



ESPAÑA



(2006.01)

A1

ILLESCAS TABOADA, Manuel

Dispositivo y procedimiento para la medida de la distribución de magnitudes físicas en una fibra óptica. La invención hace referencia a un dispositivo y a un procedimiento para la medida de la distribución de magnitudes físicas en una fibra óptica, basado en una mejora de la técnica de análisis óptico Brillouin en el dominio del tiempo. Dicho dispositivo, así como el procedimiento, mejoran la relación señal ruido de la señal de medida detectada mediante el uso de detección heterodina de dicha señal. Adicionalmente, la invención comprende la demodulación síncrona de la señal de radiofrecuencia resultado de la detección heterodina, lo que permite medir tanto el módulo como la fase del espectro de la interacción Brillouin, mejorando así la caracterización de dicho espectro.

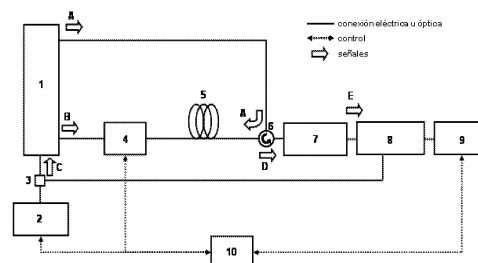


Figura 3

DESCRIPCIÓN

Dispositivo y procedimiento para la medida de la distribución de magnitudes físicas en una fibra óptica

CAMPO DE LA INVENCION

5 La presente invención está relacionada con sensores de fibra óptica distribuidos, basados en el efecto no lineal de dispersión de Brillouin estimulada y, más específicamente, con los sensores basados en la técnica de análisis óptico Brillouin en el dominio del tiempo.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10 Los sensores Brillouin distribuidos basados en la técnica de análisis óptico de Brillouin en el dominio del tiempo (conocida dicha técnica como BOTDA, de las siglas en inglés de "*Brillouin optical time-domain analysis*"), tienen su fundamento en la utilización del efecto no lineal de dispersión de Brillouin estimulada ("*stimulated Brillouin scattering*", o SBS) en fibra óptica, por el cual dos ondas ópticas que se propagan en sentido opuesto, en un tramo de dicha fibra óptica, dan lugar a la aparición de una onda acústica que genera transferencia de energía desde una de las ondas, llamada onda de bombeo, a la otra onda, denominada onda de Stokes. El resultado de este proceso es que la onda de Stokes resulta amplificada y, la onda de bombeo, atenuada. Esto ocurre siempre que la separación en frecuencia óptica de las ondas de bombeo y de Stokes sea igual al llamado desplazamiento en frecuencia de Brillouin (*Brillouin frequency shift*, BFS) propio de la fibra óptica utilizada. De esta manera, el efecto da lugar a la aparición de un espectro de ganancia para ondas que se propaguen en sentido opuesto a la onda de bombeo y que tiene un máximo a la frecuencia óptica dada por la resta entre la frecuencia óptica de la onda de bombeo y el BFS. Este espectro, también llamado espectro de ganancia de Brillouin, tiene una forma de función de Lorentz y una anchura de línea del orden de algunas decenas de megahercios, que viene dada por el parámetro denominado anchura de línea de Brillouin, y que es propio de cada tipo de fibra óptica. Simultáneamente, se da un espectro de atenuación Brillouin con características análogas para ondas que se propagan en sentido opuesto a la onda de Stokes, con forma y anchura de línea similar.

25 En la aplicación del BOTDA al desarrollo de sensores, se aprovecha que el BFS depende de las magnitudes físicas a las que está sometida la fibra, en particular la temperatura (T) y la elongación de la fibra (ϵ). Concretamente, se encuentra que el BFS tiene una dependencia aproximadamente lineal con estos parámetros, que se puede expresar como $BFS = BFS_0 + C_T T + C_\epsilon \epsilon$, donde BFS_0 es el BFS a una temperatura dada de referencia y sin deformación de la fibra, y C_T y C_ϵ son los coeficientes de dependencia con la temperatura y la elongación, respectivamente. Por tanto, puede encontrarse la temperatura o la elongación a la que está sometida una fibra, simplemente midiendo el espectro de ganancia Brillouin y determinando su máximo. Para hacer esto, se introduce, desde un extremo de la fibra, la onda de bombeo y, desde el otro extremo, una onda auxiliar de prueba que actúa como onda de Stokes en la interacción Brillouin. El procedimiento consiste en medir la ganancia que experimenta la onda de prueba al atravesar la fibra óptica para diferentes separaciones en frecuencia óptica entre las dos ondas. Igualmente, se puede utilizar el espectro de atenuación Brillouin, haciendo que la onda de prueba actúe como onda de bombeo en la interacción Brillouin. Con ello se puede determinar la temperatura o la elongación promedio a la que está sometida el tramo de fibra óptica utilizado.

40 La técnica BOTDA permite, además, realizar una medida de la distribución de las magnitudes físicas a lo largo de la fibra óptica. Para ello, se genera un pulso de onda de bombeo antes de introducirla por un extremo de la fibra. Dicho pulso de onda se contra-propaga a lo largo de la fibra con una onda de prueba, continua en el tiempo, que se introduce por el otro extremo. Finalmente, se mide la ganancia que experimenta esta onda de prueba tras atravesar la fibra óptica en función del tiempo. La ganancia medida en un instante dado corresponde a la interacción entre el pulso de bombeo y la onda de prueba, en una posición dada de la fibra. De esta manera, utilizando una técnica reflectométrica clásica, se puede traducir ganancia en función del tiempo a ganancia en función de la posición. Esto, combinado con el barrido de la separación en frecuencia óptica entre onda de bombeo y de prueba, permite medir el espectro de ganancia Brillouin en cada posición de la fibra y, a partir de él, encontrar el BFS en esa posición y con ello T y ϵ . La resolución espacial de la medida viene determinada generalmente por la duración temporal del pulso de bombeo, puesto que éste determina la extensión en la que se produce ganancia por interacción Brillouin entre la onda de bombeo y la onda de prueba. La técnica BOTDA también se puede implementar mediante la medida del espectro de atenuación Brillouin en lugar del espectro de ganancia.

50 Además de los sensores BOTDA, existen otros tipos de sensores Brillouin distribuidos, como son los sensores basados en reflectometría óptica Brillouin en el dominio del tiempo (*Brillouin optical time-domain reflectometry*, BOTDR), que comprenden el uso de la dispersión de Brillouin espontánea, y los basados en la técnica de análisis óptico Brillouin en el dominio de la coherencia (*Brillouin optical coherence-domain analysis*, BOFDA) que utilizan el efecto SBS, pero empleando un método distinto al de los BOTDA para proveer medidas distribuidas de BFS. Por ejemplo, la solicitud de patente española ES2226001 describe un sensor de tipo BOTDR.

El concepto general de la técnica BOTDA se describe en la solicitud de patente US 4997277. Con posterioridad, se han propuesto distintas mejoras a la técnica básica, por ejemplo en cuanto a la mejora de la resolución espacial de la técnica, mediante el empleo de formas de onda pulsadas especiales. Así, la patente US

7245790 B2 describe una técnica para mejorar la resolución de los sensores BOTDA basada en el uso de pulsos oscuros (*dark pulses*). La patente US 7719666 B2 propone un método para mejorar la resolución basado en el uso de pulsos de bombeo con forma escalonada. También, la patente US 7227123 B2 describe otra técnica para mejorar la resolución de las medidas en BOTDA basada en la transmisión secuencial de dos pulsos con distinta duración. Otra mejora es la propuesta en la patente US7480460 B2 donde se describe un sistema que utiliza una onda de prueba en forma de “peine” de frecuencias para conseguir medir simultáneamente la interacción Brillouin para múltiples separaciones de la onda de bombeo y la de Stokes simultáneamente y que puede permitir reducir el tiempo de medida para conseguir medidas dinámicas.

