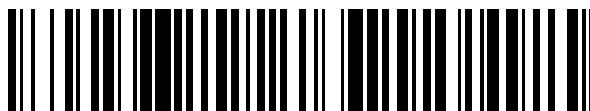


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 730 766**

51 Int. Cl.:

G01D 5/353

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.07.2016** **E 16181077 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019** **EP 3139133**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento para la medición resuelta localmente de temperatura y/o dilatación mediante dispersión de Brillouin**

30 Prioridad:

02.09.2015 DE 102015114670

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.11.2019

73 Titular/es:

**NKT PHOTONICS GMBH (100.0%)
Schanzenstrasse 39, Gebäude D9-D13
51063 Köln, DE**

72 Inventor/es:

**DR. HILL, WIELAND;
DIPL.-ING. RATH, ALEXANDER y
DIPL.-PHYS. MARX, BENJAMIN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 730 766 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

Dispositivo y procedimiento para la medición resuelta localmente de temperatura y/o dilatación mediante dispersión de Brillouin

La presente invención se refiere a un dispositivo y un procedimiento para la medición resuelta localmente de temperatura y/o dilatación por medio de la dispersión de Brillouin.

La dispersión de Brillouin en fibras ópticas se puede usar para la medición distribuida o resuelta localmente de temperatura y dilatación a lo largo de la fibra óptica, ya que la frecuencia y la amplitud de la dispersión de Brillouin son una función de las magnitudes medidas de temperatura y dilatación (véase para ello: Galindez-Jamioy & López-Higuera, 2012, Brillouin Distributed Fiber Sensors: an Overview and Applications. 2012, 17).

Con frecuencia sólo se mide la frecuencia de Brillouin, que depende de forma muy sensible, por ejemplo, con aproximadamente 1 MHz/°C o 0,05 MHz/με en vidrio de cuarzo, de las magnitudes medidas y se puede determinar de forma muy exacta. Sin embargo, a este respecto existe el problema de separar la influencia de ambas magnitudes medidas.

Una separación de ambas magnitudes medidas es posible en algunos casos por mediciones comparables en fibras ópticas instaladas de forma diferente, como por ejemplo hilos en haz con fibras sueltas o hilos fijos con fibras fijas (véase para ello: Inaudi & Glisic, 2006, Reliability and field testing of distributed strain and temperature sensors, 6167, 61671D-61671D-8). Alternativamente también se pueden usar las mediciones de las frecuencias de Brillouin en fibras con varios picos de Brillouin (véase para ello: Liu & Bao, 2012, Brillouin Spectrum in LEAF and Simultaneous Temperature and Strain Measurement. J. Lightwave Technol., 30(8), 1053-1059) o fibras oligomodo con pocos modos espaciales diferentes (véase para ello: Weng, Ip, Pan, & Wang, 2015, Single-end simultaneous temperature and strain sensing techniques based on Brillouin optical time domain reflectometry in few-mode fibers, Opt. Express, 23(7), 9024-9039) con diferentes dependencias de la frecuencia de temperatura y dilatación para la separación de las magnitudes medidas.

Pero todos estos métodos no se pueden utilizar en general, ya que no siempre están disponibles fibras ópticas apropiadas en la aplicación. Además, el tendido y medición de varias fibras ópticas o de fibras especiales están ligados con un coste elevado.

Otro método para la separación de ambas magnitudes medidas es la medición de la frecuencia y amplitud de uno o varios picos de Brillouin (véase para ello: Parker, Farhadiroushan, Handerek, & Rogers, 1997, Temperature and strain dependence of the power level and frequency of spontaneous Brillouin scattering in optical fibers, Opt. Lett., 22(11), 787-789 así como Maughan, Kee, & Newson, 2001, Simultaneous distributed fibre temperature and strain sensor using microwave coherent detection of spontaneous Brillouin backscatter, Measurement Science and Technology, 12(7), 834). De este modo se obtienen dos magnitudes medidas independientes, a partir de las que se pueden determinar básicamente los dos parámetros físicos buscados. Sin embargo, la dependencia de la amplitud de la temperatura y dilatación es débil y se sitúa, por ejemplo, en aproximadamente 0,3 %/°C. Por tanto, la amplitud se debe medir de forma muy exacta, a fin de conseguir resoluciones y exactitudes de temperatura relevantes de forma práctica de aproximadamente 1 °C.

Un método conocido para la mejora de la exactitud es la comparación de la amplitud de Brillouin con la amplitud de la dispersión de Rayleigh a partir de las mismas fibras (véase para ello: Wait & Newson, 1996, Landau Placzek ratio applied to distributed fibre sensing, Optics Communications, 122, 141-146). Mediante el cálculo de la relación de la amplitud de Brillouin y Rayleigh, que se denomina la relación Landau-Placzek, se puede calcular la influencia de la atenuación de la fibra.

