

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 914 115**

51 Int. Cl.:

G01L 19/06 (2006.01)

G01L 1/24 (2006.01)

G01M 5/00 (2006.01)

B61L 23/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2019** **E 19162729 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2022** **EP 3708990**

54 Título: **Unidad sensora de fibra óptica, sistema de medición óptica, dispositivo de recuento de ejes, método de recuento de ejes**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.06.2022

73 Titular/es:

**THALES MANAGEMENT & SERVICES
DEUTSCHLAND GMBH (100.0%)
Thalesplatz 1
71254 Ditzingen, DE**

72 Inventor/es:

**LINSBALL, DAVID;
KLEMM, RAINER;
FÖLLER, SCARLETT;
HEYDER, MATTHIAS y
NAUMOVSKI, PETAR**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 914 115 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

Unidad sensora de fibra óptica, sistema de medición óptica, dispositivo de recuento de ejes, método de recuento de ejes

Antecedentes de la invención

- La invención se refiere a una unidad sensora de fibra óptica para detectar una fuerza mecánica que actúa sobre un raíl que comprende: al menos una primera fibra sensora, un primer sensor de fatiga de fibra óptica alargada y un segundo sensor de fatiga de fibra óptica alargada, en el que la primera fibra sensora comprende el primer sensor de fatiga, en el que los sensores de fatiga de fibra óptica son rejillas de Bragg de fibra, en el que ambas rejillas de Bragg de fibra están inscritas en una fibra sensora o cada una de las rejillas de Bragg de fibra está inscrita en una fibra sensora separada.
- Una unidad sensora de fibra óptica correspondiente se conoce por [01].
- Se ha informado que los sensores de rejilla de Bragg de fibra se utilizan para mediciones de contadores de ejes en el pasado reciente. Los contadores de ejes convencionales más antiguos que utilizan sensores electromagnéticos para detectar el cambio en la permitividad magnética debido a que la brida de la rueda pasa por el dispositivo sensor son propensos a los campos dispersos de los motores de tracción eléctrica y también requieren cajas electrónicas muy cerca de cada sensor. Un sensor de fibra óptica utiliza dos o más rejillas de Bragg de fibra para medir la fatiga de cizalladura experimentada por una vía férrea cuando una rueda de tren pasa sobre ella. La tensión medida se puede utilizar para detectar el paso de la rueda, su velocidad de paso, la dirección de desplazamiento y la carga sobre la rueda. El uso principal del sensor es determinar si un bloque de vía está ocupado contando el número de ruedas que pasan por la posición del sensor. El uso de sensores de red de Bragg de fibra permite colocar un sensor mucho más pequeño y robusto en la vía y ubicar el equipo de procesamiento a varios kilómetros de distancia. Esto reduce en gran medida los costes de instalación y mantenimiento del sistema de señalización.
- [02] divulga un sistema de medición de raíles para medir una fuerza mecánica que actúa sobre un raíl usando sensores de fibra óptica usando dos rejillas de Bragg de fibra única. Una de las rejillas de Bragg de fibra está unida al raíl en un ángulo de 45° con respecto a la fibra neutra, la otra en un ángulo de -45° con respecto a la fibra neutra en el que las rejillas de Bragg de fibra están separadas entre sí en la dirección del raíl. Una desventaja de la disposición conocida de [02] es que la sensibilidad no es suficiente para detectar de manera confiable cada eje, por lo que no se garantiza el nivel de seguridad (SIL4) requerido para los trenes, ya que las señales resultantes de la medición del esfuerzo de cizalladura no son adecuadas para la evaluación del umbral.
- [01] divulga una unidad sensora de fibra óptica para contar ejes que comprende un par de sensores de FBG montados en una placa a 45° y paralelos entre sí. Los sensores de FBG están separados entre sí a lo largo de la dirección del raíl. Las señales de las dos fibras se restan para dar un pulso de detección para cada rueda. El concepto asume y requiere que la flexión, la compresión y las vibraciones experimentadas por el raíl debido al paso de las ruedas anteriores y posteriores del tren sean coherentes en toda la longitud de la unidad sensora de fibra óptica. La sustracción de las señales de las dos fibras debería dar como resultado un pulso de detección, que se debe únicamente al cambio en la fatiga de cizalladura cuando pasa la rueda (consulte la Figura 1 a continuación). Las pruebas del sensor han demostrado que la suposición clave no es completamente correcta y que las dos fibras experimentan diferentes tensiones no deseadas, que no se cancelan, lo que da como resultado pulsos de detección distorsionados y un alto nivel de ruido de fondo. La unidad sensora de fibra óptica conocida a partir de [01] produce recuentos poco fiables cuando pasan trenes de carga variados y rápidos. Esto es un problema en particular cuando se cuentan los ejes de los trenes de mercancías, ya que la carga sobre el raíl varía considerablemente debido a la gran diferencia de peso entre un vagón cargado y uno descargado. Las perturbaciones que actúan sobre el raíl son mayores en órdenes de magnitud que la señal a medir (esfuerzos cortantes). Como resultado, los ejes no se cuentan correctamente o no se cuentan en absoluto, lo que debe evitarse a toda costa.
- [03] sugiere una ubicación de estilo X dual en la figura E en el contexto de una disposición de puente de 4 sensores.
- [04] divulga un eje de transmisión para una góndola de hélice y un sensor diseñado como cable de fibra óptica con sensores de rejilla de Bragg, que determinan la deformación del árbol, miden la compresión/esfuerzo de tensión que se encuentra en el árbol y determinan la temperatura del árbol, respectivamente.
- [05] divulga un sensor de alambre cruzado de rejilla de Bragg de fibra utilizado para determinar de forma independiente la variación de la tensión y la temperatura. Las FBG tienen la misma longitud de onda de Bragg, pero diferentes reflectividades. Una de las FBG se coloca a lo largo de una dirección axial, mientras que la otra FBG se coloca a lo largo de una dirección perpendicular a la dirección axial.
- [06] divulga un dispositivo de detección de fibra óptica con un raíl de acero como elastómero y un sistema de detección de carga desequilibrada y sobrecarga ferroviaria, que resuelven los problemas de que la resistencia del raíl de acero se destruye debido a un estilo conjunto de un dispositivo de detección de fuerza de corte y el raíl de acero y una curva de salida puede variar fácilmente debido a variaciones de una fuerza externa y temperatura o factores de operación hechos por el hombre. El dispositivo de detección de fibra óptica comprende un dispositivo de detección de fuerza de corte, el dispositivo de detección de fuerza de corte comprende un elemento sensible a la

fibra óptica que se fija en un eje neutro del raíl de acero mediante soldadura por puntos de baja energía.

[07] divulga un sensor de fatiga de fibra óptica para detectar fatiga plana en al menos una dirección, así como un paquete de sensores y sistemas relacionados. El sensor de fatiga comprende una fibra óptica que incluye al menos una rejilla de Bragg que responde a la fatiga inducida mecánicamente, estando la(s) rejilla(s) de Bragg sensible a la fatiga unida a una película de polímero con una dirección definida en la película con respecto a un borde exterior de la película, formando dicha fibra un bucle esencialmente circular sobre la película, estando posicionada dicha al menos una rejilla de Bragg en una porción lineal de dicho bucle.

[08] divulga un aparato sensor de radio de curvatura de elemento estructural que comprende tres sensores de fatiga de rejilla de Bragg de fibra provistos dentro de tres fibras ópticas. Las fibras ópticas y las FBG están incrustadas dentro de un elemento portador de forma parcialmente cilíndrica. Las fibras se proporcionan en tres ubicaciones separadas a lo largo del elemento portador conformado de modo que, en uso, los tres sensores de fatiga FBG respectivos se ubicarán en tres posiciones angulares diferentes alrededor de la circunferencia del elemento estructural (tubería).

[09] divulga un sensor de fuerza-momento para medir al menos una fuerza y/o momento, que comprende una primera parte, una segunda parte y una fibra óptica dispuesta entre ellas, comprendiendo dicha fibra óptica en al menos una sección un componente para detectar deformaciones y/o esfuerzos de la fibra transversalmente a su eje longitudinal. Se proporciona una fibra que comprende al menos un componente para detectar deformaciones y/o esfuerzos de la fibra transversalmente a un eje longitudinal de la fibra y en el que se introduce luz.

Objeto de la invención

Es un objeto de la invención proporcionar un sensor de fibra óptica, que permite mediciones con mayor amplificación de la señal de medición y datos brutos mejorados.

Descripción de la invención

Este objeto se consigue mediante una unidad sensora de fibra óptica según la reivindicación 1, un sistema de medición óptico según la reivindicación 12, un dispositivo contador de ejes según la reivindicación 15 y un método contador de ejes según la reivindicación 16.

De acuerdo con la invención, al menos una fibra sensora está unida a una placa sensora, y el primer sensor de fatiga de fibra y el segundo sensor de fatiga están dispuestos en una geometría de tipo x o tipo v, en el que el primer sensor de fatiga y el segundo sensor de fatiga están dispuestos en un ángulo de 60° a 120°, en particular de 90°, entre sí.

Las señales ópticas detectadas en general comprenden una señal a detectar (señal objetivo), por ejemplo, esfuerzo de cizalladura generado por el paso de una rueda de un tren y perturbaciones no deseadas (señal de interferencia), por ejemplo, debido a la flexión y vibraciones de los raíles o temperatura.

De acuerdo con la invención, los sensores de fatiga no están separados entre sí, sino que están dispuestos superpuestos (geometría de tipo x) o no superpuestos pero adyacentes entre sí (geometría de tipo v). Por lo tanto, cuando se unen a un raíl, los dos sensores de fatiga detectan una perturbación específica que actúa en la misma o casi la misma posición del raíl. Esto es particularmente ventajoso en caso de perturbaciones, que pueden variar en el tiempo, ya que se minimiza el tiempo entre la medición por el primer sensor de fatiga y el segundo sensor de fatiga.

La disposición de la invención permite la detección de señales con una calidad de señal mejorada. Esto es particularmente importante para el uso de la unidad de fibra óptica para detectar señales que son bajas, que pueden variar considerablemente o que están superpuestas por perturbaciones con amplitud similar o mayor, que es el caso, por ejemplo, en el recuento de ejes dentro de un sistema ferroviario.

Según la invención, los sensores de fatiga son rejillas de Bragg de fibra. Cada rejilla de Bragg de fibra tiene una longitud de onda de Bragg que depende de la fatiga mecánica que actúa sobre la rejilla de Bragg de fibra. Ambas rejillas de Bragg de fibra están inscritas en una fibra sensora (es decir, la fibra sensora comprende dos segmentos de FBG) o cada una de las FBG está inscrita en una fibra sensora separada (es decir, cada fibra comprende un segmento de FBG).

