

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 671 935**

51 Int. Cl.:

G01H 9/00 (2006.01)

G01B 9/02 (2006.01)

G01L 1/24 (2006.01)

G01D 5/353 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.11.2012 PCT/JP2012/079907**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.05.2013 WO13077280**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2012 E 12852226 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.03.2018 EP 2784451**

54 Título: **Sensor de fibra óptica**

30 Prioridad:

25.11.2011 JP 2011271701

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

11.06.2018

73 Titular/es:

**HAKUSAN CORPORATION (100.0%)
J Tower 10F 1-1 Nikko-Cho
Fuchu-City, Tokyo 183-0044, JP**

72 Inventor/es:

TSUKADA, KAZUMASA

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 671 935 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

Sensor de fibra óptica.

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un sensor de fibra óptica que utiliza un carácter distintivo consistente en que una fase de una señal óptica que pasa a través de una trayectoria óptica se cambia haciendo que se modifique una longitud de trayectoria óptica por una fuerza externa.

10

Técnica anterior

Un sensor de fibra óptica muestra una buena insusceptibilidad para un campo electromagnético fuerte y un ambiente de temperatura extremadamente alta o baja, en comparación con los que constan de componentes eléctricos y/o electrónicos. Además, la baja pérdida de transmisión del cable de fibra óptica permite la detección a larga distancia. El documento EP 0 191 589 divulga un sistema de sensor de fibra óptica.

15

Sumario de la invención

20 Problemas a resolver por la invención

En sistemas interferométricos homodinos convencionales, si una diferencia de fase entre a es θ , una salida interferométrica (I) está representada por la siguiente fórmula:

$$25 \quad I = R + S + 2\sqrt{R \cdot S} \cos \theta$$

(I , R y S son los valores de potencia de láser)

30

$$\theta = \arccos((I - R - S) / 2\sqrt{R \cdot S})$$

En un sistema interferométrico convencional, una señal de salida de sensor se ve afectada por la fluctuación de un nivel de salida de generador de señal láser de acuerdo con la deriva de temperatura y también una variación de pérdida en una trayectoria de transmisión de fibra óptica. Esto provoca errores ineliminables en el resultado medido debido a que el valor de salida se calcula con la condición de que sean constantes las intensidades de luz de referencia (R) y de luz de señal (S).

35

Además, el sistema interferométrico homodino convencional es capaz de detectar la diferencia de fase de una mitad de una longitud de onda de luz entre una luz de señal y una luz de referencia.

40

Sin embargo, es casi imposible mantener la diferencia de fase entre ellas en este estrecho rango debido a que todos los componentes no tienen tal precisión de dimensión excelente a fin de mantener la diferencia de fase en el rango estrecho. Además, es imposible eliminar la fluctuación de trayectoria óptica por la influencia de la variación de temperatura en circunstancias ambientales.

45

Además de lo anterior, hay una desventaja fundamental en el sistema interferométrico homodino convencional, es decir, el rango de detección está limitado a una mitad de la longitud de onda de la luz ($\pm 90^\circ$ de la fase de luz) y es imposible extender este rango de medición.

50

La presente invención se ha desarrollado para resolver los problemas anteriores y materializa el sensor de fibra óptica que está libre de los errores residuales provocados por las fluctuaciones de intensidad de luz y elimina la limitación del rango de medición de $\pm 90^\circ$ (una mitad de longitud de onda de luz) de la fase de luz.

Medios para resolver los problemas

55

El objetivo anterior de la presente invención se alcanza proporcionando una fuente láser estabilizada en longitud de onda por la cual se genera un impulso láser que presenta un periodo T y se genera una anchura de impulso $3t$ (t_1 , t_2 y t_3), y se modula en fase dicho impulso láser para que la fase t_1 sea igual a t_2 y para que sea de 90° (independientemente ortogonal) la diferencia de fase entre t_2 y t_3 .

60

A continuación, la fase de t_1 es ϕ_1 , la fase de t_2 ϕ_2 y la de t_3 ϕ_3 .