En general no se realiza una medición sencilla de la señal de Brillouin con un filtro óptico y un fotodiodo, ya que las fibras ópticas requeridas para ello y de banda muy estrecha son difíciles de fabricar y no son especialmente estables térmicamente. Además, la medición alternativa de la dispersión de Brillouin con un receptor de superposición óptico puede medir las intensidades de señal más bajas (véase para ello: Maughan, Kee, & Newson, 2001). A este respecto, la señal de dispersión de Brillouin se superpone con una luz láser con la misma frecuencia que el láser que excita la dispersión de Brillouin o con una frecuencia desplazada en algunos GHz (Oscilador Local, LO). El fotorreceptor detecta entonces una señal de superposición con una frecuencia, que se corresponde con la diferencia entre la frecuencia de Brillouin y frecuencia láser o LO. Si se mezcla con el láser excitador, la diferencia de frecuencia para el vidrio de cuarzo se sitúa en aproximadamente 10 GHz. En general esta señal de GHz se mezcla con un oscilador local electrónico, a fin de obtener una diferencia de frecuencia más fácil de medir por debajo de 1 GHz (Shimizu, Horiguchi, Koyamada, & Kurashima, 1994, Coherent self-heterodyne Brillouin OTDR for measurement of Brillouin frequency shift distribution in optical fibers, Lightwave Technology, Journal of, 12(5), 730-736).

Sin embargo, adicionalmente a la atenuación de fibra existe todavía el problema de la dependencia de la polarización de la señal medida. Este problema menoscaba la exactitud de la medición de ambas magnitudes, frecuencia y amplitud. En el caso de la superposición de la señal de Brillouin con un oscilador óptico local sólo se mezcla la fracción

de señal en la diferencia de frecuencia que concuerda con la polarización del oscilador local. De este modo se pierde la señal con otra polarización para la medición. Además, la polarización de la señal de Brillouin se modifica con la transmisión a través de la fibra óptica debido a la doble refracción inducida por tensión en la fibra óptica. Es decir, la amplitud de la componente de polarización medida de la señal de Brillouin varía fuertemente en función de la distancia.

Por consiguiente, debido a esta dependencia de la polarización se dificulta considerablemente una determinación exacta de la amplitud y también se menoscaba la exactitud de la determinación de la frecuencia. Hasta ahora se ha intentado compensar este efecto mediante promediación de mediciones con diferente polarización de láser excitador u oscilador local (véase para ello: Fan, Huang, & Li, 2009, Brillouin-based distributed temperature and strain sensor using the Landau-Placzek Ratio, 7381, 738105-738105-9 así como Song, Zhao, & Zhang, 2005, Optical coherent detection Brillouin distributed optical fiber sensor based on orthogonal polarization diversity reception, Chin. Opt. Lett., 3(5), 271-274). Sin embargo, se requieren muchas promediaciones para una medición hasta cierto punto exacta y el problema de la pérdida de señal no se resuelve de este modo.

Por el documento DE 10 2009 043 546 A1 se conocen un dispositivo y un procedimiento para la medición resuelta localmente de magnitudes mecánicas por medio de la dispersión de Rayleigh. A este respecto se genera una radiación láser por una fuente de luz láser. De la radiación láser una parte se deriva antes de la entrada en una fibra óptica. La fracción de la radiación láser dispersada de vuelta de la fibra óptica debido a dispersión de Rayleigh se deriva por un divisor de haz de polarización y se combina por un acoplador óptico con la fracción derivada de la radiación láser. Las radiaciones combinadas se detectan por un fotodetector y se evalúan por una unidad de procesamiento de datos.

El problema que sirve de base a la presente invención es la creación de un dispositivo y la especificación de un procedimiento del tipo mencionado al inicio, con los que se puedan determinar de forma más sencilla y/o más exacta la temperatura y la dilatación.

Esto se consigue según la invención mediante un dispositivo con las características de la reivindicación 1, así como mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 10. Las reivindicaciones se refieren a configuraciones preferidas de la invención.

Según la reivindicación 1 está previsto que el dispositivo comprenda:

- al menos una fuente de luz láser, que puede generar una radiación láser,
- una fibra óptica usada para la medición, donde se puede acoplar la radiación láser y de la que se pueden desacoplar las señales de Brillouin generadas debido a la dispersión de Brillouin,
- medios sensores, que pueden detectar las señales de Brillouin desacopladas,
- medios de evaluación, que a partir de las señales de Brillouin detectadas pueden determinar de forma resulta localmente la temperatura y/o dilatación al menos de las secciones de la fibra óptica,
- al menos un divisor de haz de polarización óptico, que puede escindir las señales de Brillouin desacopladas en dos componentes con polarizaciones distintas entre sí,
- dos acopladores ópticos, que pueden mezclar con polarización correcta con cada una de las dos componentes de la señal de Brillouin separadas por el al menos un divisor de haz de polarización óptico respectivamente una componente polarizada linealmente de una radiación láser.

A este respecto puede estar previsto que los medios sensores puedan detectar las dos componentes por separado entre sí. En particular, en un dispositivo según la invención, la señal de Brillouin se escinde en dos componentes de polarización, que se superponen entonces respectivamente con una señal de polarización adecuada y se detectan en dos detectores ópticos. De este modo siempre se mide toda la señal y no se requieren promediaciones de mediciones con diferente polarización. Debido a la mezcla de una radiación láser con la señal de Brillouin se mejora la sensibilidad del dispositivo, ya que la señal a evaluar se puede amplificar claramente a través de la mezcla.

Puede estar previsto que el dispositivo presente un divisor de haz, que puede desviar una fracción de la radiación láser de la fuente de luz láser usada para la excitación de la dispersión de Brillouin antes del acoplamiento en la fibra óptica usada para la medición, donde esta fracción de la radiación láser se puede mezclar con la señal de Brillouin.

Alternativamente a ello puede estar previsto que el dispositivo comprenda una segunda fuente de luz láser, que puede generar la radiación láser que se puede mezclar con la señal de Brillouin.