De acuerdo con la invención, la placa sensora comprende un hueco (rebaje), en el que al menos una fibra atraviesa el hueco de manera que los sensores de fatiga se colocan dentro del hueco. El hueco en la placa sensora permite que las FBG se coloquen libremente (es decir, sin contacto con la placa sensora). Los sensores de fatiga, que abarcan el hueco, están precargados.

En una realización muy preferida, el primer sensor de fatiga y el segundo sensor de fatiga están dispuestos en una geometría de tipo x, y los sensores de fatiga están separados entre sí en una dirección perpendicular a las extensiones longitudinales de los sensores de fatiga. Es decir, los sensores de fatiga están dispuestos en una geometría de tipo x sin tocarse entre sí (debido a la distancia entre las FBG en una dirección perpendicular a las extensiones longitudinales de los sensores de fatiga). El primer sensor de fatiga y el segundo sensor de fatiga se

5 extienden a lo largo de líneas oblicuas. El ángulo entre los dos sensores de fatiga es el ángulo de la proyección a lo largo de la plomada común de los dos sensores de fatiga. "geometría tipo x" significa que las proyecciones de los sensores de fatiga a lo largo de la plomada común se cruzan (es decir, los sensores de fatiga se superponen con respecto a la extensión longitudinal del raíl. Preferentemente, la geometría de tipo x tiene una simetría rotacional doble, en particular una simetría rotacional cuádruple, es decir, los centros de ambos sensores de fatiga están dispuestos en la plomada común.

10 Alternativamente, los sensores de fatiga se pueden disponer en una geometría de tipo v. En este caso, los dos sensores de fatiga reaccionan con un poco de retraso. Es decir, la señal del sensor procesada se vuelve temporalmente más ancha y posiblemente algo más baja en la amplitud máxima. Las fuerzas transversales pueden no ser exactamente las mismas. Es decir, la supresión de perturbaciones es algo menos eficaz en comparación con la geometría x. Sin embargo, la geometría tipo v es más fácil y económica de producir, ya que los sensores de fatiga se pueden colocar al mismo nivel de altura.

15 La placa sensora puede comprender al menos una ranura en la que se une al menos una fibra sensora. Al proporcionar una o dos ranuras, las fibras se pueden colocar y fijar fácilmente en la placa sensora. Además, el curso de la fibra puede ser determinado por las ranuras. Proporcionando el al menos una ranura a diferente profundidad, las fibras se pueden colocar a una distancia mientras se cruzan entre sí. Por lo tanto, en una realización especial de la unidad sensora de fibra óptica, las ranuras conducen a un hueco dentro de la placa sensora desde diferentes direcciones, pero en diferentes niveles (es decir, las ranuras tienen diferente profundidad), de modo que los segmentos de fibra se cruzan entre sí en diferentes niveles, permitiéndose así cruzarse sin tocarse.

20 Preferentemente, se proporcionan dos ranuras con diferente profundidad. Alternativamente, la ranura para un sensor puede estar en la superficie superior de la placa sensora con la ranura para el otro sensor en la superficie inferior de modo que no se toquen. La fibra para el sensor inferior se puede conducir desde la parte superior de la placa a través de un orificio en la placa hasta la superficie inferior. La fibra se puede unir a un amplificador mecánico y transferir la deformación del raíl al sensor de fatiga. El amplificador mecánico que es parte de/está integrado en la placa sensora.

25 El al menos una ranura puede estar grabada. Preferentemente, las ranuras se producen utilizando un proceso de grabado, en el que para diferentes ranuras se utilizan diferentes profundidades de grabado. El proceso de grabado prepara perfectamente las ranuras para un proceso de pegado para unir la fibra a la placa sensora. Preferentemente se consiguen dos profundidades de grabado diferentes mediante grabado doble, pero también sería posible grabar solo una vez con un tiempo de exposición diferente para las dos ranuras.

30 Preferentemente, la primera ranura y la segunda ranura son parte de la misma placa sensora, en la que las dos ranuras están a diferentes niveles de altura de la placa sensora. Esto es particularmente ventajoso cuando se usa geometría de tipo x, ya que las fibras se pueden colocar a una distancia mientras se cruzan entre sí. En el caso de una geometría tipo V, los sensores se pueden colocar al mismo nivel de profundidad. En este caso no se requiere una profundidad de ranura diferente.

35 En una realización especial, la fibra sensora comprende tanto la primera rejilla de Bragg de fibra como la segunda rejilla de Bragg de fibra. Es decir, ambas FBG están inscritas en la misma fibra sensora. Solo se requiere una fibra sensora para la unidad sensora de fibra óptica, lo que hace que esta realización de la unidad sensora de fibra óptica de la invención sea rentable y fácil de fabricar. Esta realización permite una fácil compensación de temperatura ya que los rangos de trabajo, y por lo tanto las longitudes de onda reflejadas, de ambas FBG se desplazan de la misma manera en caso de un cambio de temperatura. No se requieren medios de compensación mecánica para la compensación de temperatura.

40 La realización con una sola fibra sensora requiere FBG con diferentes longitudes de onda de Bragg.

45 En una realización alternativa, la unidad sensora de fibra óptica comprende dos fibras sensoras, siendo cada rejilla de Bragg de fibra parte de una fibra sensora separada. Mediante el uso de diferentes fibras sensoras, cada una de las cuales tiene una FBG, se pueden usar FBG con la misma longitud de onda de Bragg.

Preferentemente, ambas fibras están montadas en la misma placa sensora. En este caso, la disposición relativa de las FBG es fija, lo que permite un fácil montaje de la unidad sensora de fibra.

50 La placa sensora se puede unir a una placa base para montar el sensor de fibra óptica en el raíl, en el que la placa base tiene un plano inferior continuo. Dado que la placa sensora tiene espacios en el área donde se ubican las FBG, la placa sensora en sí no se puede pegar sobre un área continua. Al proporcionar una placa base adicional, se puede proporcionar un área de pegado grande y continua.

55 Con el fin de permitir la detección de cargas de ruedas ligeras, se prefiere que la placa sensora incluya un amplificador mecánico, que transfiere y multiplica la alternancia de longitud desde el raíl hasta la rejilla de Bragg de fibra. Un amplificador acorde ha sido descrito en [01]. En contraste con [01] no se requiere compensación de temperatura con la geometría de tipo x de la invención.

La invención también se refiere a un sistema de medición óptico para medir el esfuerzo de cizalladura de un raíl, el

sistema comprende: el raíl que tiene una extensión longitudinal y un eje neutro que se extiende a lo largo de la extensión longitudinal, una unidad sensora de fibra óptica como se describe anteriormente para detectar señales ópticas en dependencia de la fatiga de cizalladura que actúa sobre el raíl, en el que la unidad sensora de fibra óptica está montada en el raíl de tal manera que las rejillas de Bragg de fibra están orientadas oblicuamente con respecto al eje neutro, una fuente de luz que está adaptada para acoplar luz en las fibras sensoras de la unidad sensora de fibra óptica, y una unidad de procesamiento de señales para procesar señales detectadas por la unidad sensora de fibra óptica.

En una realización muy preferida, la unidad sensora de fibra óptica se monta en el raíl de manera que los sensores de fatiga estén orientados en un ángulo de 30° - 60° con respecto al eje neutro, preferentemente en un ángulo de 45° con respecto al eje neutro.

Las fuentes de luz acoplan luz en al menos una fibra sensora. La luz es guiada a la primera y la segunda FBG, en el que cada FBG tiene un espectro de reflexión que tiene un pico de reflexión, que está en una longitud de onda de Bragg y tiene un ancho total a la mitad del máximo. La luz reflejada por dos rejillas de Bragg de fibra se detecta y procesa dentro de la unidad de procesamiento de señales, como resultado de lo cual se recibe una señal de esfuerzo de cizalladura del raíl.

La rueda de un tren que pasa genera una señal óptica en las rejillas de Bragg de fibra, que es un cambio de longitud de onda. Debido a la disposición tipo x o tipo v de las dos rejillas de Bragg de fibra, la longitud de onda reflejada por una de las rejillas de Bragg de fibra en primera instancia disminuye durante el acercamiento de una rueda y la longitud de onda reflejada de la otra rejilla de Bragg de fibra aumenta en al mismo tiempo. Además, mientras la rueda pasa por el sensor y mientras se aleja de él, la longitud de onda reflejada de ambas rejillas de Bragg de fibra se comporta de manera opuesta. Por el contrario, las perturbaciones que están en la dirección transversal del raíl, por ejemplo, causadas por el movimiento sinusoidal de los ejes del tren o causadas por la temperatura, cambian la longitud de onda de ambas rejillas de Bragg de fibra en la misma dirección. Este efecto permite que el procesamiento posterior de la señal elimine o al menos reduzca sustancialmente las señales de interferencia restando ambas señales detectadas (la señal detectada por la primera rejilla de Bragg de fibra y la señal detectada por la segunda rejilla de Bragg de fibra) después de que los cambios de longitud de onda se convirtieron en un cambio de intensidad de luz. Preferentemente, los filtros ópticos hacen esta conversión.

Preferentemente, la unidad sensora de fibra óptica está unida al raíl en el alma del raíl.

En una realización especial, la unidad de procesamiento de señales comprende un filtro de borde con un borde descendente y un borde ascendente y la primera rejilla de Bragg de fibra tiene una longitud de onda de Bragg en el borde ascendente y la segunda rejilla de Bragg de fibra tiene una longitud de onda de Bragg en el borde descendente del filtro de borde. Esto es particularmente útil si las dos rejillas de Bragg de fibra tienen diferentes longitudes de onda de Bragg. Las longitudes de onda iniciales (longitud de onda de Bragg sin que se aplique carga adicional) de las rejillas de Bragg de fibra y el filtro de borde se eligen de modo que las longitudes de onda iniciales de las rejillas de Bragg de fibra estén en bordes diferentes del filtro de borde. Por lo tanto, el filtro de borde con bordes en las longitudes de onda de Bragg de las rejillas de Bragg de fibra convierte un cambio de longitud de onda de la luz reflejada en un cambio de intensidad de luz. Esto permite restar las señales de los dos sensores dentro del mecanismo de filtro de borde, cancelando las perturbaciones no deseadas que dan como resultado la medición pura de la fatiga de cizalladura en el raíl.

En una realización muy preferida, los sensores de fatiga están dispuestos simétricamente a un plano que comprende el eje neutro del raíl. Es decir, el sensor tiene una geometría tipo x perfecta. El plano de simetría del sensor de fatiga tipo x es perpendicular al plano de simetría del raíl. Esto asegura que ambos sensores de fatiga experimenten fuerzas que actúan sobre el mismo segmento de raíl, optimizando así el filtrado de perturbaciones de las señales ópticas.

La simetría de una geometría de tipo x con el eje neutro horizontal da como resultado que las fuerzas que actúan perpendicularmente desde la parte superior al centro de la X no producen señal. Este es el caso con cada una de las dos FBG exactamente en la misma posición (geometría de tipo x perfecta).

