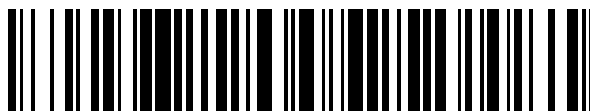


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 762 874**

51 Int. Cl.:

G02F 1/01 (2006.01)

H04B 10/50 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.02.2014** **E 14155209 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2019** **EP 2908168**

54 Título: **Generación de peines de frecuencias y trenes de pulsos de Nyquist en forma de sinc de gran ancho de banda y tasa de repetición adaptable**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.05.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

SCHNEIDER, THOMAS

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 762 874 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

5 Generación de peines de frecuencias y trenes de pulsos de Nyquist en forma de sinc de gran ancho de banda y tasa de repetición adaptable

La invención se refiere a un método y un dispositivo para generar un peine de frecuencias ópticas, en particular con cualquier ancho de banda y cualquier separación entre las líneas de frecuencia, y para generar trenes de pulsos de Nyquist en forma de sinc con cualquier ancho de banda y tasa de repetición.

10 En el año 2005, Theodor W. Hänsch y John L. Hall recibieron el Premio Nobel de física por la espectroscopia de precisión a base de peines de frecuencias ópticas ultraexactos. Con tales peines de frecuencias no sólo es posible medir constantes naturales con una gran exactitud, sino que también es posible determinar la diferencia entre materia y antimateria. Además, tales peines de frecuencias tienen una gran importancia en aplicaciones técnicas. Así, por ejemplo, la transmisión de datos en fibras de vidrio por medio de la "wavelength división multiplexing" (WDM; multiplexación por división de longitud de onda) se basa en un peine de frecuencias. Además, muchas otras aplicaciones técnicas, como los sistemas *radio over fiber* (radio sobre fibra), la fotónica de microondas y el cuasialmacenamiento de luz, necesitan peines de frecuencias precisos y variables.

20 La generación de peines de frecuencias se conoce por ejemplo por el documento US 2005/0271093 A1.

25 Para tales peines de frecuencias es válido: Si todas las frecuencias del peine de frecuencias tienen una relación de fase fija unas con respecto a otras, la representación temporal del peine es un tren de pulsos. Si además todas las frecuencias tienen la misma amplitud y la misma fase o una fase desplazada linealmente y al mismo tiempo están fuertemente suprimidas las partes de frecuencia no deseadas, la representación temporal de este peine de frecuencias cuasirectangular es un tren de pulsos *sinus cardinalis* (sinc; seno cardinal), siendo válido: $\text{sinc}(x) = \sin(x)/x$. Por último, la función sinc es la transformada de Fourier de la función rectangular.

30 Para poder aumentar las tasas de transmisión de datos en las futuras redes de comunicación, los pulsos sinc tienen especial importancia, dado que posibilitan la transmisión de información con una tasa de baudios máxima. Mientras que los pulsos sinc puros son no causales y por lo tanto no son realizables, un tren de pulsos sinc puede en cambio realizarse mediante un peine de frecuencias. Este tren de pulsos tiene las mismas ventajas para la comunicación que los pulsos individuales. Dado que los pulsos de un tren de pulsos sinc cumplen el criterio Nyquist para ISI, se denominan también pulsos de Nyquist.

35 En la publicación "Optical sinc-shaped Nyquist pulses of exceptional quality", de Marcelo A. Soto, Mehdi Alem, Mohammad Amin Shoaie, Armand Vedadi, Camille-Sophie Bres, Luc Thevenaz y Thomas Schneider, se describe una posibilidad para producir trenes de pulsos de Nyquist. Con este fin, en una forma de realización, se genera mediante un láser un peine de frecuencias con nueve líneas haciendo que la línea individual tomada del láser reciba mediante modulación dos líneas laterales, dotándose mediante una segunda cascada de modulación estas tres líneas a su vez de, en cada caso, dos líneas laterales. Todas las líneas así generadas tienen la misma separación. Sin embargo, para producir la fase aproximadamente igual necesaria entre las líneas es necesario ajustar con gran exactitud la diferencia de fase entre las señales de alta frecuencia moduladas, con el fin de compensar diferencias de tiempo de propagación. Además, el ancho de banda está limitado por los moduladores a uno bastante pequeño de alrededor de 160 GHz.

40 Por la publicación "Tunable generation of ultra-narrow linewidth millimeter and THz-waves and their modulation at 40 Gbd" de Stefan Preussler et al, 2013 IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP), IEEE, 28 de octubre de 2013, se conoce la generación de un peine ajustable de frecuencias de femtosegundos mediante filtrado por medio de una dispersión estimulada de Brillouin.

45 Ahora se sabe que los láseres con bloqueo de modo generan un peine de frecuencias. Sin embargo, éste no tiene forma rectangular y la separación entre las distintas líneas de frecuencia está predeterminada fijamente por la tasa de repetición del láser. Esto hace que estos peines de frecuencia no sean adecuados para muchas aplicaciones. Otra posibilidad consiste en acoplar moduladores de fase entre sí o a moduladores de intensidad y generar así un peine de frecuencias. Sin embargo, con los moduladores de fase no pueden generarse peines de frecuencia rectangulares. Además, el ancho de banda máximo que puede alcanzarse con estos peines de frecuencia está limitado por el ancho de banda de los moduladores utilizados.

50 Hasta ahora sólo era posible generar pulsos sinc aproximadamente ideales con un ancho de banda máximo de alrededor de 160 GHz (véase lo antes indicado), lo que corresponde a una duración temporal *full-width-at-halfmaximum* (FWHM; anchura a mitad de altura) de los pulsos de alrededor de 6 ps. Además, el número máximo de líneas de un peine de frecuencias está limitado, definiendo el número de líneas la tasa de repetición de los pulsos sinc. Sin embargo, para aplicaciones especiales, como por ejemplo la generación de cualesquiera formas de pulsos, son deseables el mayor número posible de líneas y una corta duración de los pulsos.

