

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 681 269**

51 Int. Cl.:

**G01R 15/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.04.2006 PCT/CH2006/000227**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.11.2007 WO07121592**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.04.2006 E 06721929 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.04.2018 EP 2010925**

54 Título: **Sensor de corriente de fibra óptica con esquema de detección polarimétrico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**12.09.2018**

73 Titular/es:  
**ABB RESEARCH LTD (100.0%)  
AFFOLTERNSTRASSE 44  
8050 ZÜRICH, CH**

72 Inventor/es:  
**BOHNERT, KLAUS;  
FRANK, ANDREAS y  
BRÄNDLE, HUBERT**

74 Agente/Representante:  
**CONTRERAS PÉREZ, Yahel**

ES 2 681 269 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 corriente de fibra óptica con esquema de detección polarimétrico

### 5 Campo técnico

La invención se refiere al campo de medición de corrientes eléctricas que usa la propagación de ondas de luz en una fibra óptica bajo la influencia del efecto Faraday.

### Técnica anterior

- 10 La medición de corrientes que usa ondas de luz en una fibra óptica arrollada alrededor de un conductor está descrita en, por ejemplo, el documento EP 856 737.

- En este dispositivo, se envían dos ondas de luz ortogonales polarizadas linealmente a través de un modulador de fase electro-óptico para introducir una modulación de fase de corriente alterna y luego por una fibra de mantenimiento de la polarización (PMF – *polarization maintaining fiber*) hasta un sitio de medición, en el que son convertidas por un retardador en dos ondas de luz polarizadas circularmente de orientación opuesta. Estas ondas de luz polarizadas circularmente se pasan a través de una fibra de medición arrollada alrededor de un conductor. Al final de la fibra de medición, un reflector envía las ondas de luz de vuelta al retardador, en el que son convertidas de nuevo en dos ondas de luz polarizadas linealmente. La luz retornada por el retardador es separada de la luz original
- 15
- 20 en un divisor de haz y enviada a un detector.

Alternativamente, se pueden usar dispositivos basados en módulos de giroscopio de fibra.

- El documento EP 1 174 719 divulga un sensor de corriente de fibra óptica que tiene dos detectores que tienen
- 25 analizadores lineales ortogonales para generar dos señales de medición en anti-fase.

### Resumen de la invención

Es un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento que permita medir la corriente con precisión y con unos medios simples.

- 30 Este objeto se consigue mediante el respectivo procedimiento de las reivindicaciones 1 y 15. De acuerdo con el mismo, la luz de retorno se divide en dos o más partes. Una primera parte se pasa a través de un analizador circular y luego es medida por un primer detector. Una segunda parte va a un segundo detector. La segunda parte de la luz puede ser analizada de una manera diferente a la primera parte, por ejemplo, por un analizador circular de dirección
- 35 opuesta, o por un analizador lineal, o se puede pasar directamente (sin pasar por ningún polarizador) al segundo detector. Por lo tanto, el procedimiento permite determinar dos o más parámetros característicos de la luz de retorno, lo que permite obtener un resultado más preciso con facilidad. No se requieren moduladores de fase de corriente alterna.

- 40 El término "analizador" designa un dispositivo óptico que permite que una determinada polarización pase al detector mientras bloquea la polarización opuesta o perpendicular.

### Breve descripción de los dibujos

- La invención se comprenderá mejor y se pondrán de manifiesto objetos distintos de los expuestos anteriormente al
- 45 tener en cuenta la siguiente descripción detallada de los mismos. Dicha descripción hace referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una primera configuración para realizar el procedimiento de acuerdo con la presente invención.

La figura 2 es una segunda configuración para realizar un procedimiento comparativo, y

La figura 3 es una tercera configuración para realizar un procedimiento de acuerdo con la presente invención.

