

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 393 874**

51 Int. Cl.:

**G01D 5/353** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07847518 .3**

96 Fecha de presentación: **29.11.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **2223052**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **01.09.2010**

54 Título: **Procedimiento y sistema para la monitorización con fibra óptica de componentes distribuidos espacialmente**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:

**28.12.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:

**28.12.2012**

73 Titular/es:

**PRYSMIAN S.P.A. (100.0%)  
VIALE SARCA 222  
20126 MILANO, IT**

72 Inventor/es:

**GASPARI, ROBERTO**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 393 874 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**

Procedimiento y sistema para la monitorización con fibra óptica de componentes distribuidos espacialmente

**Antecedentes de la invención****Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere en general a procedimientos y sistemas para la monitorización del estado de componentes distribuidos en una pluralidad de posiciones espaciales, en particular, aunque no de manera limitativa, componentes de un sistema de distribución de energía eléctrica. En particular, la presente invención se refiere a la monitorización, en tiempo real y mediante la explotación de fibras ópticas, del estado y la condición de componentes tales como elementos "auxiliares" de redes de distribución de energía eléctrica, por ejemplo, elementos utilizados para garantizar la seguridad del sistema.

**Descripción de la técnica relacionada**

Los sistemas de distribución de energía eléctrica comprenden redes de distribución, por ejemplo, redes de distribución de alta tensión (HV).

15 El término "alta tensión" está relacionado con tensiones superiores a 35 kV, alcanzando además uno o varios cientos de kilovoltios.

Las redes de distribución utilizan cables que pueden, por ejemplo, ser aéreos (elevados) o subterráneos, por ejemplo, colocados en túneles.

Además de los cables, las redes de distribución de energía eléctrica pueden comprender una serie de diferentes elementos auxiliares que, estrictamente hablando, no juegan un papel directo en la distribución de energía eléctrica, utilizándose por el contrario para garantizar las condiciones adecuadas de uso y la seguridad de la línea de distribución.

20 Ejemplos de elementos auxiliares son limitadores de picos de tensión (SVLs), también conocidos como protectores de sobretensiones (SAs) o supresores de sobretensiones, los sistemas de monitorización de presión de aceite para cables rellenos con aceite, termómetros para verificar las bombas para hacer circular agua de refrigeración y la propia temperatura del agua de refrigeración.

El entorno donde están situados los cables puede ser crítico, por estar empotrado y/o ser peligroso, como en el caso de las redes de alta tensión. Así, la monitorización y el mantenimiento de los elementos auxiliares de un cable de distribución de energía eléctrica puede ser engorroso, y no puede llevarse a cabo sobre una base de tiempo frecuente. Incluso cuando los elementos auxiliares no están encerrados en cajas protectoras, la monitorización de sus condiciones operativas puede implicar largos tiempos de inspección y/o la interrupción de la distribución de la energía eléctrica.

Esto es, de hecho, muy negativo, ya que una línea de distribución de energía eléctrica normalmente suministra a un área muy grande y a un número importante de usuarios que no están dispuestos a aceptar una interrupción del servicio.

35 Por tanto, existe la necesidad de diseñar una solución al problema de monitorizar el funcionamiento adecuado de los elementos auxiliares, tales como SVLs, sistemas de monitorización de la presión de aceite, termómetros y así sucesivamente, con el propósito de poder reemplazarlos lo más fácilmente posible cuando se rompen.

40 En la solicitud de patente japonesa publicada JP 04-092523 se describe un sensor de detección para la información de contacto para detectar la información de contacto con ninguna fuerza mecánica aplicada. Mecanismos de sombreado de luz se proporcionan y operan mediante la información de contacto entre los dispositivos de las ramas ópticas y los espejos previstos en la pluralidad de áreas de una fibra óptica.

El solicitante observó que dichos mecanismos de sombreado son del tipo activo, es decir, requieren una fuente de energía externa para funcionar. Particularmente, en los ejemplos se proporciona un suministro de energía eléctrica. No se prevé ninguna aplicación a cables de energía.

45 En la solicitud de patente japonesa publicada JP 2004309219 se describe un sistema de medición sensor, que comprende una pluralidad de sensores de medición de fibra para medir una serie de cantidades físicas.

El solicitante observó que los sensores están colocados en serie en una fibra óptica principal, no en su ramificación, por lo tanto, la reducción de la intensidad en uno de los mismos disminuye la cantidad de luz disponible en los siguientes sensores, reduciendo así la dinámica de medición.