65

Además, la finalidad de la presente invención se alcanza construyendo un interferómetro óptico original. En la presente invención, el impulso láser anteriormente mencionado se divide primero en dos (2) por un acoplador óptico, uno de los cuales se aplica a una línea de retardo óptico de $t/2$ y se suministra seguidamente a un sensor de movimiento. El sensor de movimiento presenta un peso sobre el cual unos espejos reflectantes de impulso

láser se estacionan en ambos lados, y el peso se mueve según la fuerza externamente aplicada, el sensor cambia así la longitud de trayectoria óptica con fuerza aplicada. El impulso láser reflejado se aplica de nuevo a la línea de retardo óptico de $t/2$. Se supone la fase de impulso láser reflejado en la línea de retardo de $t/2$ como ϕ_{1a} , ϕ_{2a} y ϕ_{3a} .

5 Igualmente, el otro impulso láser dividido por el acoplador óptico se aplica al otro lado del espejo en el sensor de movimiento sin retardo de tiempo, y se supone el impulso láser reflejado como ϕ_{1b} , ϕ_{2b} y ϕ_{3b} .

10 Los dos impulsos láser reflejados se combinan de nuevo por el acoplador óptico y forman un interferómetro Michelson. A la salida del interferómetro Michelson se obtienen cinco (5) señales de impulso óptico diferentes, es decir, una región sin señal óptica (Z), una región (R) ϕ_{1b} , una región interferométrica entre ϕ_{2b} y ϕ_{1a} (I1), una región interferométrica entre ϕ_{3b} y ϕ_{2a} (I2) y una región (S) ϕ_{3a} . Estas señales Z, R, I1, I2 y S forman una señal óptica de multiplexación por división de tiempo (TDM).

15 La señal óptica TDM se transforma en una señal eléctrica por un convertidor de óptica a electricidad (O/E) y los componentes de la TDM, es decir, z, r, i1, i2 y s se obtienen como la derivada eléctrica de las señales ópticas de Z, R, I1, I2 y S. El valor z se utiliza para obtener el valor preciso de i1, i2, r y s cancelando el voltaje residual que aparece a la salida del convertidor O/E en el periodo de ausencia de señal óptica (ausencia de impulso óptico).

20 La salida del interferómetro Michelson puede calcularse por la siguiente fórmula:

$$i1 = r + s + 2\sqrt{(r \cdot s)}\cos \theta 1$$

$$i2 = r + s + 2\sqrt{(r \cdot s)}\cos \theta 2$$

en donde θ es el ángulo entre las dos señales láser que salen del sensor de movimiento.

25 Los valores $\cos \theta 1$ y $\cos \theta 2$ se obtienen transformando la fórmula anterior.

$$\cos \theta 1 = (i1 - r - s)/2\sqrt{(r \cdot s)}$$

$$\theta 1 = \arccoseno((i1 - r - s)/2\sqrt{(r \cdot s)})$$

$$\cos \theta 2 = (i2 - r - s)/2\sqrt{(r \cdot s)}$$

$$\theta 2 = \arccoseno((i2 - r - s)/2\sqrt{(r \cdot s)})$$

30 Cuando se incrementa la imprecisión del cálculo de la función de arcocoseno en proporción al valor de coseno, se selecciona un valor de coseno menor entre $\cos \theta 1$ y $\theta 2$ y el ángulo θ del valor de coseno seleccionado se trata como dato medido θ . A continuación, $\Delta\theta$, que es el incremento o decremento de θ en periodo T, se deriva del presente θ y el periodo de valor T anterior y la suma aritmética de $\Delta\theta$ se envía como señal de salida del sensor.