50

### Formas de realización de la invención

- En la configuración de la figura 1, una luz de una fuente de banda ancha de baja coherencia 1 (por ejemplo, un diodo súper-luminiscente (SLD), un diodo láser operado por debajo de umbral, un LED emisor de borde (ELED), o una fuente de luz de fibra dopada), con un ancho espectral de, por ejemplo, aproximadamente 10nm, pasa a través
- 55 de un despolarizador 2 (por ejemplo, un polarizador de fibra de tipo *Lyot* según se describe en *W. K. Burns, Degree of polarization in the Lyot depolarizer, Journal of Lightwave Technology LT-1, 475 (1983)*). Posteriormente se polariza la luz en un polarizador de fibra 3. El despolarizador 2 puede ser omitido si se usa una fuente de luz no polarizada.

- 60 La luz polarizada procedente del polarizador 3 entra en el cable trenzado (*pigtail*) 4 de la fibra de mantenimiento de la polarización de un dispositivo divisor de haz de óptica integrada 5 con su dirección de polarización paralela al eje rápido o lento de la fibra de mantenimiento de la polarización. La fibra está trenzada (*pigtailed*) al dispositivo 5 con sus ejes birrefringentes a +45° o -45° con respecto a la superficie plana del chip. Alternativamente, la fibra 4 está

alineada a 0° o 90° con respecto a la superficie del chip. Las guías de onda del dispositivo 5 tienen preferiblemente baja birrefringencia.

La luz sale del dispositivo 5 hacia una fibra de transmisión 6, que es una fibra de mantenimiento de la polarización con sus ejes birrefringentes alineados a +45° o -45° con respecto a los ejes del cable trenzado de la fibra de mantenimiento de la polarización 4. Por lo tanto, como resultado, se transmiten dos ondas de luz polarizadas ortogonalmente dentro de la fibra de transmisión 6. Llegan a un retardador de cuarto de onda 7 en un primer extremo de una fibra de detección 8. El retardador 7 convierte las dos ondas polarizadas linealmente en unas primeras ondas de luz izquierda y derecha polarizadas circularmente, que se propagan en la fibra de detección 8 y son reflejadas en un extremo de la misma por un espejo 9, con lo que se generan unas segundas ondas de luz izquierda y derecha polarizadas que se propagan de vuelta al retardador 7.

La fibra de detección 8 está arrollada al menos una vez alrededor de un conductor 10. El campo magnético de una corriente a través del conductor 10 provoca un efecto Faraday en la fibra de detección 8, que a su vez crea un desplazamiento de fase  $\Delta\phi$  entre las ondas de luz izquierda y derecha polarizadas circularmente que retornan al retardador 7.

La fibra de detección está preparada de forma ventajosa según se describe en el documento EP 856 737 (una fibra recocida térmicamente, en el caso de diámetros de bobina pequeños inferiores a 300-500mm) o empaquetada según se describe en el documento EP 1 512 981 (en el caso de diámetros de bobina relativamente grandes y cuando se desean bobinas flexibles).

En el retardador 7, las segundas ondas de luz derecha e izquierda polarizadas linealmente son convertidas en ondas de luz lineales de retorno orientadas a lo largo de los ejes principales de la fibra de mantenimiento de la polarización 6. Las direcciones de polarización de las ondas de luz de retorno son intercambiadas con respecto a las ondas de propagación hacia delante en la fibra de mantenimiento de la polarización 6.

En el dispositivo 5, la luz de retorno se divide en varias partes en tres divisores de haz 12, 13, 14. Tres de estas partes se usan en mediciones que se describen más adelante.

Una primera parte llega a un primer analizador circular formado por un primer retardador de cuarto de onda 15a y un primer polarizador lineal 15b, en el que el retardador de cuarto de onda 15a tiene sus ejes rápidos y lentos alineados paralelos u ortogonales a los ejes rápidos y lentos de la fibra 6, y el polarizador 15b se encuentra aproximadamente bajo 45° con respecto a la misma. La luz que sale del primer analizador circular 15a, 15b, que es, por ejemplo, un analizador circular izquierdo, es analizada por un primer detector de luz 16.

