

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 763 320**

51 Int. Cl.:

**G01D 5/353** (2006.01)

**G01V 1/22** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.06.2013 E 13172488 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2019 EP 2816323**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para medir el entorno acústico de una fibra de vidrio**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**28.05.2020**

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
Werner-von-Siemens-Straße 1  
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**ZHUBER-OKROG, KUNO**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 763 320 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

Procedimiento y dispositivo para medir el entorno acústico de una fibra de vidrio

**Campo técnico**

5 La invención se refiere a un procedimiento para medir el entorno acústico de una fibra de vidrio midiendo la longitud del camino óptico de la fibra de vidrio mediante la introducción de una señal luminosa y mediante la evaluación de la señal luminosa retrodispersada en la fibra de vidrio (entendiéndose de manera generalizada con luz también radiación infrarroja), así como a un dispositivo correspondiente. Entre ellos, se entiende un procedimiento o un dispositivo para medir las influencias externas en una fibra de vidrio. La invención sirve para la monitorización acústica simultánea de un área espacial alargada o de gran dimensión, similar a una pluralidad de micrófonos. Como sensor se usa una fibra de vidrio.

15 Se puede observar y medir el sonido en el aire, el ruido estructural en el suelo o en los edificios, el sonido en el agua u otros líquidos. Aplicaciones típicas son la monitorización de barreras y cercas y la monitorización de cables, tuberías y tubos, tales como, por ejemplo, conductos de agua. Con ello, se pueden detectar ya desde el principio los trabajos de dragado en las proximidades de cables, el intento de robo de cables y las manipulaciones de tuberías. Puede reconocerse el escape de gases o líquidos. Se pueden monitorizar el alcantarillado y localizar obstrucciones.

Otra aplicación es la vigilancia del tráfico. Con ello, se pueden detectar y rastrear vehículos individuales.

20 El procedimiento de acuerdo con la invención para el reconocimiento del suelo también puede utilizarse para registrar ondas sísmicas de origen natural, u ondas sísmicas generadas artificialmente. Una aplicación especial es la determinación de la velocidad del sonido en las proximidades de los pozos, mediante lo cual pueden detectarse recursos minerales.

Durante mucho tiempo, solo se aprovechó el cambio en la potencia de la luz óptica a la salida de un interferómetro que, debido a la ambigüedad del interferómetro, solo posibilita una estimación aproximada de la amplitud o volumen del sonido. Con ello, se pueden detectar eventos ruidosos y la secuencia temporal de los eventos ruidosos, tales como, por ejemplo, de pasos. Sin embargo, no es posible identificar un evento en sí y medir el espectro acústico.

**25 Estado de la técnica**

30 En el documento US 7.872.736 B2, Rogers *et al.*, "Detecting a disturbance in the propagation of light in an optical waveguide", se muestra un procedimiento que puede detectar fluctuaciones de fase promedias sobre la ubicación, que están relacionadas con el cambio en la longitud del camino óptico. Se propone un procedimiento de pulso doble. Después de la emisión repetida del pulso doble, se mide la interferencia de ambas mitades del pulso. Esta interferencia depende no linealmente de la fase. Cada interferencia se compara con la interferencia previa por substracción. Se promedian los cuadrados de las diferencias de diferentes secciones de fibra. Con ello, se promedian puntos con una amplitud de reflexión baja y aquellos con una amplitud de reflexión alta. La longitud del camino óptico depende a su vez del entorno acústico de la fibra de vidrio. Con este procedimiento puede determinarse la magnitud de la fluctuación de fase, pero no el signo del cambio de fase.

35 En el documento US 7.652.245 B2, Crickmore *et al.*, "Traffic sensing and monitoring apparatus", se presenta un procedimiento de pulso doble donde ambas mitades de pulso doble se diferencian en la frecuencia y la diferencia de frecuencia es mayor que la frecuencia de repetición de pulso. Sin embargo, la patente no revela el modo de procesamiento de los datos medidos.

40 En la solicitud de patente US 2012/0162639 A se describe un procedimiento mejorado. Se determinan los cambios en la longitud del camino óptico y, con ello, el entorno acústico de una fibra de vidrio. El dispositivo aprovecha una forma especial del interferómetro con espejos de Faraday. Esto tiene la ventaja de que se suprime un ajuste de polarización del interferómetro. Por un denominado acoplador MxM, al que se adhieren en principio cambios de fase, se forma un interferómetro múltiple.

45 Los acopladores MxM se usan tanto en tecnología de sensores como en tecnología de recepción coherente para la transmisión óptica de datos. Ya en 1986, T. Niemeier y R. Ulrich publicaron "Quadrature outputs from fiber interferometer with 4x4 coupler," Opt. Lett. 11, pág. 677-679 (1986). Una descripción detallada del uso de acopladores de 3x3 figura en Y. Takushima *et al.*, "Measurement of Differential Phasor Diagram of Multilevel DPSK Signals by Using an Adjustment-Free Delay Interferometer Composed of a 3x3 Optical Coupler", IEEE Journal of Lightwave Technology, vol. 27 n.º 6, (2009) pág. 718-730. En particular, la fig. 5 muestra una realización como el documento US 2012/0162639. Xie, Winzer *et al.*, "Colorless coherent receiver using 3x3 coupler hybrids and single-ended detection", Optical Express 20-2 (2012), 1164 y ss., también describe un receptor de señal en cuadratura.

5 En el procedimiento según el documento US 2012/0162639 A se representa una posibilidad de medir el entorno acústico de una fibra de vidrio. No obstante, en la disposición según el documento US 2012/0162639 A, sin un gasto adicional costoso y que consume mucho espacio en componentes ópticos, es posible detectar simultáneamente varias secciones de monitorización de diferentes longitudes y es muy difícil rastrear un filtro óptico de banda extremadamente estrecha de la frecuencia de transmisión.

10 En el documento WO2012/030814 A2 se describe un procedimiento para medir vibraciones en el entorno de una fibra de vidrio mediante la introducción de una señal luminosa en la fibra de vidrio y la evaluación de la señal luminosa retrodispersada. A partir de la luz de una fuente de luz, se generan impulsos de luz, que se introducen en una fibra de vidrio. Se desacopla una señal óptica retrodispersada en la fibra de vidrio y se suministra a una unidad de procesamiento, que genera una señal en cuadratura con un componente en fase y un componente en cuadratura. Una unidad de disparo coordina la generación de impulso óptico y la detección de señal, mediante lo cual pueden obtenerse valores de medición para diferentes secciones de monitorización a lo largo de la fibra de vidrio.

### Representación de la invención

15 Un objetivo de la presente invención es poner a disposición un procedimiento y un dispositivo para medir el entorno acústico de una fibra de vidrio midiendo la longitud del camino óptico de las secciones de monitorización (*monitoring sections*) mediante la introducción de una señal luminosa en la fibra de vidrio y midiendo la señal luminosa retrodispersada en la fibra de vidrio, con lo cual pueden obtenerse rápidamente y con gran sensibilidad los resultados de medición y su evaluación.

20 Este objetivo se resuelve por un procedimiento con las características de la reivindicación 1. Configuraciones ventajosas de la invención están definidas en las respectivas reivindicaciones dependientes.

De acuerdo con la reivindicación 1, está previsto que a partir de la señal luminosa retrodispersada para diferentes secciones de monitorización, se forme respectivamente una señal en cuadratura combinada cuya fase y amplitud se evalúen numéricamente, sirviendo la fase como medida de la presión acústica y sirviendo la amplitud como medida de la calidad de la señal, para que pueda recuperarse la presión acústica que actúa en varios lugares.

25 Mediante este procedimiento de sensores acústicos distribuidos, es posible detectar la forma de onda de la señal acústica y medir el espectro acústico. Una señal en cuadratura combinada, también denominada "fasor diferencial", contiene como número complejo como fase un valor proporcional a la longitud del camino óptico y como amplitud la intensidad de las señales ópticas utilizadas para formar la señal en cuadratura combinada. Por lo tanto, una medición cuantitativa de frecuencia acústica, amplitud y fase se realiza a través de un amplio alcance de frecuencia y dinámico. Por ejemplo, pueden detectarse incluso afinaciones y llevarse a cabo mediciones de distancia. Mediante el procesamiento adicional de la señal, es posible una pluralidad de aplicaciones, por ejemplo, como un micrófono direccional, mediante lo cual la invención no solo está limitada a los ejemplos de realización establecidos.

30

35 En la forma de realización de acuerdo con la reivindicación 2, el interferómetro de acuerdo con la invención (a diferencia de los interferómetros ópticos físicos) se forma numéricamente a partir de valores de señal explorados; por eso, la longitud y la posición de las secciones de monitorización pueden cambiarse sin elementos mecánicos. Una pluralidad de pares de medición también da como resultado en el caso del fallo de los valores de medición débiles individuales aún un buen resultado general y mejora la relación señal/ruido. Es posible la reconstrucción del espacio de medición a través de secciones vecinas. Pueden aprovecharse para la detección longitudes de sección variables, también dinámicamente variadas.

40 En esta primera forma de realización, está previsto que se usen pulsos de luz periódicos individuales, así

- que la señal luminosa es un pulso de luz periódico,
- que, para las dos polarizaciones de la señal luminosa retrodispersada, se forma respectivamente una señal en cuadratura con respectivamente un componente en fase y un componente de cuadratura,
- que estas se exploran y se almacenan en varios instantes de exploración establecidos, correspondiendo
- 45 respectivamente dos instantes de exploración a una sección de monitorización de la fibra de vidrio,
- que, para cada polarización, comparando las fases de las dos señales en cuadratura de cada sección de monitorización y multiplicando las amplitudes de las dos señales en cuadratura, se forman numéricamente los componentes de una señal en cuadratura combinada preliminar respectivamente de una polarización,
- que las señales en cuadratura combinadas preliminares de cada polarización se suman y forman una señal en
- 50 cuadratura combinada, y
- que, a partir de una pluralidad de señales en cuadratura combinadas, se reconstruye el entorno acústico de la fibra óptica.

En particular, en esta forma de realización puede estar previsto que la señal luminosa se genere por medio de un láser, el pulso de luz periódico se genere a partir de ello en un conformador de pulso y se conduzca hacia la fibra de

5 vidrio, desacoplándose la señal luminosa retrodispersada de la fibra de vidrio y alimentándose a un receptor óptico directo en cuadratura de dos polarizaciones, almacenándose las señales en fase y en cuadratura generadas allí, y suministrándose a una red de multiplicación y adición-sustracción para formar los componentes de la señal en cuadratura combinada. Esta forma de realización tiene la ventaja de que puede suprimirse una corrección de polarización.

En particular, puede estar previsto que el receptor directo en cuadratura de dos polarizaciones presente un híbrido óptico de 90 grados de dos polarizaciones, cuyas salidas se guían a través de fotodetectores diferenciales y filtros de paso bajo.

10 Como alternativa, puede estar previsto que el receptor directo en cuadratura de dos polarizaciones contenga, tras un divisor de polarización del lado de entrada, dos acopladores ópticos de 3x3, cuyas salidas se guían a través de fotodetectores, matrices y filtros de paso bajo.