Sin embargo, los sistemas BOTDA existentes en el estado de la técnica tienen importantes limitaciones que impiden aprovechar todas las potenciales ventajas de esta tecnología. Los principales son: la escasa relación señal a ruido (*signal-to-noise ratio*, SNR) de las medidas, los elevados tiempos de medida necesarios, o los efectos no locales causados por la transferencia de energía de la onda de bombeo a la de prueba, que limitan la precisión de la medida y la máxima resolución espacial que se puede conseguir. La presente invención contribuye a solucionar directa o indirectamente todas estas limitaciones, lo que permite una mejora muy significativa en las prestaciones de los sensores distribuidos tipo BOTDA.

Las señales detectadas en los sensores BOTDA actuales tienen una amplitud muy pequeña, debido a lo reducido de la ganancia Brillouin que se puede conseguir en el pequeño tramo de fibra en el que se produce la interacción entre el pulso de bombeo y la onda de prueba. Por tanto, en principio, la SNR de las medidas es pequeña, lo que limita la precisión en la medida del espectro de ganancia Brillouin y por ende del BFS. Esto obliga a realizar medidas repetitivas y promediar los resultados a fin de eliminar ruido y mejorar la SNR. Sin embargo, ello supone un incremento de los tiempos de medida que pueden llegar a ser del orden de minutos en fibras largas, lo cual limita las aplicaciones industriales de este tipo de sensores.

Una posible solución a este problema sería incrementar la potencia óptica de los pulsos de bombeo para así aumentar la ganancia Brillouin, sin embargo existe un límite en la potencia máxima que pueden tener estos pulsos debido a la aparición de otros efectos no lineales en la fibra óptica que distorsionan la medida. La otra posibilidad es incrementar la potencia de la onda de prueba para tener así un incremento equivalente en la SNR de la señal recibida. Sin embargo, esta posibilidad también está limitada por la aparición de los llamados efectos no locales, causados por la transferencia de energía de la onda de bombeo a la de prueba y que dan lugar a que las medidas realizadas en un punto de la fibra óptica sean dependientes de las condiciones en otros puntos de la fibra. Esto introduce un error sistemático en las medidas realizadas que supone una disminución de la precisión del sistema.

Como se ha explicado anteriormente, la resolución espacial de las medidas viene dada por la duración temporal del pulso de bombeo: disminuyendo esta duración se incrementa la resolución espacial de la medida. Sin embargo, conforme se reduce la duración del pulso por debajo de unos 10ns, lo que equivale a una resolución espacial de aproximadamente 1 m, el espectro Brillouin medido comienza a aumentar su anchura de banda. Esto supone una reducción en la precisión en la determinación del BFS puesto que éste viene dado por el máximo del espectro de ganancia, y en presencia de ruido determinar este máximo es más complejo conforme el espectro se ensancha. Por tanto, en BOTDA convencionales existe un compromiso entre resolución espacial y precisión en la medida.

La invención a la que se refiere la presente solicitud de patente permite incrementar la SNR de la señal recibida en sensores BOTDA, sin necesidad de aumentar los tiempos de medida, ni de disminuir la precisión del sensor, debido a la aparición de efectos no locales. Además, esta mejora en la SNR de la señal detectada también permite aumentar la precisión en la medida del BFS para una duración de pulso de bombeo dada. Las citadas mejoras obtenidas mediante la presente invención se basan en modificar los pasos del procedimiento de realización de medidas empleado hasta el momento en sensores BOTDA y, concretamente, se centran en la modificación del procedimiento de detección de las señales tal como se describirá en la descripción de la invención en los apartados que siguen.

DESCRIPCIÓN BREVE DE LA INVENCION

Un objeto de la presente invención es un dispositivo para la medida de la distribución de magnitudes físicas en una fibra óptica que comprende, al menos:

- una fuente óptica configurada para generar, al menos, una señal óptica de bombeo pulsada y, al menos, una señal óptica de prueba que comprende, al menos, dos componentes espectrales con una separación en frecuencia óptica entre dichas componentes;

- un segmento de fibra óptica donde la señal óptica de prueba interacciona con la señal óptica de bombeo; y donde dicho dispositivo comprende, adicionalmente:

- un fotorreceptor configurado para detectar la señal óptica de salida de la fibra como consecuencia de la generación de una señal eléctrica de radiofrecuencia resultado del batido, esto es, de la variación periódica de la amplitud resultante de la combinación de las componentes espectrales contenidas en dicha señal óptica de salida de la fibra;

- un demodulador síncrono configurado para demodular la señal eléctrica de radiofrecuencia a la salida del receptor.

5 Se consigue con ello incrementar la SNR de la señal recibida en sensores BOTDA, sin necesidad de aumentar los tiempos de medida ni de disminuir la precisión del sensor debido a la aparición de efectos no locales, lo cual permite, adicionalmente, aumentar sustancialmente la precisión en la medida del BFS para una duración de pulso de bombeo dada. Adicionalmente, se consigue, mediante el objeto de la invención, medir la fase del espectro Brillouin, lo que también supone una mejora sustancial de la precisión en la determinación del BFS con respecto a los dispositivos del estado de la técnica.

10 En una realización preferente de la invención, la fuente óptica del dispositivo comprende, al menos, una fuente óptica de banda estrecha, al menos, un divisor de señal óptica, al menos, un modulador óptico y, al menos, un generador de pulsos de radiofrecuencia.

En otra realización de la invención, la fuente óptica del dispositivo comprende, al menos, un modulador óptico en banda lateral única.

15 En una realización alternativa de la invención, la fuente óptica del dispositivo comprende, al menos, un modulador óptico de fase.

En aún otra realización de la invención, la fuente óptica del dispositivo comprende, al menos, un modulador óptico en banda lateral doble con portadora suprimida.

En otra realización de la invención, la fuente óptica del dispositivo comprende un amplificador óptico configurado para aumentar la potencia óptica de la señal de bombeo generada.

20 En otra realización de la invención, la fuente óptica del dispositivo comprende un filtro óptico configurado para eliminar ruido óptico y/o componentes no deseadas del espectro óptico.

En una realización más de la invención, el dispositivo comprende un sistema de captura de datos configurado para obtener los datos de la distribución de magnitudes físicas medidas en la fibra óptica.

25 En otra realización de la presente invención, el dispositivo comprende un sistema de control equipado con una combinación de hardware y/o software programable, configurado dicho sistema para sincronizar la medida de magnitudes físicas en la fibra óptica, actuando sobre la fuente óptica, el controlador de polarización y el generador de RF, y/o para procesar los datos de medida capturados en el sistema de captura de datos, para obtener la medida del BFS y/o de las magnitudes físicas en la fibra óptica.

30 Otro objeto de la presente invención es un procedimiento para la medida de la distribución de magnitudes físicas en una fibra óptica que comprende:

- la introducción por un extremo de un segmento de fibra óptica de una señal óptica de bombeo pulsada;

- la introducción por el otro extremo de la fibra óptica de una señal óptica de prueba compuesta por, al menos, dos componentes espectrales con una separación en frecuencia óptica determinada;

35 - la interacción en la fibra óptica, por medio del efecto de dispersión de Brillouin estimulada, de la señal óptica de bombeo con, al menos, una de las componentes espectrales de la señal óptica de prueba para generar una señal óptica de salida que contiene dichas componentes;

- la detección en un fotodetector de la señal óptica de salida para dar lugar a una señal de radiofrecuencia, consecuencia del batido de las componentes espectrales de la señal óptica de salida;

40 - la demodulación síncrona de la señal de radiofrecuencia para obtener el módulo y/o la fase de la señal a la frecuencia dada por la diferencia de frecuencia óptica entre las componentes espectrales de la señal óptica de salida;

- el procesado de la señal resultado de la demodulación síncrona de la señal de radiofrecuencia para obtener la distribución a lo largo de la fibra óptica del módulo y/o la fase del espectro de la interacción Brillouin, a una frecuencia óptica determinada por la frecuencia óptica de la señal de bombeo pulsada y la frecuencia de una de las componentes espectrales de la señal óptica de prueba;

45 En una realización preferente del procedimiento de la invención, las etapas del mismo se repiten para distintos ajustes de las frecuencias ópticas de la onda de bombeo pulsada y/o de una de las componentes de la señal óptica de prueba, con el fin de obtener la distribución a lo largo de la fibra óptica del módulo y/o la fase de la interacción Brillouin a distintas frecuencias ópticas.