A este respecto, en particular la segunda fuente de luz láser puede presentar una frecuencia distinta de la primera fuente de luz láser, en particular una frecuencia distinta en aproximadamente 10 GHz. Puede estar previsto que el dispositivo presente un divisor de haz, que puede desviar una fracción de la radiación láser de la fuente de luz láser usada para la excitación de la dispersión de Brillouin antes del acoplamiento en la fibra óptica usada para la medición, donde esta fracción se puede usar para el ajuste de la segunda fuente de luz. En particular, el dispositivo puede

comprender un O-PLL, que estabiliza la diferencia de frecuencia entre la primera y la segunda fuente de luz láser. Gracias a la elección mencionada de la diferencia de frecuencia se pueden usar como detectores ópticos receptores con una frecuencia límite por debajo de 1 GHz, que presentan un límite de comprobación más bajo.

Alternativamente puede estar previsto, que como segunda fuente de luz láser se use un láser de Brillouin, según se describe esto en el documento US 7,283,216 B1. A este respecto, el dispositivo también puede presentar un divisor de haz, que puede derivar una fracción de la radiación láser de la fuente de luz láser usada para la excitación de la dispersión de Brillouin antes del acoplamiento en la fibra óptica usada para la medición, donde esta fracción se utiliza para el bombeo óptico del láser de Brillouin, cuya frecuencia de Brillouin se diferencia de aquella de la señal de Brillouin a medir. Debido a esta diferencia de frecuencia, el láser de Brillouin puede servir como oscilador local óptico (OLO).

Existe la posibilidad de que el dispositivo comprenda las componentes para la medición de la dispersión de Rayleigh. De este modo se puede mejorar la exactitud del dispositivo.

En particular las componentes para la medición de la dispersión de Rayleigh pueden comprender otra fuente de luz láser, que es diferente de la primera fuente de luz láser, donde preferentemente la otra fuente de luz láser también es distinta de una segunda fuente de luz láser presente eventualmente para la generación de una radiación láser a mezclar con la señal de Brillouin. La otra fuente de luz láser se puede usar de forma dirigida para la excitación de la dispersión de Rayleigh.

Puede estar previsto que el dispositivo presente una fibra óptica que sirve como referencia o una sección, que sirve como referencia, de la fibra óptica usada para la medición, que está configurada, por ejemplo, como bobina de referencia, y al menos a través de una longitud predeterminada genera una señal de Brillouin constante, de modo que esta señal de Brillouin se puede detectar con los medios sensores y usarse para la calibración de la sensibilidad. Aun cuando los elementos ópticos siempre presentan también una sensibilidad diferente en los dos canales por alguna razón, de esta manera se pueden obtener resultados de medición fiables.

El procedimiento según la reivindicación 10 comprende las etapas de procedimiento siguientes:

- se genera una radiación láser,
- la radiación láser se acopla en una fibra óptica para la medición de temperatura y dilatación,
- las señales de Brillouin generadas por la radiación láser en la fibra óptica se desacoplan de la fibra óptica,
- las señales de Brillouin desacopladas se escinden en dos componentes con polarizaciones distintas entre sí,
- con cada una de las dos componentes de la señal de Brillouin se mezcla con polarización correcta respectivamente una componente polarizada linealmente de una radiación láser,
- se detectan las dos componentes mezcladas con las radiaciones láser de las señales de Brillouin desacopladas,
- los medios de evaluación determinan de forma resuelta localmente la temperatura y/o dilatación al menos de las secciones de la fibra óptica a partir de las componentes detectadas de las señales de Brillouin,
- a partir de las dos componentes detectadas de las señales de Brillouin se generan dos señales de salida, que se combinan de manera apropiada para obtener una señal de salida independiente de la polarización para la determinación de la temperatura y/o de la dilatación.

a este respecto, existe la posibilidad de que se detecten por separado entre sí las dos componentes de las señales de Brillouin desacopladas.

En particular las dos señales de salida se pueden combinar antes o después de la digitalización.

Otras características y ventajas de la presente invención se clarifican mediante la descripción siguiente de ejemplos de realización preferidos en referencia a las figuras adjuntas. Aquí muestran:

Fig. 1 una representación esquemática de una primera forma de realización de un dispositivo según la invención;

Fig. 2 una representación esquemática de una segunda forma de realización de un dispositivo según la invención;

Fig. 3 una representación esquemática de una tercera forma de realización de un dispositivo según la invención;

En las figuras piezas iguales o funcionalmente iguales están provistas con las mismas referencias. Las líneas de conexión a trazos representan señales ópticas que se guían preferentemente en fibras ópticas. Las líneas de conexión continuas representan líneas de señales eléctricas.

En el dispositivo reproducido en la fig. 1 se usa una superposición con la radiación láser utilizada para la excitación de la dispersión de Brillouin.

5 El dispositivo según la invención, reproducido en la fig. 1 comprende una fuente de luz láser 1, que emite radiación láser de banda estrecha, por ejemplo, con una anchura de línea de 1 MHz. Además, la radiación láser de la fuente de luz láser 1 presenta una potencia constante de, por ejemplo, algunos 10 mW. Preferentemente, como fuente de luz láser 1 se usan láseres de diodos estabilizados en frecuencia, como por ejemplo un láser DFB u otro láser de banda estrecha, cuyas longitudes de onda de emisión están dispuestas en un rango del infrarrojo cercano, por ejemplo, en 10 1550 nm.