El objetivo de la invención es poner a disposición un método mejorado y un dispositivo mejorado para producir peines de frecuencias y trenes de pulsos, en particular trenes de pulsos sinc con una tasa de repetición ajustable a voluntad y un gran ancho de banda, que puedan realizarse con medios técnicamente sencillos y emplearse correspondientemente para fines de comunicación.

5 El objetivo se logra mediante un método según la reivindicación 1 y un dispositivo según la reivindicación 8. De las reivindicaciones subordinadas respectivas se desprenden configuraciones preferidas.

10 La idea fundamental de la invención consiste en extraer de una fuente de luz, en particular de un láser con acoplamiento de modos, líneas individuales con una separación equidistante, que luego sirven de líneas de entrada para uno o varios moduladores dispuestos en cascada. Mediante la modulación se generan nuevamente nuevas bandas laterales, pudiendo elegirse libremente el número de líneas extraídas y por lo tanto la anchura del peine. La separación de frecuencias puede modificarse mediante la modulación. Sin embargo, hay que prestar atención a ajustar por igual mediante la modulación la separación de frecuencias entre las líneas. En este sentido, la separación de frecuencias elegible depende también de la separación de las líneas originalmente extraídas. El ancho de banda del peine de frecuencias generado según la invención está por lo tanto predeterminado por el ancho de banda del primer peine de frecuencias generado mediante el láser con acoplamiento de modos y puede estar en un intervalo de THz. Al mismo tiempo, el filtrado posibilita una adaptación de las amplitudes de las distintas frecuencias.

20 En este contexto, para generar los trenes de pulsos, en particular trenes de pulsos en forma de $\sin(x)/x$, resulta ventajoso sincronizar entre sí en sus fases la tasa de repetición de la fuente de luz y las frecuencias de modulación.

25 En este contexto, el método según la invención va más allá de un filtrado puramente óptico de un primer peine de frecuencias para generar un segundo peine de frecuencias con cualquier ancho de banda. Los peines de frecuencias así generados no serían rectangulares, dado que los filtros ópticos no presentan un ancho de banda rectangular. Así pues, en particular no sería posible generar trenes de pulsos $\sin(x)/x$. Además, la separación entre las frecuencias del peine estaría determinada fijamente por la tasa de repetición del láser, que puede modificarse sólo en pequeña medida. Por el contrario, con la invención es posible ajustar la separación de frecuencias mediante la frecuencia de modulación exterior y puede ajustarse cualquier separación a partir de una determinada frecuencia, que en el ejemplo siguiente es de 4 GHz.

35 La ventaja particular del método según la invención consiste por lo tanto en que en principio es posible producir trenes de pulsos sinc con cualquier ancho de banda y cualquier tasa de repetición. Al mismo tiempo, es posible producir peines rectangulares con cualquier número de líneas de frecuencia y cualquier separación entre las distintas frecuencias. Si las fases de las señales eléctricas de activación se ajustan de manera controlada, la representación temporal de tal peine es un tren de pulsos en forma de sinc ideal.

40 A continuación se explica la invención más detalladamente por medio de las figuras. Se muestran:

La Figura 1, esquemáticamente, la estructura de una disposición para generar un peine de frecuencias ópticas rectangular;
la Figura 2, los espectros de frecuencias en distintas etapas del método

45 a) después de generar la luz mediante una fuente,
b) después del filtrado,
c) después de una primera modulación,
d) después de una segunda modulación;

50 la Figura 3, esquemáticamente, una disposición alternativa para generar un peine de frecuencias ópticas rectangular;
la Figura 4, un espectro de frecuencias del segundo peine de frecuencias modulado;
la Figura 5, otro espectro de frecuencias del segundo peine de frecuencias modulado;
55 la Figura 6, un tren de pulsos sinc que comprende un segundo peine de frecuencias modulado.

60 En la Figura 1 se muestra el principio básico para generar un peine de frecuencias ópticas rectangular con cualesquiera ancho de banda, número de líneas y separación de frecuencias. El dispositivo presentado esquemáticamente en dicha figura comprende una fuente 1 de luz, un filtro óptico 2 situado a continuación y unos moduladores ópticos 3_1 , 3_2 subsiguientes. Como fuente 1 de luz puede servir cualquier sistema con el que pueda generarse un peine 5 de frecuencias ópticas, siendo especialmente adecuado para este fin un láser con acoplamiento de modos (MLL). Con los generadores f_1 , f_2 de frecuencias y una tensión BIAS aplicada adicionalmente a los moduladores, es posible ajustar los moduladores 3_1 , 3_2 de tal manera que todas las líneas tengan una amplitud y una fase casi iguales. Además, es posible suprimir bandas laterales de orden superior.

65 La fuente 1 de luz se sincroniza (línea de trazos) con las fases de los generadores f_1 , f_2 por medio de unos variadores 8 de fase en tanto que la tasa de repetición de la fuente de luz y las frecuencias de modulación sean

sincrónicas entre sí en sus fases. En lugar de varios generadores y moduladores ópticos, también puede utilizarse un único generador y modulador que se haga funcionar con varias frecuencias RF. Sin embargo, para la generación de pulsos según la invención es importante que esté asegurada la sincronización entre las fases del peine original y las del o de los generadores de RF.

5 El método para generar un peine (5c, 5d) de frecuencias ópticas con un número definido de líneas (4₁, 4₃, 4₄) de peine de frecuencias comprende ahora las siguientes etapas de método:

10 En primer lugar, el peine 5a de frecuencias de entrada generado por la fuente 1 comprende una pluralidad de líneas 4₁, 4₂ de peine de frecuencias de entrada. El peine 5 de frecuencias puede generarse en particular por medio de un láser con acoplamiento de modos (MLL) o un generador de peines. Con el símbolo de referencia 4₁ se designan las líneas de peine de frecuencias que se han de seleccionar o filtradas, con el símbolo de referencia 4₂ se designan las líneas de peine de frecuencias no seleccionadas.