50 En la solicitud de patente japonesa publicada JP 03-231116 se divulga un sensor de fibra óptica, en el que caras de los extremos de la fibra de múltiples fibras ópticas ramificadas se insertan en aceite, y la luz por pulsos se introduce

desde un dispositivo de medición de la reflexión como un reflectómetro de dominio de tiempo óptico (OTDR); la reflexión de Fresnel en el extremo de la fibra, por lo tanto, se atenúa, y así se detecta el evento.

5 La solicitud de patente US publicada 2004/0240769 describe un sensor de fibra óptica distribuido de condición de alarma con un analizador de la transmisión-reflexión de almacenamiento. El solicitante observó que ambos detectores de transmisión y reflexión están conectados eléctricamente al analizador de transmisión-reflexión de almacenamiento.

La patente US 5,035,511 describe un sensor de temperatura de fibra óptica distribuido basado en la transmisión del dominio del tiempo. La luz es transmitida a través del sensor sólo una vez y no se refleja de vuelta.

### Sumario de la invención

10 El solicitante ha enfrentado el problema de monitorizar el cambio de una cantidad física (por ejemplo, la temperatura, el efecto magnético) en un conjunto de componentes distribuidos en diferentes posiciones espaciales, en particular, aunque no de manera limitativa, un conjunto de elementos auxiliares (por ejemplo, protectores de sobretensiones) distribuidos en diferentes posiciones a lo largo de una red de distribución de energía eléctrica.

15 Generalmente, los componentes a monitorizar (por ejemplo, cables de energía de alta tensión y/o empotrados) están colocados en entornos críticos que implican el cumplimiento de una serie de requisitos, por ejemplo:

- el sistema de monitorización debe ser pasivo;

- la posición (y, posiblemente, el tiempo) de la ocurrencia del cambio de una cantidad física debe identificarse de forma remota, sin necesidad de inspecciones directas, que son a menudo difíciles, o incluso imposibles llevar a cabo;

20 - el sistema de monitorización debe ser capaz de reconocer e identificar múltiples cambios de una cantidad física que se produce sustancialmente al mismo tiempo en diferentes posiciones;

- preferiblemente, el sistema de monitorización debe ser capaz de reconocer e identificar cambios de una magnitud física con independencia de su duración (la reacción del sistema debe ser más rápida que la duración del evento monitorizado).

25 El solicitante ha observado que estos requisitos pueden cumplirse proporcionando un sistema de monitorización en el que el componente a monitorizar está operativamente asociado con una rama óptica que se ramifica desde una trayectoria de fibra óptica. En detalle, un atenuador óptico pasivo se inserta en la rama óptica y está operativamente acoplado al componente a monitorizar, teniendo el atenuador óptico pasivo una atenuación capaz de cambiar en respuesta a un cambio en las condiciones operativas del componente monitorizado (por ejemplo, un cambio de la temperatura del componente monitorizado). Además, el sistema de monitorización comprende un reflector óptico que está situado aguas abajo del atenuador óptico.

El solicitante ha observado que algunos tipos de eventos, cuando se producen en el componente monitorizado, pueden causar una deformación física del mismo. Un ejemplo típico y común de dicho tipo de eventos es la rotura del componente monitorizado.

35 Generalmente, estos tipos de eventos son difíciles de detectar. De hecho, aunque de hecho se puede producir una rotura de la fibra óptica en la rama óptica proporcionada del atenuador óptico, el solicitante ha observado que la fibra óptica rota puede o no puede reflejar en el punto de la rotura, según el ángulo de rotura crítico que se forma cuando se produce el evento. Por lo tanto, podría ser difícil determinar si el componente monitorizado se ha roto o no.

40 El solicitante ha percibido la necesidad de proporcionar un sistema de monitorización que sea adecuado para detectar de forma fiable y fácil también esos tipos de eventos que causan una deformación física del componente monitorizado, por ejemplo, una rotura del mismo.

45 El solicitante ha encontrado que estos tipos de eventos pueden detectarse ventajosamente mediante la asociación operativa al componente a monitorizar de una rama óptica adicional que se ramifica de la trayectoria de la fibra óptica, comprendiendo dicha rama adicional óptica un reflector óptico adicional que es adecuado para reflejar la radiación óptica a menos que el componente monitorizado se rompa.

La provisión de esta rama óptica adicional, normalmente reflexiva - que se convierte en no reflexiva cuando se rompe el componente monitorizado - permite que el sistema de monitorización detecte también dichos tipos de eventos, tales como la rotura del componente monitorizado, contribuyendo así en el aumento de forma ventajosa y notable de la fiabilidad del sistema de monitorización.