35 Efectos de la invención

El nivel de señal láser fluctúa con diversos factores, por ejemplo, deriva de temperatura ambiental, cambio de presión atmosférica, etc., y su representación eléctrica de r, i1, i2 y s también fluctúa. Sin embargo, la influencia de tales derivas se elimina en el proceso de calcular $\cos \theta 1$ y $\cos \theta 2$, debido a que se elimina la imprecisión en $\cos \theta 1$ y $\cos \theta 2$, ya que la fórmula de cálculo se construye así para eliminar la imprecisión por el proceso de calibrado en la fórmula utilizando valores medidos instantáneos de r, s e i y el dato medido final incluye un error de medición muy pequeño provocado por la deriva de nivel de láser, la fluctuación de pérdida de fibra óptica o el cambio de pérdida de acoplador óptico esperado en una circunstancia adversamente severa. Esto contribuye a

40 reducir el coste de fabricación del sistema ya que admite el uso de componentes baratos.

Según la presente invención, se obtienen $\cos \theta 1$ y $\cos \theta 2$ que son ortogonales en fase uno con respecto a otro, con el fenómeno interferométrico entre la luz de señal y la luz de referencia. Por esta condición de que $\cos \theta 1$ y $\cos \theta 2$ están desplazados 90 grados uno con respecto a otro, uno de los dos valores medidos está siempre

50 dentro de $\pm 1/\sqrt{2}$ donde se garantiza una buena precisión de cálculo a partir de la transformación coseno a arcocoseno. Si se selecciona el valor transformado a partir del $\cos \theta$ menor, el valor es siempre menor que $\pm 1/\sqrt{2}$ y se asegura una precisión de medición satisfactoria. Además, esto no requiere el control preciso de fase entre $\cos \theta 1$ y $\cos \theta 2$ y elimina la dimensión de precisión en la fabricación de componentes.

55 El nuevo interferómetro de la presente invención proporciona el rango de medición de longitud de onda múltiple debido a que la dirección del movimiento de fase en el periodo T, es decir $\Delta\theta$ se incrementa o se reduce, es capaz de tomar en consideración los valores y la fase de $\cos \theta 1$ y $\cos \theta 2$ (con la condición de que $\cos \theta 1$ y $\cos \theta 2$ sean ortogonales).

60 Además, el rango dinámico de medición es capaz de extenderse ampliamente acortando el periodo de medición

T, es decir, a más alta frecuencia de muestreo, mayor es el rango dinámico, debido a que la salida del sensor es la suma de $\Delta\theta$ y el número de $\Delta\theta$ por segundo es la proporción de la frecuencia de muestreo.

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos adjuntos:

La figura 1 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de constitución del sensor de fibra óptica según la presente invención, y

La figura 2 es un diagrama de tiempo que muestra un ejemplo del funcionamiento del sensor de fibra óptica de acuerdo con la presente invención.

Modo de poner en práctica la invención

La figura 1 es el ejemplo de fabricación del sensor de fibra óptica de la presente invención, en donde 1 es un generador de impulso láser, 2 un sensor óptico y 3 un procesador aritmético.

En primer lugar, se genera en el generador de impulso láser 1 un impulso láser de $3t$ de anchura en cada periodo T con el que se ajustan la fase de luz de la parte $2t$ frontal a 0 grados ($^{\circ}$) y la última parte $1t$ a 90 grados ($^{\circ}$) una con respecto a otra. El impulso láser se divide en dos (2) por el acoplador óptico y una de las mitades se aplica a un sensor óptico 2 a través de una línea de retardo óptico de $t/2$. La otra mitad del impulso láser se aplica a la otra entrada del sensor óptico 2. Ambas fases de impulso láser se desplazan en proporción a la fuerza externa aplicada al sensor óptico.

Los impulsos láser reflejados, uno a través de la línea de retardo óptico de $t/2$ y el otro directamente, se combinan por el acoplador óptico y el circuito óptico total forma un interferómetro Michelson. El impulso láser de salida interferométrica, es decir, el impulso óptico de salida procedente del acoplador óptico se aplica al procesador aritmético 3 a través del acoplador direccional óptico en el generador de impulso láser 1. El procesador aritmético 3 detecta la amplitud de impulso óptico y calcula $\cos \theta_1$ y $\cos \theta_2$, a continuación transforma $\cos \theta_1$ y $\cos \theta_2$ en θ_1 y θ_2 y obtiene además θ_s como la salida final del procesador aritmético 3.