15 En la Figura 2a se muestra el peine 5a de frecuencias de entrada, aún no rectangular, generado mediante la fuente 1 de luz. Las distintas líneas 4₁, 4₂ del peine 5a de frecuencias de entrada presentan amplitudes diferentes y por lo tanto están dibujadas con longitudes diferentes. La diferencia de frecuencia Δf_L entre las distintas líneas 4₁, 4₂ aún sin filtrar del peine 5a de frecuencias de entrada puede modificarse en pequeña medida modificando la tasa de repetición del láser 1.

20 Del peine 5a de frecuencias de entrada generado mediante el láser 1 se filtran por medio del filtro 2 distintas líneas de peine de frecuencias, concretamente las provistas del símbolo de referencia 4₁, que presentan respectivamente una separación idéntica de $\Delta f_i = (n_k + 1) * \Delta f_L$ (Figura 2b), en donde n_k es un número natural (0, 1, 2, 3, ...) y corresponde al número de líneas 4₂ de peine de frecuencias no filtradas entre las, en cada caso, dos líneas 4₁ de peine de frecuencias de entrada filtradas. En el caso que nos ocupa $n_k = 1$, de manera que se aplica: $\Delta f_i = 2 \Delta f_L$. Como filtro 2 puede servir cualquier forma de filtro óptico que esté en condiciones de seleccionar líneas 4₁ individuales del peine 5a de frecuencias. Esto significa que el ancho de banda Δf_F del filtro 2 ha de ser menor que la diferencia de frecuencia entre las distintas líneas 4 del peine 5 de frecuencias original, de manera que se aplica: $\Delta f_F < \Delta f_L$.

30 La mayoría de los filtros ópticos 2 tienen anchos de banda de filtro de $\Delta f_F > 10$ GHz. Sin embargo, preferiblemente se generan peines 5a de frecuencias de entrada con la menor separación Δf_L posible. Por ejemplo, un láser de fibra de femtosegundos (fs) genera peines 5 de frecuencias con una separación Δf_L de líneas de peine de frecuencias entre 80 MHz y 100 MHz. Por lo tanto, las líneas de peine de frecuencias de tal fuente se extraen preferiblemente por medio de la *polarization-pulling assisted stimulated Brillouin scattering* (PPA-SBS; dispersión estimulada de Brillouin asistida con arrastre de polarización) como filtro 2, dado que una PPA-SBS puede presentar anchos de banda de filtro de $\Delta f_F = 3$ MHz o menos.

35 Mediante el ajuste del filtro 2 –en caso de filtrado mediante PPA-SBS en particular mediante el ajuste de la intensidad de la bomba correspondiente– se extraen las líneas 4₁ de peine de frecuencias de entrada que se han de seleccionar de tal manera que todas presenten la misma potencia. Esto está visualizado en la Figura 2b mediante líneas 4₁ de peine de frecuencias de entrada seleccionadas de idéntica longitud.

45 Las líneas 4₁ de peine de frecuencias de entrada seleccionadas son moduladas por el primer modulador 3₁ con una frecuencia Δf_1 . Como moduladores 3 pueden utilizarse por ejemplo moduladores de intensidad o de fase. Para generar pulsos de Nyquist resultan ventajosos sobre todo los moduladores de intensidad Mach-Zehnder, dado que éstos pueden generar dos líneas de igual amplitud e igual fase y suprimir eficazmente líneas de frecuencia de orden superior mediante un ajuste correspondiente de la potencia de la señal de modulación (potencia de RF) y de la tensión Bias.

50 La Figura 1c muestra un primer peine 5c de frecuencias modulado tras pasar por el primer modulador Mach-Zehnder 3₁. Alrededor de cada línea 4₁ de peine de frecuencias extraída de la fuente 1 se producen mediante esta modulación dos bandas laterales 4₃ como primeras líneas moduladas de peine de frecuencias con una separación de frecuencias de $\Delta f_1 = 1/3 \Delta f_i$. El segundo modulador 3₂ puede ser un modulador de intensidad o de fase. Sin embargo, si el segundo peine 5d de frecuencias modulado así producido se ha de utilizar para generar trenes de pulsos de Nyquist, se emplea ventajosamente un MZM. Éste se hace funcionar con una frecuencia de $\Delta f_2 = 1/3 \Delta f_1 = 1/9 \Delta f_i$ y genera, alrededor de cada línea óptica 4₁, 4₃ de peine de frecuencias (aplicada al segundo modulador 3₂), dos nuevas (segundas) líneas (moduladas) 4₄ de peine de frecuencias. El resultado es un peine 5d de frecuencias plano aproximadamente idealmente rectangular con $l = n * 3^n$ líneas 4. En este contexto, n_1 es el número de frecuencias 4₁ originalmente extraídas de la fuente 1 y n es el número de moduladores.

60 De este modo, mediante una modulación de las líneas (4₁) de peine de frecuencias filtradas, se generan líneas de banda lateral, ajustándose las líneas (4₂, 4₃) de banda lateral mediante la modulación de tal manera que todas las líneas (4₁, 4₂, 4₃) presentan una separación de frecuencias (Δf_2) idéntica unas con respecto a otras. El mayor espesor del trazo de las líneas 4₁, 4₃ de peine de frecuencias en relación con las líneas 4₂, 4₄ de peine de frecuencias en la Figura 2 sirve sólo para diferenciar mejor visualmente las líneas de peine de frecuencias correspondientes y no tiene ninguna significación técnica.

En el presente ejemplo de realización, $n_1 = 3$ y $n = 2$, de manera que el número de líneas de peine de frecuencias es $l = 27$. Si se emplean más de dos moduladores, el número 1 de líneas 4 de peine de frecuencias en el peine 5 de frecuencias modulado aumenta potencialmente. En cambio, si se extraen más frecuencias originales 4₁ mediante el filtro 2, el número l de líneas 4 de peine de frecuencias en el peine 5 de frecuencias aumenta linealmente. En lugar de dos moduladores 3 –como se muestra en la Figura 1– también puede emplearse un solo modulador accionado por varias frecuencias de modulación. También pueden excitarse bandas laterales de orden superior.

