



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 295 746**

(51) Int. Cl.:
G01D 5/26 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **04020021 .4**

(86) Fecha de presentación : **24.08.2004**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1630527**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **01.03.2006**

(54) Título: **Transductor óptico de desplazamiento sistema y procedimiento de medida del desplazamiento.**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.04.2008

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.04.2008

(73) Titular/es: **Istituto Superiore Mario Boella sulle
Tecnologie dell'Informazione e delle
Telecomunicazioni
Via Pier Carlo Boggio 61
10138 Torino, IT
Fondazione Torino Wireless Finanziaria Regionale
Piemonte Finpiemonte S.p.A.**

(72) Inventor/es: **Abrate, Silvio;
Perrone, Guido;
Gaudino, Roberto y
Perla, Davide**

(74) Agente: **Carpintero López, Francisco**

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

Transductor óptico de desplazamiento sistema y procedimiento de medida del desplazamiento.

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a transductores de desplazamiento ópticos y se desarrolló prestando una atención específica a la posible implementación mediante Fibra Óptica Polimérica (POF), cuyo objetivo principal son aplicaciones tales como controlar la aparición y evolución de grietas y medidas de desplazamientos en entornos electromagnéticamente ruidosos o altamente inflamables.

Descripción de la técnica relacionada

Los transductores de desplazamiento ópticos, que utilizan fibras ópticas, se conocen de la técnica anterior.

Los transductores de desplazamiento ópticos basados en fibras ópticas presentan diversas ventajas, tales como peso ligero, invasividad mínima e inmunidad a interferencias electromagnéticas. La última propiedad es particularmente interesante porque permite la aplicación a entornos críticos tales como locales industriales electromagnéticamente ruidosos, áreas de almacenamiento de materiales altamente inflamables y estructuras expuestas a descargas electrostáticas durante tormentas. También es de gran importancia la invasividad mínima, especialmente en el caso de controlar edificios monumentales donde todo el equipo de medida debe estar tan oculto como sea posible. Esto puede conseguirse gracias al tamaño reducido de la fibra y al uso de la misma fibra para detección y para transmisión de datos permitiendo de esta manera la colocación de los equipos electrónicos de control en una localización remota.

Dichos transductores están basados en general en el principio del denominado transductor Gravel, que incluye dos fibras ópticas, cortadas cada una de ellas para tener caras finales sustancialmente perpendiculares a un eje y colocadas con un pequeño hueco entre las caras finales de las fibras. Una fibra está montada para mantener su cara final estacionaria, por ejemplo, mientras la otra está en voladizo para permitir el desplazamiento de su cara final. Cuando los ejes de la fibra se sitúan en una línea recta común, la propagación de la luz en una fibra se acoplará con la intensidad máxima en la otra fibra.

Un ejemplo de aplicación de dicha disposición para medir desplazamientos se describe en la Patente de Estados Unidos Nº 4.293.188, donde se proporciona un transductor optoelectrónico adecuado para convertir pequeños desplazamientos en variaciones de intensidad óptica o de fase, que pueden convertirse después en corrientes eléctricas variables. Una primera guía de fibra óptica se dispone con su cara final estacionaria, por ejemplo, mientras una segunda guía de fibra óptica se dispone de manera que su extremo libre puede desplazarse lateralmente desde el eje de la primera guía en proporción al parámetro a medir. Se usan fibras de vidrio ópticas multimodo. Las caras opuestas de las fibras cooperantes están equipadas con o se usan para iluminar series regulares de sistemas de enrejado espaciados equitativamente opacos, absorbivos o reflectantes que proporciona intensidad o modulación de fase de la energía de propagación de la luz en proporción a la desviación de la guía de ondas.

Se describe un transductor similar también en la publicación japonesa JP8285709.

Dichos transductores, sin embargo, estando basados en una detección del desplazamiento radial, sólo permiten medir desplazamientos hasta la dimensión del núcleo de la fibra, ya que la potencia recibida se hace cero una vez que las dos fibras ya no están alineadas. Esto significa que incluso usando fibras de vidrio multimodo comerciales que tienen un diámetro de núcleo de aproximadamente 50 micrómetros, dichos transductores sólo permiten medir desplazamientos máximos de aproximadamente 50 micrómetros.

Para superar dicho límite es necesario usar haces de fibras más caros.

El documento DE 42 23 625 A1 describe un sistema de medida que está basado en el principio de cavidad de Fabry Perot, es decir, una medida interferométrica de la distancia.

El documento EP 0 623 803 A describe una disposición para la medida óptica de distancias mediante una disposición de reflexión en entornos donde un medio en una trayectoria óptica del detector de desplazamiento puede experimentar cambios en el índice refractivo y/o en la transmisividad óptica. En dicha disposición, la luz de una primera fibra se recoge mediante una fibra detectora. La intensidad de la luz recibida por la fibra detectora es una función de la separación de las dos fibras. La primera fibra puede configurarse para actuar como la fibra detectora reflejando la luz desde un reflector de manera que la luz vuelve a la fibra.

Sumario de la invención

El objeto de la presente invención es proporcionar una disposición mejorada que permita medir desplazamientos que superan la dimensión del núcleo de la fibra de una manera eficaz respecto a costes.

De acuerdo con la presente invención, este objeto se consigue mediante un transductor que tiene las características indicadas en las siguientes reivindicaciones. La invención se refiere también a un sistema de medida del desplazamiento correspondiente así como a un procedimiento de detección del desplazamiento correspondiente.

5 Resumiendo, la disposición propuesta proporciona un sistema de medida del desplazamiento que se construye alrededor de un transductor de fibra óptica de bajo coste conectado a un circuito electrónico para el acondicionamiento y elaboración de señales. El transductor convierte la medida de un desplazamiento en una medida de una variación de corriente o tensión, utilizando la variación en la foto-corriente detectada en la salida de un sistema de fibra óptica con atenuación de unión. Para controlar la atenuación de unión se orientan dos fibras ópticas de manera que se acoplan a
10 través de un hueco de aire pequeño y puede aumentar su distancia, moviéndose solo a lo largo de sus ejes y manteniendo el acoplamiento óptico. Como alternativa, puede usarse también un montaje de reflexión, donde la segunda fibra se coloca en el mismo lado del hueco, que la primera fibra, y se incluye en un ensamblaje de recepción que comprende una superficie reflectante en el otro lado del hueco y medios directores o medios de desviación para el acoplamiento perfecto con la segunda fibra óptica. En una variante a dicho montaje de reflexión sólo puede usarse una fibra para
15 transmisión y recepción, usando un dispositivo de acoplamiento adecuado.