El impulso óptico de salida del sensor óptico 2 es la señal de multiplexación por división de tiempo (TDM). La señal TDM muestra una serie de datos de amplitud, es decir, Z , R , I_1 , I_2 y S , que representan una región sin señal óptica (Z), una región (R) ϕ_1b , una región interferométrica entre ϕ_2b y ϕ_1a (I_1), una región interferométrica entre ϕ_3b y ϕ_2a (I_2) y una región (S) ϕ_3a . En el procesador aritmético 3, z , r , i_1 , i_2 y s se obtienen cuando se calculan la derivada eléctrica de las señales ópticas de Z , R , I_1 , I_2 y S y además el $\cos \theta_1$ y el $\cos \theta_2$.

A continuación, la teoría de funcionamiento del sensor de fibra óptica mostrada en la figura 1 se explica haciendo referencia a un diagrama de tiempo del sensor de fibra óptica de la figura 2. La estructura del sensor de fibra óptica se describe primero en detalle. El sensor está constituido por tres partes, es decir, un generador de impulso láser 1, un sensor óptico 2 y un procesador aritmético 3.

En el generador de impulso láser 1, una señal láser generada por un generador 11 de láser estabilizado en longitud de onda es modulada en amplitud por un modulador de intensidad 13 con una señal de impulso de excitación "a" procedente de un generador de impulso 12, cuyo impulso de excitación hace que el modulador de intensidad "se encienda" y "se apague", y produce un impulso láser "b" de anchura $3t$ en cada duración T . El impulso láser "b" es modulado adicionalmente en fase por un modulador de fase óptico 14 con el cual la primera parte del impulso láser t_1 y la parte central de t_2 se ajustan a cero (0) grados y la última parte de t_3 se ajusta a 90 grados ($\pi/2$) por la señal de excitación "c", de modo que tanto t_1 , t_2 como t_3 son diferentes en 90 grados en la fase relativa. (En ambos casos, las fases relativas t_1 , t_2 y t_3 son ortogonales una a otra).

El impulso láser de salida "d" del modulador de fase óptico 14 se envía al sensor óptico 2 a través de un acoplador direccional óptico 15 como "e1". En consecuencia, el generador de impulso láser 1 envía el impulso láser de longitud $3t$ (la primera parte t_1 , la segunda parte t_2 y la tercera parte t_3) cuya fase de luz es ϕ_1 a t_1 , ϕ_2 a t_2 y ϕ_3 a t_3 . La relación de fase es: $\phi_1 = \phi_2$, ϕ_2 es ortogonal a ϕ_3 .

El impulso láser de anchura $3t$ del generador de impulso láser 1 se aplica a un acoplador óptico 21 en el sensor óptico 2 como "e2". Una de las señales láser divididas "f1" por el acoplador óptico 21 se conduce a una línea de retardo óptico $t/2$ 22 y seguidamente a un colimador 23 que transmite la señal láser a un espejo 24 denominado "f2". El colimador se utiliza como el aparato de paralelización de haz para enviar la señal láser al espejo y recibir la señal láser reflejada por el espejo en una buena condición.

El espejo 24 realiza el cambio de fase según la distancia de movimiento del espejo por una fuerza externamente aplicada "+j" y la señal de impulso láser se devuelve al acoplador óptico 21 como "f3", cuyas fases componentes $3t$ se denominan ϕ_1a , ϕ_2a y ϕ_3a . La otra de las señales láser divididas "f1" por el acoplador óptico 21 se conduce

a otro colimador 25 y seguidamente se transmite al aire, de modo que la señal láser transmitida "g2" se refleja por otro espejo 26. La señal láser reflejada del espejo 26 se suministra al acoplador óptico 21 a través del colimador 25 como "g3" cuyas fases componentes ϕ_1 , ϕ_2 y ϕ_3 . El espejo 26 recibe la fuerza externa "j" opuesta procedente del espejo 25 ya que los espejos 24 y 26 están instalados dorso con dorso sobre un (1) peso móvil.