Una segunda parte de la luz de retorno llega a un segundo analizador circular formado por un segundo retardador de cuarto de onda 17a y un segundo polarizador lineal 17b, en el que el retardador de cuarto de onda 17a tiene sus ejes rápidos y lentos alineados paralelos u ortogonales a la ejes rápidos y lentos de la fibra 6, y el polarizador 15b se encuentra aproximadamente bajo -45° con respecto a la misma. La luz que sale del segundo polarizador circular 17a, 17b, que está realizando una polarización opuesta a la del primer polarizador, es analizada por un segundo detector de luz 18.

Una tercera parte de la luz de retorno llega a un polarizador lineal 19 dispuesto a aproximadamente 45° con respecto a los ejes de la fibra de mantenimiento de la polarización 6. La luz procedente del polarizador 19 es medida en un detector 20.

Las señales medidas por los detectores 16, 18 y 20 son proporcionadas a un procesador de señal 21.

A continuación, se calculan las señales procedentes de los diversos detectores 16, 18, 20.

Las señales  $I_+$  e  $I_-$  procedentes del primer detector 16 y segundo detector 18 son

$$I_{\pm} = I_0 \cdot (1 \pm V \cdot \sin(\Delta\phi)), \quad (1)$$

en la que  $I_0$  es proporcional a la potencia óptica que llega a los retardadores/polarizadores 15a, 17a y 19 y  $V$  es la visibilidad de franjas de interferencia ( $V$  es igual a la unidad en condiciones ideales de interferencia). Por motivos de simplicidad, se asume que las relaciones de división de los divisores de haz 12, 13, 14 son tales que la potencia óptica es la misma en todos los canales de salida. El desplazamiento de fase  $\Delta\phi$  está determinado por

$$\Delta\phi = 4 \cdot K_V \cdot N \cdot I, \quad (2)$$

siendo  $K_V$  la constante de Verdet (por ejemplo:  $1,0\mu\text{rad/A}$  a  $1310\text{nm}$ ), siendo  $N$  el número de vueltas de fibra de detección, y siendo  $I$  la corriente. A  $1310\text{nm}$  y  $N = 1$ , un  $\Delta\phi = \pm \pi/2$  corresponde a corrientes de aproximadamente  $\pm 390\text{kA}$ .

5 Los retardadores 15a, 17a introducen un desplazamiento de fase de aproximadamente  $90^\circ$  entre las dos ondas de luz lineales de retorno. Las dos ondas son llevadas a interferencia en los analizadores 15b, 17b. Debido al desplazamiento de fase de  $90^\circ$ , las señales de interferencia después de los analizadores 15b y 17b varían en buena aproximación linealmente con el desplazamiento de fase magnetoóptico (corriente), siempre que el desplazamiento de fase (corriente) sea suficientemente pequeño. En los desplazamientos de fase  $\Delta\phi$  que se aproximan a  $\pm\pi/2$  o  
10  $\pm 90^\circ$ , es necesaria una linealización de la función de transferencia sinusoidal en el procesador de señal 21.

A pequeñas corrientes, la ecuación (1) pasa a ser, en aproximación, la siguiente:

$$15 \quad I_{\pm} = I_0 \cdot (1 \pm V \Delta\phi) . \quad (3)$$

La señal  $I_L$  procedente del detector 20 es la siguiente:

$$I_L = I_0 \cdot (1 + V \cos \Delta\phi) . \quad (3a)$$

20 Para  $\Delta\phi$  pequeños,  $I_L$  puede ser aproximada de acuerdo con:

$$I_L = I_0 \cdot (1 + V) . \quad (4)$$

Para corrientes alternas,  $\Delta\phi$  es igual a:

$$25 \quad \Delta\phi = \Delta\phi_0 \cdot \text{sen}(\omega t) . \quad (5)$$

en la que  $\Delta\phi_0$  es la amplitud de las modulaciones de fase magneto-ópticas,  $\omega$  es la frecuencia angular de la corriente y  $t$  es el tiempo.