15 Así, el núcleo de la invención es que el entorno acústico de una fibra de vidrio pueda reconstruirse de modo que, en una primera forma de realización, se genere de manera conocida un pulso óptico y se envíe a una fibra de vidrio. La retroreflexión distribuida se convierte coherentemente en señales eléctricas en un receptor óptico. Esto es nuevo en la tecnología de sensores de retrodispersión de fibra de vidrio. Una ventaja es que mediante esta conversión se logra una ganancia de sensibilidad, puesto que una amplificación se produce cuando se mezcla con una fuerte señal de oscilador local.

20 Una ventaja particular también es el efecto de filtro del filtro de paso bajo en las realizaciones de las reivindicaciones 2-11 en el receptor. Esto causa un filtrado óptico con un ancho de banda muy pequeño en el intervalo de MHz, mediante lo cual se suprimen frecuencias secundarias, tales como, por ejemplo, la dispersión espontánea de Brillouin y la dispersión Raman. Cuando se utilizan amplificadores ópticos, se suprime su ruido (ASE). Por lo tanto, puede realizarse fácilmente una amplificación óptica deseable o requerida en todos los ejemplos de realización. También se suprimen componentes de luz incoherentes, que se producen por faltas de linealidad ópticas.

25 El problema del seguimiento de un filtro óptico con la frecuencia del pulso transmitido se suprime si la luz láser que sirve para generar el pulso de luz se aprovecha simultáneamente como oscilador local.

30 Además, la retroreflexión circula en la misma fibra óptica y la señal recibida en diferentes momentos se convierte en señales eléctricas por el mismo receptor óptico. Por eso, las propiedades de polarización son las mismas y no se necesita ningún controlador de polarización ni ningún ajuste de polarización. Además, la dependencia de polarización de los componentes ópticos no es crítica, puesto que la óptica solo se usa para una polarización después de un divisor de haz de polarización y pueden compensarse en retrospectiva tolerancias de los componentes.

Para el procesamiento de la señal, se aprovechan ventajosamente muchos pares de inicio/fin de secciones de monitorización. Con ello, se logra una mayor sensibilidad y, en comparación con una realización en óptica, un ahorro de costes significativo.

35 En una segunda forma de realización de la invención, está previsto

- por que la señal luminosa es un pulso doble periódico, que consta respectivamente de dos pulsos,
- por que uno de los dos pulsos está modulado en fase con respecto al otro,
- por que la potencia de la señal luminosa retrodispersada, que contiene una superposición de ambos pulsos, se explora y se almacena en varios instantes de exploración establecidos, correspondiendo cada instante de exploración a una sección de monitorización de la fibra óptica,
- por que se forma una señal en cuadratura combinada, y
- que, a partir de una pluralidad de señales en cuadratura combinadas, se reconstruye el entorno acústico de la fibra óptica.

45 La ventaja del procedimiento de doble pulso es que prácticamente se realiza una marcación de cada resultado de medición. Ya posee la funcionalidad básica de producir una señal que va acompañada del cambio en la longitud del camino óptico. A este respecto, se restaura correctamente la dirección del cambio de longitud del camino óptico. Mediante el procesamiento previo en el lado del emisor, donde solo está presente una polarización, se evita un ajuste de polarización cuando se usan fibras que mantienen la polarización.

50 Con el procedimiento de doble pulso, es posible una corrección de compensación automática, lo cual no es posible por los procedimientos en las publicaciones que se mencionan anteriormente en el estado de la técnica.

Un posible diseño adicional del procedimiento de doble pulso consiste en que la señal luminosa se genera por medio de un láser, el pulso doble periódico se genera a partir de ello en un conformador de pulso óptico con modulador de

fase y se conduce hacia la fibra de vidrio, desacoplándose la señal luminosa retrodispersada de la fibra óptica y alimentándose a través de un fotodetector a una memoria, desde la cual, por medio de recuperación de señal analítica con bloqueo de corriente continua y convertidor descendente, se generan los componentes de la señal en cuadratura combinada.

5 A este respecto, el conformador de pulso con modulador de fase puede contener dos moduladores de Mach-Zehnder controlados o un modulador de Mach-Zehnder con dos controles (*dual drive Mach-Zehnder modulator*).

Además, puede estar previsto que los moduladores de Mach-Zehnder o los moduladores acústico-ópticos se usen como conformadores de pulso, que delante de los conformadores de pulso se encuentre un divisor de haz y después un acoplador, en una rama delante del acoplador esté dispuesto un modulador de fase y en una rama esté contenida una línea de retardo óptico.

Sin embargo, el conformador de pulso con modulador de fase también puede estar realizado de manera que el conformador de pulso con modulador de fase contenga un generador de alta frecuencia con un modulador de fase o que la alta frecuencia se genere con un procedimiento equivalente con fase conmutable, que en el conformador de pulso con modulador de fase en el lado de entrada además esté presente un divisor de haz y el lado de salida un acoplador, en estas ramas respectivamente un modulador acústico-óptico con compuerta aguas arriba y, opcionalmente, en una rama una línea de retardo óptico.

Así, en el sentido de una segunda forma de realización, el núcleo de la invención es que puede reconstruirse el entorno acústico de una fibra de vidrio, que esto se posibilita mediante un equipamiento óptico particularmente simple y económico, que es fundamentalmente sin ajuste, lo cual se refiere al ajuste de la polarización y también al ajuste de tensiones y corrientes de compensación eléctricas.

Los dispositivos correspondientes al procedimiento de acuerdo con la invención están contenidos en las reivindicaciones 14 a 23.

### Breve descripción de las figuras

Para explicar mejor la invención, en la siguiente parte de la descripción se hace referencia a las figuras, a partir de las cuales pueden deducirse configuraciones, detalles y perfeccionamientos ventajosos adicionales de la invención. Muestran:

- Figura 1 una representación esquemática de la primera variante de realización con pulsos de luz individuales,
- Figura 2 un pulso de luz respecto a la fig. 1,
- Figura 3 una combinación de instantes de exploración respecto a la fig. 1,
- 30 figura 4 una combinación de instantes de exploración respecto a la fig. 1 con dos resultados de medición demasiado débiles,
- Figura 5 una posible forma de realización del receptor directo en cuadratura de dos polarizaciones de la fig. 1,
- Figura 6 otra posible forma de realización del receptor directo en cuadratura de dos polarizaciones de la fig. 1,
- Figura 7 una representación esquemática de la segunda variante de realización con pulsos dobles,
- 35 Figura 8 un pulso doble esquemático respecto a la fig. 7,
- Figura 9 el transcurso de la intensidad del campo óptico del pulso doble de la fig. 8, estando representado de manera ampliada no a escala la duración del período óptico para la aclaración,
- Figura 10 una posible forma de realización del conformador de pulso y modulador de fase en la fig. 7,
- Figura 11 el control de acuerdo con la fig. 10,
- 40 Figura 12 otra posible forma de realización del conformador de pulso y modulador de fase en la fig. 7,
- Figura 13 una tercera posible forma de realización del conformador de pulso y modulador de fase en la fig. 7,
- Figura 14 una cuarta posible forma de realización del conformador de pulso y modulador de fase en la fig. 7,
- Figura 15 una quinta posible forma de realización del conformador de pulso y modulador de fase en la fig. 7.

### Realización de la invención

45 La fig. 1 muestra un láser 10 y un conformador de pulso (*pulse shaper*) 21, que se controla por un generador de pulso (*pulse generator*) 20. Se genera un pulso óptico individual del ancho del pulso  $\tau_w$ , que se repite con el período T. La potencia del pulso óptico de la luz, que puede encontrarse en el intervalo visible o infrarrojo, está representada en la fig. 2 dependiendo del tiempo.

Este pulso de luz se transmite en una fibra óptica 30. De esta fibra 30, se refleja constantemente mediante retrodispersión de Rayleigh una parte como eco de luz S. Un elemento direccional 31 disocia el eco de luz S, así, la luz retrodispersada, del pulso de luz original. El eco de luz S se combina con un oscilador local LO en un receptor óptico directo en cuadratura de dos polarizaciones (*optical dual polarization quadrature direct conversion RX*) 41 y se convierte en señales eléctricas. Estas son la señal en fase  $I_x$  y la señal en cuadratura  $Q_x$  de un plano de polarización

(polarización x) y la señal en fase  $I_y$  y la señal en cuadratura  $Q_y$  del otro plano de polarización ortogonal respecto a la primera polarización (polarización y).

5 En los miembros de muestreo y retención (S/H) 91 a 94, las cuatro señales eléctricas se exploran en varios tiempos predeterminados después del pulso generado por el generador de pulso 20. Los valores se almacenan en memorias 111 a 114. El tiempo entre el envío del pulso y el instante de exploración corresponde al tiempo de tránsito del pulso en la fibra 30 hasta el lugar de reflexión y de regreso. Por el instante de exploración está determinado así el lugar de reflexión. Ahora se consideran las señales de dos instantes de exploración  $T_1$  y  $T_2$  y dos lugares de reflexión  $Z_{refl}(T_1)$  y  $Z_{refl}(T_2)$  asociadas. Esto corresponde a una sección de monitorización.

10 Desde el lugar 1 más cercano, los componentes de señal en fase y en cuadratura se reciben en ambas direcciones de polarización  $I_{1x}Q_{1x}/I_{1a}$  y  $Q_{1a}$ . Desde un lugar 2 más alejado, las señales  $I_{2x}$ ,  $Q_{2x}$ ,  $I_{2y}$  y  $Q_{2y}$  se reciben de la misma manera. Estos cuádruples de medición se suministran a una comparación de fases y a una multiplicación de amplitud en una red de multiplicación y adición-sustracción 100. De ello se forma, según las siguientes ecuaciones, una señal en cuadratura combinada con los componentes  $I_{12}$  y  $Q_{12}$  en la salida de la red de adición-sustracción 100:

$$I_{12} = Re \left( (I_{1x} + i \cdot Q_{1x}) \cdot (I_{2x} - i \cdot Q_{2x}) + (I_{1y} + i \cdot Q_{1y}) \cdot (I_{2y} - i \cdot Q_{2y}) \right) \quad Ec. (1)$$

$$15 \quad Q_{12} = Im \left( (I_{1x} + i \cdot Q_{1x}) \cdot (I_{2x} - i \cdot Q_{2x}) + (I_{1y} + i \cdot Q_{1y}) \cdot (I_{2y} - i \cdot Q_{2y}) \right) \quad Ec. (2)$$

correspondiendo la señal en cuadratura combinada a la parte real y a la parte imaginaria de la solución representada entre paréntesis.

20 Cuando se representa a partir de los componentes  $I_{12}$  y  $Q_{12}$  tal como en la solución representada entre paréntesis en el plano de números complejos, entonces el argumento de este número complejo es proporcional a la presión acústica en la fibra 30 en la sección de monitorización  $Z_{refl}(T_1)$  y  $Z_{refl}(T_2)$ . La magnitud del vector corresponde a la calidad de la señal.

25 A partir de una pluralidad de señales en cuadratura combinadas, se recupera el entorno acústico de la fibra 30 mediante un procesamiento de señal 150. Para ello, se modifican el instante de exploración inicial  $\tau_1$  y el instante de exploración final  $\tau_2$  y se usa el eco de varios pulsos transmitidos. La información evaluada 160 contiene, por ejemplo, la presión acústica en varios lugares a lo largo de la fibra de vidrio y en el entorno de la fibra de vidrio.