50 En una realización preferente del procedimiento de la invención, una o más de las etapas de dicho procedimiento se realizan mediante el dispositivo para la medida de la distribución de magnitudes físicas en una fibra óptica, descrito en la presente solicitud de patente.

Otras características y ventajas de la invención se desprenderán de la descripción que sigue, así como de las figuras que acompañan al presente documento.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Figura 1 ilustra el funcionamiento del sistema de detección de la señal en los sistemas tipo BOTDA del estado de la técnica.

La Figura 2 ilustra el funcionamiento del sistema de detección de la señal en el sistema BOTDA mejorado de la presente invención.

La Figura 3 representa un esquema de una realización preferente de la presente invención.

La Figura 4 representa un esquema de de la fuente óptica utilizada en una realización de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

El método convencional de generación, detección y procesado de las señales utilizadas en los sensores de tipo BOTDA empleados en el estado de la técnica se muestra esquemáticamente en la Figura 1. En dicho método se utiliza una onda pulsada de frecuencia óptica ν_1 y una onda de prueba continua de frecuencia óptica ν_2 , que se introducen por extremos opuestos de la fibra óptica bajo análisis ("*fiber under test*", FUT). En el proceso de medida, es necesario modificar la separación en frecuencia entre ambas ondas ópticas ν_1 - ν_2 . Estas ondas ópticas se pueden generar de múltiples formas. Una manera consiste en utilizar dos fuentes láser distintas, de las que se puede sintonizar su longitud de onda y, por tanto, su frecuencia óptica. Uno de estos láseres se pulsa utilizando algún tipo de elemento de modulación óptica (modulador electro-óptico, modulador acusto-óptico, amplificador de semiconductor, etc.) para dar lugar a la onda de bombeo pulsada, mientras que el otro se utiliza en operación continua sin pulsar como onda de prueba. Otra opción es utilizar técnicas de generación de banda lateral en la que se utiliza una única fuente láser de longitud de onda fija que se divide en dos caminos. En uno de ellos se pulsa la fuente láser utilizando un modulador óptico para generar la onda de bombeo. En el otro camino se realiza una modulación, típicamente con una onda sinusoidal, en la que se genera una señal óptica compuesta de portadora y bandas laterales de modulación. Una de estas bandas se utiliza como onda de prueba y en la salida de la fibra, antes de la detección de la señal, se emplea un filtro óptico para eliminar, de la señal recibida, la portadora y el resto de bandas laterales de modulación. Este método permite sintonizar de forma sencilla la separación en frecuencia ν_1 - ν_2 simplemente modificando la frecuencia de la señal sinusoidal utilizada en la modulación sin necesidad de disponer de fuentes láser de longitud de onda sintonizable.

En todas estas propuestas de sistemas BOTDA ya conocidas en el estado de la técnica, el sistema de detección y procesado de la señal es similar. Tal como ilustra la Figura 1, en el método convencional, al receptor óptico le llega finalmente una señal óptica que contiene una sola componente espectral que ha experimentado la interacción Brillouin. La potencia de esta onda de prueba se detecta en un fotorreceptor que tiene una respuesta tipo "banda base" desde frecuencias próximas a cero y que tiene un ancho de banda suficiente para detectar cambios en la potencia de la onda de prueba recibida, en función del tiempo, como consecuencia de variaciones del espectro Brillouin en distancias iguales a la resolución espacial del sistema. Por ejemplo, si se utilizan pulsos de una duración Δt , se requiere que el ancho de banda del receptor sea de al menos $1/\Delta t$ para no deteriorar la resolución espacial (ver, por ejemplo, Y.D. Gong, *Optics Communications*, 272 (2007) 227-237). En cuanto al procesado de los datos, se aprovechan en primer lugar conceptos reflectométricos clásicos que permiten convertir la potencia de la onda de prueba, en función del tiempo, a ganancia experimentada por esta onda en función de la posición en la fibra. Repitiendo esta medida mientras se modifica la separación en frecuencia ν_1 - ν_2 entre las ondas de bombeo y prueba en torno a la BFS, se consigue medir el espectro de ganancia Brillouin para cada posición de la fibra. Hay que destacar que con este método se consigue medir únicamente el módulo del espectro de ganancia Brillouin, pero no su fase asociada.

El dispositivo y el procedimiento de la presente invención se basan en un modo alternativo de detección y procesado de la onda de prueba, que mejora sustancialmente las prestaciones de un sensor tipo BOTDA. La Figura 2 representa esquemáticamente dicho modo de detección y procesado. En él se utiliza una onda de prueba que contiene al menos dos componentes espectrales coherentes, de las cuales una experimenta la interacción Brillouin en su propagación por la fibra óptica utilizada en la medida. En la Figura 2 se muestra, como ejemplo no limitativo de la invención, el caso en que se utiliza una señal óptica con modulación en banda lateral única (*optical single-sideband*, OSSB), pero es posible utilizar otros formatos de modulación óptica de amplitud o fase, o cualquier método que permita generar una onda óptica que tenga dos componentes espectrales coherentes como, por ejemplo, un lazo de enganche de fase óptica. En el dispositivo y en el procedimiento de la presente invención, estas dos componentes espectrales contenidas en la señal de prueba, señal portadora y banda lateral, en el ejemplo considerado, inciden en el fotodetector sin que medie ningún filtrado óptico intermedio de la señal para detectar solamente la potencia de la componente espectral que experimenta la interacción Brillouin (banda lateral). Sin embargo, a diferencia del estado de la técnica, en la invención se realiza una detección auto-heterodina, caracterizada dicha detección porque la portadora y la banda o bandas laterales que han experimentado la función de transferencia, generada por el efecto SBS, se

baten en el fotorreceptor para generar una señal eléctrica de radiofrecuencia (RF), cuya frecuencia es la diferencia en frecuencia entre la banda lateral afectada por la interacción Brillouin y la portadora óptica. Además, en lugar de procesar esta señal en banda base, como se haría convencionalmente, se realiza una demodulación síncrona de la señal de radiofrecuencia para encontrar su módulo y su fase.