El dispositivo reproducido en la fig. 1 comprende además un divisor de haz 2 configurado como divisor óptico de fibra, que puede subdividir la radiación láser de la fuente de luz láser 1 en dos fracciones 3, 4. La primera fracción 3 se acopla en la fibra láser 5 usada para la medición, donde se tienen que poder determinar de manera resuelta localmente la temperatura y/o dilatación a través de la excitación de la dispersión de Brillouin. La segunda fracción 4 se usa para la superposición con una señal de Brillouin desacoplada de la fibra láser 5, generada por la dispersión de Brillouin, según se describe a continuación todavía más en detalle.

El dispositivo comprende además un modulador óptico 6, que puede modular la primera fracción 3 de la radiación láser conforme al procedimiento usado para la asociación local de las señales de dispersión. Por ejemplo, a partir de la primera fracción 3, al usar un procedimiento OTDR (optical time domain reflectometry) se conforman pulsos o trenes de pulsos y al usar un procedimiento OFDR (optical frequency domain reflectometry) señales moduladas en amplitud. Un amplificador óptico no reproducido puede amplificar la primera fracción 3 de la radiación láser usada para la medición, antes de que se conduzca a través de un circulador óptico 7, en particular óptico de fibra, comprendido 25 igualmente por el dispositivo, en la fibra óptica 5 usada para la medición.

En la fibra óptica 5 usada para la medición se originan señales de dispersión de Brillouin, que llegan de vuelta al circulador óptico 7 con un retardo de tiempo de circulación conforme a la distancia de aproximadamente 10 ms/km y se conducen de este a la ruta de recepción 8 del dispositivo. Un filtro óptico opcional, no representado, como por ejemplo una rejilla de Bragg en fibra (FBG) se puede utilizar para la supresión de la luz dispersa de Rayleigh, a fin de evitar una perturbación de la medición de la señal de Brillouin más débil. Además, en la ruta de recepción 8 se realizan una amplificación óptica por un amplificador óptico opcional 9.

Tanto la señal de Brillouin como también la segunda fracción 4 de la radiación láser se subdividen por divisores de haz de polarización ópticos 10, 11, en particular ópticos de fibra, en componentes polarizadas linealmente 12, 13, 14, 15. A este respecto, preferentemente la segunda fracción 4 de la radiación láser se acopla, en particular con vistas a su dirección de polarización, con un ángulo de 45° en el divisor de haz de polarización 11, de modo que se originan dos componentes 14, 15 de intensidad lo más igual posible y polarizadas ortogonalmente entre sí.

En lugar del divisor de haz de polarización 11 previsto para la subdivisión de la segunda fracción 4 de la radiación láser también se puede prever un divisor que recibe la polarización (no reproducido), que subdivide la radiación láser en una relación 50:50.

La señal de Brillouin de la fibra láser 5 usada para la medición presenta estados de polarización totalmente diferentes en función del recorrido de fibra atravesado y por consiguiente también de la distancia. Por lo tanto, la relación de las dos componentes 12, 13 no es constante, sino que depende fuertemente de la distancia.

Detrás del divisor de haz de polarización 10, 11 están dispuestos dos acopladores ópticos 16, 17, en particular ópticos de fibra, que acoplan respectivamente una componente 12, 13 de la señal de Brillouin con una componente 14, 15 de la segunda fracción 4 de la radiación láser. Las dos componentes 14, 15 de polarización diferente de la segunda fracción 4 de la radiación láser y las dos componentes 12, 13 de polarización diferente de la señal de Brillouin se reúnen a este respecto en un acoplador óptico de fibra 16, 17 con polarización correcta.

En el caso de una detección desequilibrada se usan aquí preferentemente acopladores asimétricos, en los que se combinan una gran parte de la señal de Brillouin y una pequeña parte de la segunda fracción 4 de la radiación y se conducen a los detectores ópticos 18, 19 descritos a continuación todavía más en detalle. De este modo se evita una debilitación innecesaria de la señal de Brillouin. Un acoplador asimétrico de este tipo puede presentar, por ejemplo, una relación de acoplamiento de 95:5, en particular una relación de acoplamiento entre 90:10 y 99:1. Debido a las relaciones de acoplamiento asimétricas se pueden evitar las pérdidas de señal, donde una pérdida más elevada de la potencia láser mezclada con la señal de Brillouin no es crítica ya que esta señal es claramente más intensa.

Para un esquema de detección con un diodo receptor equilibrado se usa preferentemente una relación de acoplamiento simétrica.

65 En los detectores ópticos 18, 19 tiene lugar una superposición de las señales de Brillouin y fracciones de radiación láser reunidas con polarización correcta. A este respecto, en particular se origina respectivamente una señal

heterodina 20, 21 con diferencia de frecuencia entre la señal de Brillouin y la fracción de radiación láser en el rango de 10 GHz. Esta señal heterodina 20, 21 depende con vistas a su frecuencia del material de la fibra óptica 5 usada para la medición, la temperatura y la dilatación.

5 La potencia de las señales heterodinas 20, 21 es proporcional a la raíz del producto de las potencias de la señal de Brillouin y fracción de radiación láser. Gracias al uso de potencias de láser elevadas se origina así una señal de medición claramente más intensa que en el caso de la medición directa de la luz dispersa de Brillouin, por lo que la sensibilidad del dispositivo se mejora considerablemente.