30 Un ejemplo de posibles combinaciones del instante de exploración inicial y del instante de exploración final está representado en la fig. 3. El intervalo temporal está introducido en campos cuadrados y corresponde a diferentes longitudes de las secciones de monitorización. En las diagonales están representadas de manera encuadrada en negra combinaciones con la misma longitud de la sección de monitorización. Con estos,  $\tau_2 - \tau_1$  es constante. El número total de combinaciones posibles con instantes de exploración seleccionados independientemente entre sí es significativamente mayor que de aquellos con diferencia de tiempo constante, aunque en el ejemplo representado se usan los mismos, así, igual número de, elementos de datos de exploración original.

35 La fig. 4 muestra un ejemplo de la situación cuando algunos datos de exploración presentan amplitudes demasiado pequeñas y, por este motivo, no se pueden utilizar. Estos, en comparación con la fig. 3, no están marcados en la fig. 4. Puede reconocerse que queda una pluralidad de datos útiles. Mejores datos finalmente resultan en una mejor relación señal/ruido.

40 El receptor óptico de este ejemplo puede realizarse de distinta manera. En la fig. 5, está mostrado el uso de un híbrido óptico de 90 grados de dos polarizaciones (*dual polarization 90 deg hybrid*) comercial 42. El híbrido 42 superpone la polarización x de la señal luminosa retrodispersada con el oscilador local LO con desplazamiento de fase adicional de 0 y 180 grados, lo cual se suministra al primer fotodetector diferencial DPD 51. Del mismo modo, la polarización x de la señal luminosa retrodispersada con el oscilador local LO se superpone con un desplazamiento de fase adicional de 90 y 270 grados y se suministra a un segundo fotodetector diferencial DPD 52. Lo mismo sucede de manera análoga para la polarización y de la señal luminosa retrodispersada y el tercer y cuarto fotodetector diferencial (DPD) 53, 54. Con ello, se producen cuatro señales eléctricas. Estas se limitan en banda en los filtros de paso bajo (LPF) 81 a 84 y se exploran en los circuitos de muestreo y retención (S/H) 91 a 94. La exploración ya está representada en la fig. 1 y se lleva a cabo en varios tiempos predeterminados, que se predeterminan por un generador de pulso. Los filtros de paso bajo 81-84 llevan a cabo una limitación de banda a un poco más de la mitad de la frecuencia, que corresponde a la distancia más pequeña entre dos instantes de exploración.

50 Otra variante de realización aprovecha un acoplador óptico de 3x3, tal como se describe, por ejemplo, en Takushima *et al.*, "Measurement of Differential Phasor Diagram of Multilevel DPSK Signals by Using an Adjustment-Free Delay Interferometer Composed of a 3x3 Optical Coupler", IEEE Journal of Lightwave Technology vol. 27 n.º 6, (2009) pág.

718-730. Esta variante de realización está representada en la fig. 6. La luz retrodispersada se divide por un divisor de polarización 43 en polarización x e y, y se alimenta a dos acopladores ópticos de 3x3 45 y 46 (una entrada permanece sin usar). La luz del láser sirve como oscilador local LO y se divide a través del acoplador 44 y se suministra a ambos acopladores de 3x3 45, 46. En las tres fibras de salida de los acopladores 45 y 46 están conectados fotodetectores (PD) 61 a 66.

Las señales eléctricas de los fotodetectores (PD) 61 a 63, que evalúan la polarización x de la luz retrodispersada, se proyectan en la matriz 71 en componentes que son proporcionales al coseno y al seno de la diferencia de fase entre el componente de luz retrodispersada en polarización x y la luz del oscilador local LO. Estos son el componente de señal en fase  $I_x$  y el componente de señal en cuadratura  $Q_x$ . Luego, como en la figura 5, siguen de nuevo los filtros de paso bajo 81 y 82 y los circuitos de muestreo y retención 91 y 92.

La matriz 71 también se puede disponer después de los filtros de paso bajo 81, 82 y también después de los miembros de muestreo y retención 91, 92, que luego se ejecutan si es necesario tres veces en lugar de dos veces.

Una variante de realización adicional de la matriz 71 es aquella en la que la suma de las tres señales del fotodetector se forma adicionalmente para posibilitar posteriormente una corrección de simetría del acoplador de 3x3 45 y de los fotodetectores 61-63.

Del mismo modo, la polarización y de la luz retrodispersada se convierte en un componente de señal en fase  $I_y$  y un componente de señal en cuadratura  $Q_y$  por medio del segundo acoplador óptico de 3x3 46, fotodetectores 64-66, matriz 72, filtros de paso bajo 83, 84 y miembros de muestreo y retención 93, 94.

Con un segundo ejemplo de realización, se logra un bajo costo a causa del procesamiento previo en el lado del transmisor y la interferencia en la fibra del sensor, la propia fibra óptica 30. La particularidad se encuentra la manipulación de fase de la segunda mitad de un pulso doble en comparación con la primera mitad. En el lado del receptor, se recupera una señal analítica. Con ello, se obtiene una detección múltiple que es equivalente a una detección en un interferómetro con varios desplazamientos de fase. El ancho de banda alcanza solo hasta un cuarto de la frecuencia del pulso en lugar de hasta la mitad de la frecuencia del pulso; en el caso del doble de la frecuencia del pulso, el procedimiento es equivalente.

Una ventaja particular del segundo procedimiento es que se suprime un ajuste de compensación, puesto que una compensación en el bloqueo de corriente continua se suprime al restablecer la señal analítica. Incluso con este procedimiento, no es necesario ningún ajuste de polarización, puesto que en el lado del transmisor solo se produce una polarización, que puede guiarse en fibras que mantienen la polarización.

En la fig. 7 está representada una disposición para la realización del segundo procedimiento que comprende pulsos dobles con modulación de fase. Se genera un pulso doble a partir de un rayo láser coherente del láser 10 por medio de un conformador de pulso y modulador de fase (*pulse shaper and  $\phi$  mod*) 22, que se controla por un generador de pulso (*pulse generator*) 20, y se introduce en la fibra óptica 30. Los dos pulsos del pulso doble se diferencian por que un pulso de ambos está modulado en fase. Si se parte de la base de que el pulso doble se repite con el período T, entonces la modulación de fase de pulso doble a pulso doble es diferente. El pulso doble se propaga a lo largo de la fibra 30, el segundo pulso sigue al primer pulso en una distancia espacial. El doble pulso se refleja ininterrumpidamente por la dispersión de Rayleigh en la fibra 30. Una reflexión del primer pulso en un lugar que está más alejado de la mitad de la distancia espacial entre los pulsos desde el lugar en el cual se refleja el segundo pulso superpone la reflexión del segundo pulso. De este modo, se forma un interferómetro. Se forma una pluralidad de interferómetros al absorberse la luz retrodispersada varias veces después de cada doble pulso transmitido. Cada uno de los interferómetros corresponde a una sección determinada de la fibra 30.

El doble impulso generado por el conformador de pulso y el modulador de fase (*pulse shaper and  $\phi$  mod*) 22, que se repite con el período T, está representado en la fig. 8, la modulación de fase está representada en la fig. 9, permaneciendo constante la forma del pulso, así, la curva envolvente. El conformador de pulso y modulador de fase 22 puede realizarse mediante un denominado modulador QPSK óptico, un modulador QAM o mediante una combinación de un modulador de fase y un modulador optoacústico. Como alternativa, puede usarse un modulador optoacústico con una señal de control eléctrico que adicionalmente está modulada en fase.

El conformador de pulso y modulador de fase 22 genera un pulso doble con la duración  $\tau_w$  y el intervalo temporal  $\tau_d$  entre los dos pulsos del pulso doble. El primer y el segundo pulso se transmiten con un desplazamiento de fase  $A_{\phi TX}$  relativo que se modifica con cada repetición del pulso doble después del período T. Las fases de los pulsos están marcadas debajo de los respectivos pulsos en la fig. 8.

La fig. 9 muestra la intensidad del campo óptico de los pulsos de la fig. 8 esquemáticamente a lo largo del tiempo. Al mismo tiempo después del comienzo del pulso, la fase del campo óptico en la primera mitad del pulso es siempre la misma, mientras que en la segunda mitad del pulso se mueve hacia delante por  $\pi/2$  de pulso a pulso.

En la fibra 30, se reflejan los pulsos por la dispersión de Rayleigh en las inhomogeneidades estadísticas de la fibra. Reflexiones de lugares que están separados uno del otro por una distancia  $\frac{v_g \cdot t_d}{2}$  se superpondrán en su retroceso.  $V_g$  es la velocidad del grupo.

5 Un elemento direccional 31 disocia la luz retrodispersada. El elemento direccional 31 puede estar configurado como acoplador óptico o como circulador. La potencia óptica de las reflexiones combinadas se convierte en una señal eléctrica en el fotodetector (PD) 68. Un miembro de muestreo y retención (S/H) 91 separa las señales reflejadas de distintos lugares de reflexión discretos en la fibra 30 a causa del tiempo de llegada. La sección entre los lugares de reflexión establece la sección de monitorización.

Por la variación de  $\Delta\varphi_{TX}$ , aplicándose

10 
$$\Delta\varphi_{TX}(k) = k \cdot \frac{\pi}{2} \quad \text{Ec. (3)}$$

y siendo k el índice que cuenta las repeticiones de pulso, el interferómetro formado en la fibra 30 se desintoniza en 90 grados de pulso doble a pulso doble. Después de cuatro repeticiones de pulso, se ha llegado de nuevo a la misma fase, puesto que modificaciones de fase de 360 grados son equivalentes a ninguna modificación de fase.

15 Mediante la duración del período de 4T se produce un desplazamiento de frecuencia de  $\frac{1}{4.7}$ . Según el teorema de exploración de Shannon, pueden detectarse modificaciones de la frecuencia 0 hasta la mitad de la frecuencia de exploración, en el caso concreto, frecuencias de hasta una distancia de hasta  $\frac{1}{4.7}$  en la frecuencia portadora  $\frac{1}{4.7}$ .

20 Como alternativa, la modificación de  $\Delta\varphi_{TX}$  puede transmitirse en etapas más pequeñas o más grandes, lo cual, sin embargo, da como resultado un ancho de banda detectable más pequeño, puesto que entonces se alcanza antes o bien el límite inferior en el caso de la frecuencia 0 o bien el límite superior en el caso de la mitad de la frecuencia de exploración.

Se almacenan los valores de exploración de un número suficiente de pulsos dobles consecutivos. En los siguientes párrafos hasta la descripción del procesamiento de señal 150, solo se consideran aquellos valores de exploración que pertenecen a la misma sección de monitorización.

25 A partir de estos valores de exploración relacionados, se forma una señal analítica en una unidad 121 para recuperación de señal analítica con bloqueo de corriente continua (*analytic signal recovery and DC block*). En la teoría de señales, una señal analítica es una señal de tiempo de valor complejo cuya parte imaginaria es la transformada de Hilbert de la parte real. La denominación analítica expresa que la función es diferenciable en el complejo.