Esto permite la medida de desplazamientos del orden de veces la dimensión del núcleo de la fibra.

20 En una realización preferida de la invención, se proporciona el uso de Fibras Ópticas Poliméricas (POF) que tienen un mayor diámetro del núcleo y una mayor apertura numérica.

El coste extremadamente bajo de la disposición propuesta permite también transductores multiaxiales o el control simultáneo de diversos desplazamientos, simplemente replicando muchas veces el transductor básico.

25 Las fuentes de luz y detectores para el funcionamiento del transductor son LED fuera de serie y foto-diodos, mientras que la elaboración puede proporcionarse mediante un simple ordenador personal equipado con una tarjeta de digitalización (DAQ) mediante un amplificador de canal múltiple de bajo ruido, de acuerdo con otro aspecto de la invención de la disposición propuesta. El ancho de banda eléctrica de cada canal del amplificador está limitado dependiendo de la aplicación de medida específica para reducir el ruido. De esta manera, todo el montaje puede
30 adaptarse fácilmente también para controlar las vibraciones hasta unos pocos kHz para diferentes aplicaciones, sin degradación significativa de los rendimientos.

Breve descripción de los dibujos anexos

35 La invención se describirá ahora, únicamente a modo de ejemplo, con referencia a las figuras anexas, en las que:

- La Figura 1 muestra un diagrama básico de un transductor de desplazamiento óptico de acuerdo con la invención,

40 - La Figura 2 muestra un detalle del transductor de desplazamiento óptico de la Figura 1,

- La Figura 3 muestra un diagrama esquemático de un sistema de medida que incluye el transductor de desplazamiento óptico de la Figura 1 y

45 - La Figura 4 es un diagrama que representa una variación de una potencia recibida como una función de desplazamiento, en el sistema de medida de la Figura 3;

- La Figura 5 es un diagrama que representa la influencia de la temperatura sobre los rendimientos del sistema de medida de la Figura 3;

50 - La Figura 6 muestra un diagrama esquemático que representa un sistema de medida multidetector basado en el sistema de medida de la Figura 3;

55 - La Figura 7 muestra un diagrama de bloques de una segunda realización del transductor óptico de acuerdo con la invención;

- La Figura 8 es un diagrama representativo de la sensibilidad del transductor de la Figura 7;

60 - La Figura 9 muestra un diagrama de bloques de una tercera realización del transductor óptico de acuerdo con la invención;

- La Figura 10 es un diagrama representativo del comportamiento del transductor óptico de acuerdo con la invención en una configuración de medida de la vibración.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas de la invención

65 La Figura 1 muestra un diagrama básico de un elemento transductor de desplazamiento óptico de acuerdo con la invención.

ES 2 295 746 T3

Dicho elemento transductor de desplazamiento, indicado en su conjunto con el número de referencia 10, incluye una primera fibra óptica 11 y una segunda fibra óptica 12.

La primera fibra óptica 11 se corta para que tenga una primera cara final 13, sustancialmente perpendicular a un eje 15.

La segunda fibra óptica 12 se corta para que tenga una segunda cara final 14, sustancialmente perpendicular a dicho eje 15 y colocada de manera que está encarada hacia dicha primera cara final 13. La primera cara final 13 y la segunda cara final 14 están alineadas por lo tanto a lo largo del eje 15 y están divididas por un hueco de aire 16. Con la referencia d se indica una longitud de desplazamiento entre la primera cara final 13 y la segunda cara final 14 a través del hueco 16.

La primera fibra 11 y la segunda fibra 12 se fijan a dos objetos, o se mueven en general, a dos puntos que pueden desplazarse relativamente uno con respecto al otro, situándose al menos un componente de dicho desplazamiento a lo largo del eje 15 y cuyo desplazamiento relativo tiene que detectarse. Dichos dos objetos o puntos no se muestran en la Figura 1. Por ejemplo, en una aplicación típica de ingeniería civil, las dos caras finales 13 y 14 del elemento transductor 10 pueden fijarse en los dos lados de una grieta en una pared.

En la Figura 2 se muestra un detalle del elemento transductor 10, a partir del cual puede observarse que la primera cara final 13 de la primera fibra óptica 11 y la segunda cara final 14 de la segunda fibra óptica 12 están insertadas en un manguito apropiado 17, que abarca toda la longitud del hueco 16. Dicho manguito 17 proporciona el movimiento de guía a lo largo de la dirección axial y proporciona también una protección contra el polvo y la luz no deseada que procede del entorno circundante.

En la Figura 3 se muestra un transductor de desplazamiento, indicado en su conjunto con la referencia 20, que incluye el elemento transductor 10.

Con la referencia 21, se indica un primer diodo emisor de luz (LED) completado con un generador de potencia correspondiente. Dicho LED 21 está conectado a una fuente de luz por el otro extremo, con respecto a la primera cara final 13, de la primera fibra óptica 11. La luz se transmite a través de dicha primera fibra óptica 11 y el hueco 16, alcanzando la segunda cara final 14 de la segunda fibra óptica 12, situada coaxialmente a lo largo del eje 15. Un foto-detector 22 se sitúa en el otro extremo de la segunda fibra óptica 12, midiendo la intensidad de la luz que se transmite a través de todo el transductor 20.

En una realización preferida, para la primera fibra óptica 11 y la segunda fibra óptica 12, se usan Fibras Ópticas Poliméricas (POF) comerciales catalogadas como PMMA que tienen un diámetro del núcleo de 980 nm. Pueden usarse también otras POF diferentes de PMMA. La elección de la POF constituye otro aspecto de la invención de la disposición propuesta, ya que permite usar en asociación con la primera fibra óptica 11 y la segunda fibra óptica 12 un LED 21 y un fotodiodo 22 de bajo coste con transmisores y receptores de luz, respectivamente. En particular, el LED 21 puede ser un LED fuera de serie emisor rojo o un LED emisor verde o también un LED de un color diferente. La elección del color se determina por la atenuación de las características espectrales de la POF específica considerada.

El LED 21 se suministra usando un generador de corriente construido alrededor de un circuito integrado regulador de tensión comercial. El foto-detector 22 incluye un fotodiodo seguido de un amplificador de ruido bajo.

La salida del foto-detector 22 puede ser una corriente o una tensión, dependiendo del tipo de amplificador.

Las fibras del transductor se alinean automáticamente gracias al manguito de cierre 17, mostrado en la Figura 2, de manera que la luz que viene de la primera fibra óptica 11 se acopla a la fibra óptica 12 a través del pequeño hueco de aire 16. Como el elemento transductor 10 es sensible a los movimientos relativos, puede suponerse aquí por simplicidad que la primera fibra óptica 11 está fija y sólo la segunda fibra óptica 12 se está moviendo.