También se prefiere que los sensores de fatiga estén dispuestos simétricamente a un plano perpendicular al eje neutro del raíl. La geometría a un plano perpendicular al eje neutro asegura que los ángulos de los dos sensores de fatiga al eje neutro sean iguales en cantidad.

La invención también se refiere a un dispositivo de recuento de ejes que comprende al menos una fuente de luz y al menos una unidad contadora, en el que cada unidad contadora comprende al menos una unidad sensora de fibra óptica como se describió anteriormente que está adaptada para montarse en un raíl y una unidad procesadora de señales, en la que la fuente de luz está adaptada para acoplar luz en las fibras sensoras de la unidad sensora de fibra óptica.

La invención se refiere además a un método de recuento de ejes para vehículos sobre raíles, que comprende las siguientes etapas del método: acoplar, a través de al menos una fibra sensora, luz a un primer y un segundo sensor de fatiga de fibra óptica que son rejillas de Bragg de fibra de una unidad sensora de fibra óptica. que está unido a un raíl, detectando la luz reflejada por el primer y el segundo sensor de fatiga de fibra óptica, como resultado de lo cual

se recibe una señal de esfuerzo de cizalladura del raíl en cada caso, en el que cada sensor de fatiga de fibra óptica tiene un espectro de reflexión que tiene un pico de reflexión que está en una longitud de onda de Bragg y tiene un ancho total a la mitad del máximo, generando una señal de diferencia de esfuerzo de cizalladura a partir de las dos señales de esfuerzo de cizalladura recibidas; y generar una señal de rueda dentro de una unidad de procesamiento de señales si la señal de diferencia de esfuerzo de cizalladura supera un valor límite superior predeterminado o cae por debajo de un valor límite inferior predeterminado. Según la invención, los sensores de fatiga de fibra óptica están dispuestos en una geometría de tipo x o de tipo v, estando dispuestos el primer sensor de fatiga y el segundo sensor de fatiga en un ángulo de 60° a 120°, en particular de 90°, entre sí, en el que ambas rejillas de Bragg de fibra están inscritas en una fibra sensora (10) o cada una de las rejillas de Bragg de fibra está inscrita en una fibra sensora separada (2, 3), en el que la placa sensora comprende un rebaje (9, 9a, 9b), en el que al menos una fibra se extiende por el rebaje (9, 9a, 9b) de manera que los sensores de fatiga se colocan libremente dentro del rebaje (9, 9a, 9b) sin contacto con la placa sensora, y en el que la totalidad del ancho a la mitad como máximo de los picos de reflexión del primer sensor de fatiga de fibra óptica y el segundo sensor de fatiga de fibra óptica se desvían entre sí en un máximo del 200 %.

Con el método conocido de [1], el ancho total a la mitad del máximo del primer pico de reflexión es muchas veces mayor que el ancho total a la mitad del máximo del segundo pico de reflexión. Cuando se carga el raíl, las longitudes de onda de las dos FBG se mueven en la misma dirección, pero con un retraso de tiempo, de modo que las dos señales de FBG se superponen temporalmente, lo que se respalda proporcionando los diferentes anchos completos a la mitad del máximo. Sin embargo, si el primer pico de reflexión es aproximadamente 4 veces más ancho que lo sugerido en la patente actual, entonces la potencia de la luz recibida se reducirá en un máximo de 1/5 por un cruce de ruedas. Las señales de interferencia, por ejemplo, causadas por fuerzas laterales, afectan a ambas señales FBG y se suman. La relación señal/ruido es por lo tanto muy desfavorable. La evaluación aguas abajo permite el reconocimiento de la dirección, pero también es sensible a las interferencias. Dado que también el pulso ancho del primer pico de reflexión se desplaza por las perturbaciones en la longitud de onda, esto es, sin embargo, aproximadamente 4 veces más ancho que el pulso estrecho, las perturbaciones actúan sobre el mismo con factor de 4.

A diferencia del método conocido por [1], el método de la invención usa FBG con picos de reflexión que tienen un ancho completo comparable a la mitad del máximo. La disposición en X de la invención desplaza las longitudes de onda de las dos FBG en la dirección opuesta. Las distancias entre los puntos de operación se pueden seleccionar de modo que se "superen" entre sí cuando una rueda pasa sobre ellos. Al proporcionar dos sensores de fatiga con el mismo ancho completo a la mitad del máximo, la luz recibida se reduce en intensidad en el caso ideal con el cruce de una rueda dos veces por la mitad. El ancho completo en la mitad del máximo de los picos de reflexión se elige preferentemente de modo que se logre un rango predeterminado para las cargas de las ruedas. La diferencia entre las longitudes de onda de Bragg de los dos sensores de fatiga de fibra se elige preferentemente de modo que se logre una sensibilidad mínima predeterminada.

Cada rueda produce un pulso positivo seguido de un pulso negativo o, alternativamente, un pulso negativo seguido de un pulso positivo, según la dirección del tren. La conversión del cambio de longitud de onda en intensidades de luz tiene lugar en el OEC (chip óptico), lo que limita al mínimo el procesamiento de la señal óptica requerida (un fotodiodo) y también simplifica la evaluación eléctrica.

En una variante preferida del método de la invención, la fibra sensora comprende tanto el primero como el segundo sensores de fatiga de fibra óptica, estando dispuestos el primero y el segundo sensores de fatiga de fibra óptica en una fila y teniendo diferentes longitudes de onda de Bragg. La señal de diferencia de esfuerzo de cizalladura se genera ópticamente mediante una superposición espectral de los picos de reflexión de los dos sensores de fatiga de fibra óptica durante la transición de un estado descargado a un estado cargado.

En una variante especial, las etapas del método a) a d) se llevan a cabo con una unidad sensora de fibra óptica adicional, que está unida a otro raíl de la vía, en el que las dos unidades sensoras de fibra óptica están separadas entre sí en la dirección del raíl. La información de dirección no está incluida en esta señal. Para recibir información de dirección se requiere una unidad sensora de fibra óptica adicional, que se encuentra a una distancia de la primera unidad sensora de fibra óptica en la dirección longitudinal de la pista. Lo ideal es montarlo ligeramente desplazado sobre el otro raíl, ya que esto aumenta la tasa de detección de ejes en caso de que la rueda de un eje de un lado de la vía no transmita las fuerzas necesarias al raíl, por ejemplo, a través de una abolladura.

Otras ventajas de la invención pueden deducirse de la descripción y el dibujo. Las funciones mencionadas anteriormente y las que se describen a continuación pueden utilizarse individualmente o en cualquier combinación de estas. Las realizaciones mostradas y descritas no deben entenderse como una lista exhaustiva, sino que tienen carácter ejemplar para la descripción de la invención.

Descripción detallada de las figuras

La figura 1a muestra una vista desde arriba de una primera realización de la unidad sensora de fibra óptica de la invención con dos fibras sensoras, comprendiendo cada fibra sensora una rejilla de Bragg de fibra (geometría tipo x).

	La figura 1b	muestra un detalle ampliado del área B de la figura 1a.
	La figura 1c	muestra una vista en sección transversal a lo largo de una dirección longitudinal de la primera realización de la unidad sensora de fibra óptica de la invención.
	La figura 1d	muestra un detalle ampliado del área A de las figuras 1a.
5	La figura 1e	muestra una vista en perspectiva de la primera realización de la unidad sensora de fibra óptica de la invención.
	La figura 2a	muestra una vista desde arriba de una segunda realización de la unidad sensora de fibra óptica de la invención con una fibra sensora, comprendiendo la fibra sensora dos rejillas de Bragg de fibra con diferente longitud de onda de Bragg (geometría tipo x).
10	La figura 2b	muestra un detalle ampliado del área B de las figuras 2a.
	La figura 2c	muestra una vista en sección transversal a lo largo de una dirección longitudinal de la segunda realización de la unidad sensora de fibra óptica de la invención.
	La figura 2d	muestra un detalle ampliado del área A de las figuras 2a.
15	La figura 2e	muestra una vista en perspectiva de la segunda realización de la unidad sensora de fibra óptica de la invención.
	La figura 3a	muestra una tercera realización del sensor de fibra óptica de la invención con una geometría de tipo v.
	La figura 3b	muestra un detalle ampliado del área A de la figura 3a.
20	La figura 4	muestra una vista en perspectiva de la primera realización de la unidad sensora de fibra óptica de la invención montada en un raíl.
	La figura 5	muestra una vista en perspectiva de la segunda realización de la unidad sensora de fibra óptica de la invención montada en un raíl.
25	La figura 6	muestra un dispositivo contador de ejes según la invención que utiliza la segunda realización de la unidad sensora de fibra óptica de la invención para llevar a cabo el método de la invención de contador de ejes; se indican diferentes posiciones de una rueda que pasa.
	La figura 7	muestra diagramas que indican la intensidad de la luz reflejada por las rejillas de Bragg de fibra del dispositivo contador de ejes que se muestra en la figura 6 en función de la longitud de onda, representando cada diagrama la intensidad en una posición diferente de la rueda indicada en la figura 6.
30	La figura 8	muestra la señal detectada por el fotodiodo del dispositivo contador de ejes que se muestra en la figura 6 en función del tiempo durante el cual una rueda pasa por las posiciones indicadas en la figura 6.
	La figura 9	muestra un diagrama que indica el cambio de longitud de onda en función de la posición de un eje que pasa con respecto a una unidad sensora de fibra óptica según la invención.
35	Las figuras 1a-d muestran diferentes vistas de una primera realización de la unidad sensora de fibra óptica de la invención 1a. La unidad sensora de fibra óptica de la invención 1a según la primera realización comprende una primera fibra sensora 2 y una segunda fibra sensora 3, en el que la primera fibra sensora 2 comprende una primera rejilla de Bragg de fibra (FBG) 4 y una segunda FBG 5. Las fibras sensoras 2, 3 están unidas a una placa sensora 6. La placa sensora 6 tiene ranuras 7, 8 en el que discurren las fibras sensoras 2, 3. La placa sensora tiene un hueco 9. Las fibras sensoras 2, 3 cruzan el hueco 9 de tal manera que las FBG 4, 5 se cruzan entre sí en un área de cruce B. El área de cruce B se muestra con más detalle en figura 1b. La vista en sección transversal mostrada en la figura 1c y la vista detallada de la sección A mostrada en la figura 1d muestran que las dos fibras sensoras 2, 3 discurren a diferentes niveles de altura para cruzarse entre sí sin tocarse. En la figura 1e se muestra una vista en perspectiva de la primera realización de la unidad sensora de fibra óptica de la invención.	
40		
45	Una segunda realización de la unidad sensora de fibra de la invención 1b se muestra en las figuras 2a-d. La unidad sensora de fibra óptica de la invención 1b de acuerdo con la segunda realización comprende solo una fibra de sensor 10, en el que la fibra sensora 10 comprende la primera FBG 4 y la segunda FBG 5. En esta realización, las FBG tienen diferentes longitudes de onda de Bragg λ_1 , λ_2 . La fibra sensora 10 está unida a la placa sensora 6. La fibra sensora 10 discurre por una ranura 11 de la placa sensora 6. Como en la primera realización, la placa sensora 6 tiene un hueco 9.	
50	La fibra sensora 10 abarca el hueco 9 dos veces desde diferentes direcciones, de modo que las FBG 4, 5 se cruzan entre sí en el área de cruce B. La vista de la sección transversal que se muestra en la figura 2c y la vista detallada de la	

sección de la figura 2d muestran que la fibra sensora 10 discurre a diferentes niveles de altura en diferentes posiciones de la placa sensora 6 para cruzarse entre sí en el área de cruce sin tocarse entre sí. En la figura 2e se muestra una vista en perspectiva de la segunda realización de la unidad sensora de fibra óptica de la invención.

