

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 899**

51 Int. Cl.:

G02B 6/00 (2006.01)

G01M 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.06.2008** **PCT/KR2008/003724**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.01.2009** **WO09005256**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2008** **E 08766649 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.12.2016** **EP 2183624**

54 Título: **Sistema de sensores de fibra óptica distribuida**

30 Prioridad:

29.06.2007 KR 20070065770

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

05.07.2017

73 Titular/es:

**UTO INTERNATIONAL CORPORATION (100.0%)
RM306 TBI CENTER HOSEO UNIVERSITY 165
SECHUL-RI BAEANG-MYEON ASAN-SI
CHUNGCHEONGNAM-DO 336-795, KR**

72 Inventor/es:

LEE, MICHAEL

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 621 899 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

Sistema de sensores de fibra óptica distribuida

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un sistema de sensores de fibra óptica distribuida.

10 **Antecedentes de la técnica**

En general, un sensor de fibra óptico mide los cambios en diversas características de la luz que se desplaza en una fibra óptica que se provocan por los cambios de las cantidades físicas externas (señales) aplicadas a la fibra óptica. Los cambios de las cantidades físicas externas (señales) aplicadas a la fibra óptica incluyen unos cambios en casi todos los tipos de cualidades físicas tales como la temperatura, la presión, el campo eléctrico, el campo magnético, la densidad del material químico, y el movimiento mecánico.

Las características de la luz que varían como tal el cambio de cantidades físicas externas incluyen la intensidad, la fase, la polarización y la longitud de onda y se emplean una variedad de métodos para medir los pequeños cambios en estas características.

Más específicamente, los ejemplos de los fenómenos físicos que provocan los cambios en las características de la luz incluyen los cambios de índice de reflexión (asociados con la temperatura, la presión, la tensión, la densidad de material químico, etc.), y los cambios de polarización (asociados con el campo eléctrico, el campo magnético, la presión, etc.), los cambios en la pérdida de luz de acuerdo con la longitud de onda (asociados con la densidad del material químico, la flexión, etc.) y también incluyen los cambios de fase relativista y los fenómenos no lineales (dispersión de Raman, dispersión de Brillouin, efectos de Kerr, etc.).

El sensor de fibra óptica tiene ventajas sobre otros tipos de sensores, debido a los hechos de que los cambios de diversas cantidades físicas se miden usando luz en lugar de los elementos electrónicos y que la señal medida se realiza también a través de la luz.

En primer lugar, ya que el sensor de fibra óptica no incluye un conductor que pasa la electricidad, el sensor de fibra óptica no provoca ruido debido a la interferencia electromagnética y también está libre del riesgo de que se produzca la puesta a tierra, una fuga de electricidad, descargas eléctricas, etc.

Además, es fácil unir el sensor de fibra óptica a una superficie de un objetivo de medida y enterrar el sensor de fibra óptica en el suelo ya que el sensor de fibra óptica es pequeño en tamaño y peso y también tiene una alta resistencia a la corrosión ya que el material del sensor de fibra óptica es vidrio.

Además, el sensor de fibra óptica puede usarse para la medición de casi todos los tipos de cantidades físicas y garantiza una sensibilidad muy alta ya que el sensor de fibra óptica realiza la medición usando la luz de una longitud de onda muy corta.

Además, ya que el sensor de fibra óptica provoca una muy pequeña pérdida óptica y tiene una amplia anchura de banda para la transmisión de información como en el caso de la comunicación, es posible implementar un sensor de tipo matriz que se construye conectando un gran número de sensores a una única fibra óptica de manera que los sensores pueden realizar una medición simultánea. El sensor de tipo de matriz puede realizar una medición remota, incluso a una distancia de decenas de kilómetros y también puede realizar una medición distribuida para medir una distribución de las cantidades físicas con respecto a la posición.

Los sensores de fibra óptica se clasifican en sensores de interferencia, de longitud de onda, y de tipo dispersión. El sensor de tipo dispersión mide la luz retrodispersada en una fibra óptica, que cambia de acuerdo con una cantidad física externa aplicada a la fibra óptica, usando la luz pulsada que se desplaza en la fibra óptica. Esto permite la medición de una distribución de cantidades físicas sobre la totalidad de una fibra óptica a larga distancia.

El sensor que mide la luz retrodispersada usando la luz pulsada se denomina como un "sensor de reflectometría de dominio temporal óptico (OTDR)". La mayoría de los sensores de fibra óptica de tipo dispersión usan básicamente la tecnología de OTDR.

El documento JP04-248426 A sugiere medir la temperatura y la tensión de una fibra óptica. Para este fin, la luz pulsada se acopla en un primer extremo de la fibra. La luz retrodispersada se acopla fuera en el mismo extremo mediante una unidad de acoplamiento. La luz retrodispersada es la frecuencia filtrada para separar la luz retrodispersada de Raman y Brillouin. A partir del desplazamiento de frecuencia de Brillouin se calcula la tensión de la fibra. A partir de la intensidad de la luz retrodispersada de Raman o Brillouin se calcula la distribución de temperatura de la fibra óptica.

El documento KR 10 2002 0090468 se refiere a un método de detección de intrusión. Una fibra óptica está unida a la superficie de un objeto a monitorizar o simplemente se deposita en el suelo para detectar una intrusión en la propiedad correspondiente. Una señal láser desde un LED-láser se ramifica en dos señales modulándose cada una de las mismas. La primera señal modulada se amplifica y se acopla mediante un acoplador como una luz de bombeo pulsada en un primer extremo de una fibra óptica. La segunda señal modulada se acopla como una luz de sondeo a través del extremo opuesto a dicha fibra óptica. La luz de bombeo dispersada trasera y la luz de sondeo se acoplan fuera de la fibra mediante dicho acoplador y se proporcionan a un detector para su análisis.

Divulgación de la invención

Problema técnico

Tales sensores de fibra óptica de tipo dispersión se dividen en un sensor de fibra óptica de tipo dispersión de Rayleigh, un sensor de fibra óptica de tipo dispersión de Raman, y un sensor de fibra óptica de tipo dispersión de Brillouin.