De esta manera, resumiendo, el transductor de desplazamiento óptico 20 funciona de la siguiente manera.

En el caso de una medida de movimientos que hace que la segunda fibra óptica 12 se aparte, en el comienzo de la sesión de medida las dos caras finales 13 y 14 de la fibra se ponen físicamente en contacto. Esto asegura el acoplamiento máximo de la luz transmitida y, de esta manera, puede leerse un valor máximo de corriente o tensión en el foto-detector 22. El desplazamiento d en la dirección axial de la segunda fibra óptica 12, ensancha el hueco 16 y reduce la luz recogida por dicha segunda fibra óptica 12. De esta manera, la potencia óptica incidente sobre el fotodiodo en el foto-detector 22 se reduce en consecuencia, disminuyendo la corriente o tensión en la salida del amplificador. De este modo un desplazamiento se convierte en una variación de corriente o tensión.

El mismo procedimiento, pero en el orden inverso, puede aplicarse al caso de una medida de un desplazamiento que lleva a la primera fibra óptica 11 más cerca de la segunda fibra óptica 12. En este caso, en el comienzo de la sesión de medida el transductor 20 se ajusta a la lectura máxima para lo que respecta al desplazamiento (es decir, salida mínima de corriente o tensión) y después el estrechamiento del hueco 16 con el desplazamiento d hace que aumente la corriente o tensión de salida.

ES 2 295 746 T3

La ventaja de usar un transductor basado en fibras poliméricas es también que es posible detectar desplazamientos de hasta pocos milímetros gracias a su gran diámetro (de aproximadamente 980 micrómetros) y gran abertura numérica (que varía alrededor de un valor de 0,5). Por ejemplo, el mismo tipo de transductor hecho con fibras de vidrio convencionales, que tiene un diámetro de aproximadamente 9 micrómetros y una abertura numérica de 0,2, tendría un intervalo útil de sólo décimas de micrómetros, aparte de requerir fuentes de láser mucho más caras y alineamientos de los conectores que deben ser muchísimo más precisos mecánicamente. Respecto a esto, debe tenerse en cuenta que las fibras POF son más fáciles de manejar en las operaciones de corte y conexión de fibras. Esto es particularmente pertinente cuando es necesario poner muchos detectores, es decir, se necesitan muchas operaciones de corte, conexión y alineamiento.

La respuesta típica del transductor, que es la variación de una potencia relativa P acoplada en la segunda fibra óptica 12 con el desplazamiento d entre las dos puntas de fibra se muestra en la Figura 4.

En la Figura 6 se muestra un sistema de medida 30, adecuado para controlar grietas, en el que una pluralidad de elementos transductores 10 se colocan de forma correspondiente a las grietas 40 respectivas.

Cada uno de los elementos transductores 10 recibe a través de una primera fibra óptica 11 respectiva la luz de un LED 21 respectivo en un bloque transmisor 34 y transmite la luz a través de una segunda fibra óptica 12 respectiva a un foto-detector 22 respectivo en un receptor 35.

Los LED 21 están conectados en serie en el transmisor 34, para ser accionados por la misma corriente y tienen las mismas fluctuaciones residuales y comportamiento térmico, mientras que el receptor 35 en este caso representa un foto-detector multicanal, que tiene al menos tres canales.

El bloque 31 representa un ordenador personal asociado con un tarjeta de adquisición digital comercial (DAQ) 32. La corriente (o tensión) de salida de los foto-detectores 22 se envía, a través de la DAQ 32 al ordenador personal 31.

Los programas adecuados cargados en el ordenador personal 31 pueden evaluar los resultados de medida, representar las variaciones de las posiciones con el tiempo y emitir un aviso si la lectura aumenta respecto a un umbral predefinido. La DAQ 32 tiene una pluralidad de canales adecuados para obtener las señales desde la pluralidad de elementos transductores 10, para controlar simultáneamente muchos desplazamientos o para obtener un sistema de medida multi-axial.

En dichos canales se considera el ancho de banda eléctrica necesario para el control y el ancho de banda de un amplificador se limita, en consecuencia, para reducir el ruido. De hecho, el control de grieta puede realizarse a frecuencias bajas, de manera que es posible suprimir el ruido de alta frecuencia con una elección apropiada del ancho de banda. Todo el montaje puede adaptarse fácilmente también para controlar vibraciones de hasta unos pocos kHz para diferentes aplicaciones, sin degradación significativa de los rendimientos.

Para aumentar la resolución del sistema de medida es necesario compensar el valor medido para las fluctuaciones de la fuente de luz, es decir, del LED. En la realización propuesta esto se obtiene detectando uno de los canales de la DAQ 32 para medir la salida de otro fotodiodo que está unido directamente a un LED de referencia del mismo tipo que el LED 21 usado para suministrar los elementos transductores 10 y conectado en serie con dicho LED 21 para tener el mismo punto de desvío y experimentar las mismas fluctuaciones residuales de corriente. Mediante esta disposición se evita ventajosamente la necesidad de un acoplador que, aparte de ser muy caro en comparación con el coste global de los detectores, introduce también una alta pérdida de inserción.

Otro canal de la DAQ 32 se dedica a obtener la temperatura ambiente desde un detector de temperatura 33 electrónico integrado comercial de bajo coste, por ejemplo TMP35 de Analog Devices, permitiendo una compensación de los efectos de la temperatura, suponiendo que los diversos elementos transductores 10 están aproximadamente a la misma temperatura.

Pueden obtenerse compensaciones más exactas, incluyendo no sólo los efectos de la temperatura sino también de la humedad, cargas no deseadas, envejecimiento, etc., conectando el LED de referencia a su fotodiodo a través de una fibra de referencia ininterrumpida que corre paralela a la fibra de control, es decir la primera fibra 11 y la segunda fibra 12.

