemento óptico correspondiente (por ejemplo por medio de un resonador anular). Estas ondas de luz se introducen en la red como una especie de frecuencia piloto en sentido contrario al sentido de emisión de los emisores $1_1 - 1_n$ utilizados para la transmisión de datos y se conducen a los láseres respectivos, que constituyen un oscilador, en los emisores $1_1 - 1_n$, de modo que los láseres de los emisores $1_1 - 1_n$ se bombean utilizando el principio del acoplamiento de modos.

40 De acuerdo con la invención, entre la disposición óptica 5 descrita más arriba básicamente y los láseres bombeados con ayuda de ésta en los emisores $1_1 - 1_n$ de las SFP de los elementos $10_1 - 10_n$ de red está insertada una disposición 6 de resonadores, configurada por ejemplo según la figura 3 o la figura 4, con cuya ayuda se eliminan por filtración longitudes de onda individuales de las ondas de luz proporcionadas por la disposición óptica 5, de modo que éstas no contribuyen a la excitación de los láseres en los emisores $1_1 - 1_n$ de las SFP. De este modo se evita que un láser del emisor $1_1 - 1_n$ de una SFP, que emite una señal de portadora dentro de una banda de frecuencias, sea excitado para la emisión de modos propios diferentes casualmente cambiantes.

50 En la figura 2 está representado a modo de ejemplo un espectro periódico de ondas de luz con ondas de luz o modos equidistantes entre sí en lo que respecta a sus longitudes de onda, proporcionado por una disposición óptica 5 que incluye la *seeding light* según la figura 1. Un espectro de este tipo se puede generar por ejemplo mediante un láser de banda ancha como *seeding light*, que está acoplado con un resonador, preferiblemente un resonador anular. En este contexto se aprovecha el hecho de que con ayuda de un resonador anular de este tipo solo se desacoplan ondas de luz del amplio espectro de la *seeding light* que cumplen la condición $L = n * \lambda$, donde L = longitud del resonador anular, λ = longitud de onda y n es un número entero. Por medio de la relación $c = \lambda * f$ (c = velocidad de la luz y f = frecuencia), con ayuda del resonador anular se puede desacoplar un espectro de ondas de luz con longitudes de onda equidistantes entre sí, de tal modo que, para cada uno de los canales de frecuencias previstos para la transmisión de la red óptica, se proporciona al menos una longitud de onda que excita los láseres correspondientes o emisores $1_1 - 1_n$ en la SFP según el principio del acoplamiento de modos para la emisión de una radiación láser con la misma longitud de onda que actúa como señal de portadora. Sin embargo, dado que las ondas de luz proporcionadas por la disposición óptica han de estar suficientemente cerca unas de otras en lo que respecta a su longitud de onda, se puede producir el efecto consistente en que se excitan al menos varios de los modos propios de un láser que actúa como emisor para uno de los canales de transmisión y, por lo tanto, el láser correspondiente salta de un lado a otro de forma casual entre estos modos propios diferentes, en lo que respecta a la radiación emitida por el mismo como señal de portadora.

65 Para evitar esto, por medio de una disposición 6 de resonadores, para la que se muestran esquemáticamente formas de configuración ejemplares en la figura 3 y en la figura 4, se eliminan por filtración ondas de luz individuales,

es decir, modos individuales, del espectro de ondas de luz proporcionado por la disposición óptica, y éstas no son conducidas a los láseres en las SFP para la excitación.