- 5 Como se explicará a continuación, la utilización de detección óptica auto-heterodina supone una mejora en el nivel de señal detectado para una potencia de onda de prueba dada, y con ello un incremento de la relación señal a ruido detectada frente a la que se tiene en el caso de la detección directa convencional de la onda de prueba. Además, el procesamiento posterior de esta señal de RF permite medir tanto el módulo como, a diferencia de los métodos del estado de la técnica, la fase del espectro de ganancia Brillouin, lo que permite mejorar la precisión en la determinación de la BFS y, por tanto, de la magnitud física que se quiera medir. A continuación se presenta un breve desarrollo teórico que justifica estas aseveraciones con mayor detalle:

En un BOTDA convencional, tras su interacción con el pulso de bombeo Brillouin en una determinada posición z , la onda de prueba experimenta una función de transferencia óptica que viene dada por:

$$H(\nu, z) = \exp\left(\frac{g_{max}}{1 + 2j(\nu - \nu_1 + BFS(z)) / \Delta\nu_B}\right) = G_{SBS}(\nu, z) \exp(j\phi_{SBS}(\nu, z)),$$

- 15 donde g_{max} es el coeficiente de ganancia de pico, $\Delta\nu_B$ es la anchura de línea Brillouin y G_{SBS} y ϕ_{SBS} son, respectivamente, el módulo y la componente de fase del espectro de ganancia Brillouin. De esta manera, la expresión del campo óptico de la onda de prueba recibido en un BOTDA convencional viene dada por:

$$E_S(t) = E_{S0} G_{SBS}(\nu_2, z) \exp(j2\pi\nu_2 t + \phi_2 + \phi_{SBS}(\nu_2, z)),$$

- 20 donde E_{S0} es el campo óptico recibido en ausencia de interacción Brillouin y ϕ_2 es su fase. La posición z también incluye una dependencia con el tiempo que viene determinada por la propagación del pulso de bombeo a lo largo de la fibra. La potencia óptica detectada sería $P_S(t) = P_{S0} G_{SBS}^2(\nu_2, z)$, con $P_{S0} = |E_{S0}|^2$, y la corriente detectada $i_S(t) = RP_S(t)$, con R la responsividad del fotorreceptor. Finalmente, la SNR de la señal detectada resultaría ser: $SNR \approx R^2 P_{S0}^2 / \sigma_T^2$, donde σ_T es la desviación estándar del ruido térmico.

En el caso del procedimiento de la presente invención, la expresión del campo óptico detectado es:

- 25
$$E_T(t) = E_{S0} G_{SBS}(\nu_C + f_{RF}, z) \exp(j2\pi(\nu_C + f_{RF})t + \phi_2 + \phi_{SBS}(\nu_C + f_{RF}, z)) + E_C \exp(j2\pi\nu_C t + \phi_C),$$

donde E_C , ϕ_C y ν_C son, respectivamente, el módulo, la fase y la frecuencia de la portadora óptica, f_{RF} es la frecuencia de modulación de la banda lateral. Hay que destacar que la frecuencia óptica de la banda lateral que actúa como onda de prueba del espectro Brillouin generado por el bombeo es $\nu_2 = \nu_C + f_{RF}$. Entonces, la expresión de la potencia óptica detectada a esta frecuencia viene dada por:

- 30
$$P_{RF}(t) = 2E_{S0} G_{SBS}(\nu_C + f_{RF}, z) E_C \cos(2\pi f_{RF} t + \phi_{RF} + \phi_{SBS}(\nu_C + f_{RF}, z)).$$

Por tanto, en el dispositivo y el procedimiento de la invención, sólo resulta necesario que el fotorreceptor tenga una respuesta tipo "paso banda" centrada en torno a la frecuencia f_{RF} y con un ancho de banda en torno a esta frecuencia del orden de $2/\Delta t$. Finalmente, la SNR queda:

$$SNR \approx \frac{2R^2 P_{S0} P_C}{\sigma_T^2},$$

- 35 donde $P_C = |E_C|^2$ es la potencia de la portadora. En el caso habitual en que el ruido térmico sea el predominante en el sistema, esto supondría una mejora en SNR respecto a la detección convencional en un factor de $2P_C/P_{S0}$. Este factor se puede hacer arbitrariamente grande sin más que aumentar la amplitud relativa de la portadora frente a la banda lateral. Además, para valores suficientemente grandes de P_C es posible que el ruido que predomine sea el de tipo "shot" (correspondiente al ruido electrónico que tiene lugar cuando el número finito de partículas que transportan energía, tales como los electrones en un circuito electrónico o los fotones en un dispositivo óptico, es suficientemente pequeño para dar lugar a la aparición de fluctuaciones estadísticas apreciables en una medición). En este caso $SNR \approx RP_{S0} / 2qBW$, es decir, se consigue el límite cuántico que determina la máxima sensibilidad alcanzable en la detección. Este se consigue aún para P_S pequeños.

Una vez detectada la señal óptica se tiene una señal de RF que se puede procesar para obtener la medida del espectro Brillouin. Este procesamiento se puede realizar analógica o digitalmente. Como muestra la expresión encontrada para $P_{RF}(t)$, la señal obtenida cuando se utiliza el método de detección descrito en la presente invención contiene información tanto de la amplitud como de la fase del espectro de la interacción Brillouin. Esta información se extrae en la presente invención utilizando una demodulación síncrona de la señal de RF que permite recuperar las componentes en fase (I) y en cuadratura (Q) de esta señal y a partir de ellas el módulo y la fase de la señal de RF. Finalmente de estas últimas se puede obtener directamente G_{SBS} y Φ_{SBS} . De esta manera se mejora la caracterización del espectro de ganancia (o atenuación) Brillouin puesto que, además de medir el módulo de dicho espectro, también se mide su fase, con lo que se aumenta la precisión en la determinación del BFS.

Para obtener el espectro Brillouin completo es posible modificar la separación en frecuencia entre la onda de bombeo y la banda lateral de la señal de prueba que se utiliza para la interacción. Esto se puede conseguir, bien fijando ν_C y ν_1 y modificando f_{RF} , o fijando ν_C y f_{RF} y modificando ν_1 .

Alternativamente, se puede optar por dejar constantes las frecuencias ν_C , f_{RF} y ν_1 , si en la medida se quiere caracterizar solamente el espectro Brillouin a una frecuencia. Esto es útil para realizar medidas dinámicas en las que se caracterice la variación en el BFS sólo a partir de cambios en la ganancia y/o fase Brillouin en una cierta componente frecuencial dentro del espectro Brillouin.

En resumen, la presente invención introduce novedades en el procedimiento de detección y procesamiento de las señales en un sensor tipo BOTDA de manera que se consigue una mejora de las prestaciones de estos sistemas.

DESCRIPCIÓN DE UN MODO DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

La Figura 3 muestra una realización del dispositivo de la invención que comprende una fuente óptica (1), un generador de RF (2), un divisor eléctrico de señal (3), un controlador de polarización (4), un tramo de fibra óptica (5) sensora, un circulador (6), un fotoreceptor (7), un demodulador síncrono (8), un sistema de captura de datos (9) y un sistema de control (10).

Respecto a la fuente óptica (1) y las señales ópticas generadas por ésta, han de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- La fuente óptica (1) genera, al menos, dos señales ópticas separadas, siendo una de las señales una señal óptica de bombeo (A) y, siendo otra de las señales una señal de prueba (B).

- La señal óptica de bombeo (A) está compuesta, preferentemente, por pulsos de una frecuencia óptica dada que, opcionalmente, puede ser sintonizada.

- La señal óptica de prueba (B) está compuesta, al menos, por dos componentes espectrales estrechas. Una de las componentes espectrales tendrá, preferentemente, una frecuencia óptica fija, mientras que la otra tiene, preferentemente, una separación en frecuencia óptica respecto de la primera, que viene determinada por la frecuencia de la señal eléctrica (C) procedente del generador RF (2).

Respecto al generador RF (2) han de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- El generador RF (2) tiene por misión generar una señal eléctrica de RF, preferentemente sinusoidal.

- El generador RF (2) permite variar la frecuencia de la señal eléctrica generada, en el caso de que se opte por realizar la medida del espectro Brillouin mediante la sintonía de la frecuencia óptica de una de las componentes espectrales de la señal de prueba (B).

- El generador RF (2) proporciona una señal eléctrica de frecuencia fija, en el caso de que se opte por realizar la medida del espectro Brillouin mediante la sintonía de la frecuencia óptica de la onda de bombeo, o si se va a medir una frecuencia concreta dentro del espectro Brillouin.

Respecto al divisor (3), dicho elemento tiene por misión separar la señal proporcionada por el generador RF (2) en, al menos, dos caminos.

Respecto al controlador de polarización (4), dicho elemento tiene por misión modificar la polarización de la onda de prueba, para asegurar que en todos los puntos de la fibra se produzca interacción Brillouin eficiente durante la medida.