30 Por lo tanto, los componentes ac (corriente alterna) y dc (corriente continua) de la ecuación (3) son:

$$I_{ac} = I_0 \cdot V \cdot \Delta\phi \quad (6)$$

$$35 \quad I_{dc} = I_0 \cdot \quad (6a)$$

Estos valores pueden ser extraídos en el procesador de señal 21. Dividiendo (6) por (6a) se obtiene una señal ( $V \cdot \Delta\phi$ ) que es proporcional a la forma de onda de la corriente e independiente de las variaciones en la intensidad de la luz (por ejemplo, debido a variaciones de potencia de la fuente o pérdida óptica variable).

40 Sin embargo, este procedimiento está restringido solo a corrientes ac (corriente alterna), y tiene una precisión limitada. A continuación, se describen procedimientos mejorados.

En una primera forma de realización ventajosa, se resuelve el sistema de ecuaciones (1) y (4) para obtener el valor  
45 de  $\Delta\phi$ . Aunque estas ecuaciones tienen tres incógnitas ( $I_0$ ,  $V$  y  $\Delta\phi$ ), esto es posible porque hay tres ecuaciones independientes.

Podemos, por ejemplo, calcular

$$50 \quad S = (I_+ - I_-) / (I_+ + I_-) \quad (7)$$

$$= V \cdot \text{sen}(\Delta\phi) \quad (8)$$

En la aproximación lineal de la ecuación (8), tenemos

$$55 \quad S = V \cdot \Delta\phi \quad (8a)$$

Por otro lado, en la aproximación lineal,

$$S' = I_L / (I_+ + I_-) \quad (9)$$

$$= (1 + V) \quad \text{or}$$

$$60 \quad V = S' - 1 \quad (9a)$$

Por lo tanto, tenemos

$$\Delta \phi = S/V = S/(S' - 1). \quad (10)$$

5

En otras palabras, se puede usar la señal S' para compensar la señal S en lo que respecta a variaciones en la visibilidad de franjas V.

Las técnicas mostradas aquí también permiten una compensación de la dependencia de la temperatura del efecto Faraday. Se pueden usar dos mecanismos, en concreto, una "compensación intrínseca" y una "compensación extrínseca", que se explican a continuación.

Compensación intrínseca:

15 El retardo  $\rho$  del retardador 7 en la bobina de fibra comúnmente varía algo con la temperatura. Por ejemplo, el retardo puede disminuir a una tasa de  $(1/\rho) (\delta\rho/\delta T) = -2,2 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  (véase *K. Bohnert et al., J. Lightwave Technology 20, 267 - 276, 2002*). Esto afecta a la visibilidad de franjas efectiva y, por lo tanto, a las relaciones de  $I_{\pm}$  e  $I_L$ . Si  $\varepsilon$  es la desviación del retardador 7 con respecto a  $\pi/2$ , se obtiene una descripción de la propagación de la luz a partir de una matriz de Jones

20

$$I_{\pm} = I_0 \cdot (1 \pm \cos \varepsilon \cdot \text{sen } \Delta\phi). \quad (11)$$

Aquí, se asumen unas condiciones ideales de interferencia, es decir,  $V = 1$  para  $\varepsilon = 0$ .