30 En esta forma de realización de acuerdo con la invención, también se elimina el componente de corriente continua que corresponde a la luz que no interfiere y las tensiones o compensaciones de corriente continua. En el caso de la formación de la señal analítica, por ejemplo, mediante una transformación de Hilbert, se trata ya de un filtro de tiempo discreto con una longitud de bloque determinado. El componente de corriente continua puede eliminarse fácilmente al restarse de cada valor del bloque de datos, que se consulta para formar la señal analítica, el valor medio de todos los valores del bloque de datos.

35 La señal analítica consta de la parte real  $I'_{12}$ , que se denomina componente en fase, y de la parte imaginaria  $Q'_{12}$ , que se denomina componente en cuadratura. Esta señal analítica se libera nuevamente desde la rotación de fase  $\Delta\varphi_{rx}$  en un convertidor descendente (*Down conv.*) 122. Con ello, se produce la señal en cuadratura combinada con los componentes  $I_{12}$  y  $Q_{12}$ :

$$I_{12} = \text{Re} \left( (I'_{12} + i \cdot Q'_{12}) \cdot \exp(-i \cdot \Delta\varphi_{TX}) \right) \quad \text{Ec. (4)}$$

40 
$$Q_{12} = \text{Im} \left( (I'_{12} + i \cdot Q'_{12}) \cdot \exp(-i \cdot \Delta\varphi_{TX}) \right) \quad \text{Ec. (5)}$$

A partir de una pluralidad de señales en cuadratura combinadas, se recupera el entorno acústico de la fibra mediante el procesamiento de señal (*Signal proc.*) 150. La información evaluada 160 contiene, por ejemplo, la presión acústica en varios lugares a lo largo de la fibra de vidrio y en el entorno de la fibra de vidrio.

45 En la fig. 10 está representado un conformador de pulso óptico y un modulador de fase 22, tal como se usa habitualmente para generar QPSK óptica o QAM óptica. El modulador 23 es un componente electrónico que, mediante dos moduladores de Mach-Zehnder, forma los componentes de señal óptica con un desplazamiento de fase relativo de  $\pi/2$ . El modulador funciona con una tensión de polarización a la que no se deja pasar ninguna luz.

Mediante el control de los dos moduladores de Mach-Zehnder con la señal en fase 24 y la señal en cuadratura 25, se pueden generar pulsos y seleccionar la fase óptica de los pulsos.

Un tal control está representado en la fig. 11. Al seleccionar la tensión de control en la entrada en fase I y en la entrada en cuadratura Q, se pueden formar pulsos de luz con fase arbitraria. En la parte superior de la imagen, están representados ejemplos de vectores que tienen entre sí la posición de fase 0,  $\pi/2$ ,  $\pi$  y  $3\pi/2$ . Estos vectores representan la luz generada en amplitud y fase. La secuencia temporal de las señales de control I y Q está representada en la parte inferior de la imagen. La primera mitad de los pulsos dobles siempre tiene la misma posición de fase, mientras que la segunda mitad de los pulsos dobles tiene una posición de fase creciente en  $\pi/2$ .

Como alternativa a la fig. 10, puede usarse un único modulador de Mach-Zehnder con dos controles 215 como conformador de pulso óptico y un modulador de fase 22. Esto está representado en la fig. 12. Mediante los pulsos en sentido opuesto en los controles 216 y 217, se deja pasar un pulso de luz y, mediante una tensión de polarización en el mismo sentido de los controles 216 y 217, se ajusta la fase del pulso de luz.

Como segunda alternativa a la fig. 10, puede usarse un modulador de fase 210 y un conformador de pulso 211. Esto está representado en la fig. 13. Con la señal de fase 213, la fase del segundo pulso de pulso doble a pulso doble se adelanta en  $\pi/2$ . Los pulsos se forman con la señal de compuerta 214.

Como alternativa adicional a las fig. 10, 12 y 13, el conformador de pulso óptico y un modulador de fase 22 también se pueden formar mediante una disposición de dos ramas, tal como está representado en la fig. 14. La luz láser se divide por un acoplador o un divisor de haz 26 en dos ramas, que se juntan nuevamente con un acoplador 27. En una rama se encuentra un modulador de fase 210 y una línea de retardo óptico 28, que provoca un retardo de  $\tau_d$ .

La primera parte del impulso doble se forma por luz que pasa a través de la rama inferior sin modulación de fase y sin retardo y se forma por el conformador de pulso (*pulse shaper*) 212, la segunda parte del impulso doble se forma por la luz que pasa a través del modulador de fase 210, del conformador de pulso 211 y de la línea de retardo 28 en la rama superior. Como alternativa, en lugar de dos conformadores de pulso, también puede usarse un conformador de pulso delante de ambas ramas. También puede prescindirse de la línea de retardo 28 y el conformador de pulso 211 puede controlarse posteriormente en  $\tau_d$ .

El modulador de fase 210 se adelanta en  $\pi/2$  mediante la señal de fase 213 después de cada pulso doble, y la señal de compuerta 214 se suministra desde el generador de pulso 20.

Como alternativa a las fig. 10 y 12-14, el desplazamiento de fase también puede generarse con un modulador acústico-óptico cuyo transductor acústico se alimenta de una señal de alta frecuencia que está influenciada en la fase. Una tal realización está representada en la fig. 15. Un generador de alta frecuencia (*HF Gen.*) 220 genera la frecuencia de la onda acústica. La luz láser se divide en dos ramas mediante un acoplador o un divisor de haz 26 y se vuelve a unir en un acoplador 27. El modulador acústico-óptico (AOM) 225 genera la primera parte del impulso doble. Esto solo se deja pasar si una compuerta 223 suministra la alta frecuencia para la onda acústica en el modulador acústico-óptico 225.

El modulador acústico-óptico 224 en la rama superior recibe nuevamente un pulso de alta frecuencia desde una compuerta, en este caso, 222, modulándose la alta frecuencia eléctrica en la fase en un desfasador eléctrico de alta frecuencia (PM) 221. Por ello, también se modifica la fase óptica de la segunda mitad del pulso, que se desplaza en  $\tau_d$  a través de la línea de retardo 28 óptico.

La fase en la salida del desfasador 221 se adelanta en  $\pi/2$  mediante la señal de fase 213 después de cada pulso doble. La señal de compuerta 214 se suministra desde el generador de pulso 20 y controla las compuertas eléctricas 222 y 223.

En todos los ejemplos de realización del conformador de pulso con modulador de fase 22, la distancia de pulso de los pulsos del pulso doble transmitido  $\tau_d$  se puede variar mediante una señal de compuerta separada o mediante pulsos dobles en la señal de compuerta, dependiendo de si el conformador de pulso se encuentra en dos ramas o en una rama.

Para aumentar la relación de extinción (*extinction*), pueden disponerse varios moduladores ópticos de manera que la luz láser pase a través de ellos uno detrás de otro.

#### Lista de referencias

- |    |   |
|----|---|
| 10 | Láser   |
| 20 | Generador de impulsos ( <i>pulse generator</i> )    |
| 21 | Conformador de pulso óptico ( <i>pulse shaper</i> ) |

## ES 2 763 320 T3

|                     |   |
|---------------------|---|
| 22                  | Conformador de pulso óptico y modulador de fase ( <i>pulse shaper and <math>\varphi</math> mod</i> )                              |
| 23                  | Modulador en cuadratura de Mach-Zehnder   |
| 24                  | Señal de control en fase del modulador  |
| 25                  | Señal de control en cuadratura del modulador  |
| 26                  | Acoplador óptico  |
| 27                  | Acoplador óptico  |
| 28                  | Línea de retardo óptico   |
| 30                  | Fibra óptica (fibra de vidrio)  |
| 31                  | Elemento direccional  |
| 41                  | Receptor óptico directo en cuadratura de dos polarizaciones ( <i>optical dual polarization quadrature direct conversion RX</i> )  |
| 42                  | Híbrido óptico de 90 grados de dos polarizaciones ( <i>dual polarization 90 deg hybrid</i> )                                      |
| 43                  | Divisor de polarización (PBS)   |
| 44                  | Acoplador   |
| 45                  | Primer acoplador óptico de 3x3  |
| 46                  | Segundo acoplador óptico de 3x3   |
| 51                  | Primer fotodetector diferencial (DPD)   |
| 52                  | Segundo fotodetector diferencial (DPD)  |
| 53                  | Tercer fotodetector diferencial (DPD)   |
| 54                  | Cuarto fotodetector diferencial (DPD)   |
| 61-66               | Fotodetector  |
| 68                  | Fotodetector  |
| 7                   | Matriz  |
| 81-84               | Filtro de paso bajo (LPF)   |
| 91-94               | Miembros de muestreo y retención (S/H)  |
| 100                 | Red de multiplicación y de adición-sustracción  |
| 111-                | Memoria   |
| 114                 |   |
| 121                 | Unidad para la recuperación de señal analítica con bloqueo de corriente continua ( <i>analytic signal recovery and DC block</i> ) |
| 122                 | Convertidor descendente ( <i>Down conv.</i> )   |
| 150                 | Procesamiento de señal ( <i>Signal proc.</i> )  |
| 160                 | Información evaluada, presión acústica en varias ubicaciones  |
| 210                 | Modulador de fase óptico  |
| 211                 | Conformador de pulso óptico ( <i>pulse shaper</i> )   |
| 212                 | Conformador de pulso óptico ( <i>pulse shaper</i> )   |
| 213                 | Señal de fase   |
| 214                 | Señal de compuerta  |
| 215                 | Modulador de Mach-Zehnder con dos controles ( <i>dual drive Mach-Zehnder modulator</i> )  |
| 216                 | Primera señal de control de 215   |
| 217                 | Segunda señal de control de 215   |
| 220                 | Generador de alta frecuencia ( <i>HF Gen.</i> )   |
| 221                 | Desfasador eléctrico de alta frecuencia (PM)  |
| 222                 | Primera compuerta   |
| 223                 | Segunda compuerta   |
| 224                 | Modulador acústico-óptico (AOM)   |
| 225                 | Modulador acústico-óptico (AOM)   |
| $I_x$               | Señal en fase del plano de polarización x   |
| $I_y$               | Señal en fase del plano de polarización y   |
| $I_{12}$            | Componente en fase de la señal en cuadratura combinada  |
| $I'_{12}$           | Componente en fase de la señal en cuadratura combinada giratoria  |
| LO                  | Oscilador local   |
| $Q_x$               | Señal en cuadratura del plano de polarización x   |
| $Q_y$               | Señal en cuadratura del plano de polarización y   |
| $Q_{12}$            | Componente en cuadratura de la señal en cuadratura combinada  |
| $Q'_{12}$           | Componente en cuadratura de la señal en cuadratura combinada giratoria  |
| S                   | Eco de luz (señal luminosa retrodispersada)   |
| $T_1$               | Primer instante de exploración  |
| $T_2$               | Segundo instante de exploración   |
| $T_w$               | Ancho de pulso del pulso óptico   |
| $T_d$               | Distancia de pulso de los pulsos del pulso doble óptico   |
| $T (T_1)$           | Período del pulso óptico  |
| $Z_{refl} (T_2)$    | Primer lugar de reflexión   |
| $Z_{refl}$          | Segundo lugar de reflexión  |
| $\Delta\varphi T_x$ | Diferencia de fase entre el primer y el segundo pulso del pulso doble   |