El sensor de fibra óptica de tipo dispersión de Rayleigh es un sensor que mide la luz dispersada que se genera como una luz pulsada que se desplaza en una fibra óptica, cuya densidad se distribuye de manera desigual. Por lo tanto, el sensor de fibra óptica de tipo dispersión de Rayleigh obtiene una luz retrodispersada, cuya intensidad es proporcional a la de la luz pulsada.

Por ejemplo, cuando la fibra óptica se curva por un factor externo para la medición, la luz que se desplaza en la fibra óptica se fuga hacia el exterior y por lo tanto la intensidad de la luz retrodispersada disminuye. Mientras que el sensor de fibra óptica de tipo dispersión de Rayleigh usa este fenómeno, este sensor no es sensible a cambios en la temperatura externa o a cambios en el grado de deformación y puede aplicarse solamente cuando se ha producido una flexión de fibra óptica especial.

Tanto los sensores de fibra óptica de tipo dispersión de Raman como de Brillouin usan una dispersión de luz no lineal. El sensor de fibra óptica de tipo dispersión de Raman se usa ampliamente para la medición de la temperatura ya que la intensidad de la luz dispersada de Raman varía de manera sensible solamente con cambios térmicos externos.

Es decir, la señal dispersada de Raman es una señal retrodispersada que se genera debido a las vibraciones moleculares cuando la luz se propaga en una fibra óptica. Las características de las vibraciones moleculares en la fibra óptica se cambian únicamente por la temperatura.

Por otro lado, el sensor de fibra óptica de tipo dispersión de Brillouin usa el hecho de que la frecuencia de Brillouin natural de una fibra óptica varía dependiendo de la temperatura y del grado de deformación aplicado externamente a la fibra óptica. El sensor de fibra óptica de tipo dispersión de Brillouin obtiene un cambio de frecuencia Brillouin de este tipo para medir la cantidad absoluta de cambio en una cantidad física externa (la temperatura y el grado de deformación).

Es decir, la dispersión de Brillouin que se produce en una fibra óptica hace que la luz se desplace en la fibra óptica para interactuar con los fonones acústicos para producir una señal retrodispersada, que lleva información con respecto a la temperatura y al grado de deformación proporcional a las características de un entorno en el que se localiza la fibra óptica.

Aunque el sensor de fibra óptica de tipo dispersión de Brillouin tiene la ventaja de que se puede medir simultáneamente el grado de deformación y la temperatura como se ha descrito anteriormente, tiene el problema de que no puede identificar por separado la información con respecto a la temperatura y la información con respecto al grado de deformación de la señal retrodispersada.

Solución técnica

Por lo tanto, es un objeto de la presente invención proporcionar un sistema de sensores de fibra óptica distribuida en el que la luz retrodispersada generada en una fibra óptica de prueba se separa en una luz dispersada de Raman y en una luz dispersada de Brillouin usando una unidad de filtro óptico, la luz dispersada de Raman y la luz dispersada de Brillouin separadas a través de la unidad de filtro óptico se convertirán cada una en datos digitales, y se emitirán por separado un cambio en la temperatura y un cambio en el grado de deformación con respecto a una distancia de la fibra óptica de prueba usando los datos digitales.

Efectos ventajosos

Como se ha descrito anteriormente, la luz retrodispersada generada en una fibra óptica de prueba puede separarse en una luz dispersada de Raman y en una luz dispersada de Brillouin usando una unidad de filtro óptico, la luz dispersada de Raman y la luz dispersada de Brillouin separadas a través de la unidad de filtro óptico pueden

convertirse cada una en datos digitales, y pueden medirse por separado un cambio en la temperatura y un cambio en el grado de deformación con respecto a una distancia de la fibra óptica de prueba usando los datos digitales.

Es decir, pueden medirse por separado un cambio en la temperatura y un cambio en el grado de deformación con respecto a la distancia de una fibra óptica de prueba usando un único sistema sensor sin la necesidad de proporcionar por separado un sensor para medir un cambio en la temperatura con respecto a la distancia de la fibra óptica de prueba y un sensor para medir un cambio en el grado de deformación con respecto a la distancia.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra un concepto básico de un sistema de sensores de fibra óptica distribuida de la presente invención.

La figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra una primera realización del sistema de sensores de fibra óptica distribuida de la presente invención.

La figura 3 ilustra una realización en la que la unidad de filtro óptico de la presente invención separa la luz dispersada de Raman y la luz dispersada de Brillouin.

La figura 4 ilustra otra realización en la que la unidad de filtro óptico de la presente invención separa la luz dispersada de Raman y la luz dispersada de Brillouin.

La figura 5 es un diagrama de bloques que ilustra una segunda realización del sistema de sensores de fibra óptica distribuida de la presente invención.

La figura 6 es un diagrama de bloques que ilustra una tercera realización del sistema de sensores de fibra óptica distribuida de la presente invención.

<Descripción de los números de referencia de las partes principales de los dibujos>

110: primera unidad de fuente de luz

120: primer modulador

130: generador de pulsos

140: amplificador

150: fibra óptica de prueba

160: segunda unidad de fuente de luz

170: segundo modulador

180: generador de señales de RF

190: circulador óptico

200: unidad de filtro óptico

210: primer detector óptico

220: segundo detector óptico

230: medidor de señales ópticas

Mejor modo de realizar la invención

De acuerdo con una realización preferida de la presente invención, se proporciona un sistema de sensores de fibra óptica distribuida de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 3, que incluye un primer modulador óptico para modular la luz emitida desde una primera unidad de fuente de luz en una luz pulsada de bombeo y transmitir la luz pulsada de bombeo a un extremo de una fibra óptica de prueba, un segundo modulador óptico para modular la luz emitida desde una segunda unidad de fuente de luz en luz de sondeo y transmitir la luz de sondeo al otro extremo de la fibra óptica de prueba, un circulador óptico para divergir la luz retrodispersada que se genera en la fibra óptica de prueba, una unidad de filtro óptico para hacer pasar la luz dispersada de Raman y la luz dispersada de Brillouin incluidas en la luz retrodispersada divergida por el circulador óptico, y una unidad de medición de cambio de cantidad física para convertir cada una de la luz dispersada de Raman y la luz dispersada de Brillouin que han pasado a través de la unidad de filtro óptico en datos digitales y medir por separado un cambio en la temperatura y un cambio en el grado de deformación con respecto a una distancia de la fibra óptica de prueba usando los datos digitales.