25 Para un  $\Delta\phi$  pequeño, la ecuación (11) pasa a ser

$$I_{\pm} = I_0 \cdot (1 \pm \cos \varepsilon \cdot \Delta\phi). \quad (12)$$

30 La variación de  $\varepsilon$  con la temperatura se puede usar para compensar intrínsecamente la dependencia de la temperatura de la constante de Verdet. La constante de Verdet  $K_V$ , y por lo tanto  $\Delta\phi$  a una corriente determinada, aumenta con la temperatura a una tasa de  $0,7 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Si el retardador se prepara con un retardo de temperatura ambiente de aproximadamente  $77^\circ$  (es decir,  $\varepsilon = -13^\circ$ ), el aumento en el  $\Delta\phi$  solo se equilibra con la disminución en el término  $\cos \varepsilon$  - es decir, el producto  $\Delta\phi_{\text{comp}} = \cos \varepsilon \cdot \Delta\phi$  en la ecuación (12) resulta ser independiente de la temperatura (asumiendo que el retardador y la fibra de detección tengan la misma temperatura).

35

Nota: con una dependencia de la temperatura de  $\rho$  indicada anteriormente,  $\rho$  disminuye de aproximadamente  $78^\circ$  ( $\varepsilon = -12^\circ$ ) a  $76^\circ$  ( $\varepsilon = -14^\circ$ ) si la temperatura aumenta de  $-40^\circ\text{C}$  a  $80^\circ\text{C}$ . Por lo tanto, el término  $(\cos \varepsilon)$  disminuye en un factor de 1,008, mientras que la constante de Verdet  $K_V$  aumenta en aproximadamente el mismo factor.

40 En *K. Bohnert et al., J. Lightwave Technology 20, 267 - 276, 2002* y EP 1 115 000 se usó un concepto de detección interferométrica para medir el efecto de Faraday. Aquí, el retardador también se empleó para la compensación de temperatura intrínseca. En este caso, se usa la variación del retardo en el desplazamiento de fase registrado. Para la compensación, el retardo se debe establecer a aproximadamente  $100^\circ$  si se usa el mismo tipo de retardador.

45 Extracción de la señal de temperatura de  $I_L$ :

Alternativamente, la temperatura se puede extraer de la señal  $I_L$  en el detector 20, de nuevo utilizando un retardador en la bobina de fibra que difiere de  $\pi/2$ . Suponiendo que  $V = 1$ , se obtiene

$$50 \quad I_L = I_0 \cdot [(1 + \cos^2\varepsilon) \cos^2(\Delta\phi/2)]. \quad (13)$$

Además,  $I_{\pm}$  son nuevamente

$$I_{\pm} = I_0 \cdot (1 \pm \cos \varepsilon \cdot \text{sen } \Delta\phi). \quad (14)$$

55

A corrientes suficientemente pequeñas, la ecuación (13) pasa a ser

$$I_L = I_0 \cdot (1 + \cos^2\varepsilon). \quad (15)$$

60 La división de  $I_L$  por la suma  $I_+ + I_-$  produce

$$I'_L = I_L / (I_+ + I_-) = (1 + \cos^2\varepsilon) \quad (16)$$

Como  $\varepsilon$  varía con la temperatura, la señal  $I_L$  se puede calibrar de modo que se convierta en una medida de la temperatura. Para obtener un resultado inequívoco, se debe elegir la  $\varepsilon$  de modo que el retardo permanezca inferior a  $90^\circ$  o superior a  $90^\circ$  en el rango de temperatura de funcionamiento. Si la aproximación de corriente pequeña no es válida, la señal  $I_L$  de ecuación (15) se puede determinar en los cruces por cero de una corriente alterna, en la que el término  $\cos^2(\Delta\phi/2)$  desaparece en (13).

Para corrientes pequeñas, la relación  $(I_+ - I_-) / (I_+ + I_-)$  da el siguiente resultado:

$$10 \quad (I_+ - I_-) / (I_+ + I_-) = \cos \varepsilon \cdot \Delta\phi \quad (17)$$

El término  $\cos \varepsilon$  en (17) se obtiene de (16), es decir,  $\Delta\phi$  se expresa en términos de  $I_L$ ,  $I_+$  e  $I_-$ .

A continuación,  $\Delta\phi$  es compensado en temperatura en el procesador de señal utilizando la temperatura extraída de (16).