50 De acuerdo con un aspecto de la misma, la presente invención se refiere a un sistema de monitorización para monitorizar una pluralidad de componentes distribuidos en diferentes posiciones espaciales, en particular, aunque no de forma limitativa, elementos auxiliares de una red de distribución de energía eléctrica; el sistema de monitorización comprende:

- por lo menos una trayectoria de fibra óptica;
  - una fuente de radiación óptica adaptada para inyectar una radiación óptica en la por lo menos una trayectoria de fibra óptica;
  - 5 - por lo menos una primera y por lo menos una segunda ramas ópticas que se ramifican desde la por lo menos una trayectoria de fibra óptica y adaptadas para derramar respectivas porciones de dicha radiación óptica, estando adaptadas la primera y segunda ramas ópticas para asociarse operativamente con un componente respectivo a monitorizar, en el que:
    - la primera rama óptica comprende un primer reflector óptico adaptado para reflejar la porción de radiación óptica derramada, a menos que el respectivo componente se rompa al menos parcialmente;
  - 10 - la segunda rama óptica comprende:
    - al menos un atenuador óptico pasivo adaptado para acoplarse operativamente al respectivo componente a monitorizar, y que tiene una atenuación capaz de cambiar en respuesta a un cambio en las condiciones operativas del respectivo componente monitorizado cuando está operativamente acoplado al mismo, y
    - un segundo reflector óptico;
  - 15 - un receptor óptico adaptado para detectar la radiación óptica reflejada de vuelta reflejada por dichas primera y segunda ramas ópticas.
- En la presente descripción y en las reivindicaciones, el término "pasivo" está pensado para un dispositivo o componente que no requiere una fuente de energía dedicada para realizar la función deseada. Este dispositivo o componente puede activarse mediante un fenómeno físico generado mediante, por ejemplo, una sobretensión (aumento transitorio repentino de corriente o tensión en un circuito eléctrico) o fallo o perturbación, sin necesidad de otros dispositivos de alimentación de potencia, por ejemplo batería. En particular, ni energía eléctrica ni energía mecánica son necesarias. De hecho, la presencia de dispositivos de alimentación locales para el dispositivo o componente de monitorización podría dar lugar a los mismos problemas y dificultades indicados anteriormente en relación con los elementos auxiliares.
- 20
  - 25 Para los fines de la presente descripción y reivindicaciones:
    - mediante "fuente óptica" se pretende una fuente de radiación óptica adaptada para propagarse a través de una fibra óptica; ejemplos de fuentes ópticas son láseres y aparatos OTDR;
    - mediante "receptor óptico" se entiende un dispositivo que detecta una señal óptica, convirtiéndola en una señal eléctrica, y que procesa la señal eléctrica tal como se requiere para su uso ulterior; ejemplos de receptores ópticos son aparatos OTDR y analizadores de espectro óptico (OSAs);
    - 30
    - mediante "atenuador óptico" se pretende un dispositivo adaptado para alterar la intensidad de una radiación óptica transmitida a través de una fibra óptica; un caso especial de atenuador óptico es un obturador óptico, que es un dispositivo adaptado para detener sustancialmente la radiación óptica o dejar que la radiación óptica pase a través; para los fines de la presente invención, este dispositivo es activado mediante un fenómeno físico externo relacionado con la cantidad física, cuyo cambio se monitoriza;
    - 35
    - mediante "divisor" o "acoplador direccional" se entiende un dispositivo de acoplamiento óptico para acoplar por separado o dividir señales ópticas (en una pérdida de acoplamiento conocida) en una línea de transmisión;
    - mediante "acoplamiento" se entiende la transferencia de energía desde una fibra óptica a otra, o una rama de la misma en un divisor;
    - 40
    - mediante "reflexión de Fresnel" se pretende la reflexión de la radiación óptica predicha por las ecuaciones de Fresnel que describen el comportamiento de la luz cuando se mueve a través de medios de diferentes índices de refracción; para el vidrio común, el coeficiente de reflexión es de aproximadamente el 4%; esta reflexión se produce, como un ejemplo, en el extremo de una fibra óptica (ya esté deteriorada o rota) cuando el ángulo entre el eje de la fibra (que corresponde a la dirección de propagación de los fotones dentro de la fibra) y la superficie de extremo de la fibra es menor que el ángulo óptico crítico. Cuando la luz se mueve desde un medio denso a un medio menos denso, tal como desde vidrio a aire, la luz se refleja en el medio incidente, un efecto conocido como reflexión interna. Antes de que el rayo de luz se refleje totalmente de manera interna, la luz se refracta en el ángulo crítico, se desplaza directamente a lo largo de la superficie entre los dos medios de refracción, sin un cambio en fases como en otras formas de fenómenos ópticos;
    - 45
    - mediante "reflector", se entiende un dispositivo adaptado para enviar una porción de radiación óptica de vuelta a su procedencia (tal como un espejo); un ejemplo de reflector es una superficie resultante de un corte sustancialmente perpendicular (80-90°) respecto al eje longitudinal de una fibra óptica, estando dicha superficie opcionalmente cubierta por un material reflectante, por ejemplo, oro; típicamente, el reflector es parte de un cable flexible reflectante
    - 50