Respecto al circulador (6), su misión es, por una parte, encaminar la señal óptica de bombeo (A) hacia la fibra óptica (5) bajo análisis y, por otra, encaminar la señal procedente de la fibra óptica (5) hacia el fotoreceptor (7).

Respecto a la fibra óptica (5), han de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- La fibra óptica (5) es donde tiene lugar la interacción Brillouin entre señal óptica de bombeo (A) y la señal óptica de prueba (B).

- La fibra óptica (5) es, preferentemente, de tipo monomodo (esto es, en la que sólo se propaga un modo de luz), para garantizar la eficiencia de la interacción Brillouin en ella.

- La fibra óptica (5) posee, preferentemente, unas características propias del espectro Brillouin, en particular del BFS, en cada punto de ella que depende de las magnitudes físicas a las que esté sometida.

5 - La fibra óptica (5) presenta, preferentemente, unas características propias de la interacción que incluyen los coeficientes de dependencia del BFS con temperatura y elongación.

- La fibra óptica (5) presenta, preferentemente, unos coeficientes propios de dependencia del BFS con temperatura y elongación que son, preferentemente, conocidos a priori, para poder utilizar la fibra como elemento sensor de estas magnitudes físicas.

10 Respecto al fotorreceptor (7), han de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- El fotodetector (7) tiene por misión detectar la señal óptica de salida (D), resultado de la propagación de la señal (B) a lo largo de la fibra óptica (5) donde experimenta interacción Brillouin con la señal de bombeo (A).

15 - El fotorreceptor (7) posee, preferentemente, un ancho de banda suficiente para detectar la potencia óptica de la señal óptica generada como consecuencia del batido de las dos componentes espectrales contenidas en la onda de prueba (B). Este ancho de banda es, en general, mayor que la frecuencia de la señal eléctrica producida en el generador de RF (2).

Respecto al demodulador síncrono (8), su misión es obtener las componentes en fase y en cuadratura de la señal RF detectada en el fotodetector para, a partir de ellas, encontrar el módulo y/o la fase de dicha señal de RF.

20 Respecto al sistema de captura de datos (9), su misión es obtener los datos de medida y actuar de interfaz con el sistema de control (10).

Respecto al sistema de control (10), su misión es sincronizar la operación del sistema de medida actuando sobre la fuente óptica (1), el controlador de polarización (4) y el generador de RF (2), mediante una combinación de hardware y/o software programables, así como procesar los datos de medida capturados en el sistema de captura de datos (9) para obtener la medida del BFS y, en su caso, de las magnitudes físicas en cada punto de la fibra óptica (5).

25 La Figura 4 muestra la fuente óptica (1) utilizada en una realización preferente de la presente invención, que comprende, preferentemente, una fuente óptica de banda estrecha (11), preferentemente una fuente láser, un divisor óptico de señal (12), un modulador óptico en banda lateral única (13), un modulador óptico en banda lateral doble con portadora suprimida (14), un generador de pulsos de RF (15), un amplificador óptico (16) y un filtro óptico (17).

30 Respecto a la fuente óptica de banda estrecha (11) y la señal óptica generada por ésta, han de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- La señal óptica generada por la fuente óptica de banda estrecha (11) posee, preferentemente, una anchura espectral suficientemente estrecha para asegurar la eficiencia del efecto SBS en la fibra.

- La señal óptica generada por la fuente óptica de banda estrecha (11) posee, preferentemente, una longitud de onda fija.

35 Respecto al divisor (12), tiene por misión dividir la señal de la fuente óptica de banda estrecha (11) en, al menos, dos caminos.

Respecto al modulador óptico en banda lateral única (13), han de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

40 - La misión del modulador óptico en banda lateral única (13) es modular en banda lateral única la portadora óptica generada por la fuente óptica (11) para dar lugar a una onda de prueba (B) que comprende dos componentes espectrales estrechas: la portadora y la banda lateral de modulación.

- En el modulador óptico en banda lateral única (13) la señal moduladora utilizada es, preferentemente, la señal eléctrica (C) del generador de RF (2).

45 - En el modulador óptico en banda lateral única (13), la potencia de la señal moduladora (C) determina el índice de modulación de la portadora óptica y, por tanto, la relación de amplitudes entre la portadora y la banda lateral de modulación.

De forma alternativa, es posible también, en otra realización de la invención, sustituir el modulador óptico en banda lateral única (13) por un modulador óptico de fase.

Respecto al generador de pulsos de RF (15), han de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- El generador (15) genera pulsos de una señal eléctrica, preferentemente sinusoidal, y de una frecuencia dada.

5 - El generador (15) permite variar, durante la medida, la frecuencia de la señal sinusoidal pulsada que genera, en el caso de que se opte por realizar la medida del espectro Brillouin mediante la variación de la frecuencia óptica de la señal óptica de bombeo (A).

- El generador (15) mantiene fija la frecuencia de la señal sinusoidal pulsada que genera, en el caso de que se opte por realizar la medida del espectro Brillouin mediante la sintonía de la frecuencia óptica de una de las componentes espectrales de la onda de prueba, o si sólo se va a medir una frecuencia concreta dentro del espectro Brillouin.

10 Respecto al modulador óptico en banda lateral doble con portadora suprimida (14), han de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- El modulador óptico en banda lateral doble con portadora suprimida (14) tiene por misión generar dos bandas laterales de modulación de la portadora óptica generada por la fuente (11).

15 - La señal aplicada al modulador óptico en banda lateral doble con portadora suprimida (14) se genera preferentemente en el generador (15).

- La operación del modulador óptico en banda lateral doble con portadora suprimida (14) se ajusta para que genere una modulación óptica con banda lateral doble y supresión de la portadora óptica.

20 Respecto al amplificador óptico (16), su misión es aumentar, en caso necesario, la potencia de las señales ópticas generadas en el modulador óptico en banda lateral doble con portadora suprimida (14), a fin de incrementar la magnitud de la interacción Brillouin en la fibra óptica (5).

Respecto al filtro (17), su misión es filtrar, en caso necesario, el ruido óptico u otras componentes no deseadas del espectro óptico, preferentemente a la salida del amplificador óptico (16).

El procedimiento de medida del BFS de la fibra óptica (5) utilizando la presente realización de la invención incluye las siguientes etapas:

25 i. Se ajusta, en caso necesario, la frecuencia óptica de la señal óptica de bombeo (A). En el caso de que se utilice la realización de la fuente óptica (1) basada en una fuente de banda estrecha (11) anteriormente descrita, la frecuencia óptica de la señal pulsada de bombeo se ajusta mediante el ajuste de la frecuencia del generador de pulsos de RF (15).

30 ii. Se ajusta, en caso necesario, la frecuencia del generador (2) para ajustar, así, la separación en frecuencia entre las dos componentes espectrales de la señal óptica de prueba (B).

iii. Se ajusta la polarización de la luz en el controlador de polarización (4), para asegurar que en todos los puntos de la fibra se produzca interacción Brillouin eficiente durante la medida.

iv. Se introduce la señal óptica de bombeo (A) en un extremo de la fibra óptica (5) a medir.

v. Se introduce la onda óptica de prueba (B) por el extremo opuesto de la fibra óptica (5).

35 vi. Se produce la interacción Brillouin de las componentes espectrales de la señal óptica de bombeo (A) y la señal óptica de prueba (B) en la fibra óptica (5) que da lugar a una onda óptica de salida (D).

vii. Se separan la señal óptica de bombeo (A) y la onda de salida (D) mediante un circulador (6) situado en el extremo de entrada de la onda (A) en el tramo de fibra óptica (5).