5 Ambas realizaciones muestran una geometría de tipo cruzado de las FBG, en la que las FBG están dispuestas en un ángulo de 90° entre sí.

Una tercera realización de la unidad sensora de fibra óptica de la invención 1c se muestra en la figura 3. En la tercera realización, las FBG están dispuestas en geometría en V. La figura 3 muestra una realización en la que ambas FBG, 4, 5, están inscritas en la misma fibra sensora 10. Sin embargo, las FBG 4, 5 también pueden inscribirse en diferentes fibras sensoras 2, 3 (no mostradas). Las fibras sensoras 2, 3 están unidas a la placa sensora 6. La placa sensora 6 tiene una ranura 11 en el que discurren las fibras sensoras 10. La placa sensora tiene un hueco 9a, 9b. Las fibras sensoras 10 abarcan los espacios 9a, 9b de manera que las FBG 4, 5 de una V en el área de cruce A. El área de cruce A se muestra con más detalle en figura 3b. La fibra sensora 10 discurre a un nivel de altura, lo que permite una construcción sencilla de la unidad sensora de fibra óptica.

15 Las figuras 4 y 5 muestran vistas en perspectiva de la primera realización y la segunda realización de la unidad sensora de fibra óptica de la invención 1a, 1b montada en un alma de raíl 14 de un raíl 15. La unidad sensora de fibra óptica está unida al raíl de manera que las FBG 4, 5 estén dispuestos simétricamente al eje neutro 16 del raíl 15 y simétricamente a un plano ortogonal al eje neutro 16.

La unidad sensora de fibra óptica 1a, 1b, 1c de la invención se puede utilizar para el recuento de ejes. Como ejemplo, la figura 6 muestra un dispositivo contador de ejes 17 de acuerdo con la invención usando la primera realización de la unidad sensora de fibra óptica de la invención 1b. El dispositivo contador de ejes 17 comprende una fuente de luz 18, y una unidad contadora 19, en el que la unidad contadora 19 comprende una unidad sensora de fibra óptica 1b una unidad de procesamiento de señales 20 para el procesamiento de la luz proveniente de la unidad sensora de fibra óptica. La luz se acopla desde la fuente de luz 18 a la fibra sensora 10 de la unidad sensora de fibra óptica 1b. La fuente de luz 18 se puede integrar en la unidad de procesamiento de señales 20. La luz reflejada por las FBG 4, 5 es detectada por un fotodiodo 21 de la unidad de procesamiento de señales 20. En dependencia de posiciones a, b, c, d, e, f, g de una rueda que pasa 22 la luz de diferente longitud de onda se refleja desde las FBG. La figura 7 muestra diagramas en los que los picos de reflexión P1, P2 de la luz reflejada por las dos FBG 4, 5, representando cada diagrama una de las posiciones a, b, c, d, e, f, g indicadas en la figura 6.

En la posición a, la rueda 22 no influye en las FBG 4, 5. Las FBG 4, 5 reflejan luz en la respectiva longitud de onda de Bragg en reposo λ_1 , λ_2 y los picos de reflexión P1, P2 pueden identificarse en la longitud de onda de Bragg en reposo λ_1 , λ_2 . Debido a la disposición en X de la invención de las FBG, las longitudes de onda de la luz reflejada se desplazan en direcciones opuestas tan pronto como el sensor se somete a una carga. En la posición b, ambas FBG reflejan la luz a la misma longitud de onda: los picos de reflexión se superponen. Las distancias entre los puntos de operación (= longitudes de onda de Bragg en el estado descargado) se pueden seleccionar de tal manera que los picos de reflexión P1, P2 se "superen" entre sí (la posición del pico de reflexión P1 cambia de izquierda a derecha mientras que la posición del pico de reflexión P2 cambia de derecha a izquierda, como se muestra en el diagrama de la posición c) cuando una rueda pasa sobre la unidad sensora de fibra óptica. A medida que la rueda pasa por los picos de reflexión P1, P2 se mueven entre sí nuevamente (posición d), regresan a su longitud de onda de Bragg en reposo (posición e) y pasan a una longitud de onda más baja en el caso del pico de reflexión P1 y a una longitud de onda más alta en el caso del pico de reflexión P2 (posición f). A medida que la rueda deja de influir en las FBG, los picos de reflexión vuelven a su longitud de onda de Bragg en reposo (posición g).

La señal detectada por el fotodiodo 21 del dispositivo contador de ejes 17 en función del tiempo durante el paso de la rueda 22 por las posiciones a-g se muestra en la figura 8. Se sugieren dos FBG con el mismo ancho medio, de modo que la luz detectada se reduzca en intensidad dos veces a la mitad (es decir, en las posiciones b y d). Es decir, cada rueda que pasa produce dos pulsos de señal. Tenga en cuenta que estos dos pulsos no contienen ninguna información de dirección. Con el ancho de la FBG se puede influir en el rango, con la distancia de las longitudes de onda de la FBG se puede influir en la sensibilidad del sensor. Los pulsos de señal pueden evaluarse sin un chip óptico sino directamente por el fotodiodo 21. La conversión del cambio de longitud de onda en intensidades de luz tiene lugar así en la propia unidad sensora de fibra óptica 1b, lo que permite reducir al mínimo el procesamiento de la señal óptica (un fotodiodo 21) y simplifica la evaluación eléctrica.

Como se muestra en la figura 9, los picos de reflexión generados por las dos FBG debido al paso de la rueda se mueven en dirección opuesta, mientras que las señales de interferencia, por ejemplo, debido a la flexión y las vibraciones de los raíles o la temperatura, se mueven en la misma dirección en el caso de ambas FBG. La razón de esto es la siguiente: La rueda 22 comprime y dobla el raíl 15 a medida que pasa, pero, lo que es más importante, provoca una fatiga de cizalladura localizada en el raíl 15. La fatiga de cizalladura es el resultado de un segmento de raíl que se estira en una dirección mientras se comprime en la ortogonal. La flexión y la vibración causadas por las ruedas que pasan (perturbaciones que causan señales de interferencia) afectan un gran segmento del raíl, lo que da como resultado que las ruedas anteriores o posteriores afecten las tensiones en el raíl debajo de la rueda que se está midiendo (casi independiente si la posición de la rueda en relación con la unidad sensora de fibra óptica). Sin embargo, la fatiga de cizalladura es diferente porque está localizada y, por lo tanto, solo resulta de la rueda que se

encuentra sobre la unidad sensora de fibra óptica.

De acuerdo con la invención, un par de sensores de fatiga de fibra óptica se unen al raíl a 45 grados y ortogonales entre sí. En la realización mostrada, ambos sensores de fatiga de fibra óptica están ubicados en la misma ubicación longitudinal del raíl, formando así una geometría en X. Por lo tanto, experimentarán exactamente las mismas fatigas verticales y horizontales, pero componentes opuestos de la fatiga de cizalladura que son iguales en cantidad. La diferencia entre las señales detectadas por los dos FBG es, por lo tanto, una medida directa de la fatiga de cizalladura sin ninguna de las tensiones de distorsión en el raíl. En la figura se muestra un diagrama correspondiente. La invención permite reducir el tamaño del sensor y medir directamente la fatiga de cizalladura deseada en el raíl sin requerir un procesamiento posterior complejo.

10 **Lista de referencias citadas**

- [01] EP 3 069 952 B1
- [02] DE 10 2014 100 653 B4
- [03] OMEGA: Positioning strain Gages to monitor bending, axial, shear, and torsional loads
<https://www.omega.com/faq/pressure/pdf/positioning.pdf>
- [04] DE 10 2008 014644 A1
- [05] D2 US 2012/176597 A1
- [06] D3 US 2017/138805 A1
- [07] D4 WO 03/076887 A1
- [08] D5 US 2006/045408 A1
- [09] D6 US 2010/272384 A1

Lista de signos de referencia

- 1a, 1b, 1c unidades sensoras de fibra óptica
- 2, 3 fibras sensoras con una FBG inscrita
- 4, 5 FBG
- 6 placa sensora
- 7, 8 ranuras en la placa sensora a diferentes niveles de altura
- 9 hueco de la placa sensora
- 10 fibra sensora con dos FBG inscritas
- 11 ranura en la placa sensora con nivel de altura variable
- 12, 13 ranuras en la placa sensora al mismo nivel de altura
- 14 alma del raíl del raíl
- 15 raíl
- 16 eje neutro del raíl
- 17 dispositivo contador de ejes
- 18 fuente de luz
- 19 unidad contadora
- 20 unidad de procesamiento de señales
- 21 foto diodo
- 22 rueda
- a-g posiciones de la rueda a lo largo del raíl en relación con la unidad sensora de fibra óptica
- P1 pico de luz de luz reflejada por la primera FBG
- P2 pico de luz de luz reflejada por la segunda FBG

REIVINDICACIONES

1. Unidad sensora de fibra óptica (1a; 1b; 1c) para la detección de una fuerza mecánica que actúa sobre un raíl (15) que comprende:

al menos una primera fibra sensora (2; 3; 10),

5 un primer sensor de fatiga de fibra óptica alargada (4) y un segundo sensor de fatiga de fibra óptica alargada (5), en el que la primera fibra sensora (2; 10) comprende el primer sensor de fatiga (4), en el que los sensores de fatiga de fibra óptica (4, 5) son rejillas de Bragg de fibra, en las que ambas rejillas de Bragg de fibra están inscritas en una fibra sensora (10) o cada una de las rejillas de Bragg de fibra está inscrita en una fibra sensora separada (2, 3),

10 caracterizada por

que la al menos una fibra sensora (2, 3; 10) está unida a una placa sensora (6), y

que el primer sensor de fatiga de fibra (4) y el segundo sensor de fatiga (5) están dispuestos en una geometría tipo x o tipo v, en el que el primer sensor de fatiga (4) y el segundo sensor de fatiga (5) están dispuestos en un ángulo de 60° a 120°, en particular de 90°, entre sí, y

15 que la placa sensora comprende un rebaje (9, 9a, 9b), en el que al menos una fibra se extiende sobre el rebaje (9, 9a, 9b) de manera que los sensores de fatiga se colocan libremente dentro del rebaje (9, 9a, 9b) sin contacto a la placa sensora.