Si se excitan sólo dos bandas laterales de primer orden, el peine 5c, 5d de frecuencias modulado presenta un ancho de banda de $B = (l-1) \cdot 1/3^n \cdot \Delta f_i$. Éste puede modificarse mediante l, n y Δf_i . La separación de frecuencias entre las distintas líneas de peine de frecuencias en el peine de frecuencias modulado es $\Delta f = 1/3^n \cdot \Delta f_i$. En la Figura 1d es (con $n=2$) por lo tanto $\Delta f = \Delta f_2 = 1/9 \times \Delta f_i$. Por consiguiente, la separación de frecuencias entre las frecuencias en el peine puede controlarse mediante n y Δf_i . Aumentar el número de moduladores n es relativamente costoso, mientras que Δf_i en un MLL corresponde a un múltiplo de su tasa de repetición. En la mayoría de los MLL, ésta puede modificarse en +/- 1 %. Por consiguiente, la diferencia de frecuencia puede modificarse en pasos de $\Delta f_i = \Delta f_{L+} - (n_k+1) \cdot 0,01 \cdot \Delta f_L$.

Esto significa, en un láser de fibra de fs con $\Delta f_L = 80$ MHz, que, si hubiese 40 líneas entre las dos extraídas (en la Figura 2a esto significaría que entre dos líneas 4₁ de peine de frecuencias de entrada que se hubiesen de extraer habría al menos 40 líneas 4₂ de peine de frecuencias que no se habrían de seleccionar), la línea extraída puede modificarse en su frecuencia en tal medida que corresponda a la frecuencia de la línea anterior o siguiente.

Por consiguiente, es posible generar un peine de frecuencias modulado con cualquier ancho de banda, número de líneas y separación de frecuencias entre las líneas con un láser de fibra de fs, cuando $\Delta f_i > 4$ GHz. Para frecuencias menores no es posible alcanzar todas las separaciones de frecuencias.

En la Figura 3 se muestra una posible disposición para llevar a cabo la invención. Como fuente se utiliza aquí un láser 1 de fibra de fs con una tasa de repetición de $\Delta f_L = 80$ MHz. Para mejorar la separación señal/ruido tras un preamplificador 6, se utiliza un prefiltro 2₁ para dejar pasar sólo una parte de todo el espectro generado por el láser. Como filtro adicional 2₂ se utiliza en la configuración según la Figura 3 la PPA-SBS. La SBS es un proceso de amplificación en el que una onda de bombeo que se propaga en la dirección de un medio 23 de SBS genera una ganancia de banda estrecha para una onda de señal opuesta desplazada hacia abajo en la frecuencia. El desplazamiento de frecuencia entre la onda de bombeo y la onda de señal es típicamente de 11 GHz y el ancho de banda de ganancia 10 - 30 MHz para ondas de bombeo de 1.550 nm y fibras de vidrio monomodo estándar (SSMF, por sus siglas en inglés). Este ancho de banda puede reducirse a 3 MHz. Como medio de SBS se utiliza una SSMF 23. Los diodos láser 25 generan dos o más ondas de bombeo, que se amplifican mediante unos amplificadores 26 respectivos y se alimentan a la SSMF 23 mediante un acoplador N:1 27 (correspondiendo N al número de diodos láser conectados) y un circulador 28. La longitud de onda de los dos diodos láser 25 se ajusta de manera que amplifique dos líneas del peine 5 de frecuencias del láser 1. Esta longitud de onda puede bloquearse mediante diversos métodos electrónicos en las líneas de peine que se han de amplificar.

El efecto de arrastre de polarización de la SBS significa que la onda de bombeo gira la polarización de la onda de señal en dirección a su propia polarización. Por consiguiente, la polarización del peine generado por la fuente 1 se ajusta, mediante un variador 21 de polarización situado a continuación de un aislador 22, de tal manera que sea perpendicular a un filtro 29 de polarización. Por lo tanto, sin SBS ningún componente del peine puede atravesar este filtro. La polarización de las ondas de bombeo se ajusta, mediante unos variadores 24 de polarización asignados respectivamente a las ondas de bombeo, de tal manera que sea paralela al PBS. Así pues, mediante la SBS se amplifican dos o más líneas del peine de frecuencias y se gira su dirección de polarización paralelamente al PBS. Como resultado, sólo las líneas del peine de frecuencias amplificadas mediante SBS pueden atravesar el PBS.

Las líneas 4 de peine de frecuencias de entrada extraídas se amplifican mediante un amplificador 36 y luego se modulan con los dos moduladores 3₁, 3₂ como se describe en las Figuras 1 y 2. Dado que la tasa de repetición del láser puede cambiar o se puede modificar, se mide la frecuencia entre las líneas extraídas Δf_i por medio de un fotodiodo 7. Con este fin se deriva en dirección al fotodiodo mediante un divisor 37 una parte de las líneas 4₁ de peine de frecuencias extraídas. Las frecuencias de mando con las que se activan los dos moduladores 3₁, 3₂ se generan mediante dos generadores 31 de RF. Las frecuencias de mando resultan de $1/3 \cdot \Delta f_i$ y $1/9 \cdot \Delta f_i$ y se calculan por medio de un ordenador 32. El analizador 9 de espectro óptico sirve en el presente ejemplo de realización para indicar los resultados. En este punto se desacoplarían los pulsos para su posterior utilización.

Las Figuras 4 y 5 muestran resultados del método antes mencionado. En la Figura 4 se muestra un segundo peine de frecuencias modulado con 18 líneas 4₄ de peine de frecuencias, una separación Δf_2 de frecuencias entre las líneas 4₄ de peine de frecuencias de 10 GHz y un ancho de banda total consiguiente de 170 GHz. El inserto muestra el pulso de luz correspondiente en el intervalo de tiempo. Dado que en el intervalo de tiempo pueden verse pulsos, los distintos componentes de frecuencia del peine están bloqueados unos con respecto a otros en la fase. La Figura 5 muestra otro segundo peine 5d de frecuencias modulado con 27 líneas moduladas 4₄ de peine de frecuencias, una separación Δf_2 de frecuencias entre las líneas Δf_2 de 10 GHz y un ancho de banda total de 260 GHz.