10 Cada una de las señales heterodinas 20, 21 se mezcla hacia abajo con un oscilador local electrónico 22 en respectivamente un mezclador electrónico 23, 24 en una frecuencia adecuadamente medible por debajo de 1 GHz. Las señales de salida 25, 26 de estos mezcladores 23, 24 para ambas polarizaciones se amplifican aún más y se digitalizan.

15 A este respecto, en particular se corresponde la primera señal de salida 25 con la polarización horizontal y la segunda señal de partida 26 con la polarización vertical de las señales heterodinas 20, 21 o de la señal de Brillouin. Antes o después de la digitalización se combinan ambas señales de salida 25, 26 de manera apropiada, a fin de obtener una señal de salida independiente de la polarización para la determinación de los parámetros de Brillouin dependientes localmente y en último término la temperatura o la dilatación.

20 Para la superposición bien definida y estable de las componentes de polarización deseadas es ventajoso realizar la fibra óptica de la fuente de luz láser 1 a través del divisor de polarización 10, 11 hasta el acoplador óptico de fibras 16, 17, así como eventualmente también la fibra óptica hacia los detectores ópticos 18, 19 como fibras que obtienen la polarización. Alternativamente a ello también se pueden usar ventajosamente fibras monomodo.

25 El dispositivo según la fig. 2 presenta a diferencia del dispositivo según la fig. 1 adicionalmente a la primera fuente de luz láser 1 una segunda fuente de luz láser de banda estrecha 27, cuya radiación láser se utiliza para la superposición con la señal de Brillouin. A este respecto, la frecuencia de esta segunda fuente de luz láser 27 se ajusta precisamente, de modo que está desplazada respecto a la frecuencia de la primera fuente de luz láser 1, de modo que la diferencia de frecuencia entre la luz dispersa de Brillouin y segunda fuente de luz láser 27 se sitúa por debajo de 1 GHz. Por ejemplo, al usar fibras ópticas de vidrio de cuarzo se requiere a este respecto un desplazamiento de frecuencia de las dos fuentes de luz láser 1, 27 entre sí de aproximadamente más de 10 GHz.

30 Mediante la diferencia de frecuencia situada por debajo de 1 GHz se pueden usar detectores ópticos 18, 19 con una frecuencia límite por debajo de 1 GHz, que presentan un límite de comprobación más bajo. Además, la amplificación y filtrado de las señales es más sencillo y eficiente en este rango de frecuencia.

35 Para la estabilización de la segunda fuente de luz láser 27 al intervalo de frecuencia deseado respecto a la primera fuente de luz láser 1 se usa un lazo de seguimiento de fase denominado a continuación O-PLL (optical phase locked loop) 28 con señal de entrada óptica. Una parte de la radiación láser de las dos fuentes de luz láser 1, 27 se separa a través del divisor de haz 2, 29 configurado como divisor óptico de fibra, se reúne con un acoplador óptico de fibras 30 con polarización correcta y se superpone en un detector óptico 31. La señal medida obtiene una fracción en el caso de diferencia de frecuencia de las dos fuentes de luz láser, que se debe situar en el rango de 10 GHz. La frecuencia de la señal se compara en un lazo de regulación de fase denominado a continuación circuito PLL 32 siguiente con la frecuencia de un oscilador local electrónico 33, que se ha ajustado a la diferencia de frecuencia deseada. La frecuencia de las dos fuentes de luz láser 1, 27 se reajusta mediante la señal de comparación, de modo que la diferencia de frecuencia de las fuentes de luz láser 1, 27 concuerda con la del oscilador local 33. Si se usan láseres de diodos, el ajuste de la frecuencia láser se realiza preferentemente a través de la corriente de funcionamiento.

40 El dispositivo según la fig. 3 se diferencia de aquel según la fig. 2 por las componentes adicionales para la medición de la dispersión de Rayleigh.

45 Si la dispersión de Rayleigh se hubiese excitado con el mismo láser de banda estrecha que la dispersión de Brillouin, se produciría una señal de retrodispersión, cuya amplitud varía fuertemente debido al ruido coherente de Rayleigh (CRN). Una señal tal no es apropiada como valor de referencia para el cálculo de la relación de Landau-Paczek.

50 Una posibilidad de eliminar el CRN consiste en promediar varias mediciones con la fuente de luz láser de banda estrecha en el caso de longitudes de onda diferentes.

55 En la fig. 3 está reproducida una variante donde está prevista adicionalmente otra, en particular tercera fuente de luz láser 34 para la excitación de la dispersión de Rayleigh. Esta fuente de luz láser 34 adicional puede ser un láser de banda ancha con, por ejemplo, una anchura a media altura de algunos nm. En este punto se debe mencionar que la radiación láser de la otra fuente de luz láser 34 es por consiguiente claramente de banda más ancha que la radiación láser que parte de la primera fuente de luz láser 1.

60

Existe la posibilidad de cambiar con un interruptor óptico 35 entre la primera y la otra fuente de luz láser 1, 34 para la excitación de la dispersión de Brillouin y de Rayleigh o también reunir las radiaciones láser a través de un acoplador óptico de fibras no reproducido, para conectar entonces las fuentes de luz láser 1, 34 según la necesidad.

5 La fuente de luz láser 34 prevista para la excitación de la dispersión de Rayleigh se puede pulsar, codificar por pulso o modular directamente. Alternativamente el desarrollo temporal deseado de la amplitud también se puede generar a través de un modulador óptico.