2. Unidad sensora de fibra óptica (1a; 1b) según la reivindicación 1,

20 caracterizada por que el primer sensor de fatiga (4) y el segundo sensor de fatiga (5) están dispuestos en una geometría de tipo x, y en la que los sensores de fatiga (4, 5) están a una distancia entre sí en una dirección perpendicular a las extensiones longitudinales de los sensores de fatiga (4, 5).

3. Unidad sensora de fibra óptica (1a; 1b; 1c) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la placa sensora (6) comprende al menos una ranura (7, 8; 11) en la que se fija al menos una fibra sensora (2, 3; 10).

25 4. Unidad sensora de fibra óptica (1a; 1b; 1c) según la reivindicación 3, caracterizada por que la al menos una ranura (7, 8; 11) está grabada.

5. Unidad sensora de fibra óptica (1a; 1b) según la reivindicación 3 o 4, caracterizada por que la primera ranura (7, 8) y la segunda ranura son parte de la misma placa sensora, en el que las dos ranuras (7, 8) están a diferentes niveles de altura de la placa sensora (6).

30 6. Unidad sensora de fibra óptica (1b, 1c) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizada por que la fibra sensora (10) comprende tanto la primera rejilla de Bragg de fibra (4) como la segunda rejilla de Bragg de fibra (5).

7. Unidad sensora de fibra óptica (1a) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizada por que la unidad sensora de fibra óptica comprende dos fibras sensoras (2, 3), cada una de las cuales es una rejilla de Bragg de fibra (4, 5) que forma parte de una fibra sensora separada (2, 3).

35 8. Unidad sensora de fibra óptica según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la placa sensora (6) está unida a una placa base para montar el sensor de fibra óptica en el raíl, en donde la placa base tiene un plano inferior continuo.

40 9. Unidad sensora de fibra óptica según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la placa sensora (6) incluye un amplificador mecánico, el cual transfiere y multiplica la alternancia de longitud del raíl a la rejilla de Bragg de fibra.

10. Sistema de medición óptica para medir la esfuerzo de cizalladura de un raíl (15), comprendiendo el sistema:

teniendo el raíl (15) una extensión longitudinal y un eje neutro (16), que se extiende a lo largo de la extensión longitudinal,

45 una unidad sensora de fibra óptica (1a; 1b; 1c) según una de las reivindicaciones anteriores para detectar señales ópticas en función de la fatiga de cizalladura que actúa sobre el raíl (15), en donde la unidad sensora de fibra óptica (1a; 1b; 1c) está montada en el raíl (15) de tal manera que las rejillas de Bragg de fibra están orientadas oblicuamente con respecto al eje neutro (16),

una fuente de luz (18) que está adaptada para acoplar luz en las fibras sensoras (2, 3; 10) de la unidad sensora de fibra óptica, y

una unidad de procesamiento de señales (20) para procesar señales detectadas por la unidad sensora de fibra óptica (1a; 1b; 1c).

5 11. Sistema de medición óptica según la reivindicación 10, caracterizado por que la unidad de procesamiento de señal (20) comprende un filtro de borde con un borde descendente y un borde ascendente, y que la primera rejilla de Bragg de fibra (4) tiene una longitud de onda de Bragg en el borde ascendente y la segunda rejilla de Bragg de fibra (5) tiene una longitud de onda de Bragg en el borde descendente del filtro de borde.

12. Sistema de medición óptica según la reivindicación 10 a 11, caracterizado por que los sensores de fatiga (4, 5) están dispuestos simétricamente a un plano que comprende el eje neutro (16) del raíl (15).

10 13. Sistema de medición óptica según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, caracterizado por que los sensores de fatiga (4, 5) están dispuestos simétricamente a un plano perpendicular al eje neutro (16) del raíl.

15 14. Dispositivo contador de ejes que comprende al menos una fuente de luz (18) y al menos una unidad contadora (19), en el que cada unidad contadora (19) comprende al menos una unidad sensora de fibra óptica (1a; 1b; 1c) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, estando adaptada la al menos una unidad sensora de fibra óptica (1a; 1b; 1c) para montarse en un raíl (15), y una unidad de procesamiento de señales (20), en donde la fuente de luz (18) está adaptada para acoplar luz en las fibras sensoras (2, 3; 10) de la unidad sensora de fibra óptica (1a; 1b; 1c).

15. Método de recuento de ejes para vehículos sobre raíles, que comprende las siguientes etapas del método:

20 a) acoplar, a través de al menos una fibra sensora (2, 3; 10), luz en un primer y segundo sensor de fatiga de fibra óptica (4, 5) que son rejillas de Bragg de fibra de una unidad sensora de fibra óptica (1a; 1b; 1c) que está unida a un raíl (15),

b) detectar la luz reflejada por el primer y el segundo sensor de fatiga de fibra óptica (4, 5), como resultado de lo cual se recibe una señal de esfuerzo de cizalladura del raíl (15) en cada caso, en el que cada sensor de fatiga de fibra óptica (4, 5) tiene un espectro de reflexión que tiene un pico de reflexión (P1, P2) que está en una longitud de onda de Bragg λ_1 , λ_2 y tiene un ancho total a la mitad del máximo (FWHM),

25 c) generar una señal de diferencia de esfuerzo de cizalladura a partir de las dos señales de esfuerzo de cizalladura recibidas;

d) generar una señal de rueda dentro de una unidad de procesamiento de señales si la señal de diferencia de esfuerzo de cizalladura excede un valor límite superior predeterminado o cae por debajo de un valor límite inferior predeterminado,

30 caracterizado por que

los sensores de fatiga de fibra óptica (4, 5) que se utilizan están dispuestos en una geometría de tipo x o tipo v, en el que el primer sensor de fatiga (4) y el segundo sensor de fatiga (5) están dispuestos en un ángulo de 60° a 120°, en particular de 90°, entre sí, en el que ambas rejillas de Bragg de fibra están inscritas en una fibra sensora (10) o cada una de las rejillas de Bragg de fibra está inscrita en una fibra sensora separada (2, 3), en el que la placa sensora comprende un rebaje (9, 9a, 9b), en el que al menos una fibra se extiende sobre el rebaje (9, 9a, 9b) de manera que los sensores de fatiga se colocan libremente dentro del rebaje (9, 9a, 9b) sin contacto a la placa sensora, y

en donde el ancho completo a la mitad del máximo (FWHM) del pico de reflexión (P1, P2) del primer sensor de fatiga de fibra óptica (4) y el segundo sensor de fatiga de fibra óptica (5) se desvían entre sí en un máximo de 200 %.

16. Método de recuento de ejes según la reivindicación 15, caracterizado por

40 que la fibra sensora (10) que se utiliza comprende tanto el primer como el segundo sensores de fatiga de fibra óptica (4, 5), estando dispuestos el primero y el segundo sensores de fatiga de fibra óptica (4, 5) en una fila y teniendo diferentes longitudes de onda Bragg (λ_1 , λ_2), y

45 que la señal de diferencia de esfuerzo de cizalladura se genera ópticamente mediante una superposición espectral de los picos de reflexión (P1, P2) de los dos sensores de fatiga de fibra óptica (4, 5) durante la transición de un estado descargado a un estado cargado.

17. Método de recuento de ejes según la reivindicación 15 o 16, caracterizado por que las etapas a) a d) del método se llevan a cabo con una unidad sensora de fibra óptica adicional (1a; 1b; 1c) que está unida a otro raíl de la vía en el que las dos unidades sensoras de fibra óptica están separadas entre sí en la dirección del raíl.