De acuerdo con otra realización preferida de la presente invención, se proporciona un sistema de sensores de fibra óptica distribuida que incluye un modulador óptico para modular la luz emitida desde una unidad de fuente de luz en luz pulsada de bombeo y transmitir la luz pulsada de bombeo a una fibra óptica de prueba, un circulador óptico para divergir la luz retrodispersada que se genera en la fibra óptica de prueba, una unidad de filtro óptico para hacer pasar la luz dispersada de Raman y la luz dispersada de Brillouin incluidas en la luz retrodispersada divergida por el circulador óptico, y una unidad de medición de cambio de cantidad física para convertir cada una de la luz dispersada de Raman y la luz dispersada de Brillouin que han pasado a través de la unidad de filtro óptico en datos digitales y medir por separado un cambio en la temperatura y un cambio en el grado de deformación con respecto a una distancia de la fibra óptica de prueba usando los datos digitales.

De acuerdo con otra realización preferida de la presente invención, se proporciona un sistema de sensores de fibra óptica distribuida que incluye un divisor para divergir una luz emitida desde una unidad de fuente de luz, un primer modulador óptico para modular la luz divergida en el divisor en una luz pulsada de bombeo, un segundo modulador

óptico para modular la luz divergida en el divisor en una luz de sondeo, un amplificador para amplificar la luz pulsada de bombeo y la luz de sondeo y transmitir la luz pulsada de bombeo y la luz de sondeo amplificadas a una fibra óptica de prueba, un reflector formado en un extremo de la fibra óptica de prueba para reflejar la luz de sondeo, un circulador óptico para divergir la luz retrodispersada que se genera en la fibra óptica de prueba, una unidad de filtro óptico para hacer pasar la luz dispersada de Raman y la luz dispersada de Brillouin incluidas en la luz retrodispersada divergida por el circulador óptico, y una unidad de medición de cambio de cantidad física para convertir cada una de la luz dispersada de Raman y la luz dispersada de Brillouin que han pasado a través de la unidad de filtro óptico en datos digitales y medir por separado un cambio en la temperatura y un cambio en el grado de deformación con respecto a una distancia de la fibra óptica de prueba usando los datos digitales.

En este caso, la unidad de filtro óptico incluye un filtro reflejado de Raman para reflejar la luz dispersada de Raman incluida en la luz retrodispersada divergida por el circulador óptico, y un filtro de paso de Brillouin para hacer pasar solamente la luz dispersada de Brillouin incluida en la luz retrodispersada que ha pasado a través del filtro reflejado de Raman.

Además, la unidad de filtro óptico incluye un filtro de paso de Raman para hacer pasar solamente la luz dispersada de Raman incluida en la luz retrodispersada divergida por el circulador óptico, un filtro de paso de Brillouin para hacer pasar solamente la luz dispersada de Brillouin incluida en la luz retrodispersada divergida por el circulador óptico, y un divisor para divergir la luz retrodispersada por el circulador óptico en el filtro de paso de Raman y en el filtro de paso de Brillouin.

Además, la unidad de medición de cambio de cantidad física incluye un primer detector óptico para detectar la luz dispersada de Raman que ha pasado a través de la unidad de filtro óptico y convertir la luz dispersada de Raman detectada en datos digitales y emitir los datos digitales, un segundo detector óptico para detectar la luz dispersada de Brillouin que ha pasado a través de la unidad de filtro óptico y convertir la luz dispersada de Brillouin detectada en datos digitales y emitir los datos digitales, y un medidor de señales ópticas para medir un cambio en la temperatura con respecto a la distancia de la fibra óptica de prueba a partir de los datos emitidos desde el primer detector óptico, medir un cambio en la temperatura y un cambio en el grado de deformación con respecto a la distancia de la fibra óptica de prueba a partir de los datos emitidos desde el segundo detector óptico, y medir por separado el cambio de temperatura y el cambio en el grado de deformación con respecto a una distancia de la fibra óptica de prueba usando los datos digitales que usan los datos medidos.

Modo para la invención

A continuación se describirá el sistema de sensores de fibra óptica distribuida de la presente invención en detalle con referencia a las figuras 1-6. En la siguiente descripción de la presente invención, se omitirá una descripción detallada de las funciones y las configuraciones conocidas incorporadas en el presente documento cuando puedan oscurecer el objeto de la presente invención. Los términos usados en la siguiente descripción se han definido teniendo en cuenta las funciones obtenidas de acuerdo con la presente invención. Las definiciones de estos términos deberían determinarse basándose en todo el contenido de esta memoria descriptiva, ya que pueden cambiarse de acuerdo con la opción de un usuario u operador o una práctica habitual.

La figura 1 ilustra un concepto básico de un sistema de sensores de fibra óptica distribuida de la presente invención. La dispersión de Brillouin de una fibra óptica es un fenómeno en el que la luz incidente sobre una fibra óptica interactúa con un fonón acústico generado en la fibra óptica y que a continuación se dispersa en una frecuencia diferente de la de la luz incidente. La diferencia de frecuencia se denomina como un "cambio de frecuencia de Brillouin natural". La diferencia de frecuencia depende significativamente de la sustancia de la fibra óptica y cambia de acuerdo con el grado de deformación (por ejemplo, la tensión) aplicado a la fibra óptica.

Como se muestra en la figura 1, una primera unidad de fuente de luz 20 y una segunda unidad de fuente de luz 30, que transmiten una luz pulsada de bombeo y una luz de sondeo, respectivamente, a los dos extremos de una fibra óptica 10, están dispuestas una frente a otra.

Un detector óptico 40 está acoplado a la fibra óptica 10 para medir los cambios de una cantidad física externa aplicada a la fibra óptica 10 comparando la frecuencia de la luz dispersada, que se desplaza hacia atrás debido a un cambio de cantidad física externa en una parte de prueba de la fibra óptica 10, y la diferencia de frecuencia entre la luz pulsada de bombeo y la luz de sondeo.