Si las fases de los generadores 31 que activan los moduladores 3 se sincronizan entre sí y con la fuente 1, como se muestra en la Figura 1 con una línea de trazos, y si la diferencia de fase entre las mismas se ajusta por medio de un variador 8 de fase, un peine de frecuencias rectangular representa en el intervalo de tiempo un tren de pulsos sinc. La Figura 6 muestra un tren de pulsos sinc de este tipo para 12 líneas de peine con una separación de frecuencias entre sí de 19,04 GHz en el intervalo de tiempo. Aunque sería posible, aquí no se ha utilizado la estructura según la Figura 3, sino que más bien se ha utilizado como fuente un generador de peines y se han filtrado las líneas antes de los moduladores con un filtro óptico, como se muestra en la Figura 1.

10	Lista de símbolos de referencia
	1 Fuente
	2 Filtro
	3 Modulador
	4 ₁ Línea de peine de frecuencias de entrada seleccionada
15	4 ₂ Línea de peine de frecuencias de entrada no seleccionada
	4 ₃ Primera línea de peine de frecuencias modulada
	4 ₄ Segunda línea de peine de frecuencias modulada
	5a Peine de frecuencias de entrada
	5b Peine de frecuencias seleccionado
20	5c Primer peine de frecuencias modulado
	5d Segundo peine de frecuencias modulado
	6 Preamplificador
	7 Fotodiodo
	8 Variador de fase
25	9 Analizador de espectro óptico
	21 Variador de polarización
	22 Aislador
	23 Medio óptico
	24 Variador de polarización
30	25 Diodos láser
	26 Amplificador
	27 Acoplador
	28 Circulador
	29 Filtro de polarización
35	31 Generador de RF
	32 Ordenador
	36 Amplificador
	37 Divisor
	Δf_L Separación de las líneas de peine de frecuencias de entrada
40	Δf_i Separación de las líneas de peine de frecuencias de entrada seleccionadas
	Δf_1 Separación de las líneas de peine de frecuencias del primer peine de frecuencias modulado
	Δf_2 Separación de las líneas de peine de frecuencias del segundo peine de frecuencias modulado
	l Número de líneas de peine de frecuencias del primer peine de frecuencias modulado
45	n_k Número de líneas de peine de frecuencias de entrada no seleccionadas entre dos líneas de peine de frecuencias de entrada seleccionadas adyacentes
	n Número de moduladores conectados en serie

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método para generar un peine (5c, 5d) de frecuencias ópticas con un número definido de líneas (4₁, 4₃, 4₄) de peine de frecuencias con una separación ajustable entre sí, que comprende las siguientes etapas de método:
- generar un peine (5a) de frecuencias de entrada con una fuente (1) de luz, en particular con un láser con bloqueo de modo, presentando el peine (5a) de frecuencias de entrada una pluralidad de líneas (4₁, 4₂) de peine de frecuencias de entrada con una separación de Δf_L ,
 10 filtrar del peine (5a) de frecuencias de entrada líneas (4₁) de peine de frecuencias individuales con una separación (Δf_i) de frecuencias idéntica, aplicándose $\Delta f_i = (n_k + 1) * \Delta f_L$ con $n_k = 1, 2, 3, \dots$,
 modular las líneas (4₁) de peine de frecuencias filtradas para generar líneas de banda lateral, ajustándose las líneas (4₃) de banda lateral mediante la modulación de tal manera que las líneas (4₁, 4₃) de peine de frecuencias y de banda lateral presentan una separación (Δf_1) de frecuencias idéntica entre sí.
- 15 2. Método según la reivindicación 1,
caracterizado por
 una modulación de las líneas (4₁) de peine de frecuencias filtradas para generar unas primeras líneas (4₁, 4₃) de banda lateral y una subsiguiente modulación de las primeras líneas (4₁, 4₃) de banda lateral para generar unas segundas líneas de banda lateral, ajustándose las líneas (4₁, 4₃) de banda lateral mediante la modulación respectiva
 20 de tal manera que las líneas (4₁, 4₃) de peine de frecuencias y de banda lateral presentan una separación (Δf_1) de frecuencias idéntica entre sí.
3. Método según la reivindicación 1,
caracterizado por
 25 una modulación de las líneas de peine de frecuencias filtradas con varias frecuencias con la misma separación para generar varias líneas de banda lateral.
4. Método según una de las reivindicaciones precedentes,
caracterizado por que las líneas (4₁, 4₃) de banda lateral se ajustan mediante la modulación de tal manera que las
 30 líneas (4₁, 4₃) de peine de frecuencias y de banda lateral presentan una amplitud casi idéntica.
5. Método según una de las reivindicaciones precedentes,
caracterizado por que para generar los trenes de pulsos, en particular trenes de pulsos en forma de $\sin(x)/x$, se sincronizan entre sí en sus fases la tasa de repetición de la fuente de luz y las frecuencias de modulación.
 35
6. Método según una de las reivindicaciones precedentes,
caracterizado por que la separación (Δf_L) de frecuencias del peine (5a) de frecuencias de entrada se modifica variando la tasa de repetición del láser con bloqueo de modo.
- 40 7. Método según una de las reivindicaciones precedentes,
caracterizado por que del peine (5a) de frecuencias de entrada se filtran líneas (4₁) de peine de frecuencias individuales mediante PPA-SBS (2) (“Polarization-Pulling Assisted Stimulated Brillouin Scattering”).
- 45 8. Dispositivo para generar un peine (5c, 5d) de frecuencias ópticas con un número definido de líneas (4₁, 4₃, 4₄) de peine de frecuencias con una separación ajustable entre sí, que comprende
 un láser con acoplamiento de modos (MLL) para generar un peine (5a) de frecuencias de entrada que presenta una pluralidad de líneas (4₁, 4₂) de peine de frecuencias de entrada con una separación de Δf_L ,
 un filtro óptico (2) subsiguiente para filtrar del peine (5a) de frecuencias de entrada líneas (4₁) de peine de frecuencias individuales con una separación Δf_i de frecuencias idéntica, aplicándose $\Delta f_i = (n_k + 1) * \Delta f_L$ con $n_k = 1, 2,$
 50 $3, \dots$
 y
 al menos un modulador óptico (3) activado mediante un generador, para modular las líneas (4₁) de peine de frecuencias filtradas para generar líneas de banda lateral, que presentan una separación (Δf_1) de frecuencias idéntica a las líneas (4₁) de peine de frecuencias,
 55 estando presentes unos medios para la sincronización de fases de la tasa de repetición de la fuente (1) de luz y de las frecuencias de modulación del generador.
9. Dispositivo según la reivindicación 8,
caracterizado por que el filtro (2) se basa en el principio de la *polarization-pulling assisted stimulated Brillouin scattering* (PPA-SBS).
 60