El solicitante ha ensayado el comportamiento del sistema de medida 30 para controlar las grietas en una cámara medioambiental de -20 a $+60^{\circ}\text{C}$ a, con diferentes grados de humedad; la dependencia de la temperatura de la respuesta del elemento transductor 10 con la temperatura se ha memorizado para obtener valores de corrección para las medidas durante el funcionamiento normal. Después de la corrección para temperatura y variaciones de la fuente de LED, hay fluctuaciones residuales en el desplazamiento menores de unos bajos porcentajes. Dicho valor puede considerarse adecuado, teniendo en cuenta el coste muy bajo del equipo. Un ejemplo de los resultados se muestra en el diagrama de la Figura 5 donde se representa la variación del valor medido para el desplazamiento d frente a la temperatura T , desde un estado a temperatura ambiente, antes y después de la compensación de temperatura. En este caso, la primera fibra óptica 11 se ha separado para determinar un hueco de 1 mm con respecto a la segunda fibra óptica 12 y se ha verificado que a temperatura ambiente el detector que lee el desplazamiento d era de 1 mm. Dicho valor se ha tomado como valor cero en el diagrama de la Figura 5, por ejemplo variación cero del desplazamiento. Aumentando la temperatura T hasta

ES 2 295 746 T3

50°C se ha registrado una reducción ficticia progresiva del desplazamiento debido a la variación de la longitud de la fibra con la temperatura (línea continua en la Figura 5). Como puede observarse, tras la aplicación de la compensación de temperatura apropiada las variaciones residuales son menores de $\pm 10 \mu\text{m}$ (línea discontinua en la Figura 5). Debe observarse que este valor corresponde a la resolución del transductor durante el uso y esto explica también el aspecto de escalera de las curvas en la Figura 5.

En la Figura 7 se muestra otra realización del transductor de desplazamiento óptico de acuerdo con la invención, indicado en su conjunto por la referencia 50.

El transductor de desplazamiento descrito con referencia a las Figuras 1 y 2 se basa en la medida de la potencia transmitida a través de un hueco de aire, aunque puede implementarse el mismo transductor usando un montaje basado en reflexión. Este procedimiento puede facilitar colocar el detector en algunas aplicaciones ya que todas las fibras permanecerán en el mismo lado de las piezas móviles. Con respecto al montaje descrito anteriormente con referencia a las Figuras 1 y 2, la realización de la Figura 7 tiene un intervalo reducido de desplazamiento detectable, aunque una mejor resolución, debido a una mayor atenuación por unidad de longitud ya que la luz se propaga dos veces en el hueco de aire, aunque la dinámica está limitada por las reflexiones de Fresnel en la cara final de la fibra.

De esta manera, con referencia a la Figura 7, en el transductor 50 el LED 21 se acopla a una primera fibra óptica 51, que está fija en uno de los dos puntos o partes cuyo desplazamiento relativo d a través de un hueco 56 tiene que medirse y a lo largo de un eje 55 está orientado hacia una superficie reflectante 61, es decir, un espejo, que está unido a la otra parte o punto móvil en el otro lado del hueco 56.

La luz reflejada de la superficie reflectante 61 pasa así de nuevo a través del hueco 56 a lo largo del eje 55 y es recogida de nuevo por la misma fibra óptica 51. Después la luz reflejada se separa de la luz incidente en la fibra 51 usando un acoplador direccional 62 y encaminado al foto-detector 22 a través de una segunda fibra 52 adecuada.

Esta implementación es mecánicamente sencilla y estable gracias al uso de un acoplador direccional aunque introduce una pérdida de inserción que no es insignificante.

El montaje basado en reflexión como se describe con referencia a la Figura 7, puede tener otra realización para el lado receptor, como se muestra en la Figura 9, donde se usa otra fibra para recoger la luz reflejada.

En este caso se muestra un transductor 70 donde la luz que viene del LED 21 a través de la fibra de suministro 71, a lo largo de un eje 75 y a través de un hueco 76, se refleja desde el espejo 61, se vuelve a recoger mediante la segunda fibra 72 y se encamina al foto-detector 22.

Se señala que, aunque hablando estrictamente la segunda fibra óptica 72 en este caso no cae exactamente en el mismo eje 75 en el que se alinea la primera fibra óptica 71, la diferencia en lo que respecta a la trayectoria óptica y la anchura del hueco 56 es insignificante. Además, en este caso, para maximizar la potencia recogida por la segunda fibra 72 se proporciona una lente diseñada apropiadamente 63. Es posible usar también un espejo curvado como superficie reflectante 61. El elemento transductor 70 evita el exceso de pérdida de inserción asociada con el acoplador direccional 62.

El montaje de reflexión descrito con referencia a las Figuras 7 y 9 es adecuado también para medir vibraciones y obtener un acelerómetro si el espejo 61 se monta en un medio oscilante, tal como una viga en voladizo, unido a la superficie vibratoria. En este caso la rigidez de la viga en voladizo y la masa del espejo tienen que diseñarse apropiadamente para obtener la amortiguación y la frecuencia resonante deseadas. Este tipo de transductor es particularmente interesante para aplicaciones de control estructural monumental porque permite la detección de vibraciones sin requerir el proporcionar *in situ* energía eléctrica, como se necesita en los acelerómetros capacitivos. Esto hace imposible el arranque. Otra aplicación puede ser en el campo de detección de intrusión.

El transductor puede miniaturizarse usando tecnología MEMS: en este caso la viga en voladizo y el espejo se fabrican de silicio y la fibra se alinea automáticamente atacando un surco en V en el sustrato.

Un ejemplo de la respuesta típica del transductor 50 se presenta en la Figura 8 donde se representa la potencia recibida P frente al desplazamiento d entre la fibra de suministro 51 y la superficie reflectante 61.

La dinámica está limitada por las reflexiones de Fresnel en la cara final de la fibra.

Como ya se ha mencionado, el montaje puede usarse para detectar vibraciones. Un ejemplo de la lectura del transductor cuando se expone a vibraciones se muestra en la Figura 10, donde dicha lectura se representa en unidades arbitrarias como una función del tiempo t .

El transductor propuesto, en sus diversas realizaciones mostradas anteriormente, es intrínsecamente uni-axial, aunque un detector multi-eje puede obtenerse fácilmente agrupando juntos dos o tres transductores uni-axiales, gracias a su bajo coste. Por supuesto, en este caso también se han replicado apropiadamente los circuitos electrónicos, de una manera similar a la mostrada para el sistema mostrado esquemáticamente en la Figura 5, con la condición de que los elementos transductores 10 están orientados a lo largo de los ejes deseados. A modo de ejemplo, en el caso de un

ES 2 295 746 T3

sistema de medida que funciona en tres ejes más el de referencia, son necesarios cuatro LED conectados en serie para el transmisor. Análogamente, en el lado del receptor tiene que usarse un sistema foto-detector de cuatro canales.

Como se ha mencionado, la sensibilidad del sistema de medida es actualmente de aproximadamente $10\ \mu\text{m}$ en un intervalo útil que llega hasta aproximadamente 6 mm. Este intervalo de funcionamiento es comparable con otros tipos de detectores comerciales tales como los basados en rejillas Bragg y ya es funcional para controlar grietas en paredes. Sin embargo, si la aplicación requiere un intervalo ampliado, este puede conseguirse usando componentes optoelectrónicos de mayor calidad y/o procedimientos de reducción del ruido tales como técnicas de cierre con amplificador modulando apropiadamente el LED de entrada 21. Es importante observar que el sistema de medida propuesto tiene una exactitud que sólo es ligeramente menor que algunos que son comerciales, aunque requiere una unidad interrogadora mucho más sencilla y tiene un coste global muy bajo.