5 Para ello, la invención hace uso por ejemplo del principio de la superposición empleando el efecto Vernier, también conocido en parte como "efecto de valla", en una disposición 6 de resonadores con al menos dos resonadores anulares 7, 7' dispuestos entrelazados entre sí. El principio de funcionamiento resultante de ello está ilustrado esquemáticamente o simbólicamente mediante la figura 3. Por consiguiente, a la disposición 6 de resonadores con los dos resonadores anulares 7, 7' entrelazados entre sí, es decir, básicamente dispuestos al mismo tiempo tanto en serie como en paralelo, que está representada esquemáticamente en la figura, llega un espectro de ondas de luz con modos de acuerdo con el diagrama reproducido en la parte superior izquierda de la representación. En el diagrama está trazada la potencia de salida de la luz proporcionada por la disposición óptica 5 (no mostrada en esta figura) en función de la frecuencia. El primer resonador anular 7, debido al dimensionamiento de su longitud de resonador, desacopla solo un modo de cada dos de este espectro de ondas de luz (ilustrado mediante el diagrama de la parte superior derecha). En cambio, el otro resonador anular 7', debido a una longitud de resonador diferente a la del primer resonador anular 7 (en relación con las ondas de luz adyacentes en cuanto a la longitud de onda), solo desacopla un modo de cada tres, lo que se ilustra mediante el diagrama de la parte inferior izquierda. Si el espectro de ondas de luz proporcionado por la disposición óptica 5 se conduce ahora a la disposición 6 de resonadores con los resonadores anulares 7, 7' dispuestos entrelazados entre sí, mediante la disposición 6 de resonadores según la figura 3 se obtiene como resultado el espectro representado en el diagrama de la parte inferior derecha.

10 En este punto se ilustrará de nuevo a modo de ejemplo la acción del efecto Vernier con ayuda de un ejemplo numérico arbitrario que no corresponde forzosamente a la realidad. En caso de dos resonadores anulares 7, 7' acoplados (es decir, dispuestos entrelazados entre sí) con longitudes de resonador supuestas de 2 cm y 3 cm, a partir del primer resonador anular se pueden desacoplar ondas de luz con frecuencias que cumplen la condición $f_{1n} = n \cdot c/L_1 \sim n \cdot 15,9 \text{ GHz}$, y a partir del segundo resonador anular se pueden desacoplar ondas de luz con frecuencias que cumplen la condición $f_{2m} = m \cdot c/L_2 \sim m \cdot 9,9 \text{ GHz}$. Aquí, f representa la frecuencia, c la velocidad de la luz, L la longitud de resonador respectiva y n y m números enteros.

15 Por lo tanto, las frecuencias desacoplables, es decir, en cierto modo "supervivientes", como resultado del paso de los dos resonadores anulares, han de ser múltiplos de la primera y de la segunda frecuencias básicas. Matemáticamente, esto se puede transcribir a múltiplos enteros del mínimo común múltiplo (mcm) de las frecuencias básicas de los resonadores anulares 7, 7'. En el ejemplo arriba mostrado se trataría en concreto de $f_k = k \cdot c/(\text{mcm}(L_1, L_2))$. De acuerdo con el ejemplo elegido son 7 [cm] y $f_k \sim 30 \text{ GHz}$, siendo k de nuevo un número entero.

20 La figura 4 ilustra otra forma de configuración posible de la disposición (6) de resonadores prevista según la invención. Ésta consiste aquí en un divisor 8 de haz, un acoplador 9 de haz y, dispuesta entre los mismos, la disposición de resonadores con dos resonadores anulares 7, 7'. Por consiguiente, las ondas de luz proporcionadas por la disposición óptica 5 según la figura 1 se conducen en primer lugar al divisor 8 de haz correspondientemente al diagrama mostrado a la izquierda en la figura 4. Éstas se dividen aquí en dos haces con el mismo espectro (según el diagrama mostrado a la izquierda). Los dos haces se conducen independientemente entre sí a dos resonadores anulares 7, 7' dispuestos paralelos entre sí con longitudes de resonador diferentes entre sí. A partir del resonador anular 7 superior, debido su longitud de resonador, en el recorrido del desacoplamiento se obtiene el espectro de ondas de luz ilustrado en el diagrama mostrado en la parte superior (central) de la representación. En cambio, a partir del resonador anular inferior 7', mediante el desacoplamiento se obtiene el espectro representado en el diagrama inferior (central). Si estos dos espectros se superponen después entre sí en el acoplador de haces, se obtiene como resultado el espectro mostrado en el diagrama situado totalmente a la derecha. Como se puede ver en la figura, a partir del espectro de ondas de luz original de modos con longitudes de onda originalmente equidistantes entre sí, mostrado en el diagrama de la izquierda, se han eliminado ondas de luz o modos con longitudes de onda individuales conforme al diagrama mostrado a la derecha en la figura. Por lo tanto, como resultado se obtiene un espectro en el que también está asegurado que para cada uno de los canales de frecuencias previsto para la transmisión de datos se excita uno de los láseres o emisores $1_1 - 1_n$ en las SFP para la emisión de una señal de portadora, pero evitándose que algunos de los láseres individuales se exciten de forma casualmente cambiante con diferentes modos propios. A través de esta medida, el principio de la utilización de una *seeding light* de banda ancha también se puede aplicar en sistemas para la transmisión óptica de datos con los que se alcanzan velocidades de transmisión de datos de 10 GBit/s o más en 40, 80 o más canales de frecuencias.