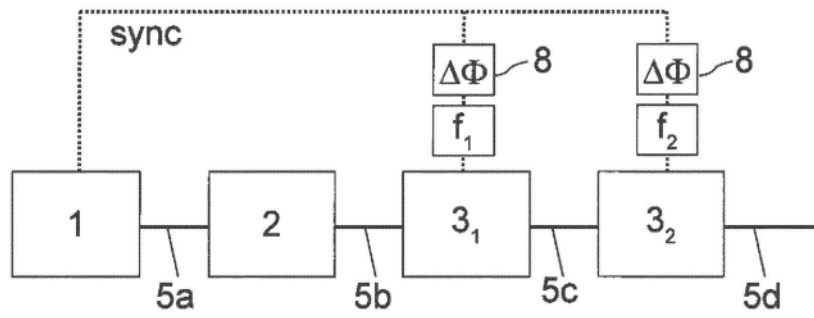


Figura 1

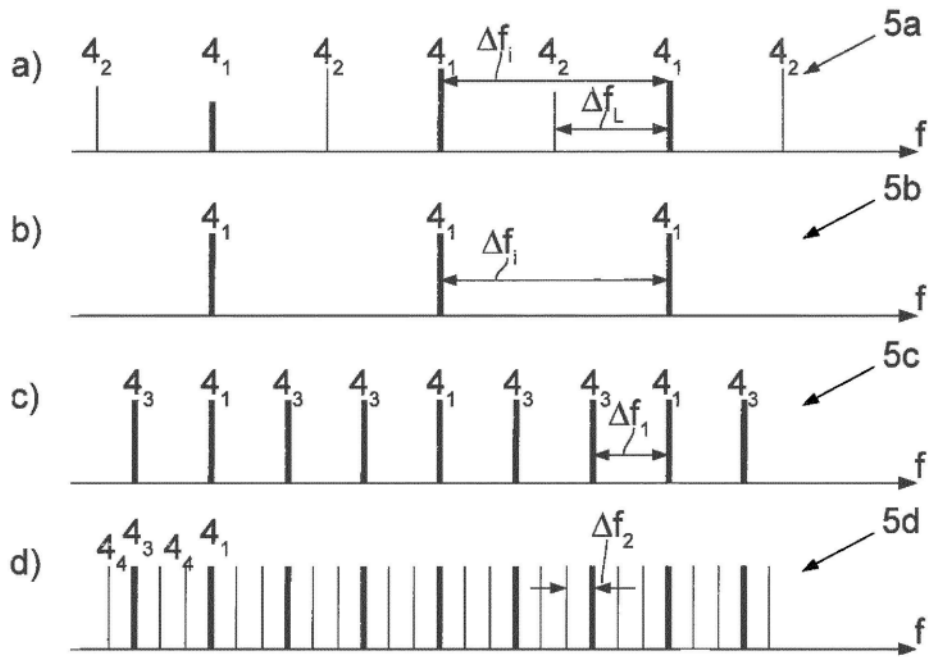


Figura 2