40 viii. Se detecta la onda óptica de salida (D) mediante un fotorreceptor (7) con suficiente ancho de banda como para detectar el batido entre las componentes espectrales presentes en la onda óptica (D). En el caso de que se utilice la realización de la fuente óptica (1) basada en una fuente de banda estrecha (11) anteriormente descrita, las componentes espectrales son la portadora y la banda lateral fruto de la modulación OSSB en el modulador (13).

45 ix. Se produce la demodulación de la señal de RF (E) obtenida a la salida del fotorreceptor (7) en el demodulador síncrono (8).

x. Se obtienen, en el demodulador síncrono (8), las componentes necesarias para medir el módulo y/o la fase de la señal RF (E) presente en su entrada y procedente del fotorreceptor (7).

xi. Se registran los datos en el sistema (9) y se envían al sistema de control (10).

xii. Si se desea caracterizar más de una frecuencia del espectro Brillouin, se repiten los pasos (i) a (xi) para un

nuevo ajuste de las frecuencias de la señal óptica de bombeo (A) y/o del generador RF (2) hasta completar la medida del espectro de interacción Brillouin en la fibra óptica (5) en el rango de frecuencias deseado.

- xiii. Se procesan los datos de medida en el sistema de control (10) para obtener la medida distribuida de BFS a lo largo de la fibra y en su caso, de los parámetros físicos de temperatura y/o deformación unitaria.

5 Por último, una vez descritos el dispositivo y el procedimiento de la presente invención, así como algunas de sus realizaciones, y describiendo sus principales ventajas sobre el estado de la técnica, cabe resaltar que su aplicación no ha de ser entendida como limitativa frente a otras realizaciones, mediante las adecuadas variaciones en sus elementos, siempre que dichas variaciones no alteren la esencia de la invención, así como el objeto de la misma.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para la medida de la distribución de magnitudes físicas en una fibra óptica (5) que comprende, al menos:
 - una fuente óptica (1) configurada para generar, al menos, una señal óptica de bombeo (A) pulsada y, al menos, una señal óptica de prueba (B) que comprende, al menos, dos componentes espectrales con una separación en frecuencia óptica entre dichas componentes;
 - un segmento de fibra óptica (5) donde la señal óptica de prueba (B) interacciona con la señal óptica de bombeo (A);
 caracterizado dicho dispositivo porque comprende, adicionalmente:
 - un fotorreceptor (7) configurado para detectar la señal óptica de salida de la fibra (D) como consecuencia de la generación de una señal eléctrica de radiofrecuencia (E) resultado del batido entre las componentes espectrales contenidas en dicha señal óptica de salida de la fibra (D);
 - un demodulador síncrono (8) configurado para demodular la señal eléctrica de radiofrecuencia (E) a la salida del receptor.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, donde la fuente óptica (1) comprende, al menos, una fuente óptica de banda estrecha (11), al menos, un divisor de señal óptica (12), al menos, un modulador óptico (13, 14) y, al menos, un generador de pulsos de RF (15).
3. Dispositivo según la reivindicación 2, donde la fuente óptica de banda estrecha (11) comprende una fuente láser.
4. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 2-3 que comprende, al menos, un modulador óptico en banda lateral única (13).
5. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 2-3 que comprende, al menos, un modulador óptico de fase.
6. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 2-5 que comprende, al menos, un modulador óptico en banda lateral doble con portadora suprimida (14).
7. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, donde la fuente óptica (1) comprende un amplificador óptico (16) configurado para aumentar la potencia óptica de la señal de bombeo (A) generada.
8. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1-7, donde la fuente óptica (1) comprende un filtro óptico (17) configurado para eliminar ruido óptico y/o componentes no deseadas del espectro óptico.
9. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1-8 que comprende un sistema de captura de datos (9) configurado para obtener los datos de la distribución de magnitudes físicas medidas en la fibra óptica (5).
10. Dispositivo según la reivindicación 9 que comprende un sistema de control (10) equipado con una combinación de hardware y/o software programable, configurado dicho sistema para sincronizar la medida de magnitudes físicas en la fibra óptica (5), actuando sobre la fuente óptica (1), el controlador de polarización (4) y el generador de RF (2), y/o para procesar los datos de medida capturados en el sistema de captura de datos (9) para obtener la medida del BFS y/o de las magnitudes físicas en la fibra óptica (5).
11. Procedimiento para la medida de la distribución de magnitudes físicas en una fibra óptica (5) que comprende:
 - i. la introducción por un extremo de un segmento de fibra óptica (5) de una señal óptica de bombeo (A) pulsada;
 - ii. la introducción por el otro extremo de la fibra óptica (5) de una señal óptica de prueba (B) compuesta por, al menos, dos componentes espectrales con una separación en frecuencia óptica determinada;
 - iii. la interacción en la fibra óptica (5), por medio del efecto de dispersión de Brillouin estimulada, de la señal óptica de bombeo (A) con, al menos, una de las componentes espectrales de la señal óptica de prueba (B) para generar una señal óptica de salida (D) que contiene dichas componentes;
 - iv. la detección en un fotodetector de la señal óptica de salida (D) para dar lugar a una señal de radiofrecuencia (E), consecuencia del batido de las componentes espectrales de la señal óptica de salida (D);

- v. la demodulación síncrona de la señal de radiofrecuencia (E) para obtener el módulo y/o la fase de la señal a la frecuencia dada por la diferencia de frecuencia óptica entre las componentes espectrales de la señal óptica de salida (D);
 - vi. el procesado de la señal resultado de la demodulación síncrona de la señal de radiofrecuencia (E), para obtener la distribución, a lo largo de la fibra óptica (5), del módulo y/o la fase del espectro de la interacción Brillouin, a una frecuencia óptica determinada por la frecuencia óptica de la señal de bombeo pulsada (A) y la frecuencia de una de las componentes espectrales de la señal óptica de prueba (B);
12. Procedimiento según la reivindicación 11, donde las etapas (i) a (vi) se repiten para distintos ajustes de las frecuencias ópticas de la onda de bombeo pulsada (A) y/o de una de las componentes de la señal óptica de prueba (B) con el fin de obtener la distribución a lo largo de la fibra óptica (5) del módulo y/o la fase de la interacción Brillouin a distintas frecuencias ópticas.
13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11-12, donde una o más de las etapas (i) a (vi) se realiza mediante un dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1-10.