25 En la figura 5 se ilustra de nuevo cómo, a partir del espectro de ondas de luz original con modos equidistantes entre sí en lo que respecta a sus longitudes de onda, por medio de la invención se desacoplan selectivamente longitudes de onda o modos individuales, de forma que para cada canal de frecuencias trazado en el diagrama de la figura 5 (un canal de frecuencias está identificado a modo de ejemplo mediante la llave ancha en la parte inferior izquierda) queda exactamente un modo para la excitación del emisor $1_1 - 1_n$ correspondiente. Las longitudes de onda eliminadas por filtración y los modos correspondientes a éstas, que no son utilizados para la excitación de los emisores $1_1 - 1_n$ para los datos útiles que han de ser transmitidos, se pueden distinguir en la representación porque están tachados con una cruz. La distancia entre los modos propios de los láseres utilizados como emisores en las SFP está identificada mediante la llave estrecha en la parte superior derecha.

Lista de símbolos de referencia

	$1_1 - 1_n$	Emisor
	$2_1 - 2_n$	Receptor
	3, 3'	Modulador
5	4, 4'	Desmodulador
	5	Disposición óptica
	6	Disposición de resonadores
	7, 7'	Resonador anular
	8	Divisor de haz
10	9	Acoplador de haz
	$10_1 - 10_n$	Elemento de red