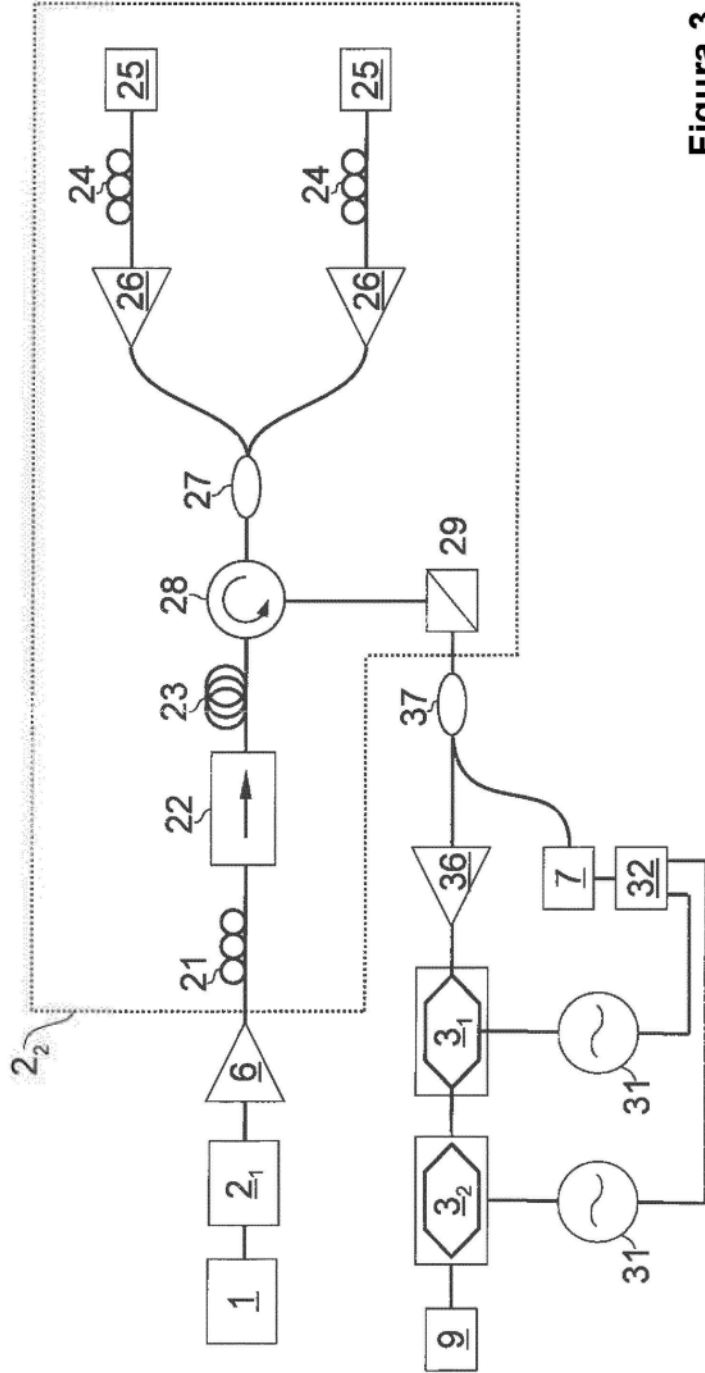


Figura 3

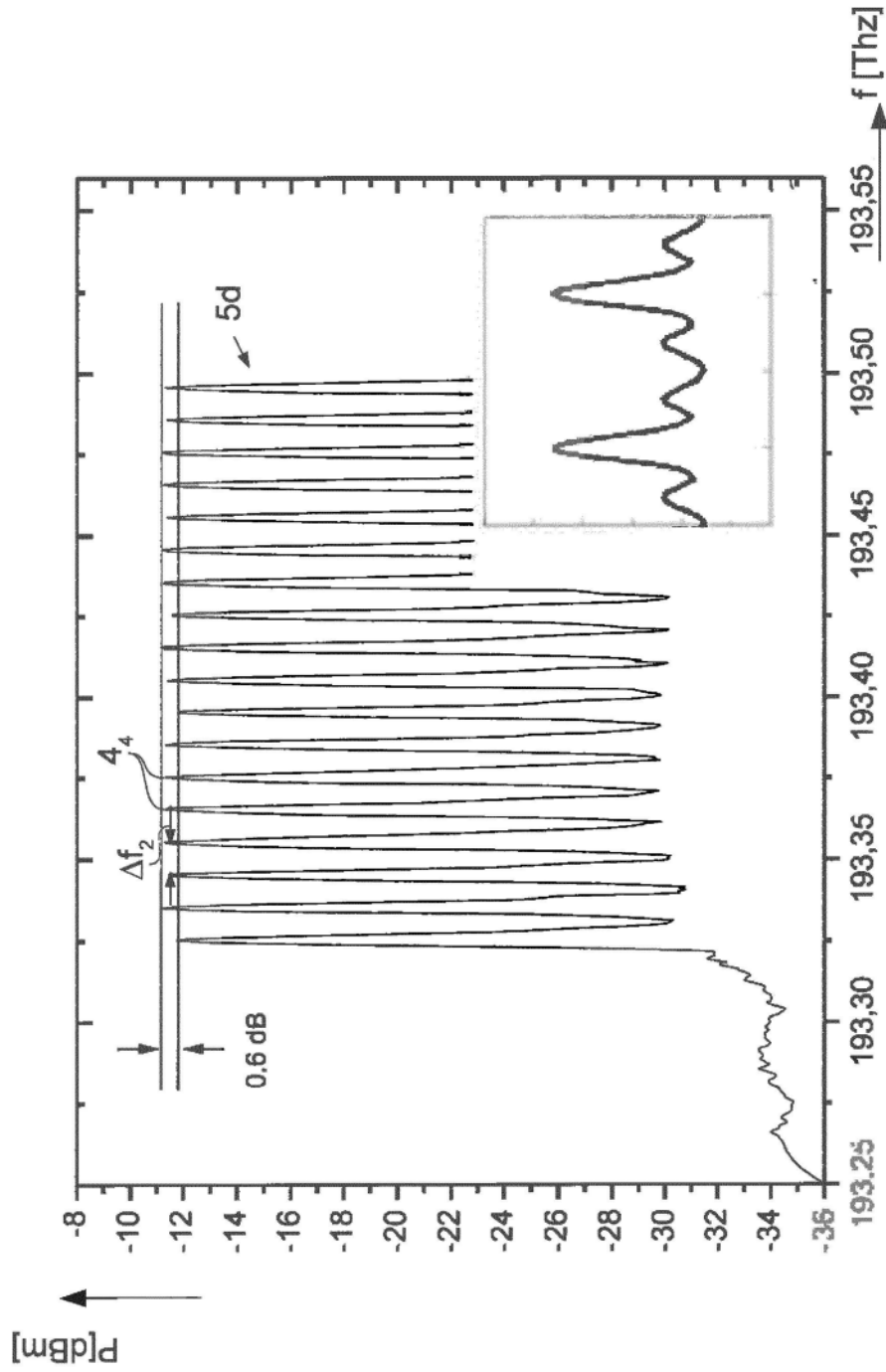


Figura 4