A continuación, cuando ω_p es la frecuencia de la luz pulsada de bombeo transmitida por la primera unidad de fuente de luz 20 y ω_w es la frecuencia de la luz de sondeo transmitida por la segunda unidad de fuente de luz 30, la diferencia de frecuencia $\Delta\nu$ entre la luz pulsada de bombeo y la luz de sondeo es $\omega_p - \omega_w$ (es decir, $\Delta\nu = \omega_p - \omega_w$).

Si las frecuencias de las unidades de fuente de luz se ajustan de tal manera que la diferencia de frecuencia $\Delta\nu$ entre la luz pulsada de bombeo y la luz de sondeo es igual a un desplazamiento de frecuencia de Brillouin de la fibra óptica 10, la luz pulsada de bombeo se convierte en energía óptica en la luz de sondeo a través de la dispersión de Brillouin obtenida. Por consiguiente, la luz de sondeo se somete a una amplificación óptica de Brillouin en la fibra

óptica 10, facilitando de este modo el análisis de las señales de Brillouin.

Cuando se ha producido una deformación de compresión o tracción en una posición específica de la fibra óptica de prueba, la luz retrodispersada, que es una señal recibida final del sensor de fibra óptica de dispersión de Brillouin, aparece en la forma de una disminución o aumento rápido de la señal en la posición y, a partir de esto, es posible determinar fácilmente tanto la posición en la que se ha producido la deformación como la extensión de la deformación.

La figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra una primera realización del sistema de sensores de fibra óptica distribuida de la presente invención.

Como se muestra, el sistema de sensores de fibra óptica distribuida incluye una primera unidad de fuente de luz 110, un primer modulador 120, un generador de pulsos 130, un amplificador 140, una fibra óptica de prueba 150, una segunda unidad de fuente de luz 160, un segundo modulador 170, un generador de señales de RF 180, un circulador óptico 190, una unidad de filtro óptico 200, un primer detector óptico 210, un segundo detector óptico 220, y un medidor de señal óptica 230.

La primera unidad de fuente de luz 110 emite una luz que tiene una anchura de haz fino de alto rendimiento. Un láser de realimentación distribuida (DFB) se usa normalmente como la primera unidad de fuente de luz 110.

El primer modulador 120 modula la luz emitida desde la primera unidad de fuente de luz 110 en luz pulsada de bombeo. Tal luz de tipo pulsada es adecuada para los sensores distribuidos que miden los valores físicos en una posición específica en toda la parte de la fibra óptica ya que la luz de tipo pulsada tiene una resolución de distancia de acuerdo con el ancho de pulso.

El generador de pulsos 130 genera un pulso que tiene una anchura predeterminada para modular la luz emitida desde la primera unidad de fuente de luz 110 para la luz pulsada de bombeo.

Cuando se genera una luz pulsada de bombeo que tiene una anchura de pulso de 30 ns usando el primer modulador 120 y el generador de pulsos 130, la resolución de distancia del sistema de sensores de fibra óptica distribuida es de 3 m.

Es decir, la resolución de la distancia del sistema de sensores de fibra óptica distribuida es 3 m ya que el sistema de sensores de fibra óptica distribuida mide la luz dispersada generada a medida que la luz pulsada de bombeo se dispersa y se refleja mientras que pasa a través de la parte de prueba de la fibra óptica y el ancho de pulso "30 ns" corresponde a una distancia de fibra óptica de aproximadamente 3 m.

El amplificador 140 amplifica la luz pulsada de bombeo generada a través de la modulación del primer modulador 120.

Es decir, ya que la intensidad de la luz pulsada de bombeo emitida a través del primer modulador 120 y del generador de pulsos 130 es pequeña, la luz pulsada de bombeo se amplifica a través del amplificador 140 para facilitar la medición.

Preferiblemente, el amplificador 140 es un amplificador de fibra dopada de erbio (EDFA), que tiene ventajas en que tiene una ganancia más alta que los amplificadores de láser de semiconductores y no se deteriora incluso a través de la transmisión de señales de alta velocidad, y también tiene un bajo nivel de ruido.

La fibra óptica de prueba 150 es una fibra óptica en la que se genera la luz retrodispersada a medida que la luz pulsada de bombeo amplificada se desplaza por el amplificador 140.

La segunda unidad de fuente de luz 160 emite luz, que se usa para determinar si se ha desplazado o no la frecuencia central de la luz pulsada de bombeo, a la fibra óptica de prueba 150.

El segundo modulador 170 modula la luz emitida desde la segunda unidad de fuente de luz 160 en luz de sondeo.

El generador de señales de RF 180 aumenta la frecuencia de la luz de sondeo de una manera escalonada para obtener un cambio de frecuencia de Brillouin que provoca una amplificación de dispersión de Brillouin.

Específicamente, para obtener un cambio de frecuencia de Brillouin, el generador de señales de RF 180 funciona mientras se cambia la frecuencia de una manera escalonada a intervalos de frecuencia predeterminados desde una primera frecuencia a una última frecuencia en un intervalo de frecuencias predeterminado.

Al usar este generador de señales de RF 180, el segundo modulador 170 modula la luz emitida desde la segunda unidad de fuente de luz 160 en luz de sondeo.

El circulador óptico 190 diverge y emite la luz que se dispersa en una dirección opuesta a la dirección de desplazamiento de la luz pulsada de bombeo (es decir, la luz retrodispersada en la fibra óptica de prueba 150) a la unidad de filtro óptico 200.

5 El circulador óptico 190 está dispuesto entre el amplificador 140 y la fibra óptica prueba 150 para evitar que parte de la luz pulsada de bombeo entre directamente en la unidad de filtro óptico 200 cuando la luz pulsada de bombeo se transmite a la fibra óptica de prueba 150.

10 La unidad de filtro óptico 200 hace pasar solamente la luz dispersada de Raman y la luz dispersada de Brillouin incluidas en la luz retrodispersada en la fibra óptica de prueba 150.