REIVINDICACIONES

1. Método para la transmisión óptica de datos, de acuerdo con el cual se transmiten datos en diferentes canales de frecuencias entre una pluralidad de emisores ópticos ($1_1 - 1_n$) y receptores ópticos ($2_1 - 2_n$) a través de guías de ondas y multiplexores/desmultiplexores (3, 4, 3', 4') en una red óptica, en donde los emisores ($1_1 - 1_n$), que emiten luz láser que ha de ser modulada con los datos que han de ser transmitidos como señal de portadora, se excitan a través de una disposición (5) óptica que incluye al menos una fuente de luz mediante acoplamiento de modos para la emisión de señales de portadora con longitudes de onda diferentes entre sí y en lo que respecta a su asignación a los canales de frecuencias, en la medida en que mediante la disposición (5) óptica se proporciona un espectro periódico de ondas de luz de modos con longitudes de onda equidistantes entre sí, y cada emisor ($1_1 - 1_n$) es bloqueado, es decir, excitado para la emisión de luz láser como señal de portadora, mediante otro de los modos del espectro de ondas de luz proporcionados por la disposición (5) óptica, **caracterizado por que** algunos modos con longitudes de onda seleccionadas del espectro de ondas de luz proporcionado por la disposición (5) óptica no se utilizan para la excitación de los emisores ($1_1 - 1_n$) en la medida en que se eliminan por filtración de este espectro de ondas de luz con ayuda de una disposición (6) de resonadores.
2. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por que** las ondas de luz del espectro de ondas de luz proporcionado por la disposición (5) óptica para la excitación de los emisores ($1_1 - 1_n$) se conducen a través de una disposición (6) de resonadores con al menos dos resonadores, que se diferencian entre sí en lo que respecta a su longitud de resonador y, por lo tanto, en cuanto a las longitudes de onda que pueden ser desacopladas de los mismos, para eliminar por filtración longitudes de onda que no han de ser utilizadas para la excitación de los láseres de emisores ($1_1 - 1_n$).
3. Método según la reivindicación 2, **caracterizado por que** las ondas de luz proporcionadas por la disposición óptica se dividen entre al menos dos resonadores anulares (7, 7') de la disposición (6) de resonadores mediante un divisor (8) de haz, y las ondas de luz desacopladas de los al menos dos resonadores anulares (7, 7') se conducen en primer lugar a un acoplador (9) de haz y después a los emisores ($1_1 - 1_n$) que han de ser excitados en cada caso por las mismas para la emisión de una señal de portadora.
4. Método según la reivindicación 2 o 3, **caracterizado por que** para la disposición (6) de resonadores se utilizan resonadores cuyas longitudes de resonador tienen valores coprimos entre sí por pares.
5. Sistema para la realización del método según la reivindicación 2, con una pluralidad de emisores ópticos ($1_1 - 1_n$) configurados como láseres, que están conectados con una pluralidad de receptores ópticos ($2_1 - 2_n$) a través de guías de ondas y multiplexores/desmultiplexores (3, 3') en una red óptica, y con una disposición (5) óptica que está dispuesta en la red y que incluye al menos una fuente de luz para proporcionar un espectro periódico de ondas de luz con modos equidistantes entre sí en lo que respecta a sus longitudes de onda, en donde ondas de luz proporcionadas por la disposición (5) óptica se introducen en la red en sentido contrario al sentido de emisión de los emisores ($1_1 - 1_n$) utilizados para la transmisión de datos y se conducen a los emisores ($1_1 - 1_n$) con el fin de excitar éstos para la emisión de luz láser que sirve como señal de portadora para datos con longitudes de ondas diferentes entre sí en relación con los emisores ($1_1 - 1_n$), **caracterizado por que** entre la disposición (5) óptica y los emisores ($1_1 - 1_n$) que han de ser excitados mediante ondas de luz proporcionadas por la misma está dispuesta una disposición (6) de resonadores consistente en al menos dos resonadores con longitudes de resonador diferentes entre sí.
6. Sistema según la reivindicación 5, **caracterizado por que** la disposición (6) de resonadores consiste en al menos dos resonadores con longitudes de resonador cuyos valores son coprimos entre sí por pares.
7. Sistema según la reivindicación 5 ó 6, **caracterizado por que** la disposición (5) óptica está formada por una *seeding light* (luz de siembra) de banda ancha, en concreto un láser de banda ancha, y por un elemento óptico que despliega en abanico la radiación láser de este láser de banda ancha en una pluralidad de ondas de luz con longitudes de onda equidistantes entre sí.
8. Sistema según la reivindicación 7, **caracterizado por que** el elemento óptico que despliega en abanico la radiación láser de banda ancha en una pluralidad de ondas de luz con longitudes de onda equidistantes entre sí consiste en un resonador.
9. Sistema según la reivindicación 5 u 8, **caracterizado por que** al menos uno de los resonadores que constituyen el elemento óptico de la disposición (5) óptica y/o que constituyen la disposición (6) de resonadores consiste en un resonador anular.
10. Sistema según la reivindicación 5 u 8, **caracterizado por que** al menos uno de los resonadores para formar el elemento óptico de la disposición (5) óptica y/o dentro de la disposición (6) de resonadores está configurado por un resonador basado en interferencia, en concreto por un resonador de uno de los siguientes grupos:
- a.) interferómetros de Fabry-Pérot,

- b.) resonadores que están equipados con láminas de cuarto de onda en sus extremos,
- c.) resonadores que usan el *Whispering Gallery Effect* (Efecto de Galería de Murmullos)
- d.) resonadores en los que se utiliza el principio de la *Chirped Bragg Grating* (Rejilla de Bragg de Frecuencia de Impulsos) por medio de capas dispuestas en fila una tras otra, que presentan índices de refracción diferentes.

5

11. Sistema según la reivindicación 5 ó 6, **caracterizado por que** entre la disposición (5) óptica y los emisores ($1_1 - 1_n$) que han de ser excitados mediante ondas de luz proporcionadas por la misma está dispuesta una disposición (6) de resonadores, en la que, en relación con la dirección de transmisión de las ondas de luz que excitan los emisores ($1_1 - 1_n$), están dispuestos, uno detrás de otro, un divisor (8) de haz, al menos dos resonadores anulares (7, 7') con longitudes de resonador diferentes entre sí, y un acoplador (9) de haz, en donde los al menos dos resonadores anulares (7, 7') están dispuestos paralelos entre sí, en donde el divisor (8) de haz divide las ondas de luz de la disposición (5) óptica en una cantidad de haces correspondiente a la cantidad de resonadores anulares (7, 7') de la disposición de resonadores, que son conducidos a dichos resonadores anulares (7, 7'), y en donde las ondas de luz desacopladas de los resonadores anulares (7, 7') individuales de la disposición (6) de resonadores, cuya longitud de onda corresponde en cada caso a un múltiplo de la longitud de resonador del resonador anular (7, 7') del que son desacopladas, se combinan de nuevo en el acoplador (9) de haces.