10 La señal de Brillouin se puede separar a través de un filtro óptico 36, como por ejemplo una rejilla de Bragg en fibras (FBG), de la señal de Rayleigh, donde la señal de Rayleigh se puede recibir, filtrar y amplificar a través de un detector óptico adicional 37. La señal de salida 38 así obtenida se digitaliza luego y se procesa posteriormente de forma digital.

15 En la forma de realización según la fig. 3 están previstos dos circuladores 7 con respectivamente tres conexiones. Existe la posibilidad de prever en lugar de dos circuladores ópticos sólo un circulador óptico con cuatro conexiones.

20 Para el caso de que los elementos ópticos, fotorreceptores y amplificadores en los dos canales de recepción detrás de los divisores de haz de polarización 10, 11 conduzcan a una sensibilidad diferente, una parte del recorrido de medición puede estar realizada como bobina de referencia 39. Esto está reproducido en la fig. 3 a modo de ejemplo. Por ello existe la posibilidad de prever también en una forma de realización según la fig. 1 y/o fig. 2 una bobina de referencia 39 de este tipo. Por otro lado, por ello existe la posibilidad de omitir la bobina de referencia 39 en la forma de realización según la fig. 3.

25 En la bobina de referencia 39 está instalada una cierta longitud de fibra óptica, como por ejemplo 100 m, de modo que toda la longitud de fibra genera la misma señal de Brillouin. En particular la fibra debe presentar temperatura constante y dilatación constante, en particular sin dilatación. Entonces la señal de Brillouin de la bobina de referencia 39 se puede medir con los dos canales de recepción y usarse para la calibración de la sensibilidad de los canales de recepción.

30 Partiendo de que la señal de la bobina de referencia 39 tiene la misma intensidad en ambas polarizaciones, los canales de recepción se calibran de modo que para la bobina de referencia miden señales en conjunto de igual intensidad. La misma sensibilidad así ajustada de los canales de recepción es ventajosa para la combinación óptima de las dos señales de recepción.

35 En lugar de las formas de realización reproducidas en las fig. 1 a fig. 3 con respectivamente dos detectores ópticos 18, 19 para la detección separada de las dos componentes 12, 13 también pueden estar previstos detectores ópticos combinados (no reproducidos) para las componentes 12, 13. Por ejemplo, para ello podrían estar previstos dos fotodiodos sobre un chip o en una carcasa o también sólo dos zonas sobre un fotodiodo. A este respecto, las dos corrientes fotoeléctricas generadas, por ejemplo, por estos fotodiodos o estas zonas separadas, se conectan en paralelo, de modo que con ello sólo se amplifica su suma y se digitaliza.

40 La ventaja de una configuración de este tipo es una mejor relación de señal - ruido de la señal analógica. Para esta variante debería estar prevista una posibilidad de calibrar la señal óptica, de modo que ambas señales se reciban con la misma intensidad. Esto puede ocurrir, por ejemplo, a través de un atenuador óptico variable en una rama de recepción que se excita mediante características de la señal medida.

45 Lista de referencias:

1, 27, 34	Fuente de luz láser
2, 29	Divisor de haz
3	Primera fracción de radiación láser
4	Segunda fracción de radiación láser
5	Fibra óptica usada para la medición
6	Modulador óptico
7	Circulador óptico
8	Ruta de recepción
9	Amplificador de entrada óptico
10, 11	Divisor de haz de polarización óptico
12, 13, 14, 15	Componentes polarizadas linealmente
16, 17, 30	Acoplador óptico
18, 19, 31, 37	Detector óptico
20, 21	Señal heterodina
22, 33	Oscilador local electrónico (LO)
23, 24	Mezclador electrónico

25, 26, 38	Señal de salida
28	O-PLL
32	Circuito PLL
35	Interruptor óptico
36	Filtro óptico
39	Fibra de referencia