Las señales de impulso láser reflejadas "f3" y "g3" se combinan en el acoplador óptico 21 y forman una señal láser "h1" de multiplexación por división de tiempo (TDM). La señal láser "f3" procedente del espejo 24 presenta un tiempo de retardo de t en comparación con la señal láser reflejada "g3" debido a que "f3" pasa dos veces a través de la línea de retardo de $t/2$. En conclusión, la señal "h1" TDM presenta cinco (5) partes de datos de amplitud, es decir, Z, R, I1, I2 y S, que representan una región sin señal óptica (Z), una región (R) ϕ_1 , una región interferométrica entre ϕ_2 y ϕ_1 (I1), una región interferométrica entre ϕ_3 y ϕ_2 (I2) y una región (S) ϕ_3 .

La señal "h1" TDM se aplica de nuevo al acoplador direccional óptico 15. El acoplador direccional óptico 15 realiza el enrutamiento de la señal "h1" TDM a un convertidor O/E 301 en el procesador aritmético 3. El convertidor O/E 301 transforma la señal de impulso láser en una señal eléctrica y la señal eléctrica TDM resultante como "h3", es decir, z, r, i1, i2 y s se obtienen como la derivada eléctrica de las señales ópticas de Z, R, I1, I2 y S. Las señales eléctricas z, r, i1, i2 y s se suministran a unos convertidores A/D 312, 313, 314, 315 y 316 a través de interruptores analógicos 302, 303, 304, 305 y 306 y adicionalmente a través de filtros de paso bajo 307, 308, 309, 310, 311 y 312. Los interruptores analógicos distribuyen las señales eléctricas a los filtros de paso bajo designados y los filtros de paso bajo cortan los componentes de alta frecuencia contenidas en las señales eléctricas y proporcionan la necesaria limitación de banda de frecuencia.

Los convertidores A/D 312, 313, 314, 315 y 316 expresan z, r, i1, i2 y s en valores digitales y los datos digitales resultantes se aplican a un procesador de coseno 317 que hace el cálculo necesario para obtener valores de coseno. En el procesador de coseno 317, los voltajes r, i1, i2 y s se calibran primero por el valor de z a fin de eliminar la incertidumbre del voltaje medido. Posteriormente, el procesador 317 calcula los valores $\cos \theta_1$ y $\cos \theta_2$ a partir de r, i1, i2 y s. Los valores calculados de $\cos \theta_1$ y $\cos \theta_2$ a partir de la unidad de procesador 317 se transmiten adicionalmente a un procesador de $\Delta\theta$ 318. En el procesador de $\Delta\theta$ 318 se calculan primero θ_1 y θ_2 a partir de $\cos \theta_1$ y $\cos \theta_2$ y seguidamente $\Delta\theta_1$ y $\Delta\theta_2$ que son las diferencias finitas de θ_1 y θ_2 en un periodo de tiempo T. Los valores $\Delta\theta_1$ y $\Delta\theta_2$ se transfieren al siguiente procesador, un procesador de $\Sigma\theta$ 319, seleccionándose un valor apropiado de entre $\Delta\theta_1$ y $\Delta\theta_2$ y el valor seleccionado se añade a θ_s en cada periodo T. El valor θ_s es la salida de sensor de fibra óptica final.

En la presente invención, los cálculos de $\cos \theta_1$ y $\cos \theta_2$ se dan por la fórmula 1 y la fórmula 2 como sigue:

Fórmula 1

$$\cos \theta_1 = (i_1 - r - s) / 2\sqrt{(r \cdot s)}$$

Fórmula 2

$$\cos \theta_2 = (i_2 - r - s) / 2\sqrt{(r \cdot s)}$$

En esta fórmula r representa ϕ_1 de g3, s ϕ_3 de f3, i1 la salida interferométrica entre ϕ_2 de g3 y ϕ_1 , i2 la salida interferométrica entre ϕ_3 de g3 y ϕ_2 . Además, dado que las señales láser ϕ_2 y ϕ_3 son ortogonales una con respecto a otra, la diferencia angular entre θ_1 y θ_2 es de 90 grados ($^\circ$). El procesador de $\Delta\theta$ 318 realiza cálculos y procedimientos enumerados de (1) a (7) a continuación.