10

15

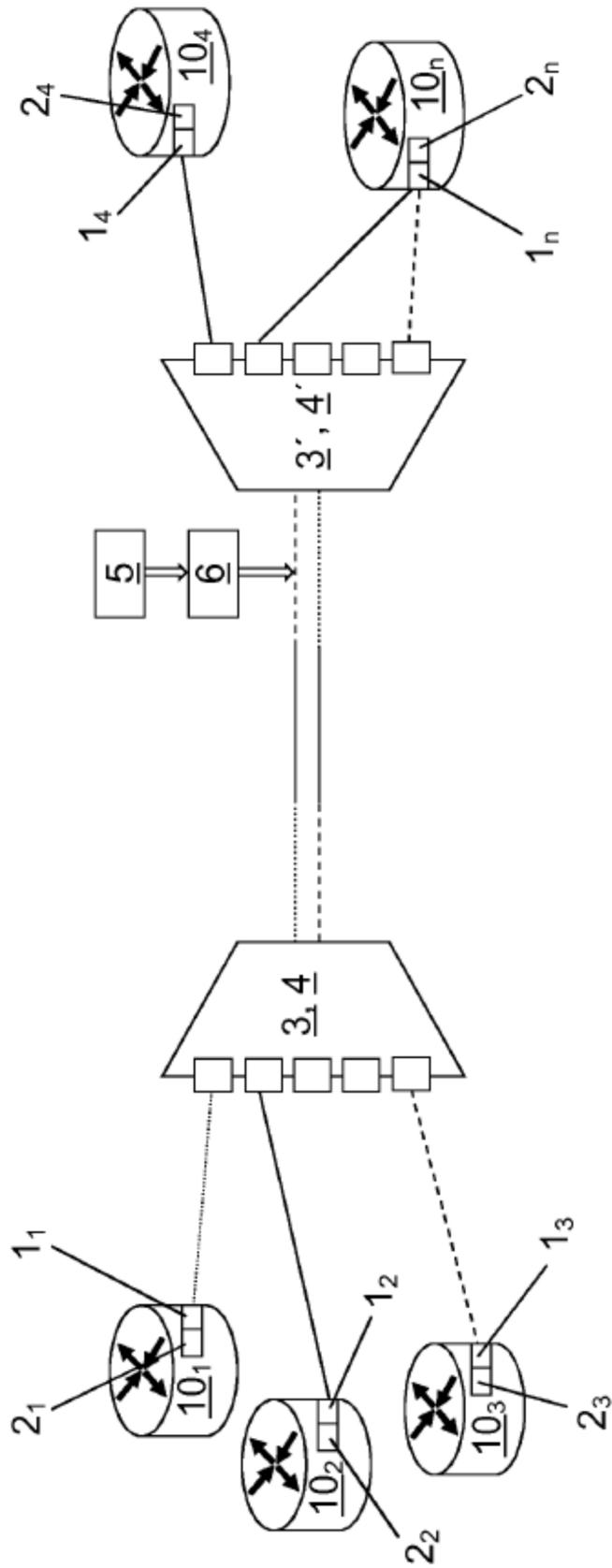


Fig. 1

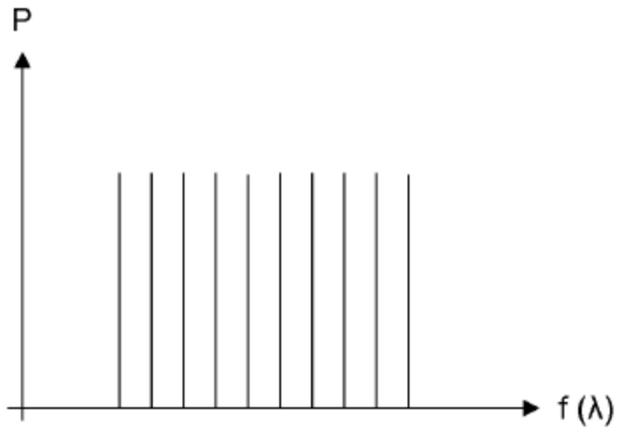