Otras notas generales:

Como se describió anteriormente, el conocimiento de las tres señales  $I_+$ ,  $I_-$  e  $I_L$  permite obtener resultados muy precisos del desplazamiento de fase  $\Delta\phi$  y la corriente incluso si los valores de  $V$  e  $I_0$  no son conocidos de antemano. Debe señalarse, sin embargo, que incluso el conocimiento de dos de las tres señales  $I_+$ ,  $I_-$  e  $I_L$  es ventajoso sobre la técnica anterior.

Por ejemplo, la figura 2 muestra un dispositivo que mide solo  $I_+$  e  $I_-$ . En este caso, el cálculo de  $S$  de acuerdo con la ecuación (8) permite calcular  $\Delta\phi$  bajo la suposición de que  $V$  es conocida o ha sido medida de forma diferente.

Por otro lado, un conocimiento de  $I_+$  e  $I_L$  (o, de manera equivalente,  $I_-$  e  $I_L$ ) permite de nuevo eliminar  $I_0$ , por ejemplo, dividiendo  $I_+$  por  $I_L$

$$30 \quad I_+ / I_L = (1 + V \cdot \sin(\Delta\phi)) / (1 + V). \quad (18)$$

Nuevamente, esto permite un cálculo del desplazamiento de fase  $\Delta\phi$  suponiendo que  $V$  es conocida o ha sido medida de manera diferente.

35 La figura 3 muestra un dispositivo adecuado para realizar esta forma de realización de la invención.

La figura 3 también muestra una alternativa al uso del retardador externo 15a (o 17a), concretamente integrando una guía de ondas birrefringente 22 con un desplazamiento de fase de  $\pi/2$ , cuya luz va directamente al detector 16. El desplazamiento de fase de  $\pi/2$  también podría estar en la vía de entrada del divisor de haz para generar  $I_+$  e  $I_-$  después de los analizadores.

Se sabe que la exposición a rayos UV puede alterar la birrefringencia o introducir birrefringencia en las guías de ondas ópticas, véase, por ejemplo, Meyer, P.-A. Nicati, P. A. Robert, D. Varelas, H.-G. Limberger, and R. P. Salathe, *Reversibility of photoinduced birefringence in ultralow-birefringence fibers*, *Optics Letters*, 21, 1661 (1996) o T. Erdogan and V. Mizrahi, *Characterization of UV-induced birefringence in "photosensitive Ge-doped silica optical fibers"*, *Journal of the Optical Society of America B11*, 2100 (1994). En la disposición de la figura 3, la guía de ondas 22 ha sido irradiada con radiación UV para generar una birrefringencia que introduce un desplazamiento de fase de  $\pi/2$ .

50 En principio, la birrefringencia en las dos patas del divisor que causa un retardo de fase de  $\pi/2$  también se puede conseguir por otros medios, por ejemplo, una geometría en cierto modo no circular de la guía de ondas, una capa de superficie más delgada encima de la guía de ondas, o tensión integrada.

En las formas de realización anteriores, la señal  $I_L$  fue generada enviando la luz de retorno a través del polarizador lineal 19 antes de su medición con un detector 20. Debe observarse que el polarizador 19 también puede ser omitido, en cuyo caso la ecuación (4) tendría que ser reemplazada por

$$I_L = I_0. \quad (19)$$

60 De nuevo, la ecuación (12) puede ser combinada con las expresiones de  $I_+$  y/o  $I_-$  de las ecuaciones (1) o (3) para calcular  $\Delta\phi$  y/o  $V$ .

En lugar de usar un divisor de haz integrado, tal como el dispositivo 5, el presente procedimiento también se puede realizar por medio de divisores de haz, retardadores y polarizadores discretos.

La invención se ha descrito con referencia a una fibra de detección con un espejo. Sin embargo, también se puede aplicar a configuraciones en las que las ondas de luz circulares pasan a través de la fibra de detección solo una vez.