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para medir el entorno acústico de una fibra de vidrio midiendo la longitud del camino óptico de la fibra de vidrio (30) mediante la introducción de una señal luminosa y mediante la evaluación de la señal luminosa retrodispersada en la fibra de vidrio, **caracterizado por que** de la señal luminosa retrodispersada para diferentes secciones de monitorización respectivamente de acuerdo con

$$I_{12} = Re \left( (I_{1x} + i \cdot Q_{1x}) \cdot (I_{2x} - i \cdot Q_{2x}) + (I_{1y} + i \cdot Q_{1y}) \cdot (I_{2y} - i \cdot Q_{2y}) \right)$$

y

$$Q_{12} = Im \left( (I_{1x} + i \cdot Q_{1x}) \cdot (I_{2x} - i \cdot Q_{2x}) + (I_{1y} + i \cdot Q_{1y}) \cdot (I_{2y} - i \cdot Q_{2y}) \right)$$

se forma una señal en cuadratura combinada ( $I_{12}$ ,  $Q_{12}$ ),

10 con  $I_{1x}$ ,  $Q_{1x}$  : componente de señal en fase o en cuadratura de una señal retrodispersada en una ubicación más próxima en una dirección de polarización x,  
 $I_{2x}$ ,  $Q_{2x}$  : componente de señal en fase o en cuadratura de una señal retrodispersada en una ubicación más alejada en la dirección de polarización x,  
 15  $I_{1y}$ ,  $Q_{1y}$  : componente de señal en fase o en cuadratura de una señal retrodispersada en la ubicación más próxima en una dirección de polarización y, y  
 $I_{2y}$ ,  $Q_{2y}$  : componente de señal en fase o en cuadratura de una señal retrodispersada en la ubicación más alejada en la dirección de polarización y,  
 sirviendo la fase de la señal en cuadratura combinada ( $I_{12}$ ,  $Q_{12}$ ) como medida para la presión acústica y sirviendo la amplitud como medida de la calidad de señal.

20 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado**

- **por que** la señal luminosa se genera por un láser (10),
- **por que** una parte de esta luz láser se usa como oscilador local (LO) para la demodulación coherente y la limitación de banda de la señal luminosa retrodispersada, y
- **por que** los componentes ( $I_{12}$ ,  $Q_{12}$ ) de las señales en cuadratura combinadas se forman numéricamente.

25 3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado**

- **por que** la señal luminosa es un pulso de luz periódico,
- **por que**, para las dos polarizaciones de la señal luminosa retrodispersada, se forma respectivamente una señal en cuadratura con respectivamente un componente en fase ( $I_x$ ,  $I_y$ ) y un componente de cuadratura ( $Q_x$ ,  $Q_y$ ),
- **por que** estas se exploran y se almacenan en varios instantes de exploración establecidos, correspondiendo respectivamente dos instantes de exploración a una sección de monitorización de la fibra de vidrio,
- **por que**, para cada polarización, comparando las fases de las dos señales en cuadratura de cada sección de monitorización y multiplicando las amplitudes de las dos señales en cuadratura, se forman numéricamente los componentes de una señal en cuadratura combinada preliminar respectivamente de una polarización,
- **por que** las señales en cuadratura combinadas preliminares de cada polarización se suman y forman una señal en cuadratura combinada ( $I_{12}$ ,  $Q_{12}$ ), y
- **por que**, a partir de una pluralidad de señales en cuadratura combinadas, se reconstruye el entorno acústico de la fibra óptica (30).

4. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado por que** la señal luminosa se genera por medio de un láser (10), el pulso de luz periódico se genera a partir de ello en un conformador de pulso (21) y se conduce hacia la fibra de vidrio (30), desacoplándose la señal luminosa retrodispersada de la fibra de vidrio y alimentándose a un receptor óptico directo en cuadratura de dos polarizaciones (41), almacenándose las señales en fase y en cuadratura generadas allí, y suministrándose a una red de multiplicación y adición-sustracción (100) para formar los componentes de la señal en cuadratura combinada ( $I_{12}$ ,  $Q_{12}$ ).

5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado por que** el receptor directo en cuadratura de dos polarizaciones (41) presenta un híbrido óptico de 90 grados de dos polarizaciones (42), cuyas salidas se guían a través de fotodetectores diferenciales (51-54) y filtros de paso bajo (81-84).

6. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado por que** el receptor directo en cuadratura de dos polarizaciones (41) contiene, tras un divisor de polarización (43) del lado de entrada, dos acopladores ópticos de 3x3 (45, 46), cuyas salidas se guían a través de fotodetectores (61-66), matrices (71,72) y filtros de paso bajo (61-66).

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 6, **caracterizado por que** se forman señales en cuadratura combinadas ( $I_{12}$ ,  $Q_{12}$ ) mediante secciones de monitorización con varias longitudes diferentes.

8. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado**

- 5 - **por que** la señal luminosa es un pulso doble periódico, que consta respectivamente de dos pulsos,
- **por que** uno de los pulsos está modulado en fase con respecto al otro,
- **por que** la potencia de la señal luminosa retrodispersada, que contiene una superposición de ambos pulsos, se explora y se almacena en varios instantes de exploración establecidos ( $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ), correspondiendo cada instante de exploración a una sección de monitorización de la fibra óptica (30),
- 10 - **por que** se forma una señal en cuadratura combinada ( $I_{12}$ ,  $Q_{12}$ ), y
- **por que**, a partir de una pluralidad de señales en cuadratura combinadas, se reconstruye el entorno acústico de la fibra óptica (30).

9. Procedimiento según la reivindicación 8, **caracterizado por que** la señal luminosa se genera por medio de un láser (10), el pulso doble periódico se genera a partir de ello en un conformador de pulso óptico con modulador de fase (22) y se conduce hacia la fibra de vidrio (30), desacoplándose la señal luminosa retrodispersada de la fibra óptica y alimentándose a través de un fotodetector (68) a una memoria, desde la cual, por medio de recuperación de señal analítica con bloqueo de corriente continua y convertidor descendente (121) de acuerdo con

$$I_{12} = Re \left( (I_{1x} + i \cdot Q_{1x}) \cdot (I_{2x} - i \cdot Q_{2x}) + (I_{1y} + i \cdot Q_{1y}) \cdot (I_{2y} - i \cdot Q_{2y}) \right)$$

y

$$20 \quad Q_{12} = Im \left( (I_{1x} + i \cdot Q_{1x}) \cdot (I_{2x} - i \cdot Q_{2x}) + (I_{1y} + i \cdot Q_{1y}) \cdot (I_{2y} - i \cdot Q_{2y}) \right)$$

se generan los componentes de la señal en cuadratura combinada ( $I_{12}$ ,  $Q_{12}$ ).

10. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado por que** el conformador de pulso óptico con modulador de fase (22) contiene dos moduladores controlados de Mach-Zehnder.

25 11. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado por que** el conformador de pulso óptico con modulador de fase (22) contiene un modulador de Mach-Zehnder con dos controles.

12. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado por que** el conformador de pulso óptico con modulador de fase (22) contiene un modulador de fase óptico (210) y al menos un conformador de pulso óptico (211, 212).

13. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado**

- 30 - **por que** el conformador de pulso óptico con modulador de fase (22) contiene un generador de alta frecuencia (220),
- **por que** se modula su fase, y
- **por que** el conformador de pulso óptico con modulador de fase contiene al menos un modulador acústico-óptico (224, 225).

14. Dispositivo para llevar a cabo el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado**

- 35 - **por que** está previsto al menos un elemento direccional (31), con el que una señal luminosa retrodispersada puede desacoplarse de la fibra de vidrio (30), y
- **por que** está prevista al menos una unidad de procesamiento (41, 100; 121, 122) para la señal luminosa retrodispersada, que está configurada para formar la señal en cuadratura combinada ( $I_{12}$ ,  $Q_{12}$ ) de acuerdo con

$$I_{12} = Re \left( (I_{1x} + i \cdot Q_{1x}) \cdot (I_{2x} - i \cdot Q_{2x}) + (I_{1y} + i \cdot Q_{1y}) \cdot (I_{2y} - i \cdot Q_{2y}) \right)$$

40 y

$$Q_{12} = Im \left( (I_{1x} + i \cdot Q_{1x}) \cdot (I_{2x} - i \cdot Q_{2x}) + (I_{1y} + i \cdot Q_{1y}) \cdot (I_{2y} - i \cdot Q_{2y}) \right)$$

con  $I_{1x}$ ,  $Q_{1x}$  : componente de señal en fase o en cuadratura de una señal retrodispersada en una ubicación más próxima en una dirección de polarización x,  
 $I_{2x}$ ,  $Q_{2x}$  : componente de señal en fase o en cuadratura de una señal retrodispersada en una ubicación más

alejada en la dirección de polarización x,

$I_{1y}$ ,  $Q_{1y}$  : componente de señal en fase o en cuadratura de una señal retrodispersada en la ubicación más cercana en una dirección de polarización y, y

5  $I_{2y}$ ,  $Q_{2y}$  : componente de señal en fase o en cuadratura de una señal retrodispersada en la ubicación más alejada en la dirección de polarización y.

15. Dispositivo según la reivindicación 14, **caracterizado**

- **por que** está previsto un láser (10) para generar la señal luminosa,

10 - **por que** el láser (10) está conectado a una unidad de procesamiento (41), de manera que una parte de esta luz láser puede usarse como oscilador local (LO) para la demodulación coherente y la limitación de banda de la señal luminosa retrodispersada, y

- **por que** en otra unidad de procesamiento (100) pueden formarse numéricamente los componentes ( $I_{12}$ ,  $Q_{12}$ ) de las señales en cuadratura combinadas.

16. Dispositivo según la reivindicación 15, **caracterizado**

15 - **por que** está previsto un receptor óptico directo en cuadratura de dos polarizaciones (41), con el cual pueden generarse señales en fase y en cuadratura a partir de la señal luminosa retrodispersada,

- **por que** este está conectado a una red de multiplicación y de adición-sustracción (100) para formar los componentes de la señal en cuadratura combinada ( $I_{12}$ ,  $Q_{12}$ ).

17. Dispositivo según la reivindicación 16, **caracterizado por que** el receptor directo en cuadratura de dos polarizaciones (41) presenta un híbrido óptico de 90 grados de dos polarizaciones (42), cuyas salidas están guiadas a través de fotodetectores diferenciales (51-54) y filtros de paso bajo (81-84).

18. Dispositivo según la reivindicación 16, **caracterizado por que** el receptor directo en cuadratura de dos polarizaciones (41) contiene, tras un divisor de polarización (43) del lado de entrada, dos acopladores ópticos de 3x3 (45, 46), cuyas salidas están guiadas a través de fotodetectores (61-66), matrices (71,72) y filtros de paso bajo (61-66).