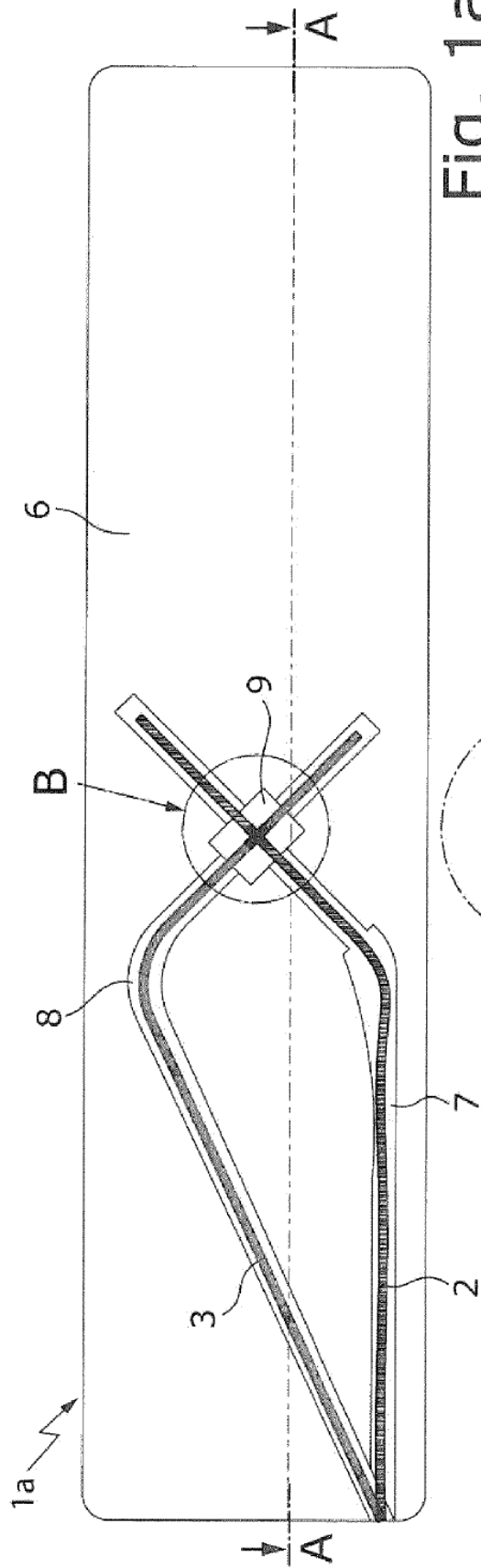


Fig. 1a

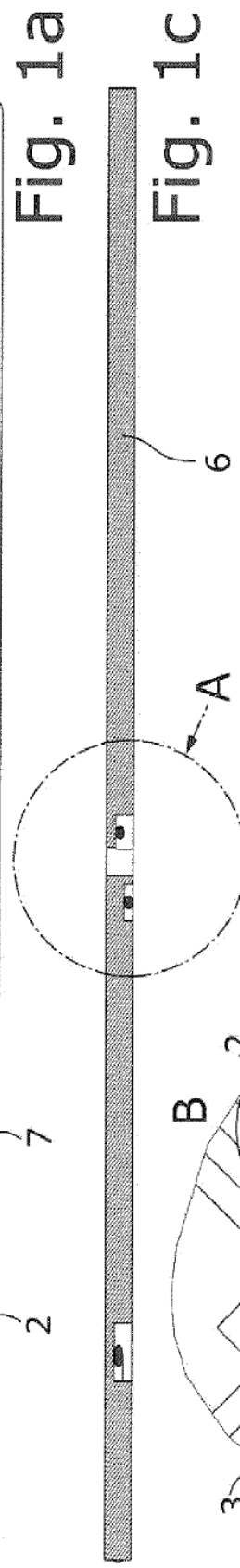


Fig. 1b

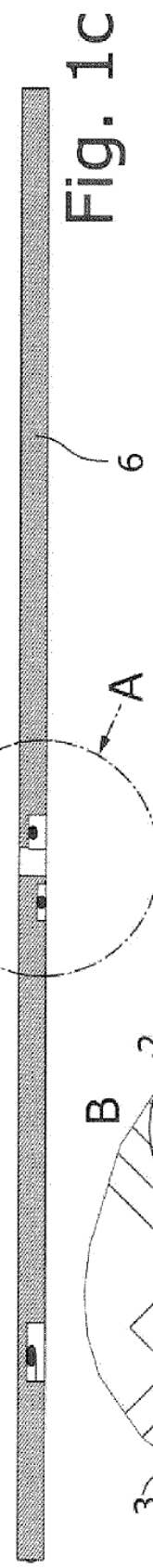


Fig. 1c

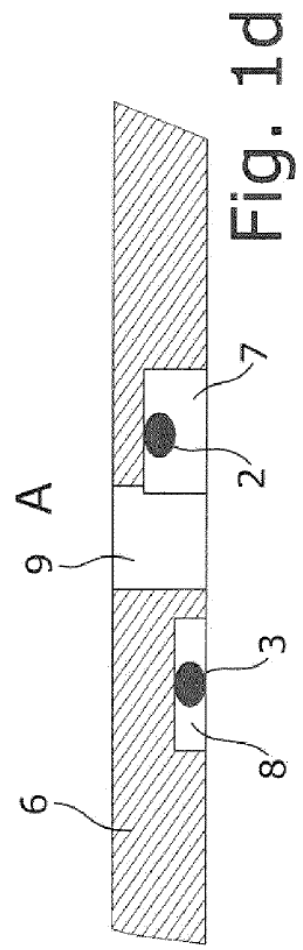


Fig. 1d

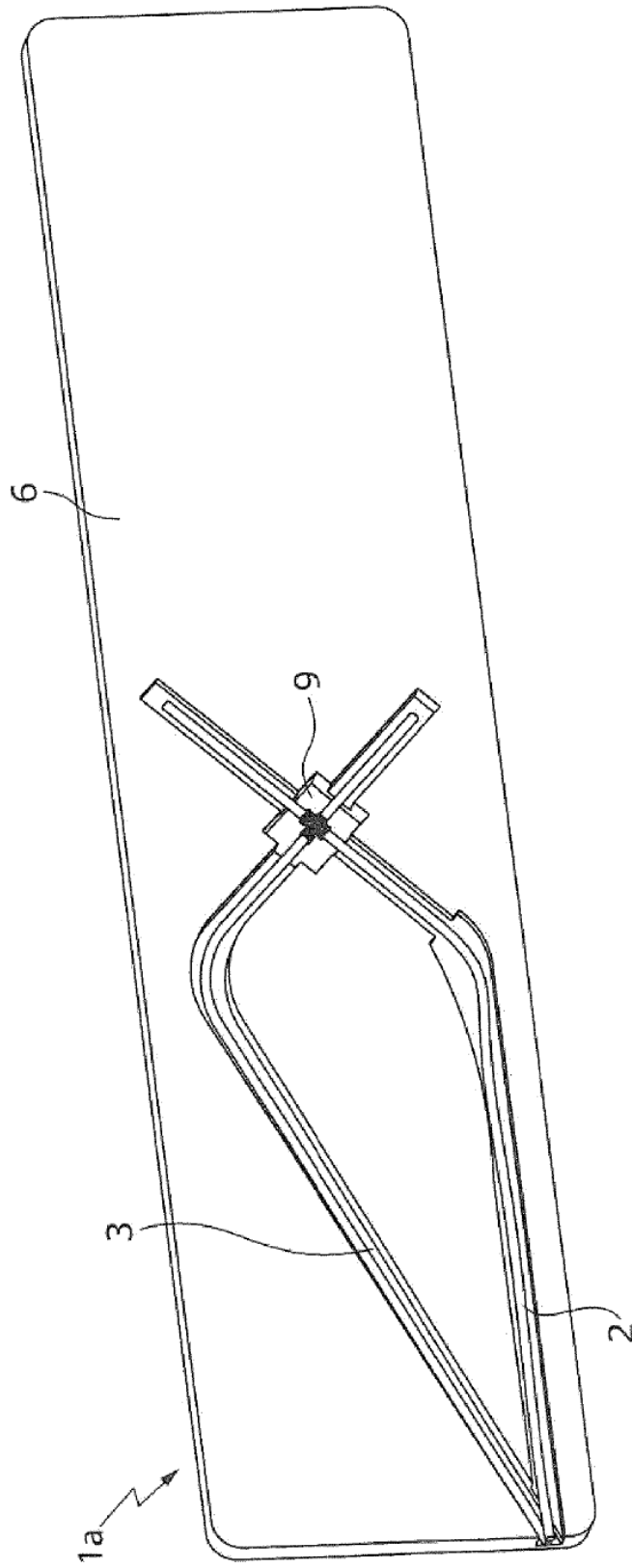
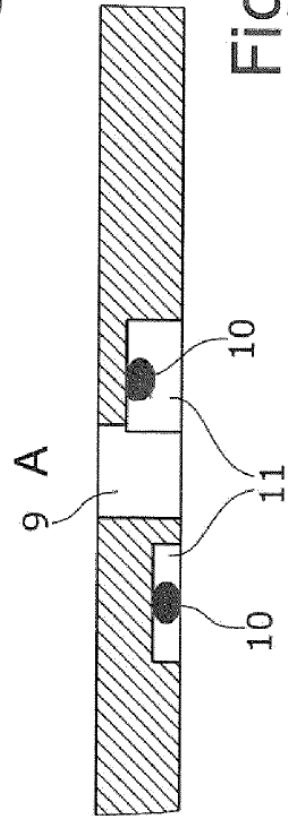
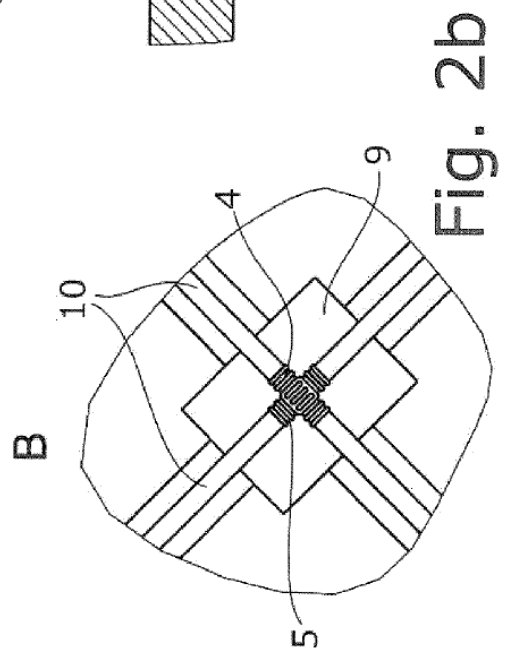
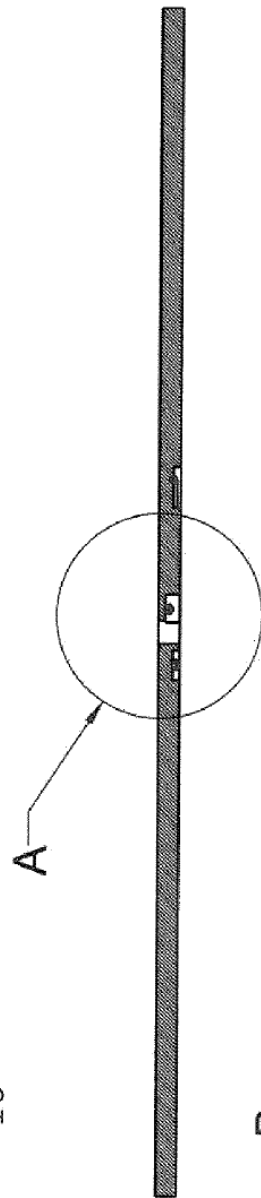
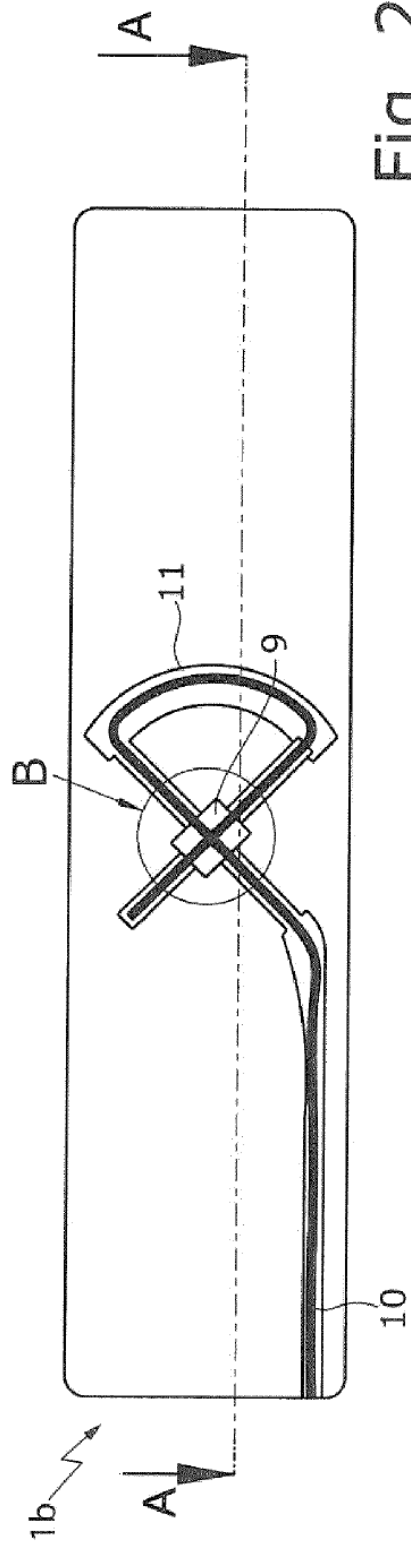