Más específicamente, la unidad de filtro óptico 200 incluye un filtro de Raman 201 y un filtro de Brillouin 205 y el filtro de Raman 201 hace pasar solamente la luz que corresponde a la dispersión de Raman incluida en la luz retrodispersada y el filtro de Brillouin 205 hace pasar solamente la luz que corresponde a la dispersión de Brillouin
15 incluida en la luz retrodispersada.

Por ejemplo, el filtro de Raman 201 hace pasar la luz que tiene una longitud de onda de 900-1000 nm incluida en la luz retrodispersada y el filtro de Brillouin 205 hace pasar la luz que tiene una longitud de onda de 1555 nm incluida en la luz retrodispersada.
20

El primer detector óptico 210 detecta la luz que ha pasado a través del filtro de Raman 201 y realiza una conversión de analógico a digital de alta velocidad en la luz detectada, convirtiendo de este modo la señal óptica dispersada de Raman en una señal digital.

25 La señal óptica dispersada de Raman incluye información de un cambio en la temperatura en una posición específica de la fibra óptica.

El segundo detector óptico 220 detecta la luz que ha pasado a través del filtro de Brillouin 205 y realiza una conversión de analógico a digital de alta velocidad en la luz detectada, convirtiendo de este modo la señal óptica dispersada de Brillouin en una señal digital.
30

La señal óptica dispersada de Brillouin incluye información de un cambio en el grado de deformación y un cambio en la temperatura en una posición específica de la fibra óptica.

35 El primer detector óptico 210 y el segundo detector óptico 220 detectan secuencialmente la luz retrodispersada en la fibra óptica de prueba 150. La razón de por qué el primer detector óptico 210 y el segundo detector óptico 220 detectan la luz retrodispersada en diferentes momentos es porque detectan un cambio en la temperatura y un cambio en el grado de deformación con respecto a la diferencia de las respectivas distancias de las posiciones en la fibra óptica.
40

Es decir, puede leerse un cambio en la temperatura y un cambio en el grado de deformación en cada posición de la fibra óptica detectando la diferencia de tiempo de la luz retrodispersada.

45 El medidor de señales ópticas 230 controla el funcionamiento global del sistema de sensores de fibra óptica distribuida de la presente invención de acuerdo con unas variables básicas preestablecidas tales como un recuento promedio, un recuento de muestreo y una tasa de muestreo, un intervalo de radiación de frecuencia, y una frecuencia de etapa. El medidor de señales ópticas 230 recibe los datos digitales de la luz dispersada de Raman y de la luz dispersada de Brillouin desde el primer detector óptico 210 y desde el segundo detector óptico 220 y emite unas señales con respecto a la longitud de la fibra óptica, la intensidad óptica, y un cambio de frecuencia de Brillouin.
50

El medidor de señales ópticas 230 puede obtener información de la temperatura con respecto a la distancia de los datos de la luz dispersada de Raman recibida del primer detector óptico 210 y puede obtener información del grado de deformación y de la temperatura con respecto a la distancia de los datos de la luz dispersada de Brillouin recibida del segundo detector óptico 220. Usando esta información, el medidor de señales ópticas 230 puede medir por separado el grado de deformación y la temperatura con respecto a la distancia de la fibra óptica de prueba 150.
55

Este método se describe a continuación con referencia a las expresiones matemáticas 1 y 2.

EXPRESIÓN MATEMÁTICA 1

$$R_s(i) = T(i)$$

EXPRESIÓN MATEMÁTICA 2

$$B_s(f) = T(f) + e(f)$$

60

La expresión matemática 1 es una ecuación que representa el cambio en la intensidad óptica (i) con respecto a la temperatura T en cada distancia cuando se mide la luz dispersada de Raman y la expresión matemática 2 es una ecuación que representa el cambio en la frecuencia óptica (f) con respecto a la temperatura T y el grado de deformación (e) en cada distancia cuando se mide la luz dispersada de Brillouin.

5 Ya que el término temperatura puede medirse comúnmente en las expresiones matemáticas 1 y 2, el grado de deformación con respecto a la distancia puede medirse obteniendo la diferencia entre los datos recibidos del primer detector óptico 210 y los datos recibidos del segundo detector óptico 220.

10 De acuerdo con la presente invención, como se ha descrito anteriormente, la luz retrodispersada en la fibra óptica de prueba 150 se separa en la luz dispersada de Raman y en la luz dispersada de Brillouin a través del filtrado de la unidad de filtro óptico 200 y los datos de la luz dispersada de Raman y los datos de la luz dispersada de Brillouin se miden simultáneamente a través del primer detector óptico 210 y del segundo detector óptico 220, de manera que puede medirse por separado un cambio en el grado de deformación y un cambio en la temperatura con respecto a la distancia.

La figura 3 ilustra una realización en la que la unidad de filtro óptico de la presente invención separa la luz dispersada de Raman y la luz dispersada de Brillouin.

20 Como se muestra, una unidad de filtro óptico 300 incluye un filtro reflejado de Raman 310 y un filtro de paso de Brillouin 320.

El filtro reflejado de Raman 310 y el filtro de paso de Brillouin 320 pueden implementarse cada uno como un filtro de película delgada.

25 Cuando la luz retrodispersada divergida en un circulador óptico (no mostrado) se introduce en la unidad de filtro óptico 300, el filtro reflejado de Raman 310 refleja la luz dispersada de Raman incluida en la luz retrodispersada hacia un primer detector óptico 370.

30 Es decir, la luz retrodispersada incluye un haz de luz dispersada de Brillouin, un haz de luz dispersada de Rayleigh, y un haz de luz dispersada de Raman, y el filtro reflejado de Raman 310 refleja el haz de luz dispersada de Raman entre estos haces de luz hacia el primer detector óptico 370.

35 Los haces de luz retrodispersada que no se reflejan en el filtro reflejado de Raman 310 (es decir, el haz de luz dispersada de Brillouin y el haz de luz dispersada de Rayleigh) se introducen en el filtro de paso de Brillouin 320 y, a continuación, el filtro de paso de Brillouin 320 hace pasar solamente el haz de luz dispersada de Brillouin entre los haces de luz dispersada de entrada y transmite el haz de Brillouin que ha pasado a un segundo detector óptico 380.