- (1) Identificar el más pequeño en el valor absoluto de $\cos \theta_1$ y $\cos \theta_2$.
- (2) Distinguir las polaridades de $\cos \theta_1$ y $\cos \theta_2$.
- (3) Los valores de $\cos \theta_1$ y $\cos \theta_2$ y las condiciones de (1) y (2) deciden el punto θ en la curva de coseno.
- (4) Calcular θ_1 y θ_2 a partir del resultado de (3).
- (5) Denominar al θ_1 y θ_2 obtenidos como θ_{1a} y θ_{2a}
- (6) Calcular la diferencia $\Delta\theta$:

$$\Delta\theta_1 = \theta_1 - \theta_{1a}$$

$$\Delta\theta_2 = \theta_2 - \theta_{2a}$$

donde $\Delta\theta$ es la diferencia entre θ_1 del dato previo y el nuevo dato (θ_{1a} o θ_{2a}).

(7) Seleccionar el valor absoluto menor de $\Delta\theta$ de $\Delta\theta_1$ y $\Delta\theta_2$. Enviar el $\Delta\theta$ seleccionado al procesador de $\Sigma\theta$ 319.

5 El $\Delta\theta$ seleccionado se añade a θ_s en el procesador de $\Sigma\theta$ 319 y θ_s es la señal de salida de sensor de fibra óptica. Hay una suposición importante de que el cambio de fase instantáneo de las señales láser detectadas f_3 y g_3 no deberá exceder $\pm\pi/2$ en un periodo de muestreo de T .

10 **Funcionamiento y efectos**

Según la presente invención, $\cos \theta_1$ y $\cos \theta_2$ pueden posicionarse correctamente en una curva de coseno si $\Delta\theta$, que es el incremento o decremento de θ en un periodo T , está dentro de 90 grados. Además, dado que puede medirse el cambio de fase preciso, si el incremento o decremento de θ en el periodo T se mantiene dentro de 90 grados, la presente invención puede extender el rango dinámico, incrementando el número de integración, y superar el límite de ± 90 grados, que no puede ser el procedimiento convencional.

15 La presente invención se realiza en el caso de que el ejemplo de la diferencia de fase de la luz de referencia sea independientemente ortogonal. El mismo efecto puede obtenerse si la diferencia de fase de la luz de señal es independientemente ortogonal. Asimismo, la discusión hasta ahora se hace en el caso de que la diferencia de fase de la luz de referencia sea de ± 90 grados, pero puede obtenerse también el mismo efecto si se fija la diferencia de fase en aproximadamente ± 90 grados.

20 Además, la discusión hasta ahora es que el tiempo de retardo de la fibra óptica es $t/2$, pero puede lograrse el mismo efecto en alrededor de $t/2$. En el ejemplo del sensor óptico 2, se utilizan dos espejos para incrementar la sensibilidad del sensor. Sin embargo, el sistema puede modificarse para utilizar un (1) espejo.

25 La forma de realización mencionada anteriormente y la construcción del interferómetro de la sección de sensor se explican con el sistema de interferómetro Michelson, pero es posible el funcionamiento similar utilizando el sistema de interferómetro Mach-Zehnder.

30 **Aplicabilidad industrial**

La presente invención se aplica al sistema de sensor que está instalado en la localización remota, el campo electromagnético fuerte, un ambiente de temperatura extremadamente alta y baja y el área que no puede tener suministro de energía.

35 **Explicación de letras o números**

- 40 1 generador de impulso láser
- 2 sensor óptico
- 3 procesador aritmético
- 45 11 generador de láser estabilizado en longitud de onda
- 12 generador de impulso
- 50 13 modulador de intensidad
- 14 modulador de fase óptico
- 55 15 acoplador direccional óptico
- 21 acoplador óptico
- 22 línea de retardo óptica
- 60 23, 25 colimador
- 24, 26 espejo
- 301 convertidor O/E
- 65 302-306 interruptor analógico