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para la medición resuelta localmente de temperatura y/o dilatación por medio de la dispersión de Brillouin, que comprende
 - al menos una fuente de luz láser (1), que puede generar una radiación láser,
 - una fibra óptica (5) usada para la medición, donde se puede acoplar la radiación láser y de la que se pueden desacoplar las señales de Brillouin generadas debido a la dispersión de Brillouin,
 - medios sensores, que pueden detectar las señales de Brillouin desacopladas,
 - medios de evaluación, que a partir de las señales de Brillouin detectadas pueden determinar de forma resulta localmente la temperatura y/o dilatación al menos de las secciones de la fibra óptica (5),
 - al menos un divisor de haz de polarización óptico (10), que puede escindir las señales de Brillouin desacopladas en dos componentes (12, 13) con polarizaciones distintas entre sí,
 - dos acopladores ópticos (16, 17), que pueden mezclar con polarización correcta con cada una de las dos componentes (12, 13) de la señal de Brillouin separadas por el al menos un divisor de haz de polarización óptico (10) respectivamente una componente polarizada linealmente (14, 15) de una radiación láser.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado porque** los medios sensores pueden detectar por separado entre sí las dos componentes (12, 13).
3. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** el dispositivo presenta un divisor de haz (2), que puede desviar una fracción (4) de la radiación láser de la fuente de luz láser (1) usada para la excitación de la dispersión de Brillouin antes del acoplamiento en la fibra óptica usada para la medición, donde esta fracción (4) de la radiación láser se puede mezclar con la señal de Brillouin.
4. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** el dispositivo comprende una segunda fuente de luz láser (27), que puede generar la radiación láser que se puede mezclar con la señal de Brillouin.
5. Dispositivo según la reivindicación 4, **caracterizado porque** la segunda fuente de luz láser (27) presenta una frecuencia distinta de la primera fuente de luz láser (1), en particular una frecuencia distinta en aproximadamente 10 GHz.
6. Dispositivo según la reivindicación 5, **caracterizado porque** el dispositivo comprende un O-PLL (28), que establece la diferencia de frecuencia entre la primera y la segunda fuente de luz láser (1, 27).
7. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** el dispositivo comprende las componentes para la medición de dispersión de Rayleigh.
8. Dispositivo según la reivindicación 7, **caracterizado porque** las componentes para la medición de la dispersión de Rayleigh comprenden otra fuente de luz láser (34), que es distinta de la primera fuente de luz láser (1), donde preferentemente la otra fuente de luz láser (34) también es distinta de una segunda fuente de luz láser (27) presente eventualmente para la generación de una radiación láser a mezclar con la señal de Brillouin.
9. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** el dispositivo presenta una fibra óptica que sirve como referencia o una sección, que sirve como referencia, de la fibra óptica (5) usada para la medición, que está configurada, por ejemplo, como bobina de referencia (39), y al menos a través de una longitud predeterminada genera una señal de Brillouin constante, de modo que esta señal de Brillouin se puede detectar con los medios sensores y usarse para la calibración de la sensibilidad.
10. Procedimiento para la medición resuelta localmente de temperatura y/o dilatación por medio de la dispersión de Brillouin, que comprende las etapas de procedimiento siguientes:
 - se genera una radiación láser,
 - la radiación láser se acopla en una fibra óptica (5) para la medición de temperatura y dilatación,
 - las señales de Brillouin generadas por la radiación láser en la fibra óptica (5) se desacoplan de la fibra óptica (5),
 - las señales de Brillouin desacopladas se escinden en dos componentes (12, 13) con polarizaciones distintas entre sí,

- con cada una de las dos componentes (12, 13) de la señal de Brillouin se mezcla con polarización correcta respectivamente una componente polarizada linealmente (14, 15) de una radiación láser,

5 - se detectan las dos componentes (12, 13) mezcladas con las radiaciones láser de las señales de Brillouin desacopladas,

- los medios de evaluación determinan de forma resuelta localmente la temperatura y/o dilatación al menos de las secciones de la fibra óptica (5) a partir de las componentes (12, 13) detectadas de las señales de Brillouin,

10 - a partir de las dos componentes (12, 13) detectadas de las señales de Brillouin se generan dos señales de salida (25, 26), que se combinan de manera apropiada para obtener una señal de salida independiente de la polarización para la determinación de la temperatura y/o de la dilatación.

15 11. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado porque** las dos componentes (12, 13) de las señales de Brillouin desacopladas se detectan por separado entre sí.

12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 10 u 11, **caracterizado porque** las dos señales de salida (25, 26) se combinan antes o después de una digitalización.