(un cable flexible es un segmento terminal de una fibra óptica que tiene un extremo libre, sin conectar); otro ejemplo de reflector es una rejilla de fibra;

5 - mediante "radiación óptica reflejada de vuelta" se pretende la porción de radiación óptica que, después de haberse reflejado mediante el reflector, se propaga de vuelta hacia el receptor óptico; la radiación óptica reflejada de vuelta tiene características que son típicas de una radiación óptica, y características que pueden impartirse a la radiación óptica mediante el atenuador óptico y/o el reflector; ejemplos de características de radiación óptica reflejada de vuelta son: la intensidad (como una función del tiempo), el estado de polarización, la longitud de onda, el espectro de radiación, la frecuencia de conmutación entre dos valores discretos de intensidad, el retardo de propagación desde donde la radiación óptica reflejada de vuelta se refleja de vuelta al receptor óptico.

10 En particular, la primera rama óptica puede comprender una longitud de fibra óptica adaptada para fijarse, por ejemplo, envuelta alrededor, al respectivo componente a monitorizar.

El atenuador óptico en la segunda rama óptica puede adaptarse para fijarse a un componente respectivo a monitorizar.

15 Los componentes a monitorizar pueden incluir, tal como se ha mencionado, elementos auxiliares de líneas de distribución de energía eléctrica; en particular, los elementos auxiliares a monitorizar pueden incluir por lo menos un elemento seleccionado del grupo consistente en: limitadores de sobretensión, termómetros, monitores de presión. Preferentemente, los elementos auxiliares son limitadores de sobretensión.

El atenuador óptico pasivo puede ser sensible a una corriente que fluye a través del elemento auxiliar acoplado operativamente al mismo.

20 En particular, el atenuador óptico pasivo puede acoplarse térmicamente al respectivo componente auxiliar.

El atenuador óptico pasivo puede tener una atenuación que varía con la temperatura, de tal manera que un aumento de temperatura causado por la corriente que fluye a través del elemento auxiliar asociado operativamente con el mismo provoca un cambio en el valor de atenuación.

25 Preferiblemente, una fracción de la radiación óptica que se derrama por cada rama óptica varía monótonamente, en particular, disminuye a lo largo de la trayectoria de la fibra óptica.

El sistema de monitorización está preferiblemente adaptado para reconocer la posición de los componentes monitorizados mediante el receptor óptico.

30 De acuerdo con otro aspecto de la misma, la presente invención se refiere a un procedimiento para la monitorización de una pluralidad de componentes distribuidos en diferentes posiciones espaciales, comprendiendo el procedimiento:

- proporcionar al menos una trayectoria de fibra óptica;

35 - asociar cada uno de los componentes a monitorizar a respectivas por lo menos una primera y segunda ramas ópticas que se ramifican desde la por lo menos una trayectoria de fibra óptica, adaptadas para derramar porciones respectivas de una radiación óptica que se propaga a través de la por lo menos una trayectoria óptica, en el que la primera rama óptica está adaptada para reflejar la porción de radiación óptica derramada a menos que el respectivo componente, se rompa al menos parcialmente;

- propagar la radiación óptica en la trayectoria de fibra óptica;

- acoplar operativamente al menos un atenuador óptico pasivo a cada uno de los componentes a monitorizar, siendo parte el atenuador óptico pasivo de la segunda rama óptica asociada con el respectivo componente;

40 - en respuesta a un cambio en la condición operativa de al menos uno de los componentes a monitorizar, provocar una radiación óptica derramada que se propaga a través de la segunda rama óptica asociada con dicho componente a reflejarse de vuelta;

- detectar la radiación óptica reflejada de vuelta; y

45 - reconocer una posición de dicho al menos uno de los componentes sobre la base de una característica de la radiación óptica reflejada de vuelta detectada.

Dicha asociación de cada uno de los componentes a monitorizar para una respectiva al menos una primera rama óptica puede comprender la etapa de fijar una longitud de fibra óptica al componente a monitorizar, por ejemplo, envolviendo la longitud de la fibra óptica alrededor del componente a monitorizar.

50 Preferiblemente, la etapa de acoplar operativamente al menos un atenuador óptico pasivo a cada uno de los componentes a monitorizar comprende la etapa de fijar el atenuador óptico pasivo al respectivo componente a

monitorizar.