25 19. Dispositivo según la reivindicación 14, **caracterizado**

- **por que** está previsto un láser (10) para generar la señal luminosa,

30 - **por que** al láser (10) está posconectado un conformador de pulso óptico con modulador de fase (22) para generar un pulso doble periódico, estando conectado el conformador de pulso óptico con modulador de fase a la fibra de vidrio (30),

- **por que** el elemento direccional (31) está conectado a través de un fotodetector (68) a una recuperación de señal analítica con bloqueo de corriente continua y convertidor descendente (121), con el cual pueden generarse los componentes de la señal en cuadratura combinada ( $I_{12}$ ,  $Q_{12}$ ).

20. Dispositivo según la reivindicación 19, **caracterizado por que** el conformador de pulso óptico con modulador de fase (22) contiene dos moduladores controlados de Mach-Zehnder.

35 21. Dispositivo según la reivindicación 19, **caracterizado por que** el conformador de pulso óptico con modulador de fase (22) contiene un modulador de Mach-Zehnder con dos controles.

22. Dispositivo según la reivindicación 19, **caracterizado por que** el conformador de pulso óptico con modulador de fase (22) contiene un modulador de fase óptico (210) y al menos un conformador de pulso óptico (211, 212).

23. Dispositivo según la reivindicación 19, **caracterizado**

40 - **por que** el conformador de pulso óptico con modulador de fase (22) contiene un generador de alta frecuencia (220),

- **por que** está previsto un modulador de fase (221), con el cual puede modularse la fase del generador de alta frecuencia (220), y

45 - **por que** el conformador de pulso óptico con modulador de fase contiene además al menos un modulador acústico-óptico (224, 225).