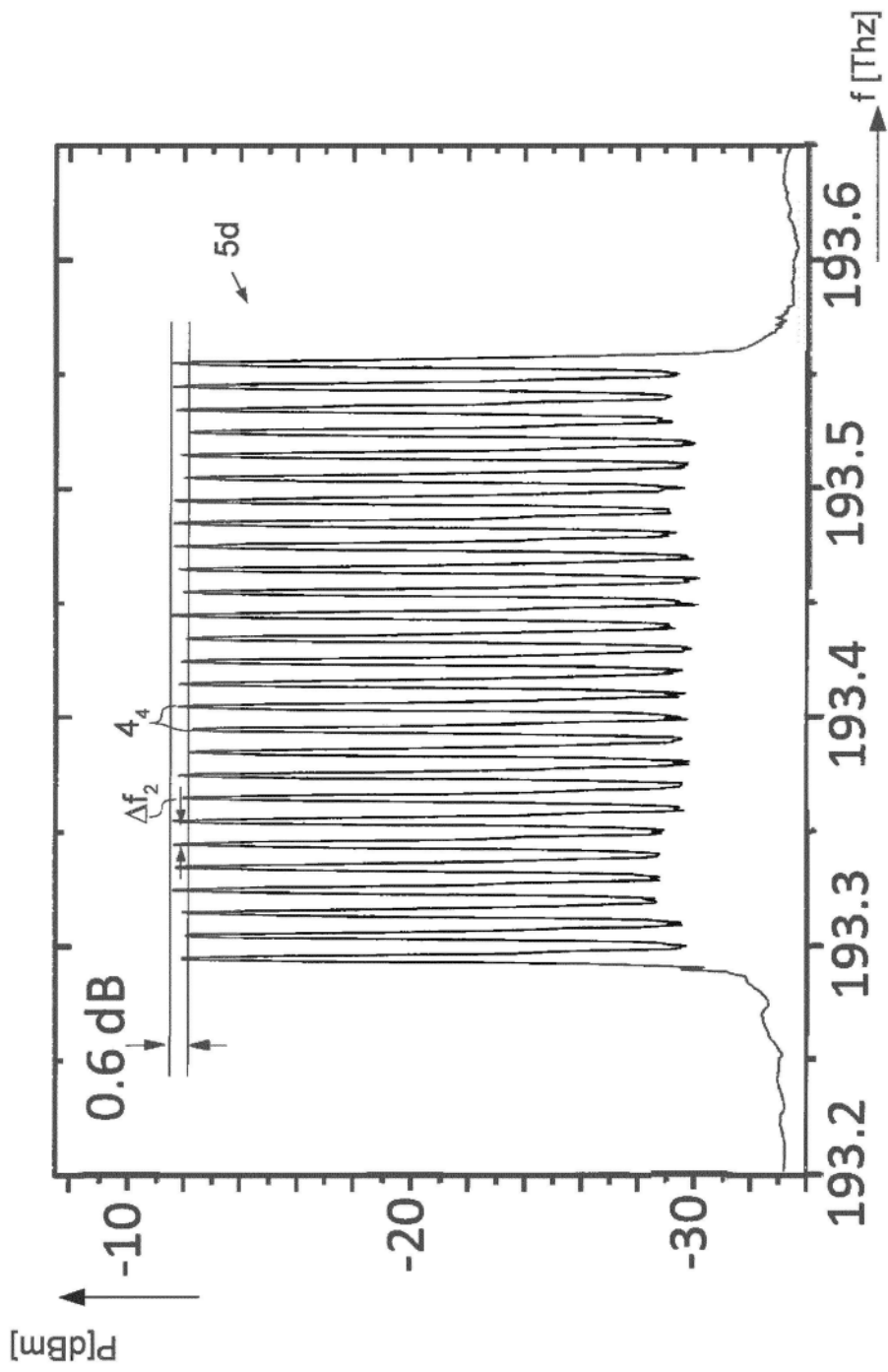


Figura 5

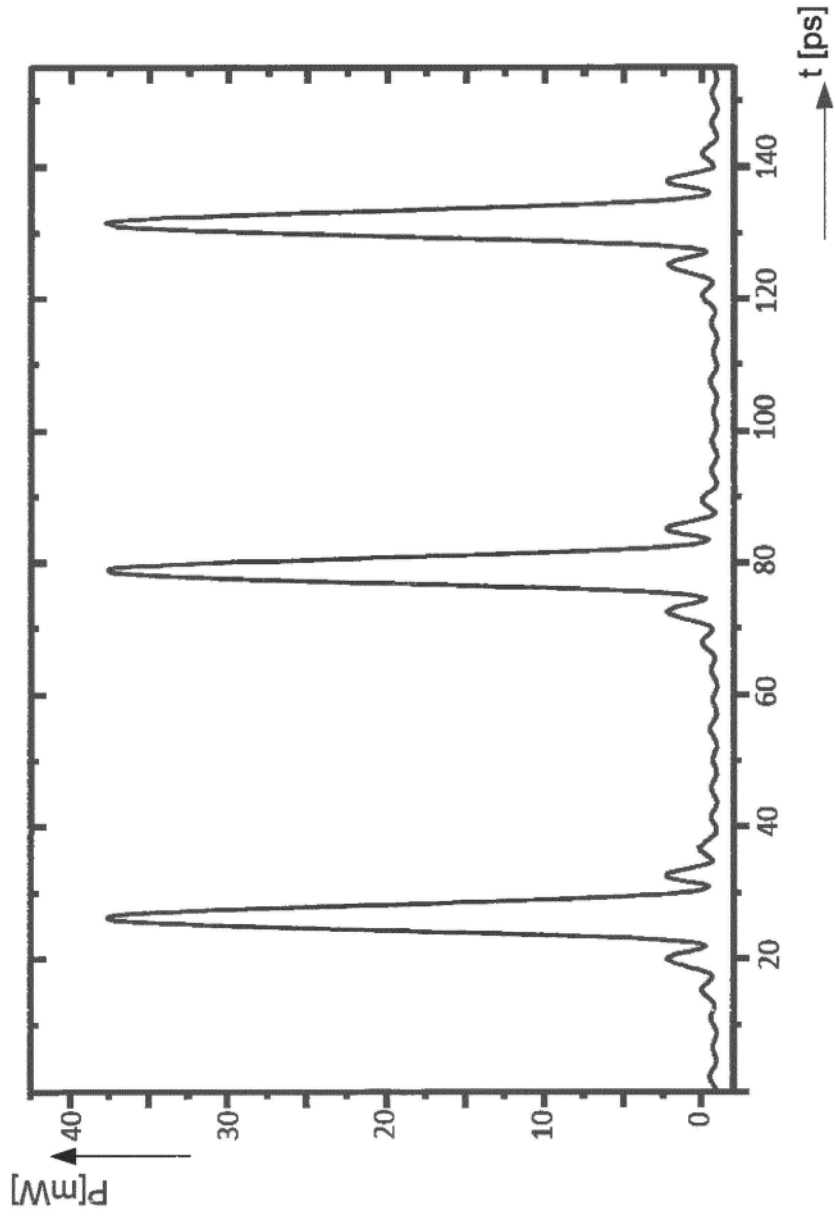


Figura 6