Figura 1

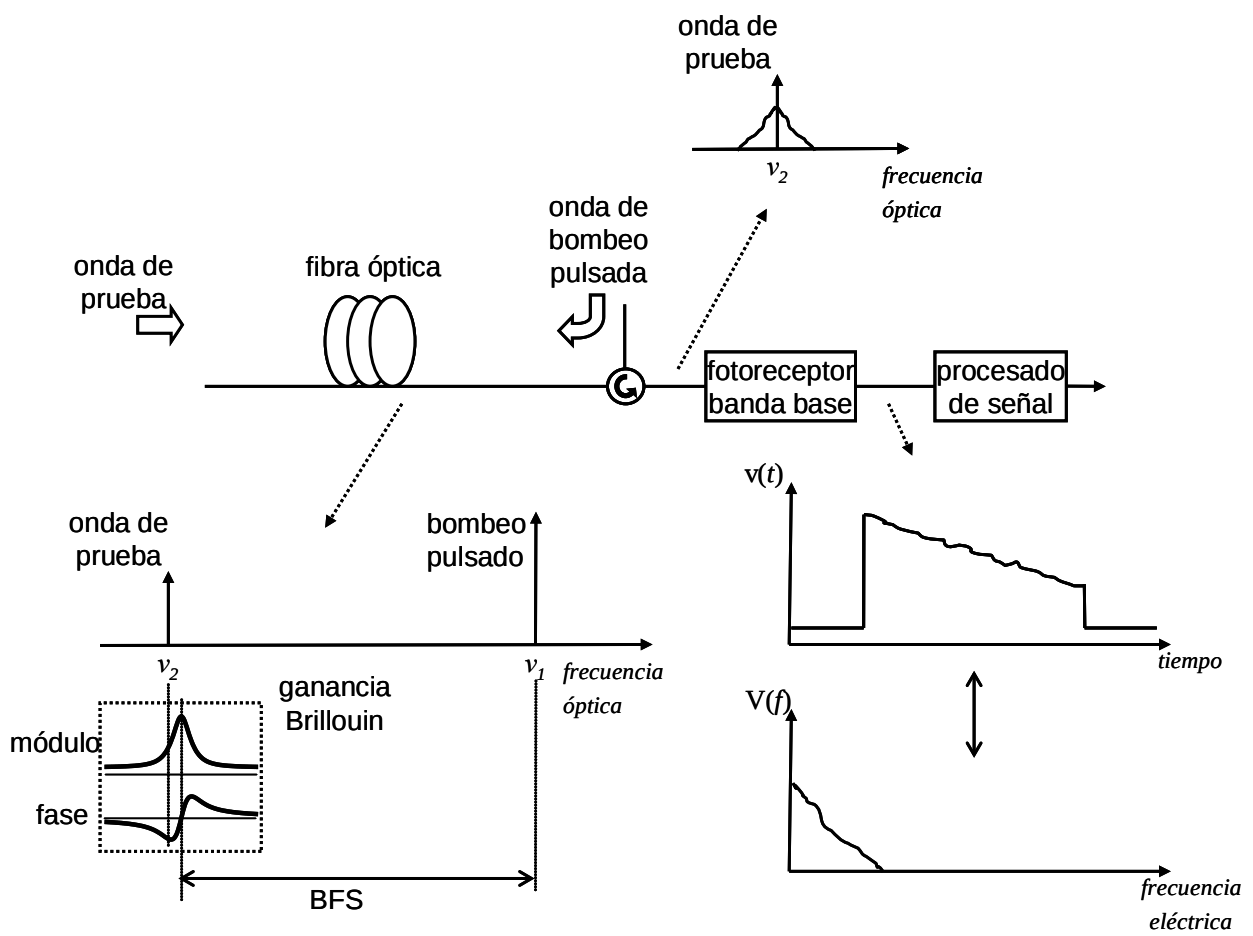


Figura 2

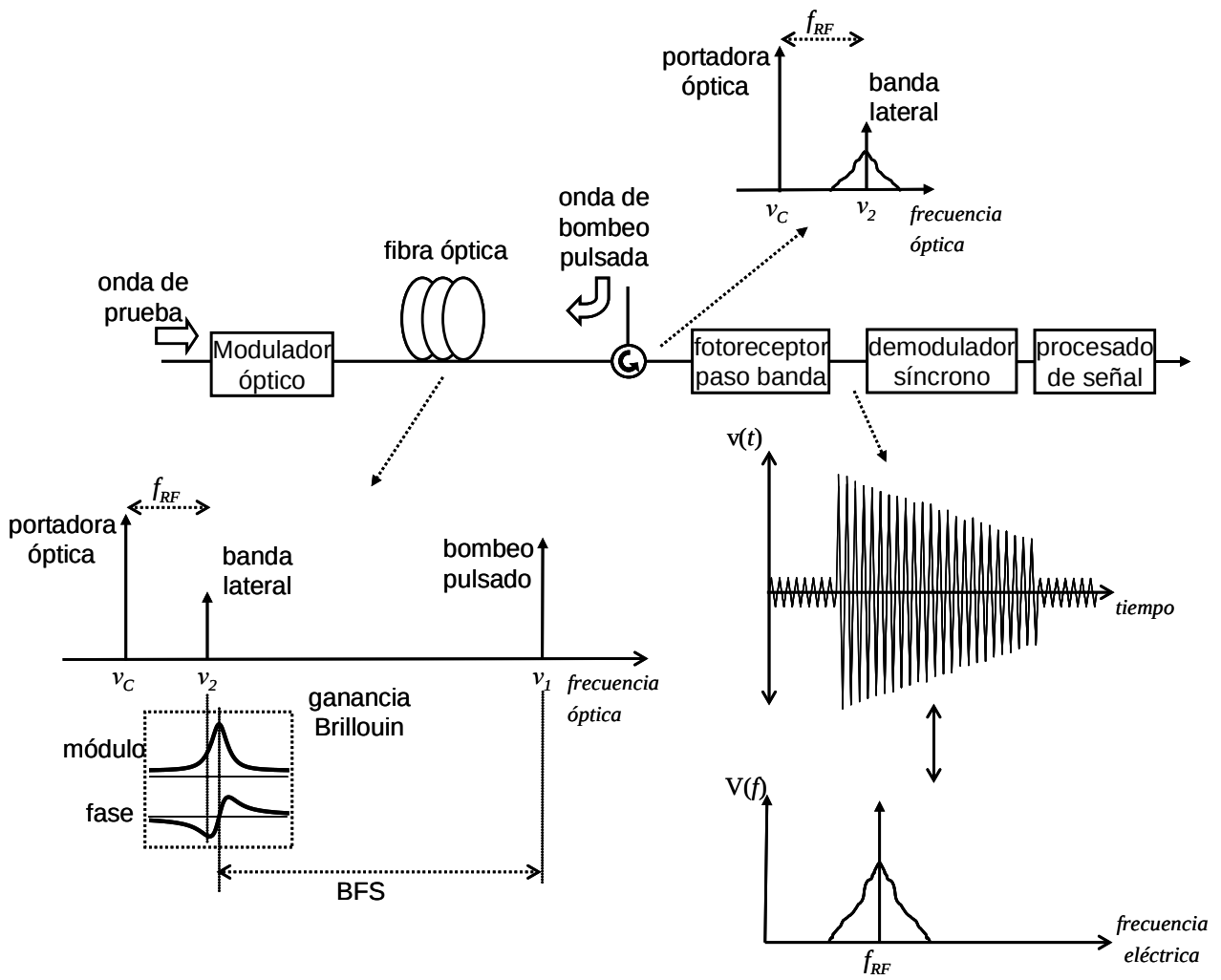
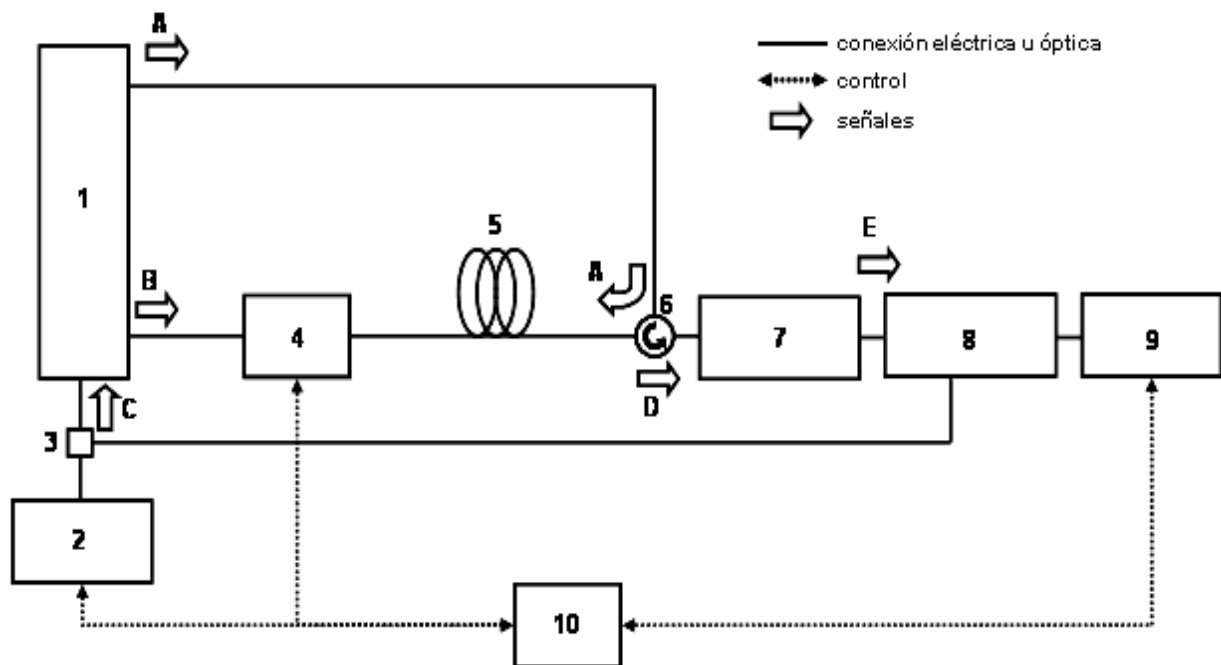