FIG 1

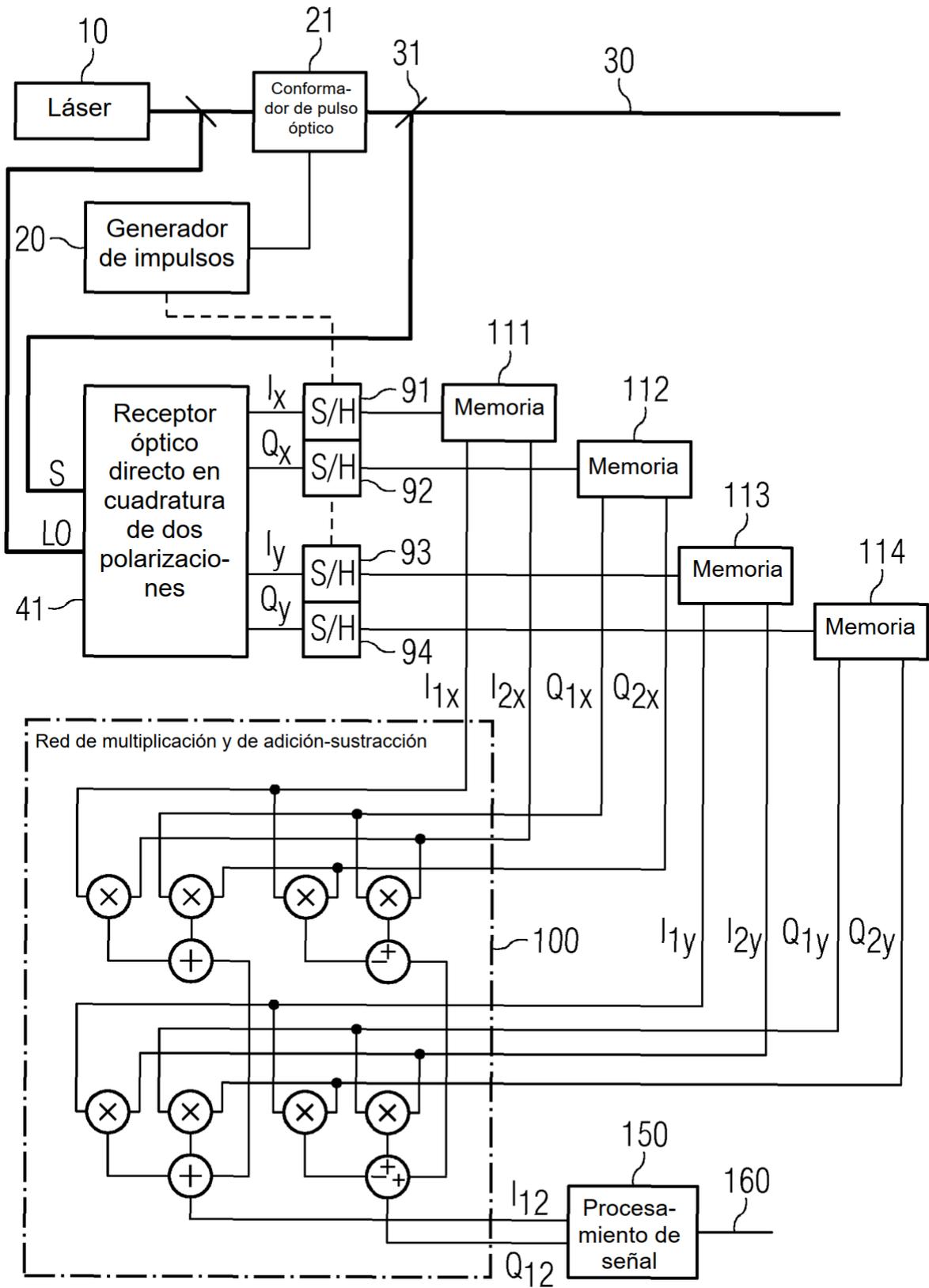


FIG 2

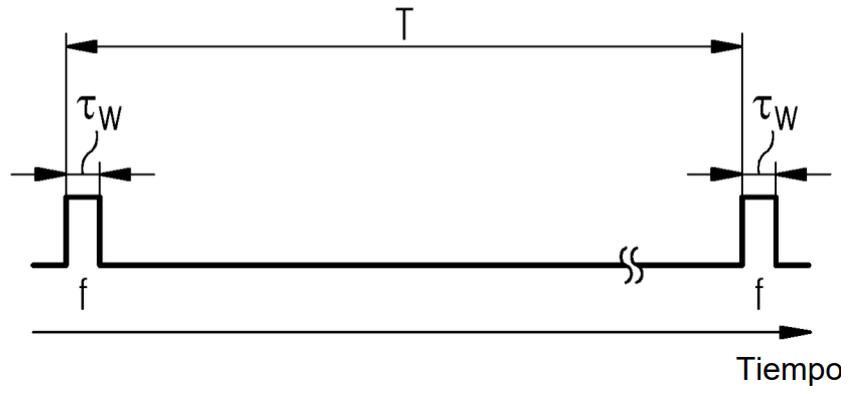


FIG 3

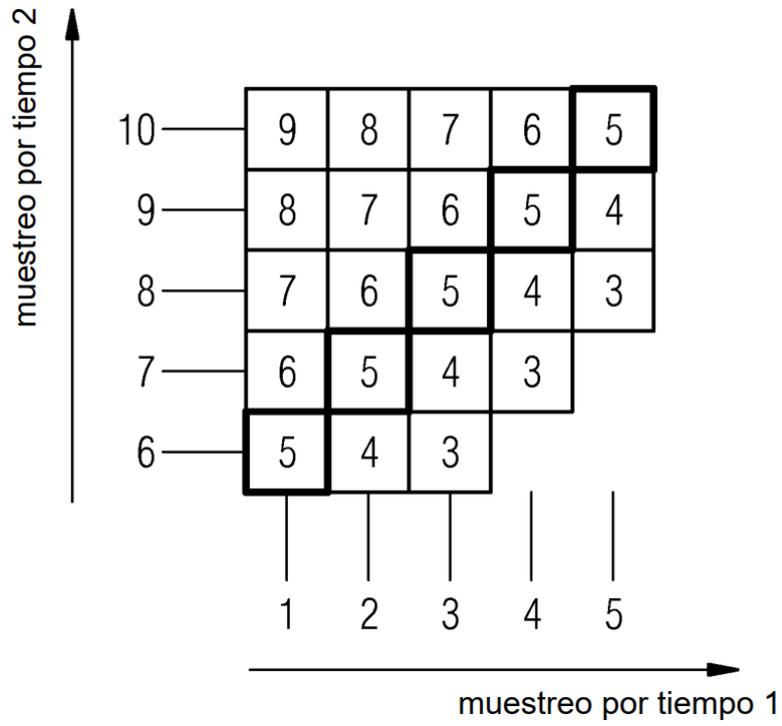


FIG 4

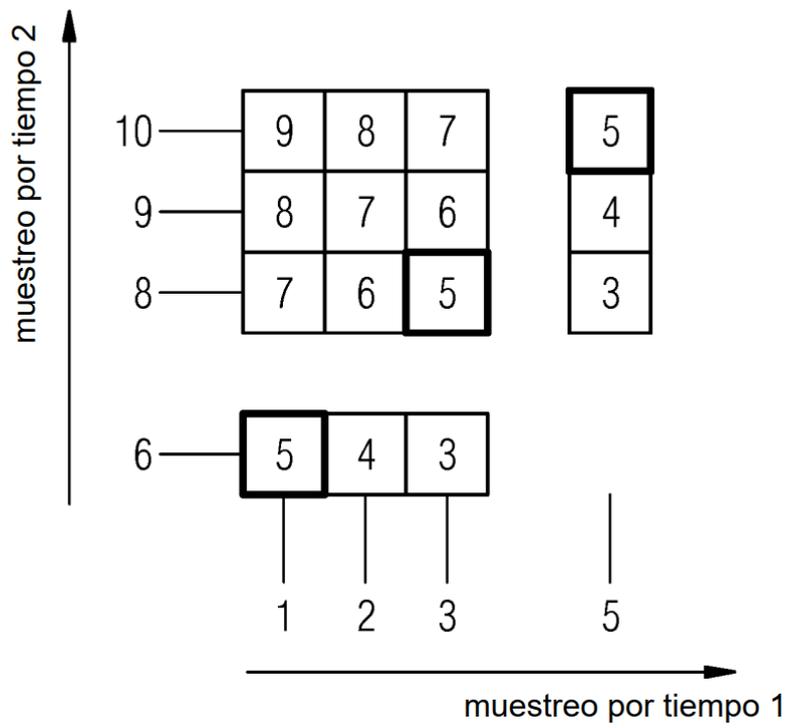


FIG 5

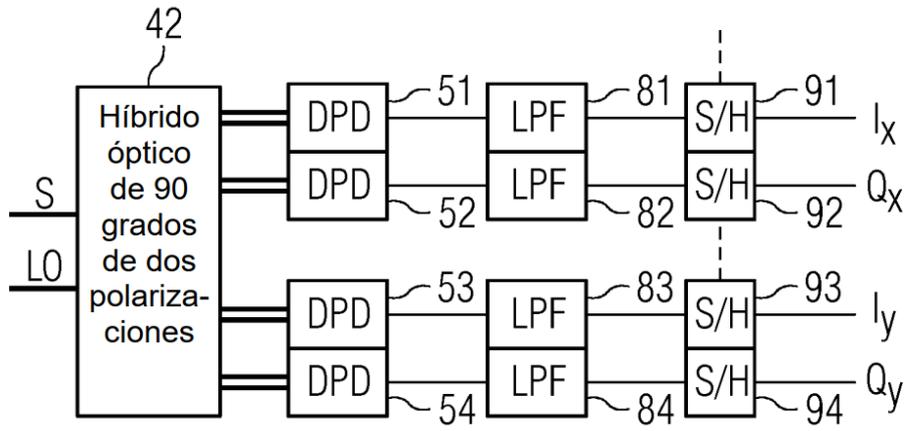


FIG 6

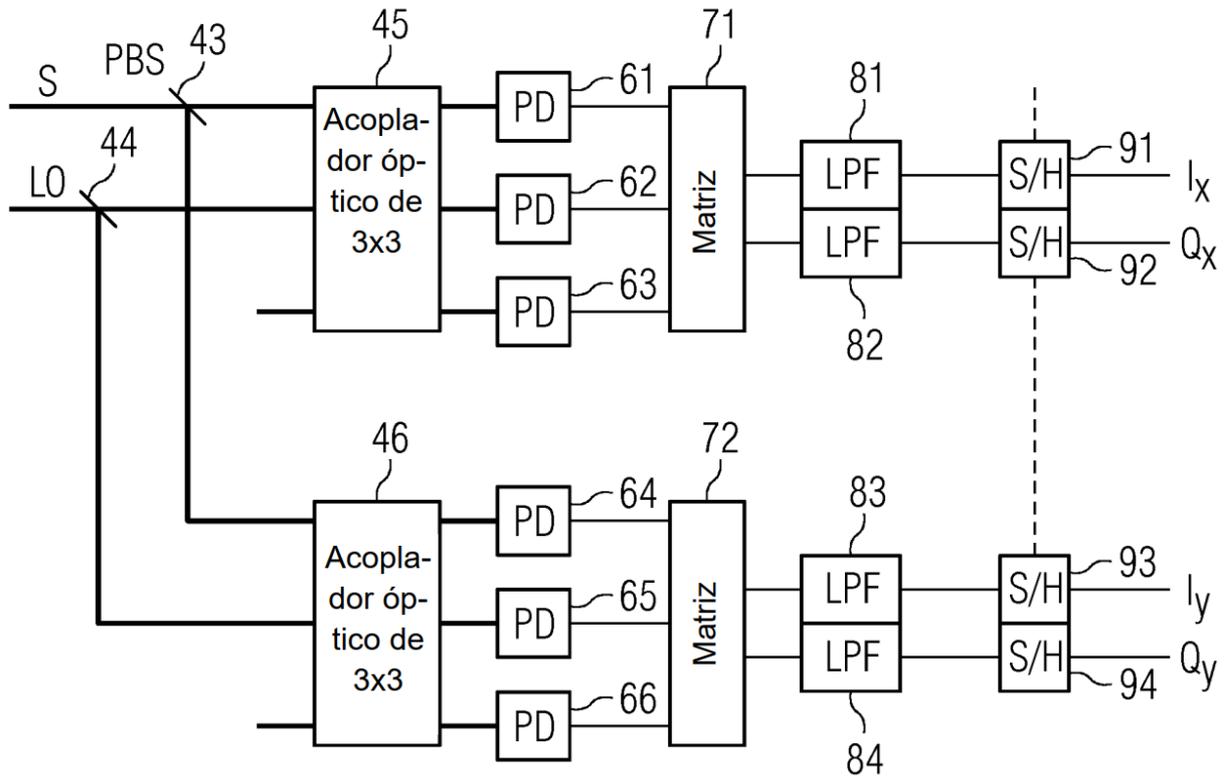


FIG 7

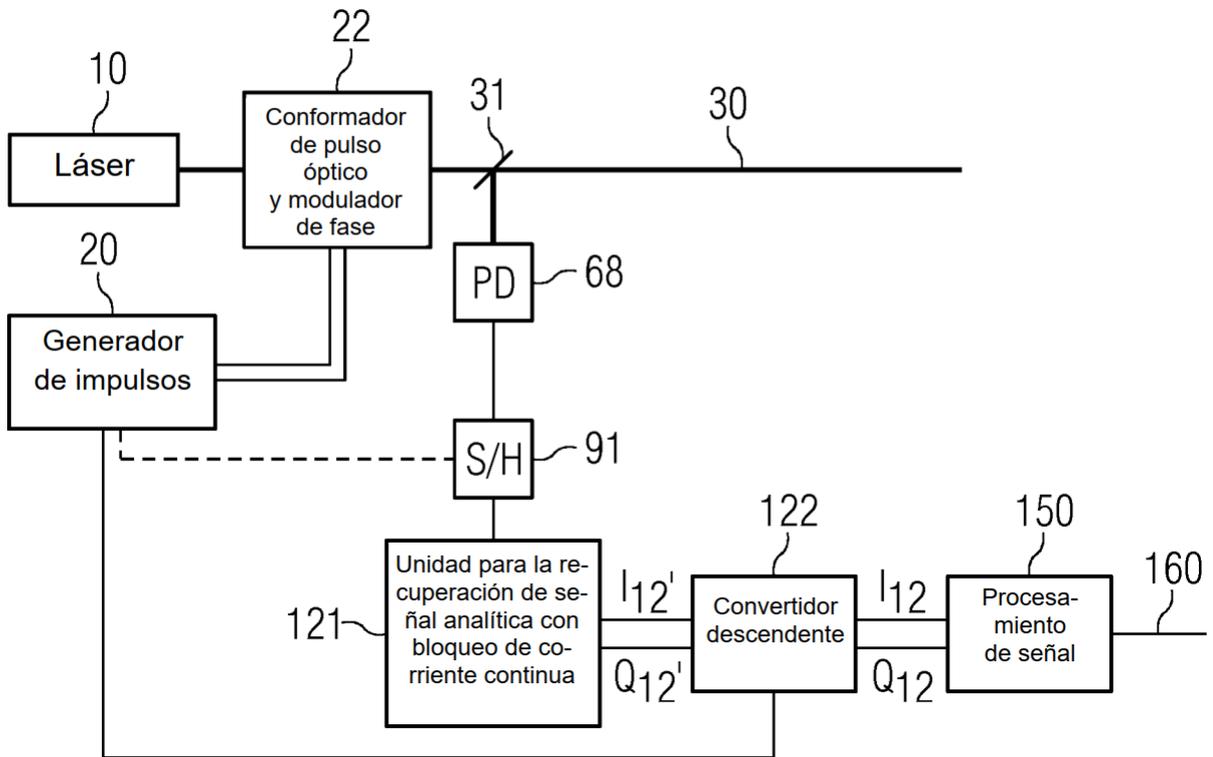


FIG 8