Fig. 1e



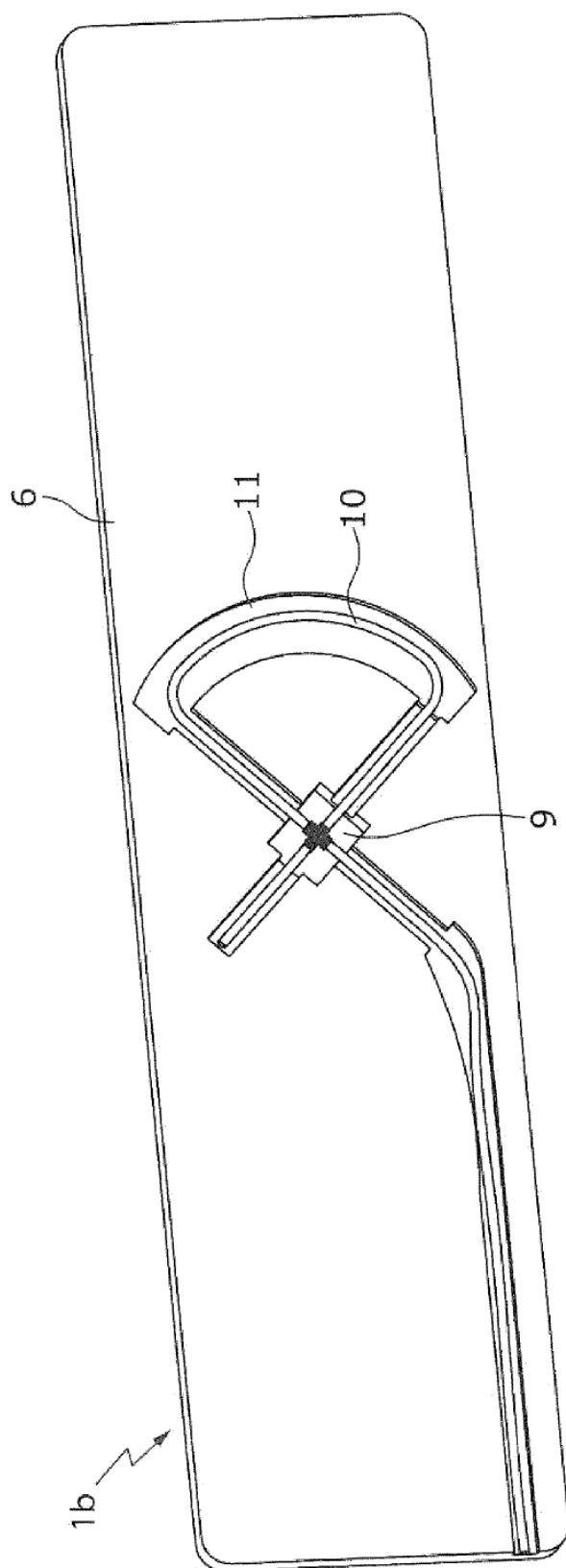


Fig. 2e

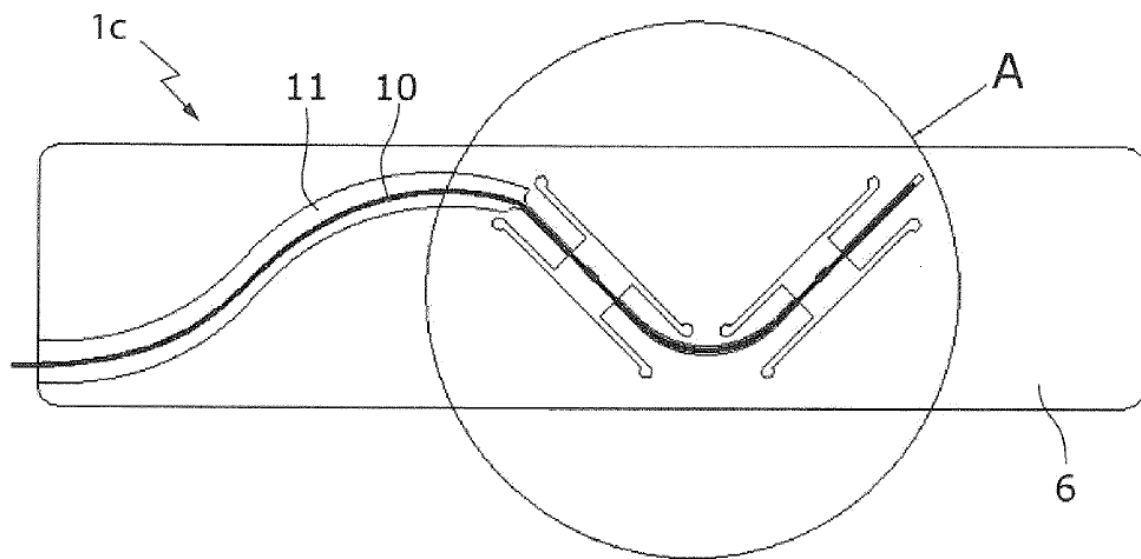


Fig. 3a

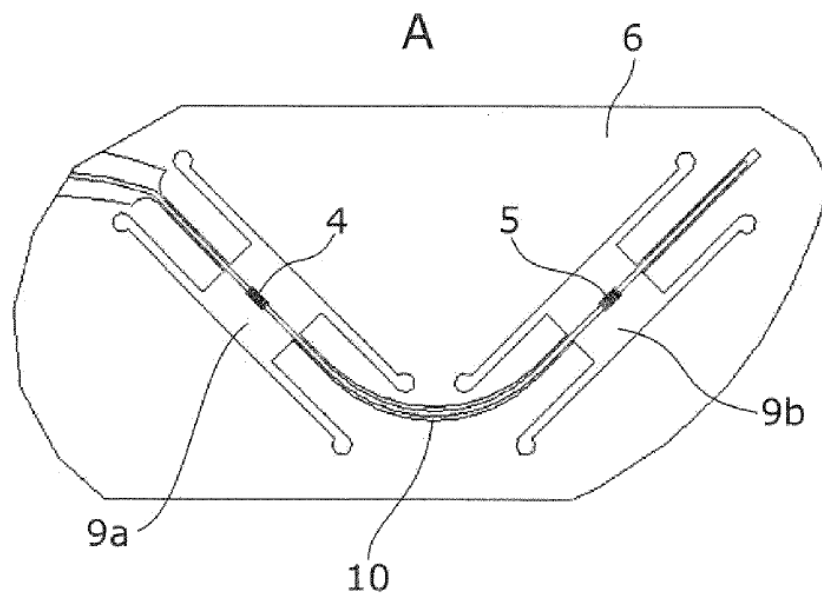


Fig. 3b

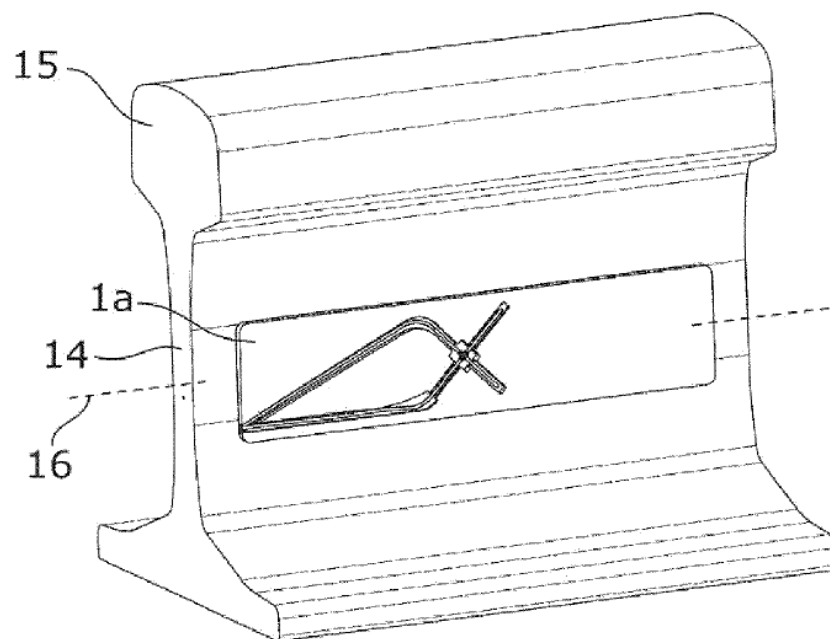


Fig. 4

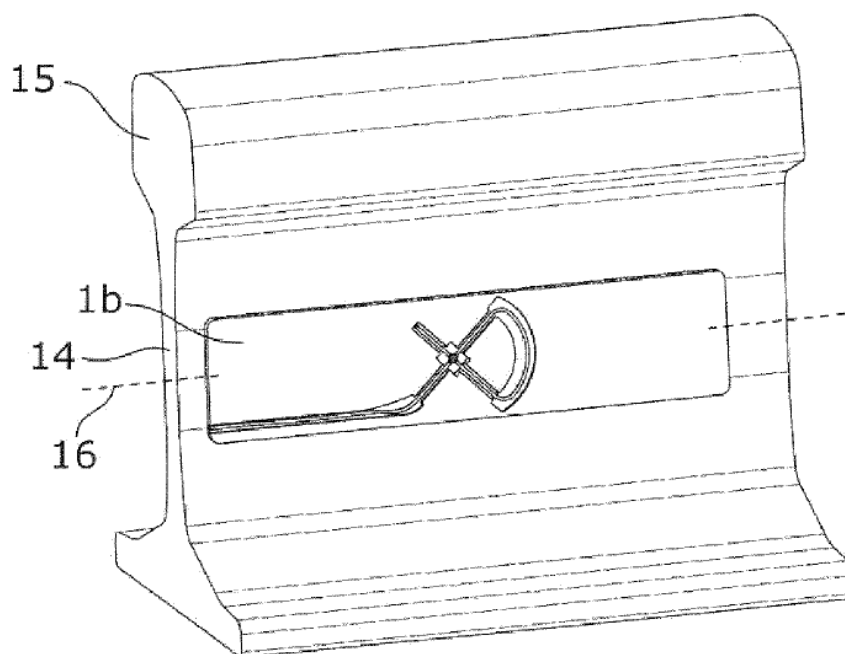


Fig. 5