20

Fig. 1

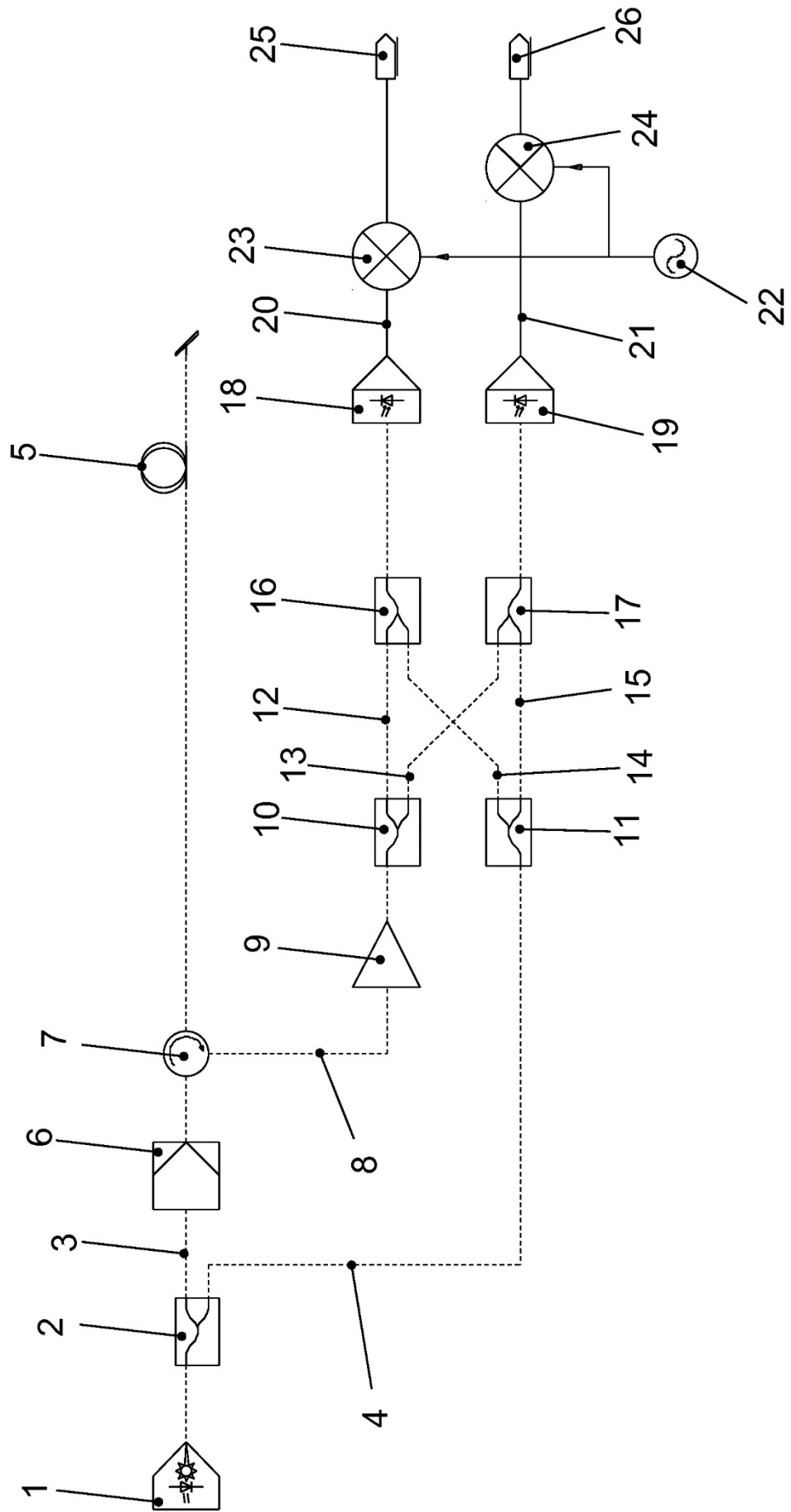


Fig. 2

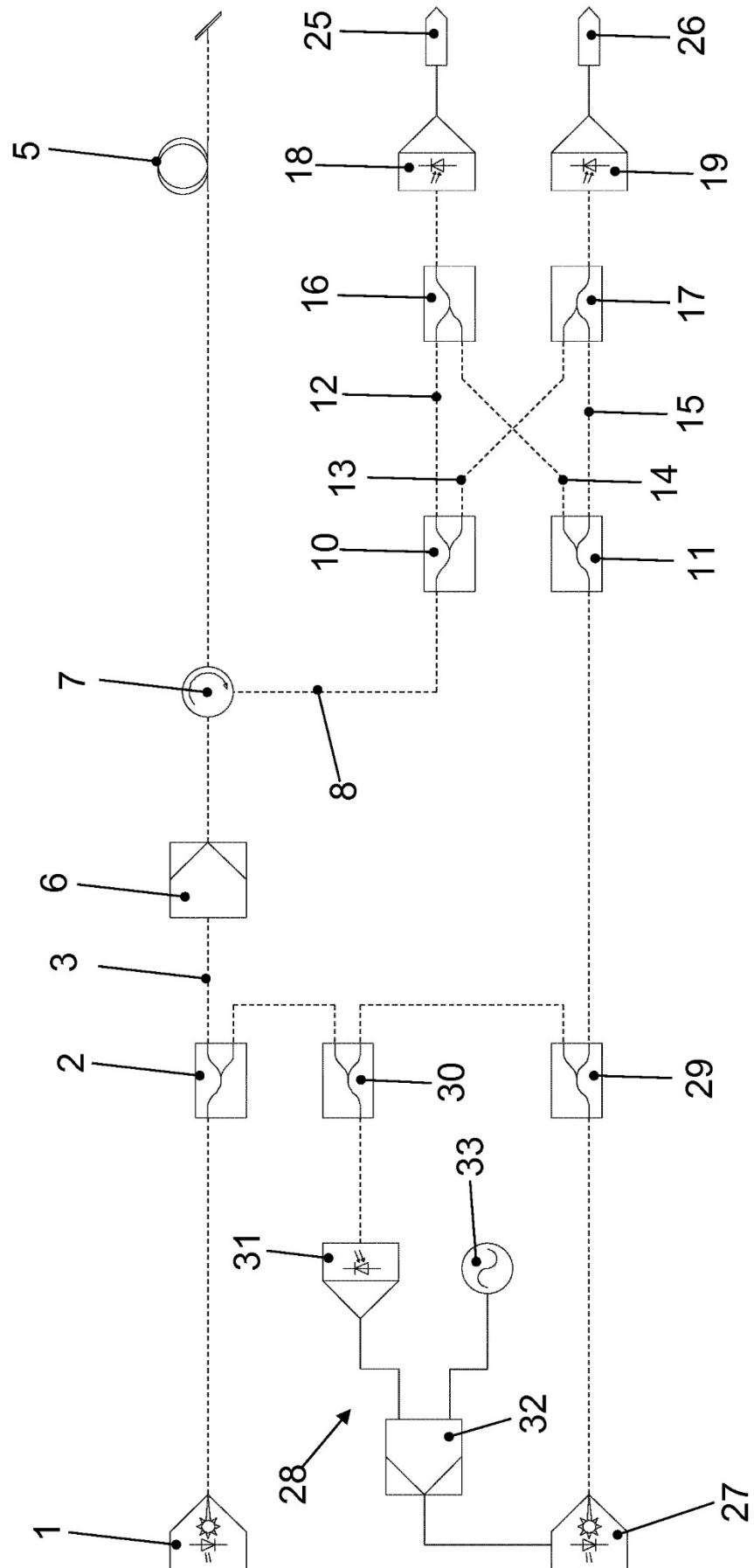


Fig. 3