Resulta evidente que, aunque el transductor propuesto se ha desarrollado junto con la aplicación en el control de grietas en edificios, de forma temporal o permanente, y, en particular, los rendimientos en lo que respecta a la extensión y resolución máxima se han definido con referencia a dicha actividad de control de grietas, los bajos costes del equipo sugieren aplicaciones para un control generalizado de edificios, en un enfoque de análisis estructural. El alcance del transductor de acuerdo con la invención se extiende también a la medida del peso, presión, atracción, y de forma más general, las fuerzas, así como oscilaciones de baja frecuencia, con la condición de que un mecanismo adecuado para convertir dichas cantidades en un desplazamiento de las fibras ópticas esté asociado a un transductor de desplazamiento óptico que incluye al menos una primera fibra óptica, que tiene una primera cara final sustancialmente alineada a lo largo de un eje y situada con un pequeño hueco entre dicha primera cara final y una segunda cara final de un ensamblaje de recepción, al menos una fuente de luz acoplada para transmisión a dicha primera fibra óptica y al menos un foto-detector acoplado para recepción a dicha segunda fibra óptica, en el que dichas caras finales pueden desplazarse a lo largo de dicho eje y relativamente unas con respecto a otras.

Por consiguiente, sin perjuicio del principio subyacente de la invención, los detalles y realizaciones pueden variar, también significativamente, con respecto a lo que se ha descrito en lo anterior, a modo únicamente de ejemplo, sin alejarse del alcance de la invención como se define mediante las siguientes reivindicaciones.

A modo de ejemplo, el medio de procesado que funciona con la señal proporcionada por el transductor puede ser un ordenador personal, aunque también cualquier otro tipo de microcontrolador adecuado para procesar dicha información. En este aspecto, puede elegirse un microcontrolador con tarjeta de adquisición digital integrada.

REIVINDICACIONES

1. Un transductor de desplazamiento óptico, que incluye un elemento transductor (10; 50, 70) que comprende al menos una primera (11; 51; 71) fibra óptica, que tiene una primera cara final (13) sustancialmente perpendicular a un eje (15; 55; 75) y situada con un pequeño hueco (16; 56; 76) entre dicha primera cara final (13) y una segunda cara final (14; 61) de un ensamblaje de recepción (12, 14; 61, 62, 52; 61, 63, 72), comprendiendo adicionalmente dicho transductor (20) al menos una fuente de luz (21) acoplada para transmisión a dicha primera fibra óptica (11) y al menos un foto-detector (22) acoplado para recepción a dicho ensamblaje de recepción (12, 14; 61, 62, 52; 61, 63, 72), estando acoplados dicha al menos primera fibra óptica (11; 51; 71) y dicho ensamblaje de recepción (12, 14; 61, 62, 52; 61, 63, 72) a través de dicho pequeño hueco (16; 56; 76) para controlar una atenuación de unión correspondiente, pudiendo desplazarse dicha primera cara final (13) y segunda cara final (14; 61) a lo largo de dicho eje (15; 55; 75) y relativamente una con respecto a otra, para seguir el desplazamiento relativo (d) de los puntos asociados con dicha primera cara final (13) y segunda cara final (14; 61) **caracterizado** porque dicha al menos una primera fibra óptica (11) es una Fibra Óptica Polimérica (POF) que tiene alta abertura numérica en un intervalo alrededor del valor 0,5.
2. El transductor de la reivindicación 1, **caracterizado** porque dicho ensamblaje de recepción (12, 14; 61, 62, 52; 61, 63, 72) incluye una segunda (12) fibra óptica que tiene una segunda cara final (14) sustancialmente alineada con dicha primera fibra óptica (11) a lo largo de un eje (15) y situada con un pequeño hueco (16) entre dicha primera cara final (13) y segunda cara final (14), estando acoplado dicho al menos un foto-detector (22) para recepción a dicha segunda fibra óptica (12) y porque dicha segunda (12) fibra óptica es también una Fibra Óptica Polimérica (POF) tal como Fibras Ópticas Poliméricas (POF) que tienen alta abertura numérica en un intervalo alrededor del valor 0,5.
3. El transductor de cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado** porque dicha primera cara final (13) y segunda cara final (14) se insertan en un manguito de alineamiento (17) que incluye toda la longitud de dicho pequeño hueco.
4. El transductor de la reivindicación 1, **caracterizado** porque dicho ensamblaje de recepción (61, 62, 52; 61, 63, 72) incluye una superficie reflectante (61) y una segunda fibra óptica (52; 72) fijada al mismo punto o parte a la que se fija dicha primera fibra (51; 71).
5. El transductor de la reivindicación 4, **caracterizado** porque dicho ensamblaje de recepción (12, 14; 61, 62, 52; 61, 63, 72) incluye un acoplador direccional (62) asociado con dicha primera fibra óptica (51) y a una segunda fibra óptica (52), adecuado para dirigir la luz reflejada por dicha superficie reflectante (61) a dicha segunda fibra óptica (52).
6. El transductor de la reivindicación 4, **caracterizado** porque incluye un medio óptico (63) para desviar la luz reflejada por dicha superficie reflectante (61) en dicha segunda fibra óptica (52).
7. El transductor de la reivindicación 6, **caracterizado** porque dicho medio óptico (63) incluyen una lente.
8. El transductor de cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, **caracterizado** porque dicha superficie reflectante (61) se monta sobre un medio oscilante.
9. El transductor de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque dicha fuente de luz (21) incluye al menos un diodo emisor de luz y dicho foto-detector (22) incluye al menos un fotodiodo.
10. Un sistema de medida del desplazamiento que comprende al menos un transductor (20) asociado con los medios de procesado (31, 32), **caracterizado** porque dicho transductor es un transductor de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 9 y dichos medios de procesado (31, 32) están configurados para analizar una señal de corriente o tensión generada por dicho foto-detector (22).
11. El sistema de la reivindicación 10, **caracterizado** porque dichos medios de procesado incluyen una tarjeta de adquisición digital (32).
12. El sistema de la reivindicación 11, **caracterizado** porque dicha tarjeta de adquisición digital (32) incluye una pluralidad de canales de adquisición.
13. El sistema de la reivindicación 12, **caracterizado** porque incluye una pluralidad de transductores (20) asociados con dicha pluralidad de canales de la tarjeta de adquisición digital (32).
14. El sistema de la reivindicación 13, **caracterizado** porque los elementos transductores (10; 50; 70) de dichos transductores (20) están orientados a lo largo de diferentes ejes.
15. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, **caracterizado** porque incluye un detector de temperatura (33) para compensar los efectos de la temperatura.