	307-311 filtro de paso bajo
5	312-316 convertidor A/D
	317 procesador de coseno
	318 procesador de $\Delta\theta$
10	319 procesador de $\Sigma\theta$

REIVINDICACIONES

1. Sensor de fibra óptica para emitir una señal de salida (θ_s), comprendiendo el sensor de fibra óptica:

- 5 un generador de impulso láser (1) para generar un impulso láser, presentando el impulso láser un periodo (T) y una anchura de impulso que presenta una primera parte (t1), una segunda parte (t2) y una tercera parte (t3), siendo una fase de la primera parte (t1) igual a la fase de la segunda parte (t2), y siendo la fase de la segunda parte (t2) ortogonal a la fase de la tercera parte (t3); incluyendo un sensor óptico (2)
- 10 un acoplador óptico (21) para dividir el impulso láser en un primer impulso láser y un segundo impulso láser,
- una línea de retardo óptico (22) para retardar el primer impulso láser;
- 15 un peso móvil que comprende un primer espejo (24) y un segundo espejo (26); en el que el primer espejo (24) está configurado para hacer un cambio de fase en el primer impulso láser y para devolver el primer impulso láser al acoplador óptico (21);
- 20 en el que el cambio de fase resulta de una distancia de movimiento del primer espejo (24) por una primera fuerza externa (+j) aplicada al peso móvil;
- en el que el segundo espejo (26) está configurado para reflejar el segundo impulso láser hacia el acoplador óptico (21);
- 25 en el que el segundo espejo (26) es movido por una segunda fuerza externa (-j) aplicada al peso móvil, siendo la segunda fuerza externa opuesta a la primera fuerza externa (+j);
- en el que el acoplador óptico está configurado para combinar el primer impulso láser reflejado retardado y el segundo impulso láser reflejado para formar una señal láser de multiplexación por división de tiempo (TDM) que incluye una primera señal óptica (R) correspondiente a la primera parte (ϕ_{1b}) del segundo impulso láser reflejado, una segunda señal óptica (I1) correspondiente a una región interferométrica entre la primera parte del primer impulso láser reflejado retardado (ϕ_{1a}) y la segunda parte del segundo impulso láser reflejado (ϕ_{2b}), una tercera señal óptica (I2) correspondiente a una región interferométrica entre la segunda parte del primer impulso láser reflejado retardado (ϕ_{2a}) y la tercera parte del segundo impulso láser reflejado (ϕ_{3b}), una cuarta señal óptica (S) correspondiente a la tercera parte del primer impulso láser reflejado retardado (ϕ_{3a}) y una quinta señal óptica (Z) correspondiente a una región sin señal óptica;
- 30 en el que el sensor de fibra óptica además comprende un procesador aritmético (3) para realizar lo siguiente:
- 40 derivar individualmente una primera señal eléctrica (r) de la primera señal óptica (R), una segunda señal eléctrica (i1) de la primera señal óptica (I1), una tercera señal eléctrica (i2) de la tercera señal óptica (I2), una cuarta señal eléctrica (s) de la cuarta señal óptica (S) y una quinta señal eléctrica (z) de la quinta señal óptica (Z);
- 45 calcular el coseno de un primer ángulo (θ_1) entre el primer impulso láser reflejado retardado y el segundo impulso láser reflejado utilizando una fórmula
- $$\cos \theta_1 = (i1 - r - s) / 2 \sqrt{r * s} ;$$
- 50 calcular el coseno de un segundo ángulo (θ_2) entre el primer impulso láser reflejado retardado y el segundo impulso láser reflejado utilizando una fórmula
- $$\cos \theta_2 = (i2 - r - s) / 2 \sqrt{r * s} ;$$
- 55 seleccionar el valor más pequeño del coseno del primer ángulo (θ_1) y el coseno del segundo ángulo (θ_2), y, calcular como un dato medido actual, el ángulo del coseno seleccionado;
- calcular una diferencia ($\Delta\theta$) entre el dato medido actual y un dato previamente medido, representando la diferencia un incremento o decremento del dato medido actual en el periodo (T);
- 60 sumar la diferencia ($\Delta\theta$) al dato medido actual para obtener la señal de salida (θ_s); y
- emitir la señal de salida (θ_s).