40 La figura 4 ilustra otra realización en la que la unidad de filtro óptico de la presente invención separa la luz dispersada de Raman y la luz dispersada de Brillouin.

Como se muestra, una unidad de filtro óptico 300 incluye un divisor 330, un filtro de paso de Raman 340 y un filtro de paso de Brillouin 350.

45 Cuando la luz retrodispersada divergida en un circulador óptico (no mostrado) se introduce en la unidad de filtro óptico 300, el divisor 330 distribuye la luz retrodispersada entre el filtro de paso de Raman 340 y el filtro de paso de Brillouin 350.

50 El filtro de paso de Raman de 340 hace pasar solamente un haz de luz dispersada de Raman incluido en la luz retrodispersada de entrada y transmite el haz de Raman que ha pasado a un primer detector óptico 370 y el filtro de paso de Brillouin 350 hace pasar solamente un haz de luz dispersada de Brillouin incluido en la luz retrodispersada de entrada y transmite el haz de Brillouin que ha pasado a un segundo detector óptico 380.

55 Si la unidad de filtro óptico se construye como se muestra en las figuras 3 y 4, es posible separar la luz dispersada de Raman y la luz dispersada de Brillouin de la luz retrodispersada a través del filtrado.

La figura 5 es un diagrama de bloques que ilustra una segunda realización del sistema de sensores de fibra óptica distribuida de la presente invención.

60 Como se muestra, el sistema de sensores de fibra óptica distribuida incluye una unidad de fuente de luz 410, un modulador 420, un generador de pulsos 430, un amplificador 440, un circulador óptico 450, una unidad de filtro óptico 460, un primer detector óptico 470, un segundo detector óptico 480, y un medidor de señal óptica 490.

65 En este sistema de sensores de fibra óptica distribuida de la presente invención, la luz emitida desde la unidad de fuente de luz 410 se modula en la luz pulsada de bombeo a través del modulador 420 y del generador de pulsos 430 y, a continuación, la luz pulsada de bombeo se transmite a una fibra óptica.

A continuación, la luz retrodispersada en la fibra óptica se separa en un haz de luz dispersada de Raman y en un haz de luz dispersada de Brillouin a través de la unidad de filtro óptico 460 y el haz de luz dispersada de Raman y el haz de luz dispersada de Brillouin se detectan en el primer detector óptico 470 y en el segundo detector óptico 480, respectivamente.

A continuación, el medidor de señales ópticas 490 mide un cambio en la temperatura con respecto a la distancia de los datos de luz dispersada de Raman detectados y mide un cambio en el grado de deformación y un cambio en la temperatura con respecto a la distancia de los datos de luz dispersada de Brillouin detectados y mide, basándose en esta información de medición, cada uno de los cambios en el grado de deformación con respecto a la distancia y el cambio de temperatura con respecto a la distancia.

En esta realización, se genera la luz pulsada de bombeo mientras que no se genera la luz de sondeo usada para determinar si se ha desplazado o no la frecuencia de la luz dispersada de Brillouin. En este caso, el propio medidor de señales ópticas 490 analiza la luz dispersada de Brillouin para medir un cambio en la temperatura y un cambio en el grado de deformación con respecto a la distancia.

Es decir, ya que la luz dispersada de Brillouin que se retrodispersa en la fibra óptica incluye no solo la luz pulsada de bombeo, sino también un componente de frecuencia inherente (10,8 Ghz) debido a la dispersión de Brillouin, el medidor de señales ópticas 490 analiza el componente de frecuencia para leer un cambio en la temperatura y un cambio en el grado de deformación con respecto a la distancia.

La figura 6 es un diagrama de bloques que ilustra una tercera realización del sistema de sensores de fibra óptica distribuida de la presente invención.

Como se muestra, el sistema de sensores de fibra óptica distribuida incluye una unidad de fuente de luz 510, un divisor 520, un primer modulador 530, un generador de pulsos 540, un segundo modulador 550, un generador de señales de RF 560, un acoplador 570, un amplificador 580, un circulador óptico 590, un reflector 600, una unidad de filtro óptico 610, un primer detector óptico 620, un segundo detector óptico 630, y un medidor de señales ópticas 640.

En este sistema de sensores de fibra óptica distribuida de la presente invención, la luz emitida desde la unidad de fuente de luz 510 se distribuye y se introduce en el primer modulador 530 y en el segundo modulador 550 a través del divisor 520.

La luz emitida desde la unidad de fuente de luz 510 se modula en la luz pulsada de bombeo a través del primer modulador 530 y del generador de pulsos 540 y se modula en la luz de sondeo a través del segundo modulador 550 y del generador de señales de RF 560.

La luz pulsada de bombeo producida a través de la modulación del primer modulador 530 y del generador de pulsos 540 y la luz de sondeo producida a través de la modulación del segundo modulador 550 y del generador de señales de RF 560 se transmiten al amplificador 580 a través del acoplador 570 y, a continuación, se amplifican en el amplificador 580.

La luz pulsada de bombeo y la luz de sondeo amplificadas en el amplificador 580 se transmiten a una fibra óptica y, a continuación, se reflejan para desplazarse hacia atrás por el reflector 600 formado en un extremo de la fibra óptica.

El circulador óptico 590 entrega la luz retrodispersada de la fibra óptica a la unidad de filtro óptico 610, y la unidad de filtro óptico 610 hace pasar un haz de luz dispersada de Raman y un haz de luz dispersada de Brillouin incluidos en la luz retrodispersada.

El haz de luz dispersada de Raman y el haz de luz dispersada de Brillouin que han pasado a través de la unidad de filtro óptico 610 se detectan en el primer detector óptico 620 y en el segundo detector óptico 630, respectivamente.

El medidor de señales ópticas 640 mide un cambio en la temperatura con respecto a la distancia de los datos de luz dispersados de Raman detectados y mide un cambio en el grado de deformación y un cambio en la temperatura con respecto a la distancia de los datos de luz dispersados de Brillouin y mide, basándose en esta información de medición, cada uno de los cambios en el grado de deformación con respecto a la distancia y el cambio en la temperatura con respecto a la distancia.