Fig. 2

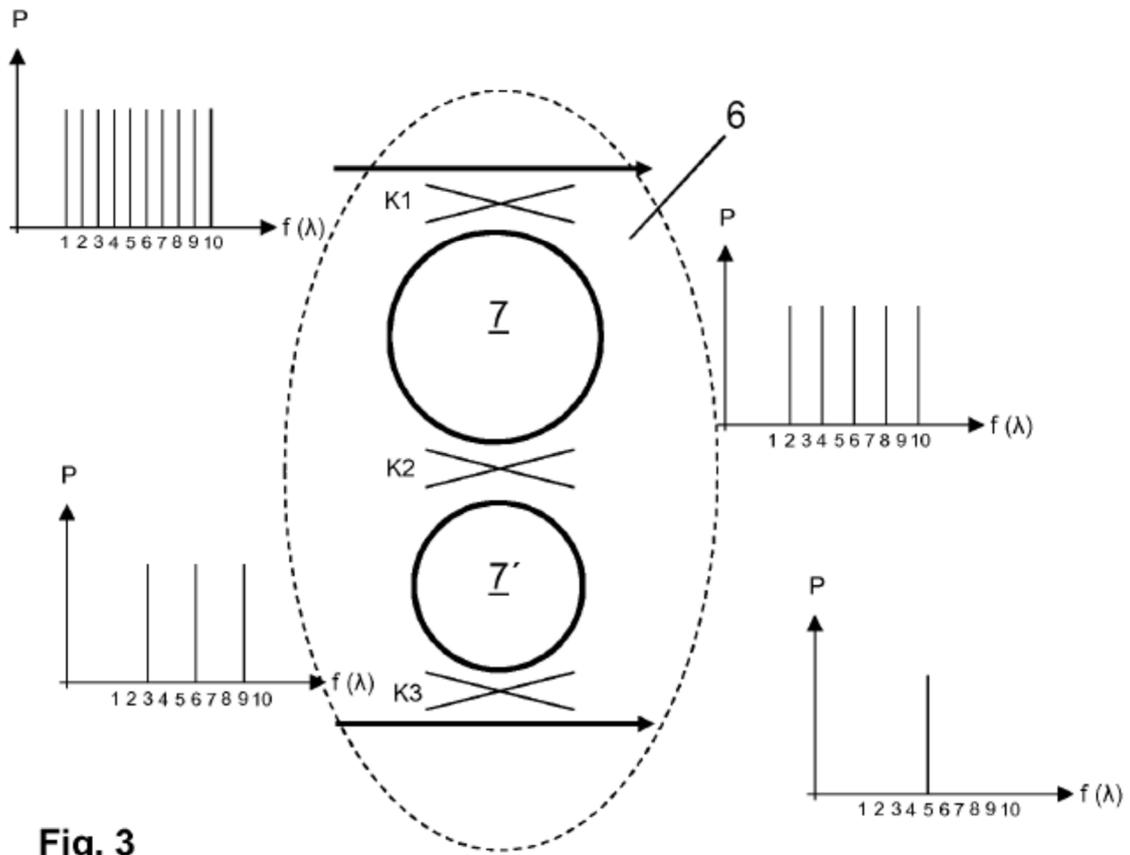


Fig. 3