FIG.1

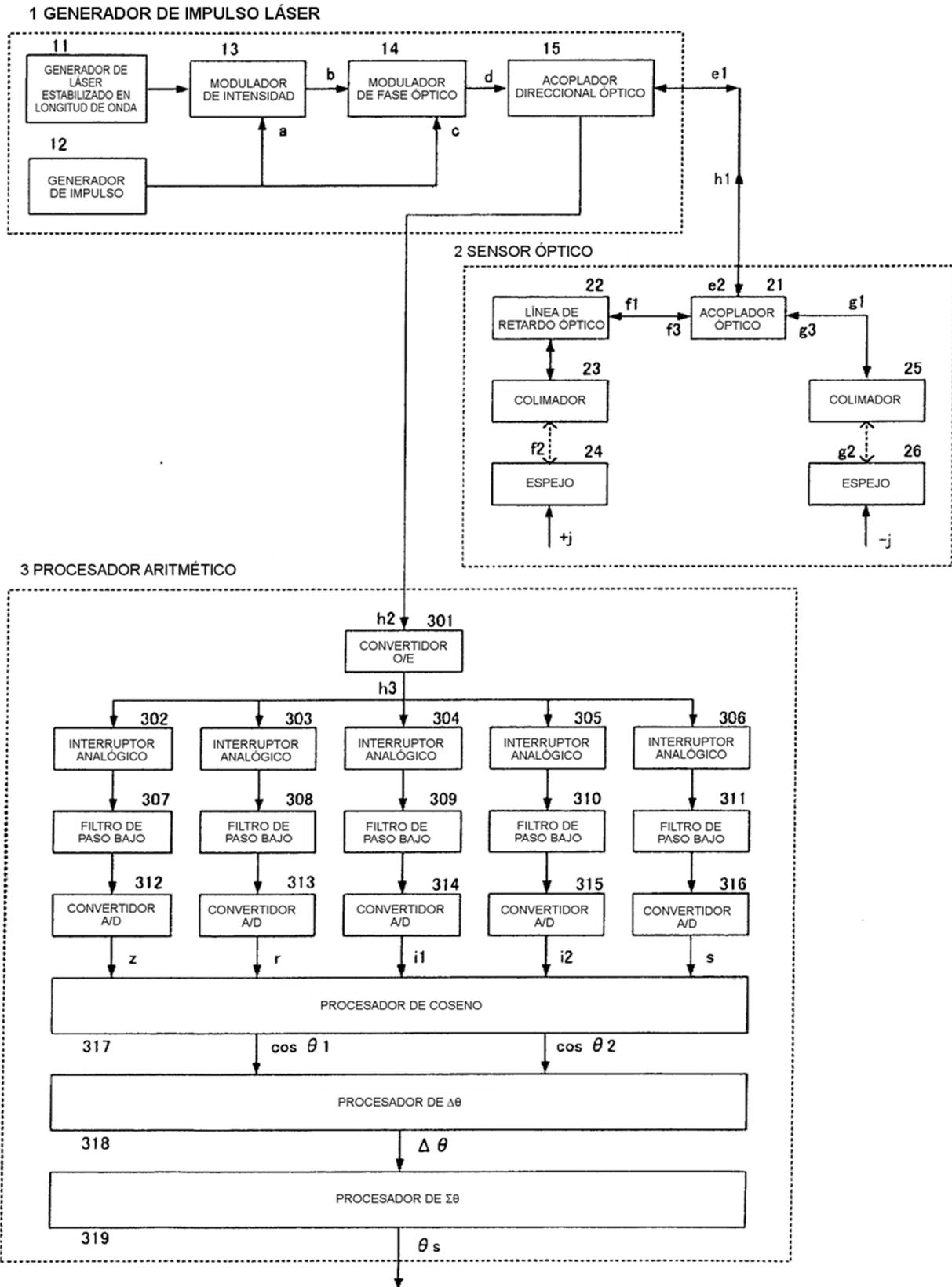


FIG.2