Lista de números de referencia

- 1: fuente de luz
  - 10 2: despolarizador
  - 3: polarizador de fibra
  - 4: cable trenzado (*pigtail*) de fibra de mantenimiento de la polarización
  - 5: dispositivo divisor de haz
  - 6: fibra de transmisión
  - 15 7: retardador
  - 8: fibra de detección
  - 9: espejo
  - 10: conductor
  - 12, 13, 14: divisores de haz
  - 20 15a, 17a: primer y segundo retardadores de cuarto de onda
  - 15b, 17b: primer y segundo analizadores
  - 16, 18, 20: primer, segundo y tercer detectores
  - 21: procesador de señal
  - 22: guía de ondas birrefringente
- 25

**Reivindicaciones**

1. Un procedimiento para medir una corriente que comprende las etapas de  
 5 enviar ondas de luz izquierda y derecha polarizadas circularmente al menos una vez a lo largo de una fibra de  
 detección (8) que se extiende alrededor de dicha corriente,  
 pasar dichas ondas de luz derecha e izquierda polarizadas circularmente a través de un retardador óptico (7)  
 para generar dos ondas de luz de retorno polarizadas linealmente ortogonalmente,  
 enviar una primera parte de dichas ondas de luz de retorno a un primer detector (16), una segunda parte de  
 dichas ondas de luz de retorno a un segundo detector (18), **caracterizado por** la etapa de  
 10 enviar una tercera parte de dichas ondas de luz de retorno a un tercer detector (20), en el que dicha primera  
 parte de dicha luz de retorno se pasa a través de un primer analizador circular (15a, 15b) antes de incidir en dicho  
 primer detector (16), en el que dicha segunda parte de dichas ondas de luz de retorno se pasa a través de un  
 segundo analizador circular (17a, 17b) antes de incidir en dicho segundo detector (18) y que tiene una polarización  
 opuesta a dicho primer analizador circular (15a, 15b), y en el que dicha tercera parte de dichas ondas de luz de  
 15 retorno se pasa a través de un analizador lineal (19) antes de incidir en dicho tercer detector (20),  
 en el que dicho primer detector (16) genera una señal  $I_+$  y dicho segundo detector (18) genera una señal  $I_-$  y  
 dicho tercer detector (20) genera una señal  $I_L$ , y el conocimiento de las tres señales  $I_+$ ,  $I_-$ ,  $I_L$  permite obtener la  
 corriente incluso si no se conocen de antemano los valores de visibilidad de franjas  $V$  y de potencia óptica de llegada  
 $I_0$ .

20 2. El procedimiento de la reivindicación 1, comprendiendo dicho procedimiento además la etapa de calcular

$$S = (I_+ - I_-) / (I_+ + I_-)$$

25 y la etapa de calcular

$$I_L / (I_+ + I_-)$$

30 3. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que

$$S = V \cdot \text{sen}(\Delta\phi)$$

siendo  $\Delta\phi$  un desplazamiento de fase introducido por el efecto Faraday entre dichas ondas de luz polarizadas  
 circularmente en dicha fibra de detección (8) y describiendo  $V$  una visibilidad de franjas de interferencia, en el que  
 dicho procedimiento comprende la etapa de calcular el  $\Delta\phi$  a partir de dichas señales  $I_L$ ,  $I_+$  e  $I_-$ .

35 4. El procedimiento de la reivindicación 3, en el que la señal

$$S' = I_L / (I_+ + I_-),$$

se usa para compensar la señal  $S$  en lo que respecta a variaciones en la visibilidad de franjas  $V$ .

40 5. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además la etapa de estimar  
 una temperatura en dicho retardador (7), o un factor de corrección en función de dicha temperatura, a partir de  
 dichas señales.

45 6. El procedimiento de la reivindicación 5, en el que dicho retardador (7) tiene un desplazamiento de fase no igual a  
 $90^\circ$  y/o en el que dicha temperatura y/o dicho factor de corrección se estiman a partir de  $I_L / (I_+ + I_-)$ , en el que  $I_L$  es  
 una señal generada por dicho tercer detector (20).