En esta realización, la luz pulsada de bombeo y la luz de sondeo se generan usando la única unidad de fuente de luz 510. Para lograr esto, la luz emitida desde la unidad de fuente de luz 510 se distribuye entre el primer modulador 530 y el segundo modulador 550 a través del divisor 520 y, a continuación, se modula en la luz pulsada de bombeo y en la luz de sondeo, respectivamente, a través del primer modulador 530 y del segundo modulador 550.

Además, en esta realización, ya que la luz pulsada de bombeo y la luz de sondeo se transmiten a la fibra óptica en la misma dirección, el reflector 600 se forma en un extremo de la fibra óptica de manera que la luz de sondeo se refleja

en el reflector 600 para desplazarse hacia atrás, permitiendo de este modo la determinación de si se ha desplazado o no la frecuencia central de la luz pulsada de bombeo.

5 Aunque la presente invención se ha descrito con referencia a las realizaciones a modo de ejemplo, los expertos en la materia de la invención apreciarán que pueden hacerse varias modificaciones a las realizaciones, sin apartarse del alcance y del espíritu de la invención.

10 Por consiguiente, el alcance de la presente invención no debería limitarse a las realizaciones descritas anteriormente, sino que se define por las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de sensores de fibra óptica distribuida que comprende:

- 5 - un modulador óptico (120) para modular la luz emitida desde una unidad de fuente de luz (110) en una luz pulsada de bombeo y transmitir la luz pulsada de bombeo a una fibra óptica de prueba (150);
- un circulador óptico (190) para divergir la luz retrodispersada que se genera en la fibra óptica de prueba (150);
- una unidad de filtro óptico (200) para hacer pasar la luz dispersada de Raman y la luz dispersada de Brillouin incluidas en la luz retrodispersada divergida por el circulador óptico (190), comprendiendo la unidad de filtro
- 10 óptico (200) un filtro de paso de Raman para hacer pasar solamente la luz dispersada de Raman incluida en la luz retrodispersada divergida por el circulador óptico y un filtro de paso de Brillouin para hacer pasar solamente la luz dispersada de Brillouin incluida en la luz retrodispersada divergida por el circulador óptico;
- un primer detector óptico (210) adaptado para convertir la luz dispersada de Raman que ha pasado a través de la unidad de filtro de paso de Raman en datos digitales y para medir un cambio en la temperatura con respecto a
- 15 una distancia de la fibra óptica de prueba (150) usando los datos digitales; y
- un segundo detector óptico (220) adaptado para convertir la luz dispersada de Brillouin que ha pasado a través del filtro de paso de Brillouin en datos digitales y para medir un cambio en la temperatura y un cambio en un grado de deformación con respecto a una distancia de la fibra óptica de prueba (150), usando los datos digitales y el cambio de la temperatura medida a través del primer detector óptico (210),
- 20 en donde la medición de la luz dispersada de Raman mediante el primer detector óptico (210) y la medición de la luz dispersada de Brillouin mediante el segundo detector óptico (220) se realizan secuencialmente.

2. El sistema de sensores de fibra óptica distribuida de la reivindicación 1, que comprende además un segundo modulador óptico (170) para modular la luz emitida desde una segunda unidad de fuente de luz (160) en la luz de sondeo y transmitir la luz de sondeo al otro extremo de la fibra óptica de prueba (150).

3. Un sistema de sensores de fibra óptica distribuida que comprende:

- un divisor (520) para divergir la luz emitida desde una unidad de fuente de luz;
- 30 - un primer modulador óptico (530) para modular la luz divergida en el divisor en la luz pulsada de bombeo;
- un segundo modulador óptico (550) para modular la luz divergida en el divisor en la luz de sondeo;
- un amplificador (580) para amplificar la luz pulsada de bombeo y la luz de sondeo y transmitir la luz pulsada de bombeo y la luz de sondeo amplificadas a una fibra óptica de prueba;
- un acoplador (570) para transmitir la luz desde el primer modulador óptico y desde el segundo modulador óptico
- 35 al amplificador (580);
- un reflector (600) formado en un extremo de la fibra óptica de prueba para reflejar la luz de sondeo;
- un circulador óptico (590) para divergir la luz retrodispersada que se genera en la fibra óptica de prueba;
- una unidad de filtro óptico (610) para hacer pasar la luz dispersada de Raman y la luz dispersada de Brillouin incluidas en la luz retrodispersada divergida por el circulador óptico (590), comprendiendo la unidad de filtro
- 40 óptico (610) un filtro de paso de Raman para hacer pasar solamente la luz dispersada de Raman incluida en la luz retrodispersada divergida por el circulador óptico (590) y un filtro de paso de Brillouin para hacer pasar solamente la luz dispersada de Brillouin incluida en la luz retrodispersada divergida por el circulador óptico (590);
- y
- un primer detector óptico (210) adaptado para convertir la luz dispersada de Raman que ha pasado a través de la unidad de filtro de paso de Raman en datos digitales y para medir un cambio en la temperatura con respecto a
- 45 una distancia de la fibra óptica de prueba (150) usando los datos digitales, y
- un segundo detector óptico (220) adaptado para convertir la luz dispersada de Brillouin, que ha pasado a través del filtro de paso de Brillouin, en datos digitales y para medir un cambio en la temperatura y un cambio en un grado de deformación con respecto a una distancia de la fibra óptica de prueba (150), usando los datos digitales y el cambio de la temperatura medida a través del primer detector óptico (210), y
- 50 - en donde la medición de la luz dispersada de Raman mediante el primer detector óptico (210) y la medición de la luz dispersada de Brillouin mediante el segundo detector óptico (220) se realizan secuencialmente.

4. El sistema de sensores de fibra óptica distribuida de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además:

- un medidor de señales ópticas adaptado para medir un cambio en la temperatura con respecto a la distancia de la fibra óptica de prueba de los datos emitidos desde el primer detector óptico, para medir un cambio en la temperatura y un cambio en el grado de deformación con respecto a la distancia de la fibra óptica de prueba a
- 60 partir de los datos emitidos desde el segundo detector óptico, y para emitir por separado el cambio en la temperatura y el cambio en el grado de deformación con respecto a la distancia de la fibra óptica de prueba usando los datos digitales que usan los datos medidos.