ES 2 295 746 T3

16. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 15, **caracterizado** porque incluye otro fotodiodo unido directamente a un diodo de referencia emisor de luz del mismo tipo y conectado en serie con el diodo emisor de luz (21) acoplado a dicho transductor (10) para compensar las fluctuaciones de la fuente de luz.

5 17. El sistema de la reivindicación 16, **caracterizado** porque dicho LED de referencia está conectado a dicho fotodiodo adicional mediante una fibra de referencia ininterrumpida que corre paralela a la primera fibra óptica (11; 51; 71) y a la segunda fibra óptica (12; 52; 72).

10 18. Un procedimiento para detección del desplazamiento, que incluye la operación de medir el desplazamiento de al menos dos puntos que pueden desplazarse relativamente uno con respecto al otro, **caracterizado** porque incluye la operación de acoplar a dichos al menos dos puntos un transductor de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 9.

19. El procedimiento de la reivindicación 18, **caracterizado** porque incluye las operaciones de:

15 asociar dicha primera cara final (13) y dicha segunda cara final (14) a dichos dos puntos que pueden desplazarse relativamente uno con respecto al otro;

20 medir la variación de dicha señal de corriente o tensión generada por el foto detector mediante un sistema de medida de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 17.

20 20. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 18 o 19, **caracterizado** porque incluye las operaciones de:

25 incluir en dichos medios de procesamiento una tarjeta de adquisición digital (32), y

compensar la medida del foto-detector para las fluctuaciones de temperatura obteniendo la medida del detector de temperatura (33) a través de un canal de dicha tarjeta de adquisición digital (32).

30 21. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 18 a 20, **caracterizado** porque incluye la operación de compensar las fluctuaciones de la fuente de luz obteniendo la medida de dicho fotodiodo adicional unido a un diodo emisor de luz de referencia.

35

40

45

50

55

60

65

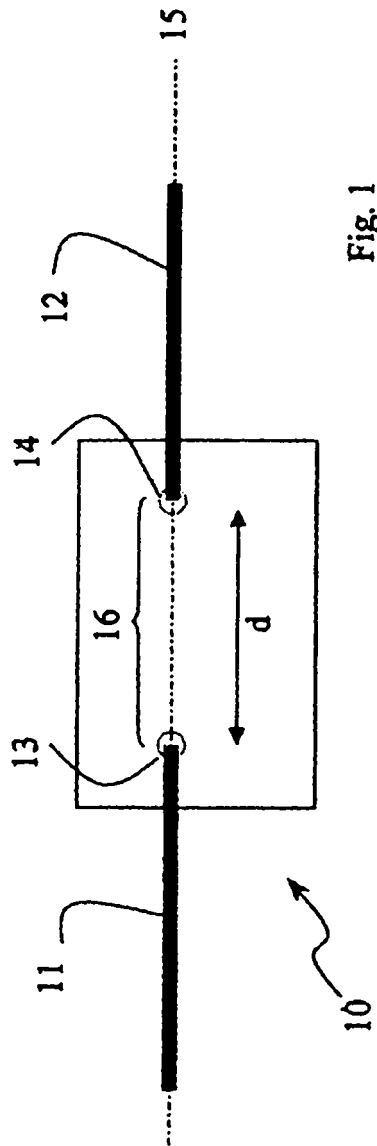


Fig. 1

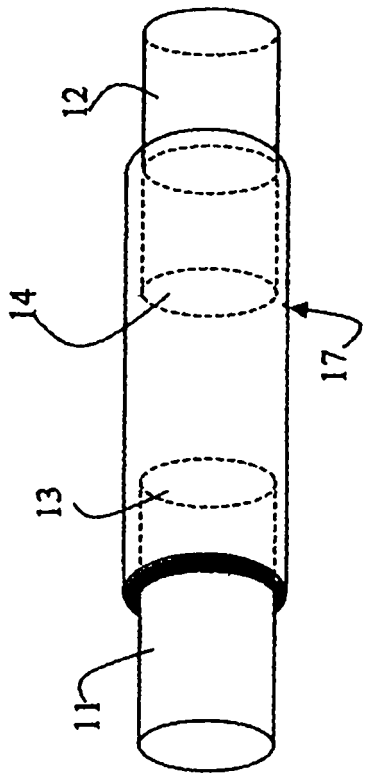
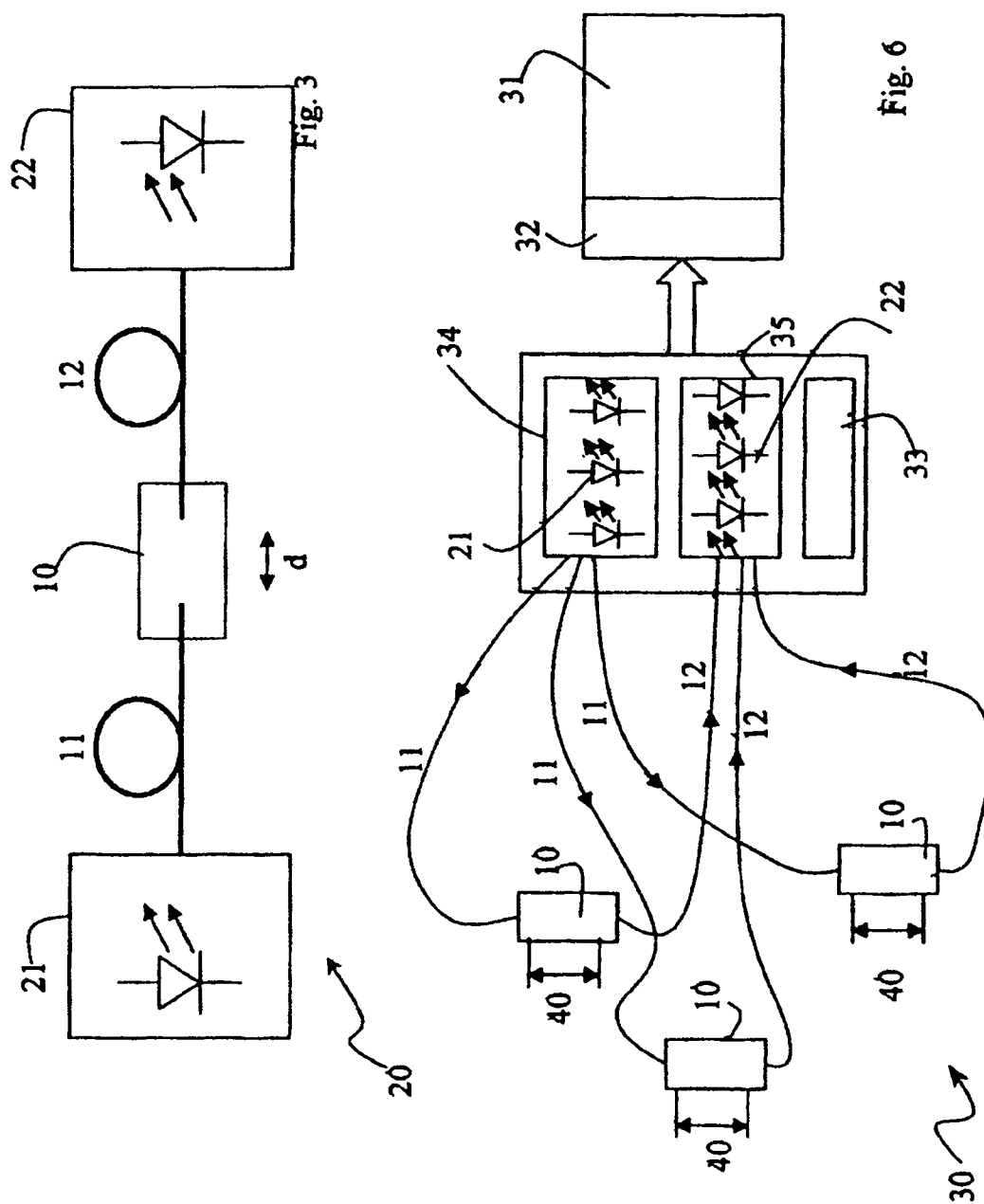