50 7. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicho retardador (7) tiene un  
 desplazamiento de fase igual a  $90^\circ + \epsilon$ , siendo  $\epsilon$  una desviación diferente de cero, en el que dicha desviación se  
 elige de tal manera que  $\cos \epsilon \cdot \Delta\phi$  resulta ser independiente de la temperatura, siendo  $\Delta\phi$  un desplazamiento de  
 fase introducido entre las ondas de luz derecha e izquierda polarizadas circularmente en dichas fibras.

55 8. El procedimiento de la reivindicación 6, en el que hay una desviación  $\epsilon$  del retardador (7) con respecto a  $\pi/2$  y se  
 calibra la señal

$$I_L' = I_L / (I_+ + I_-) = (1 + \cos^2\epsilon),$$

para que se convierta en una medida de la temperatura.

60 9. El procedimiento de la reivindicación 8, en el que la señal  $I_L$  se determina en los cruces por cero de una corriente  
 alterna.

10. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicho primer y/o segundo analizador circular (15a, 15b; 17a, 17b) está compuesto por un retardador de cuarto de onda (15a, 17a) y un analizador lineal (15b, 17b).

5

11. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dichas ondas de luz de retorno se pasan a través de un dispositivo óptico integrado (5) que comprende al menos un divisor (12, 13, 14) para generar dicha primera y dicha segunda parte, y en particular al menos dos divisores de haz.

10 12. El procedimiento de la reivindicación 11, en el que dicho dispositivo óptico integrado (5) comprende al menos un retardador de cuarto de onda integrado (22) que coopera con al menos un polarizador lineal externo (15b) para formar dicho analizador circular.

13. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que para pequeñas corrientes

15

$$I_+ = I_0 (1 + V \cdot \Delta \varphi),$$

$$I_- = I_0 (1 - V \cdot \Delta \varphi),$$

20 y para corrientes alternas, las componentes ac y dc de las señales  $I_+$  e  $I_-$  son extraídas en un procesador de señal (21), y el cociente de las componentes ac y dc da como resultado una señal  $V \cdot \Delta \varphi$  proporcional a la forma de onda de la corriente e independiente de variaciones en la intensidad de la luz.

14. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que no hay moduladores de fase de corriente alterna.

25

15. Un procedimiento para medir una corriente que comprende las etapas de enviar ondas de luz izquierda y derecha polarizadas circularmente al menos una vez a lo largo de una fibra de detección (8) que se extiende alrededor de dicha corriente,

pasar dichas ondas de luz derecha e izquierda polarizadas circularmente a través de un retardador óptico (7)

30 para generar dos ondas de luz de retorno polarizadas linealmente ortogonalmente,

enviar una primera parte de dichas ondas de luz de retorno a un primer detector (16), **caracterizado por** la etapa de

pasar dicha primera parte de dicha luz de retorno a través de un primer analizador circular (15a, 15b) antes de incidir en dicho primer detector (16),

35 pasar una parte adicional de dichas ondas de luz de retorno a través de un analizador lineal (19) antes de incidir en un detector adicional (20),

en el que dicho primer detector (16) genera una señal  $I_+$  o  $I_-$  y dicho detector adicional (20) genera una señal  $I_L$ , y el conocimiento de las dos señales  $I_+$  o  $I_-$  e  $I_L$  permite eliminar una potencia óptica de llegada  $I_0$  y calcular el desplazamiento de fase  $\Delta \varphi$  asumiendo que se conoce o se ha medido de manera diferente una visibilidad de franjas

40  $V$ .

16. El procedimiento de la reivindicación 15 que comprende la etapa de dividir  $I_+$  por  $I_L$

$$I_+/I_L = (1 + V \cdot \text{sen}(\Delta \varphi)) / (1 + V).$$

45