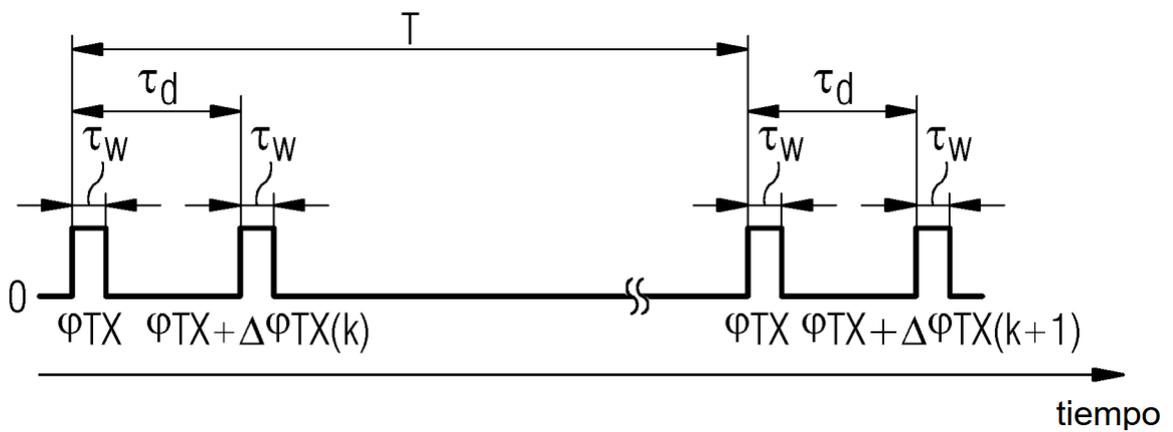


FIG 9

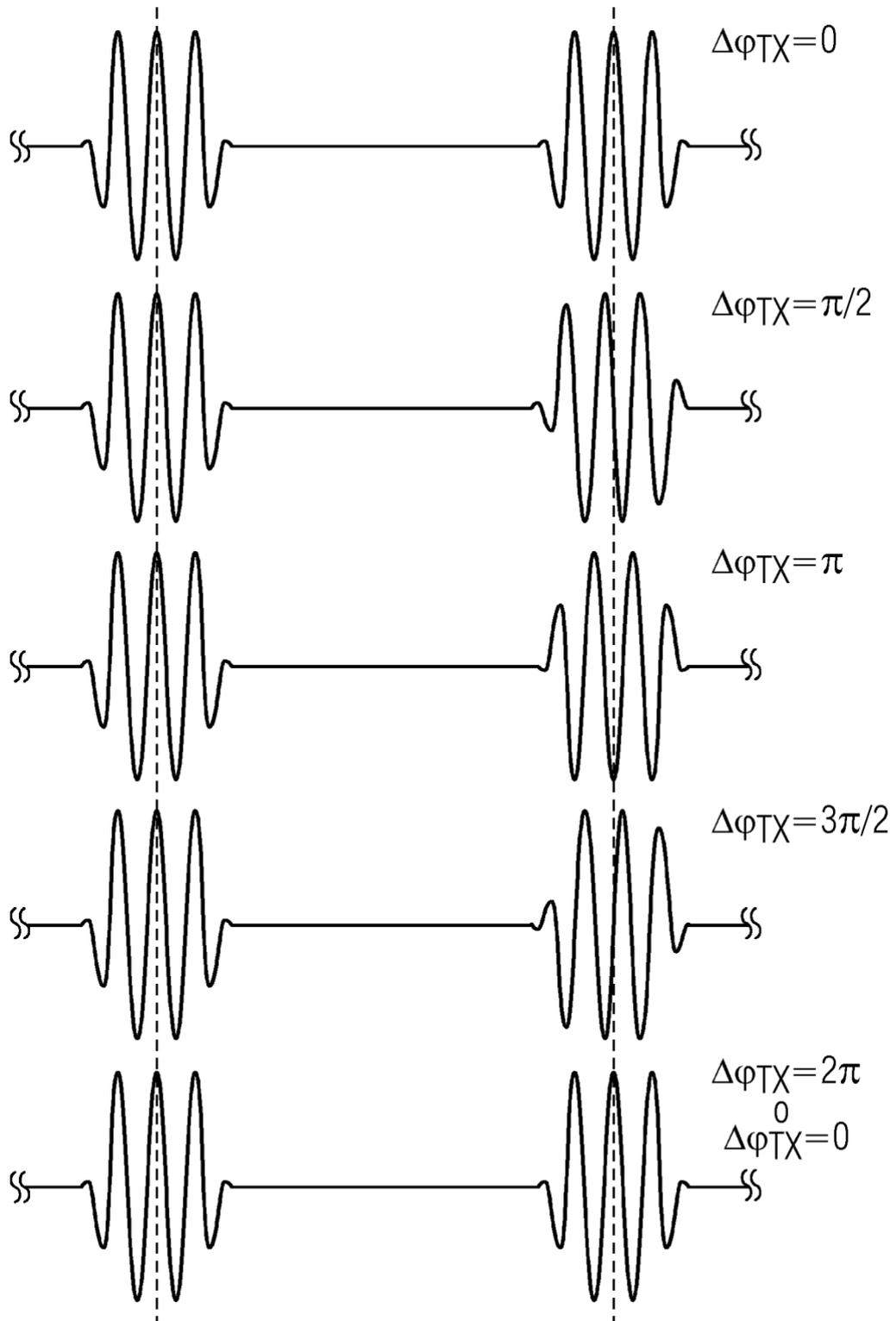


FIG 10

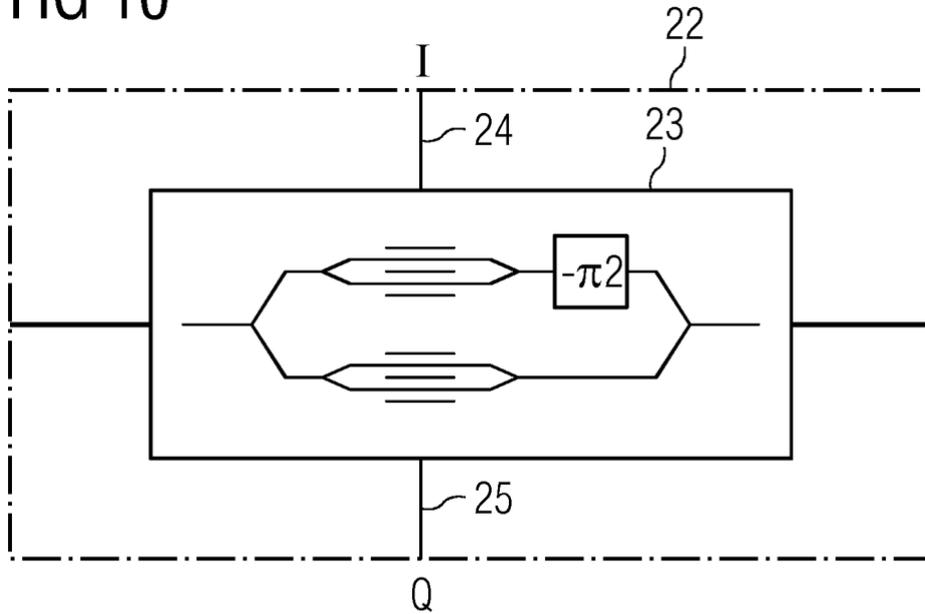


FIG 11

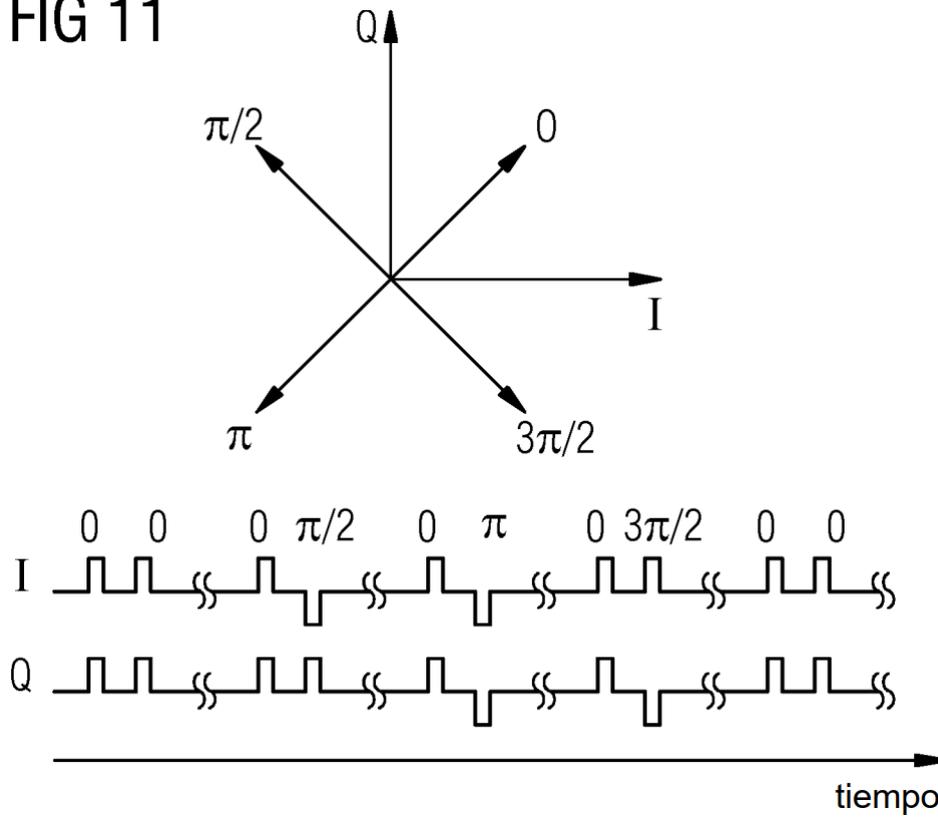


FIG 12

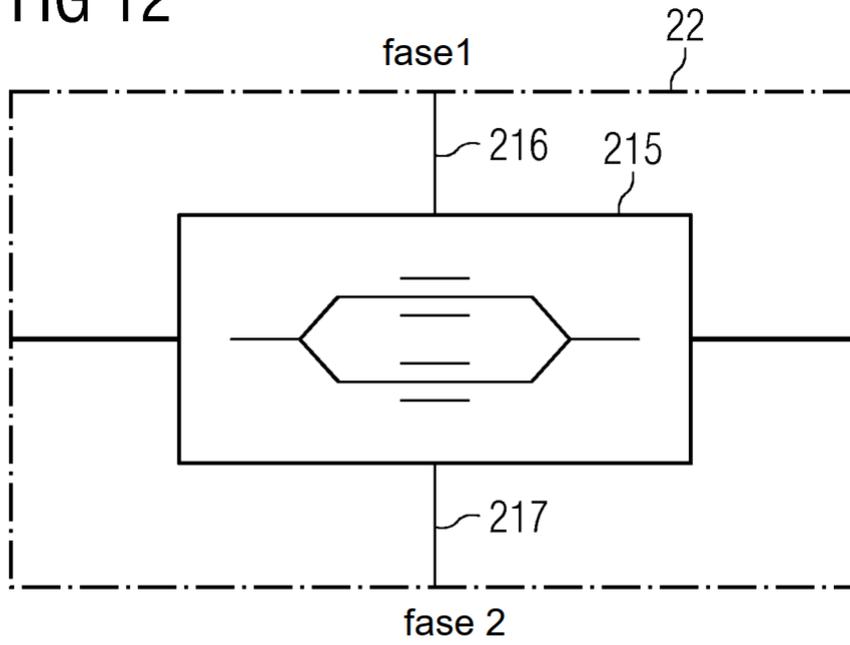


FIG 13

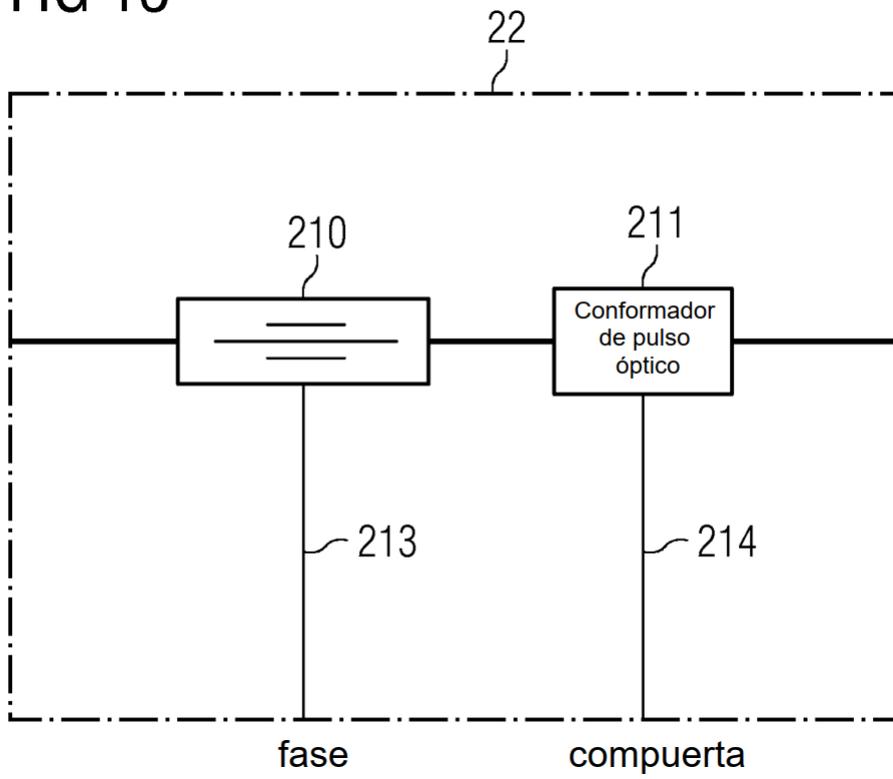


FIG 14

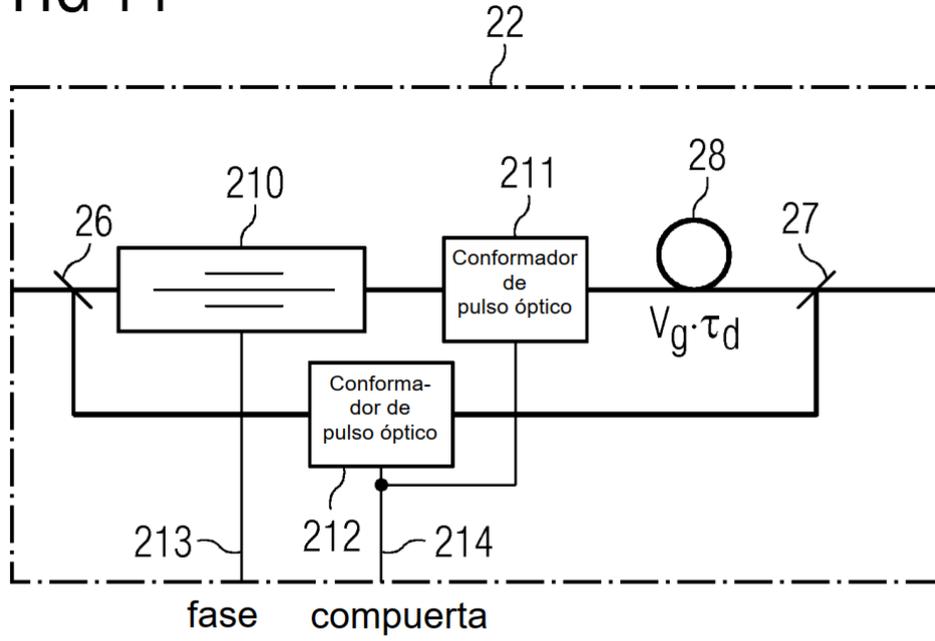


FIG 15