Figura 3



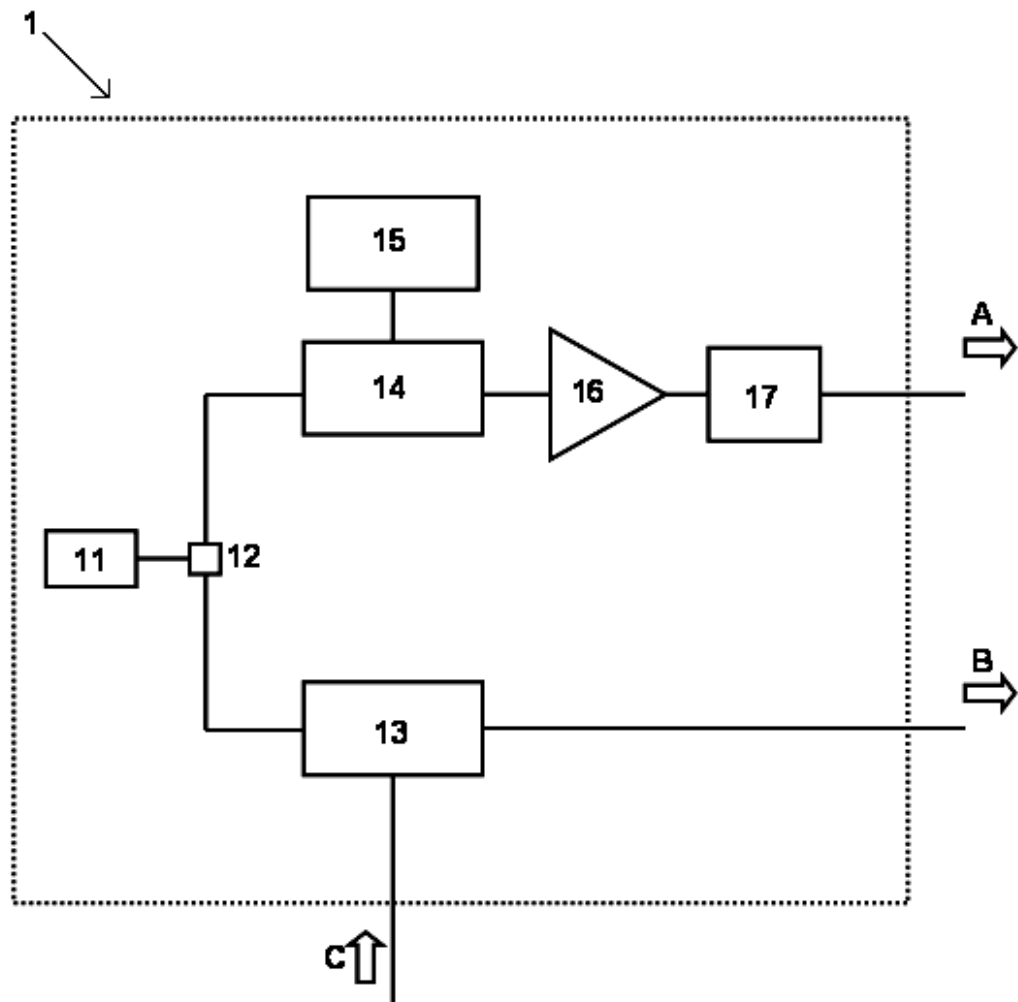


Figura 4



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201130773

②② Fecha de presentación de la solicitud: 13.05.2011

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G01D5/353** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	LUMING LI et al.: "Kilometers-Range Dark-Pulse Brillouin Optical Time Domain Analyzer with Centimeters Spatial Resolution". En: 2010 Symposium on Photonics and Optoelectronics (SOPO 2010), Chengdu, China. Editado por IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2010. ISBN 978-1-4244-4963-7.	1-13
A	ES 2357388 A1 (UNIVERSIDAD DE CANTABRIA) 26.04.2011, resumen; página 3, línea 13 - página 4, línea 11; página 4, línea 35 - página 5, línea 31; página 5, líneas 47-55; figuras 1 y 2.	1-13
A	US 2005/0213869 A1 (BROWN, A. ET AL.) 29.09.2005, todo el documento.	1-13
A	YANG XING-HONG et al.: "An ameliorative technique for distributed Brillouin-based fiber optics sensing". En Photonics and Optoelectronics Meetings (POEM) 2008: Fiber Optic Communication and Sensors, Wuhan, China. Editado por SPIE - The International Society for Optical Engineering, USA, 2008. ISSN 0277-786X.	1-13
A	EP 1562028 A1 (FIBERCOM, S.L.) 10.08.2005, todo el documento.	1-13
A	EP 0907073 A1 (FURUKAWA ELECTRIC EUROPE, LTD.) 07.04.1999.	-

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
04.09.2012

Examinador
Ó. González Peñalba

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01D, G01L, G01K, G01B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 04.09.2012

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-13	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-13	SI
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	LUMING LI et al.: "Kilometers-Range Dark-Pulse Brillouin Optical Time Domain Analyzer with Centimeters Spatial Resolution". En: 2010 Symposium on Photonics and Optoelectronics (SOPO 2010), Chengdu, China. Editado por IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2010. ISBN 978-1-4244-4963-7.	2010
D02	ES 2357388 A1 (UNIVERSIDAD DE CANTABRIA)	26.04.2011

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Se ha considerado, dentro del límite de tiempo establecido al efecto, que la invención definida en las reivindicaciones 1-13 de la presente Solicitud parece tener novedad y actividad inventiva por no estar incluida en el estado de la técnica analizado ni poder deducirse de este de un modo evidente por un experto en la materia.

Se han encontrado en el estado de la técnica dispositivos para la medición de magnitudes físicas en una fibra óptica basados en la técnica BODTA en la fibra óptica, aplicada a dos señales introducidas, cada una, por un extremo de la misma en contrapropagación, una de ellas de bombeo pulsada y la otra de prueba. Así, por ejemplo, en el documento D01, citado en el Informe sobre el Estado de la Técnica (IET) con la categoría A y considerado el antecedente más próximo al objeto técnico definido en las reivindicaciones, se describe un dispositivo sensor de fibra óptica basado en BODTA que se propone aumentar la longitud total de detección midiendo tanto la ganancia de Brillouin como el efecto de las pérdidas a lo largo de la fibra. La disposición física del sensor es similar a la de la presente invención, pero, a diferencia de esta, no emplea una desmodulación sincrónica de la señal óptica detectada. Tampoco esta última característica, esencial y distintiva de la invención, está presente en otros documentos del estado de la técnica, entre los que cabe mencionar, por tener también una estructura de sensor similar, el D02, citado igualmente con la categoría A en el IET como mero reflejo del estado de la técnica en el campo de los sensores BODTA.

Parece concluirse, en consecuencia, que la invención tiene novedad y actividad inventiva respecto al estado de la técnica analizado, de acuerdo con los Artículos 6 y 8 de la vigente Ley de Patentes.