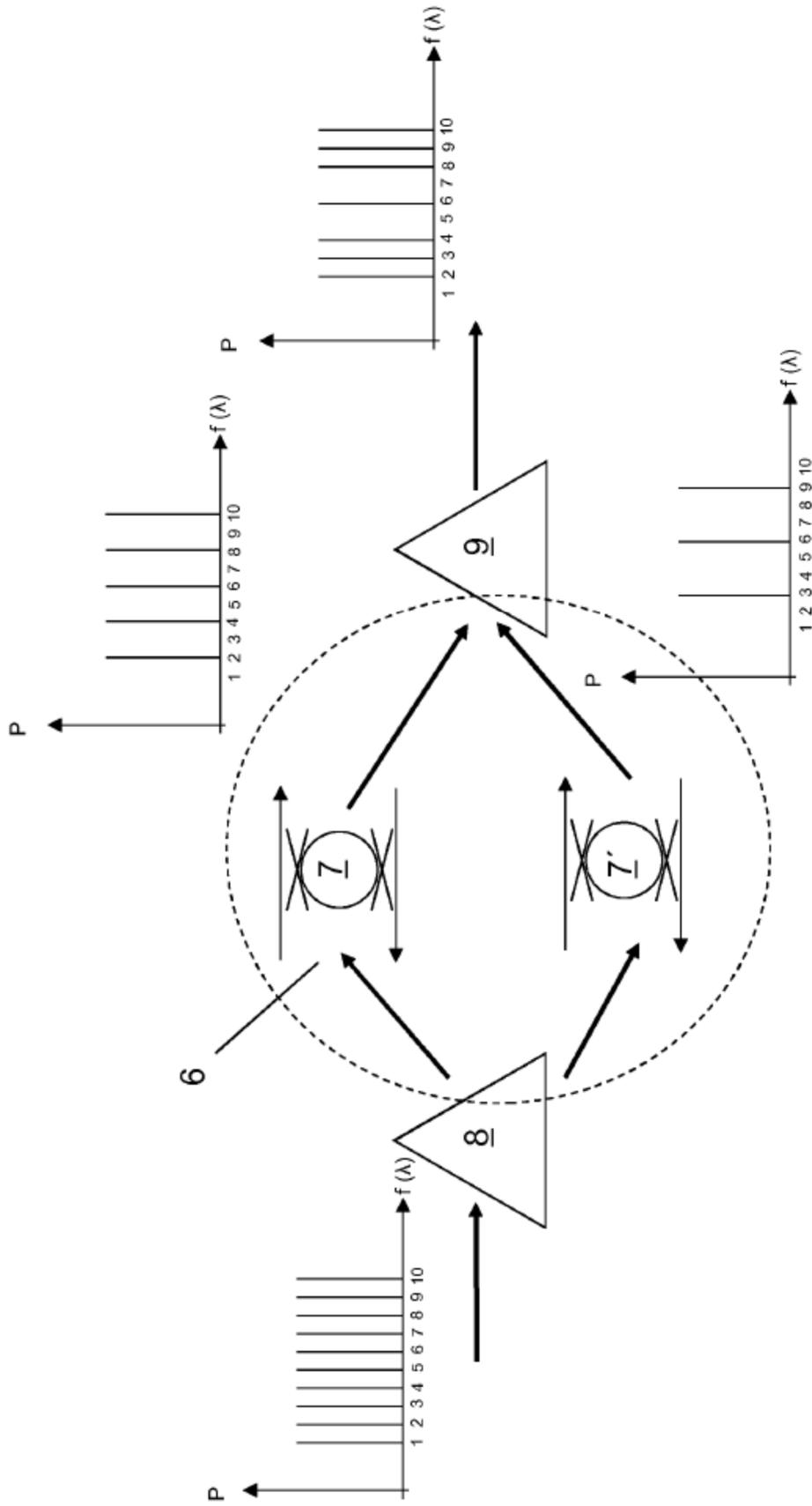


Fig. 4

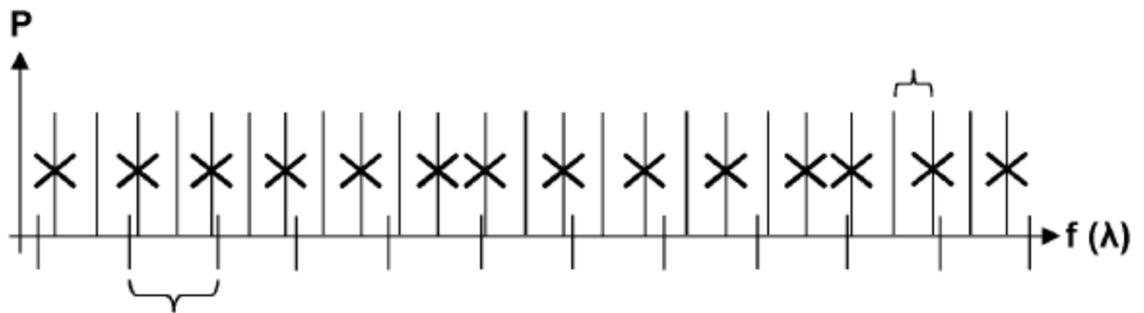


Fig. 5