Fig. 2



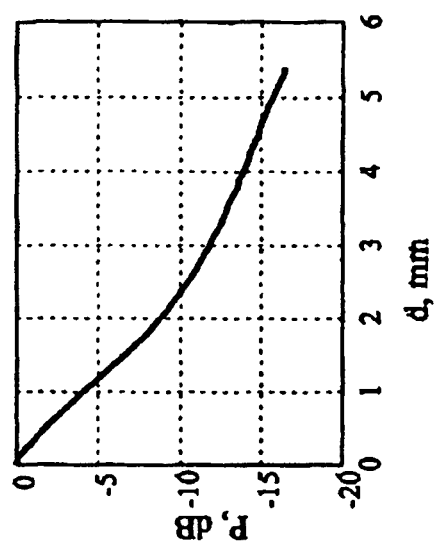


Fig. 4

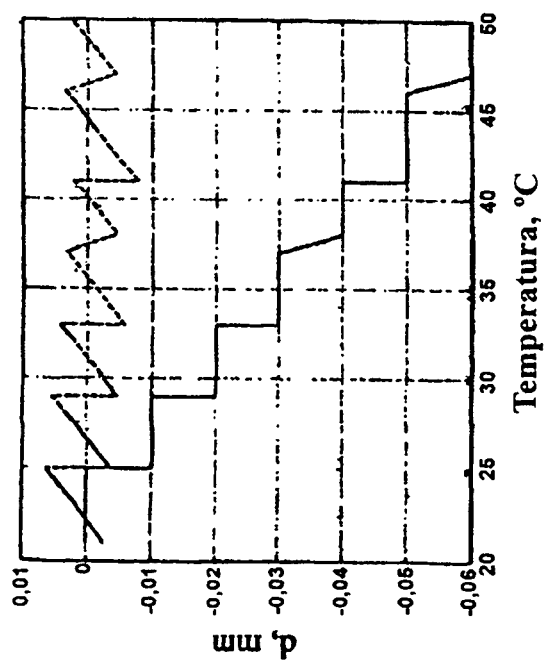


Fig. 5

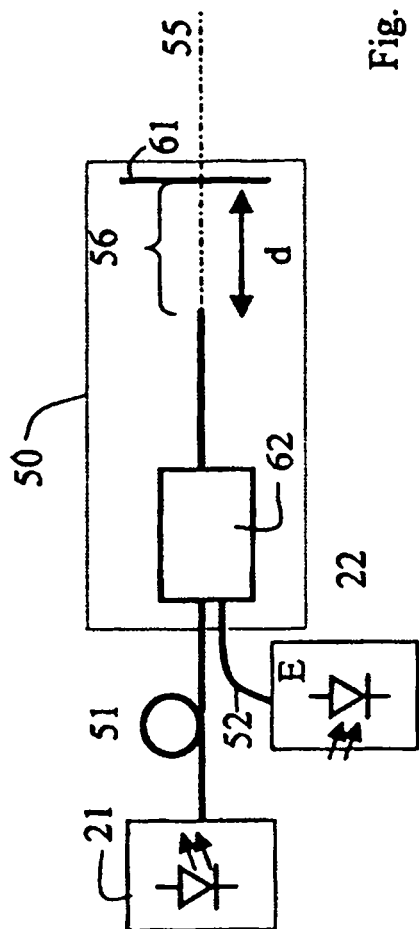