5. El sistema de sensores de fibra óptica distribuida de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el primer modulador óptico incluye:

- un generador de pulsos para generar un pulso de bombeo;
- un primer modulador para modular la luz emitida desde la primera unidad de fuente de luz en una luz pulsada de bombeo usando el generador de pulsos; y
- un amplificador para amplificar la luz pulsada de bombeo producida a través de la modulación del primer modulador.

5

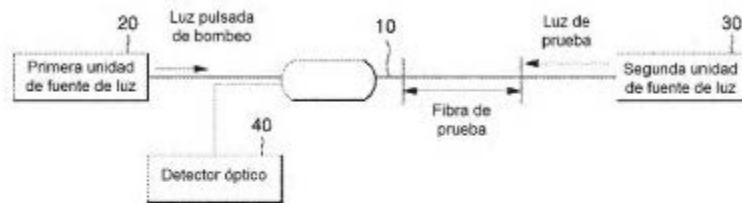
6. El sistema de sensores de fibra óptica distribuida de acuerdo con la reivindicación 5, en donde el amplificador es un amplificador de fibra dopada de erbio (EDFA).

10 7. El sistema de sensores de fibra óptica distribuida de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el segundo modulador óptico incluye:

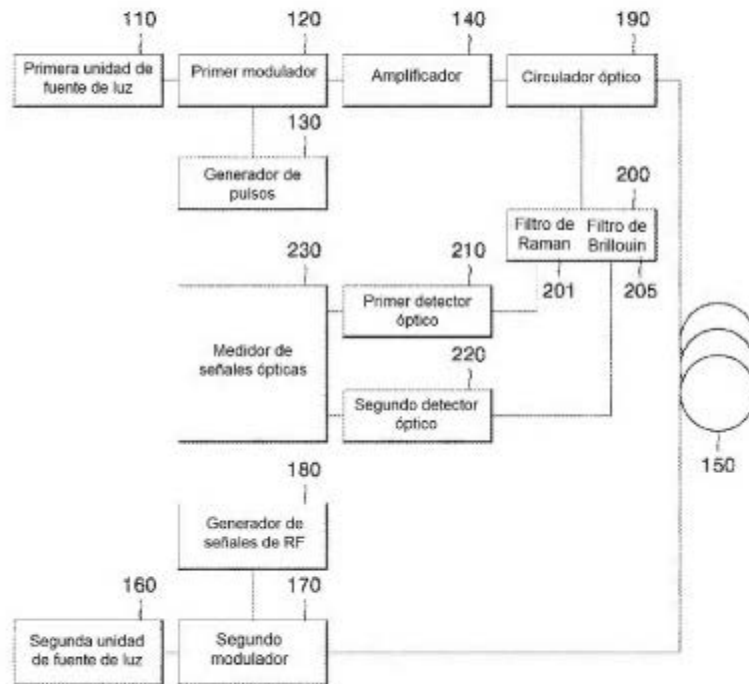
- un generador de señales de RF para generar una señal de RF en intervalos de frecuencia predeterminados desde una primera frecuencia a una última frecuencia en un intervalo de frecuencias predeterminado; y
- un segundo modulador para modular la luz emitida desde la segunda unidad de fuente de luz en una luz de sondeo usando el generador de señales de RF.

15

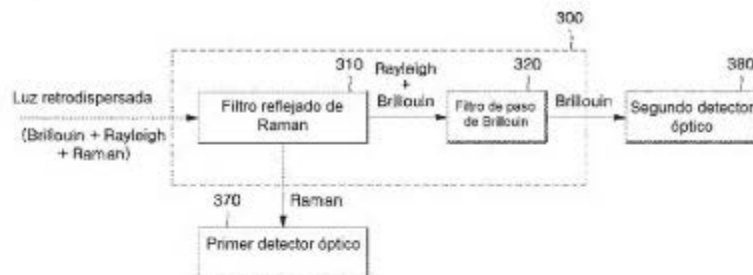
[Fig. 1]



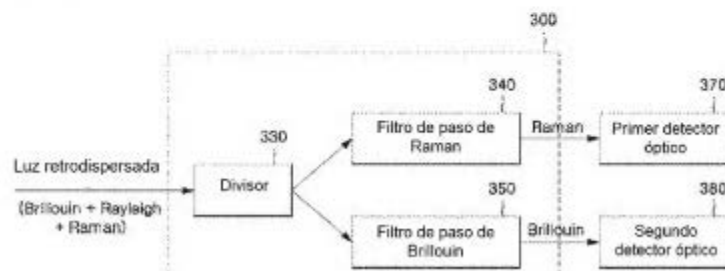
[Fig. 2]



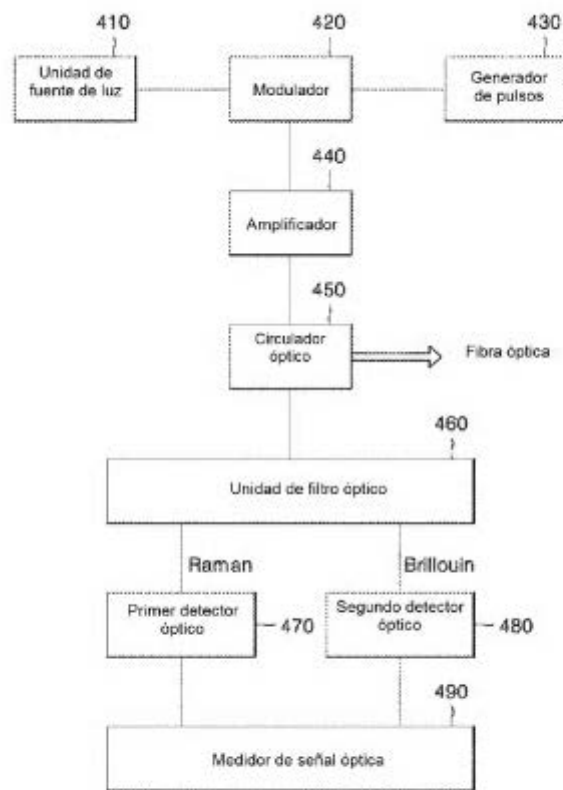
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]