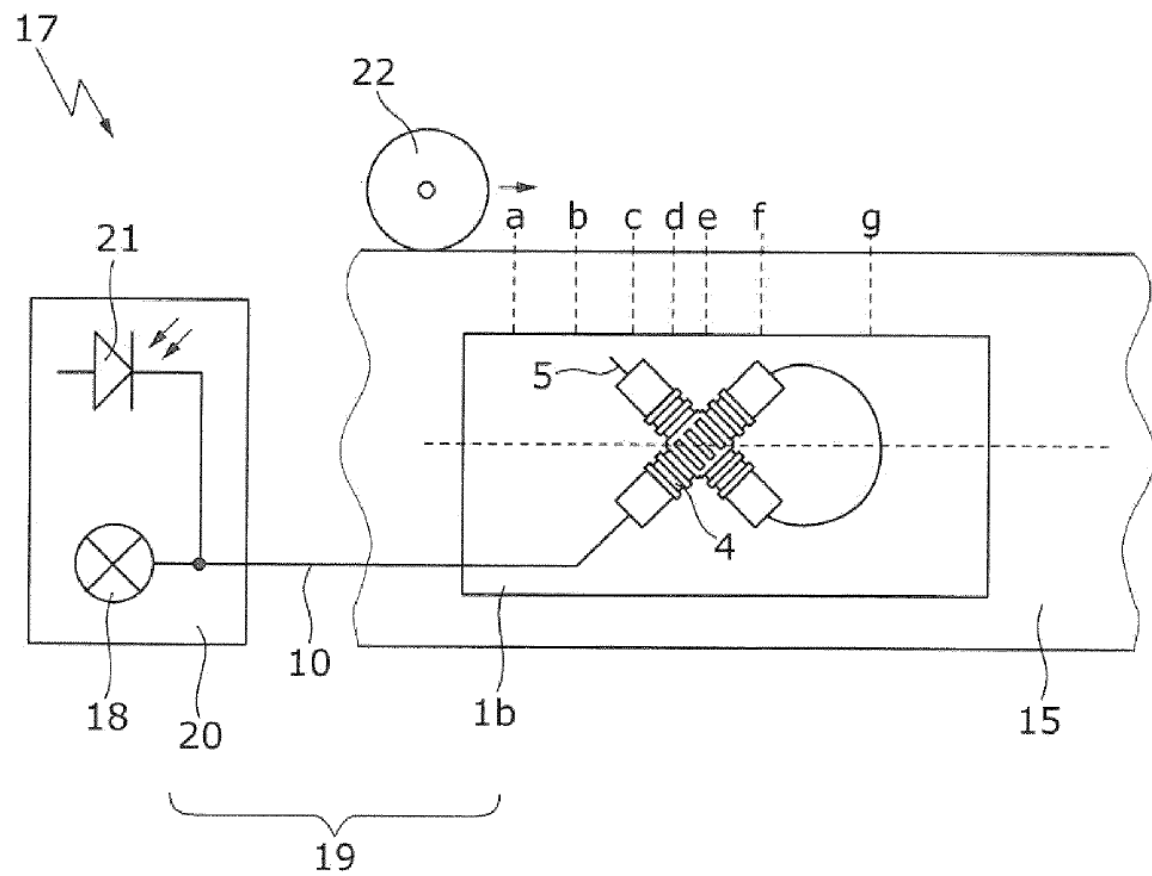


Fig. 6

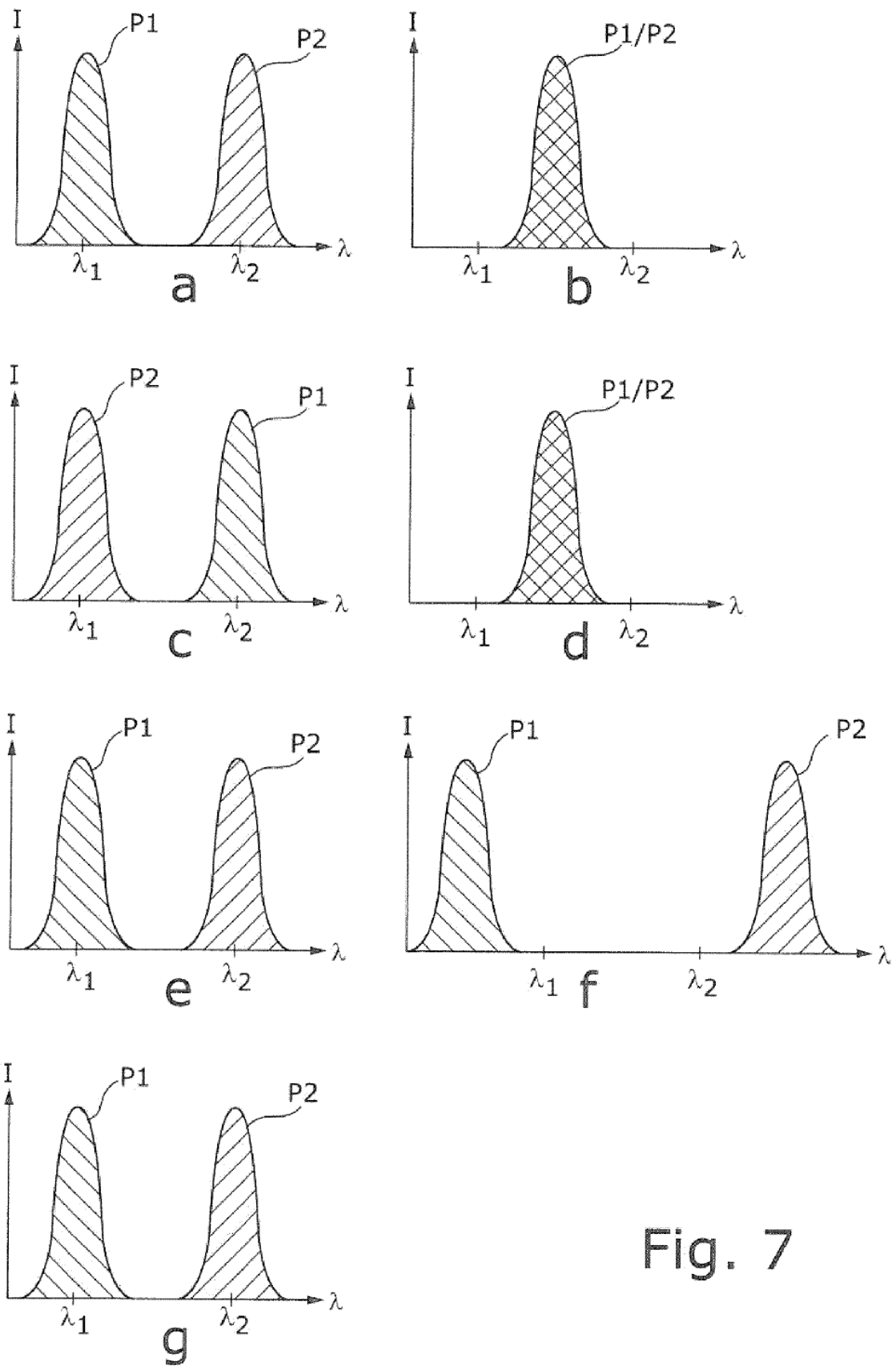


Fig. 7

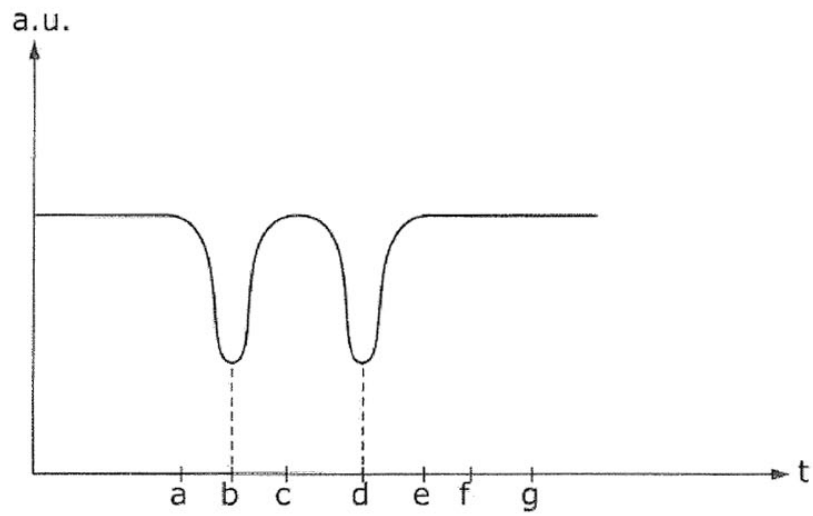


Fig. 8

Desplazamiento de longitud de onda de FiCoS con
posición del eje: Geometría cruzada

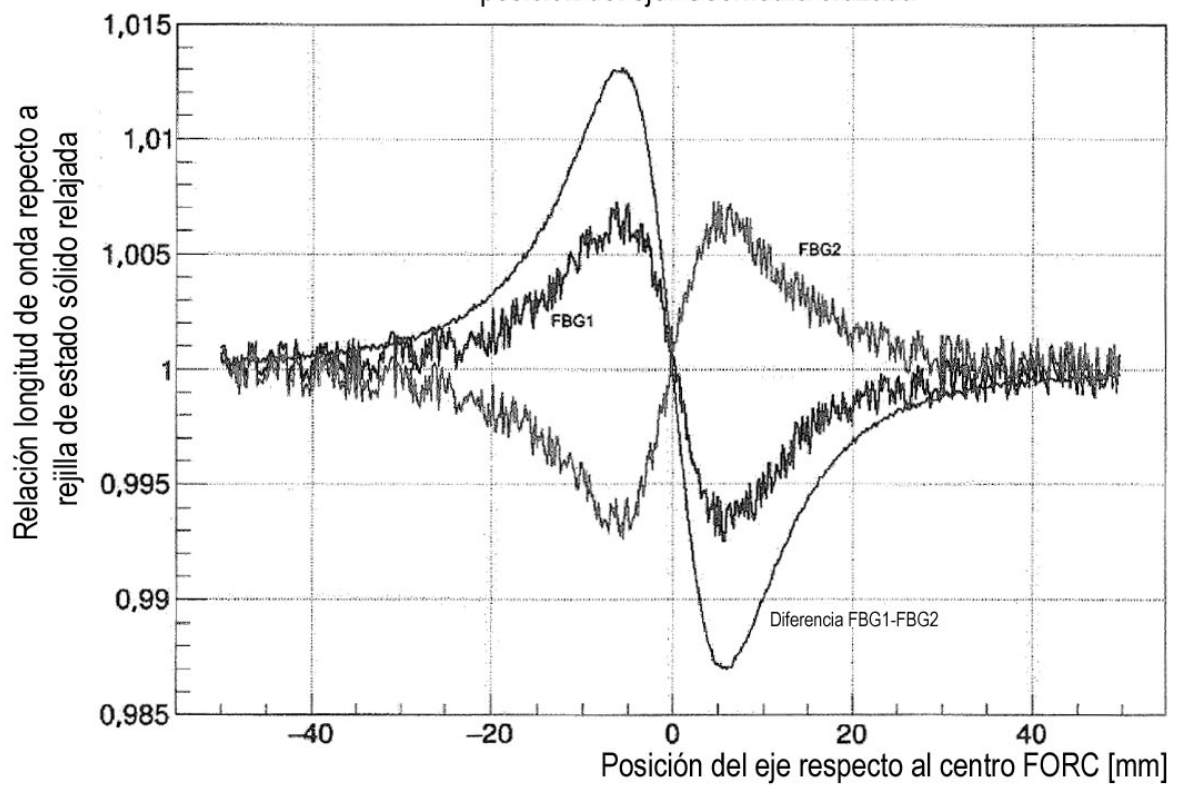


Fig. 9