Fig. 7

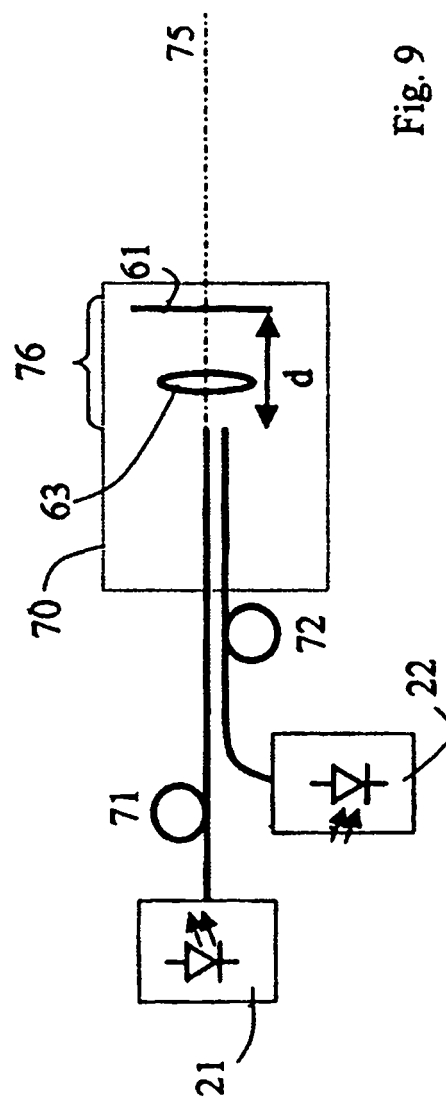


Fig. 9

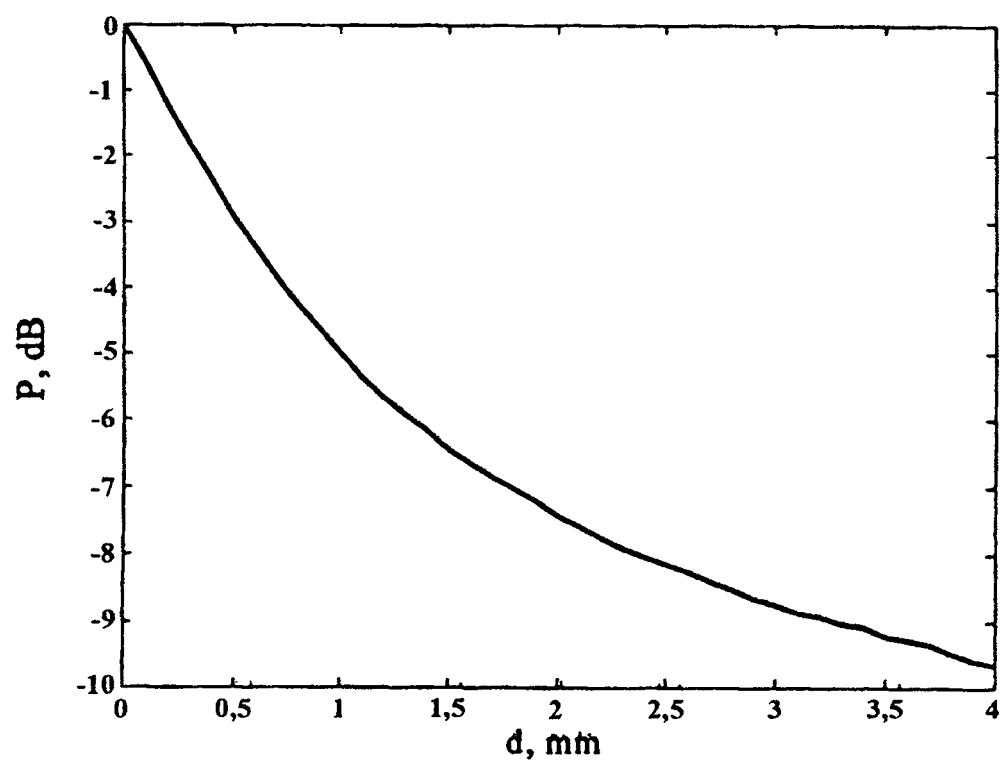


Fig. 8

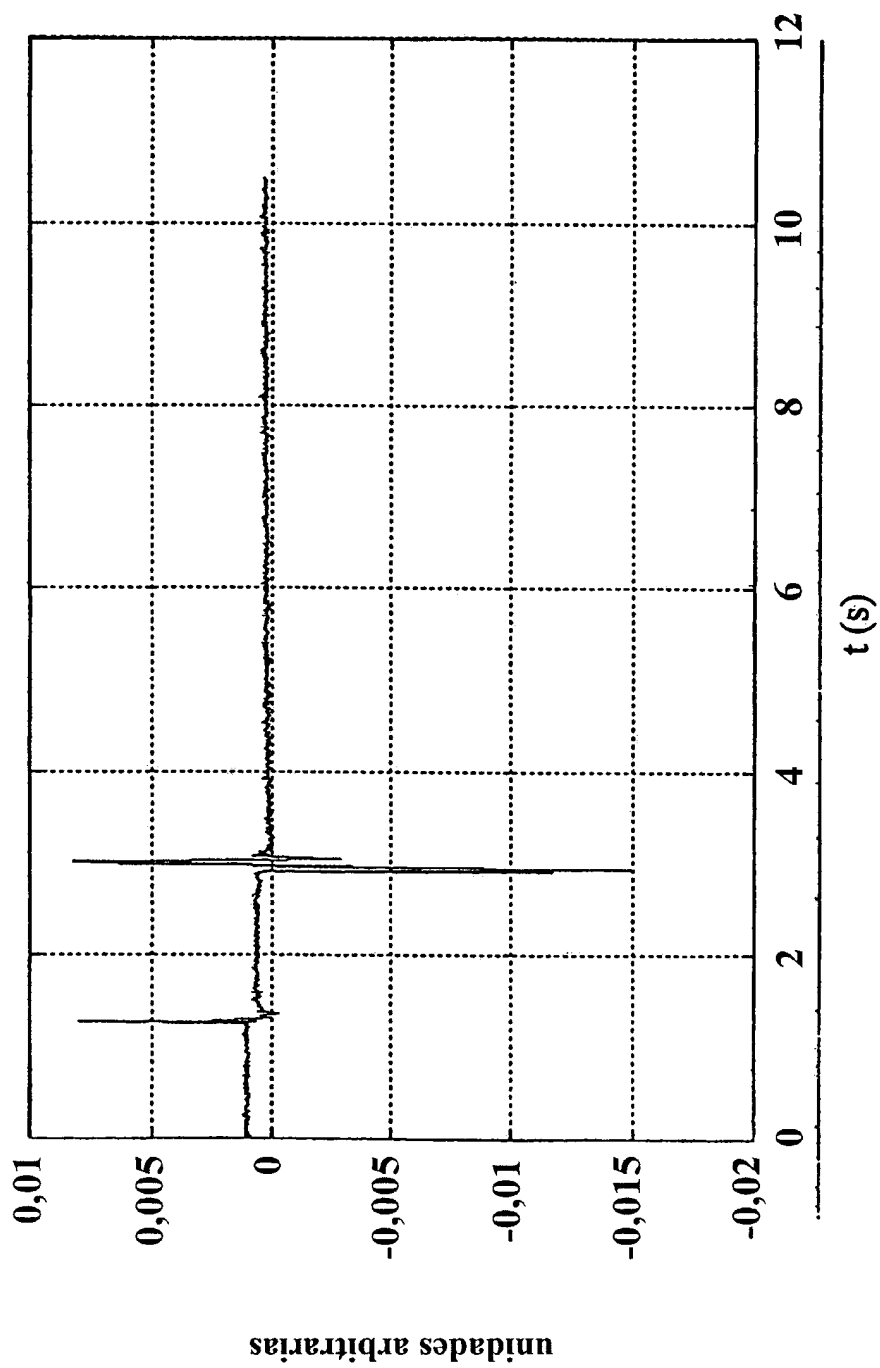


Fig. 10