5 Las características de la radiación óptica reflejada de vuelta pueden comprender una variación en el tiempo de la intensidad de la radiación óptica reflejada de vuelta, un espectro de la radiación óptica reflejada de vuelta un intervalo de tiempo necesario para la radiación óptica reflejada de vuelta para alcanzar el receptor óptico, un estado de polarización de la radiación óptica reflejada de vuelta.

Dicho al menos un atenuador óptico pasivo puede tener una variable de atenuación entre al menos un primer valor superior y un segundo valor inferior sensibles a las condiciones operativas de por lo menos uno de los componentes a monitorizar.

10 Dichos componentes a monitorizar por ejemplo, pueden incluir elementos auxiliares de una red de distribución de energía eléctrica, comprendiendo dichos elementos auxiliares al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en limitadores de sobretensión, termómetros, monitores de presión.

Dicho atenuador óptico pasivo puede ser sensible a una corriente que fluye a través del elemento auxiliar acoplado operativamente al mismo.

15 En una realización de la presente invención, la etapa de acoplar operativamente puede incluir un acoplamiento térmico.

Dicho atenuador óptico pasivo puede, en este caso, tener una atenuación variable con la temperatura, de tal manera que un aumento de temperatura causado por la corriente que fluye a través del componente asociado operativamente con el mismo provoca un cambio en el valor de atenuación.

20 En una realización de la presente invención, una fracción de la radiación óptica que se derrama por cada una de la primera y segunda ramas ópticas varía monótonamente a lo largo de la trayectoria de fibra óptica.

25 Para los fines de la presente descripción y de las reivindicaciones que siguen, salvo que se indique lo contrario, todos los números que expresan valores, cantidades, porcentajes, y así sucesivamente, se han de entender como que están modificados en todos los casos por el término "aproximadamente". Además, todos los rangos incluyen cualquier combinación de los puntos máximos y mínimos descritos e incluyen cualesquiera rangos intermedios en los mismos, que pueden o no estar enumerados específicamente aquí.

### **Breve descripción de los dibujos**

Las características y ventajas de la presente invención se harán evidentes mediante la lectura de la siguiente descripción de algunas realizaciones de la misma, siempre mediante de ejemplos no limitativos, en cuya descripción se hace referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

30 La **figura 1** muestra, en sección transversal, un cable utilizado en sistemas de distribución de energía eléctrica de alta tensión, un escenario donde la presente invención se puede aplicar de manera útil;

La **figura 2** muestra esquemáticamente un sistema de monitorización de acuerdo con una realización de la presente invención, aplicado a un sistema de distribución de energía eléctrica para la monitorización de los SVLs que lo protegen;

35 Las **figuras 3A-3D** son diagramas de diferentes patrones de radiaciones ópticas reflejadas de vuelta que pueden detectarse mediante un receptor óptico del sistema de monitorización de la **figura 2**, adaptado para identificar diferentes cambios de los estados de un componente monitorizado;

40 La **figura 4** muestra esquemáticamente un sistema de monitorización de acuerdo con otra realización de la presente invención, todavía aplicada al sistema de distribución de energía eléctrica para la monitorización de los SVLs que lo protegen;

Las **figuras 5A-5D** son diagramas de diferentes patrones de radiaciones ópticas reflejadas de vuelta que se pueden detectar mediante un receptor óptico del sistema de monitorización de la **figura 4**, adaptado para identificar los diferentes cambio de estado de un componente monitorizado;

45 La **figura 6** muestra esquemáticamente un atenuador óptico que puede utilizarse en el sistema de monitorización de acuerdo con una realización de la presente invención; y

La **figura 7** es un diagrama esquemático que muestra la variación de la atenuación de un atenuador óptico variable (VOA) de ejemplo que puede ser utilizado como un obturador óptico en el sistema de monitorización de las **figuras 2** ó **4**.

### **Descripción detallada de las realizaciones preferidas**

50 La **figura 1** muestra, en sección transversal, un cable **100** para redes de distribución de energía eléctrica de alta

tensión, en particular un cable de un solo núcleo. El cable **100** comprende, comenzando desde su centro y desplazándose radialmente hacia fuera, un conductor central **105**, un aglutinante **110**, hecho de una cinta semiconductora, una pantalla conductora **115**, hecha de un polímero semiconductor, una capa de aislamiento **120** hecha, por ejemplo, de polietileno reticulado (XLPE), una pantalla de aislamiento **125**, hecha de un polímero semiconductor, una barrera de agua semiconductora **130**, hecha, por ejemplo, de una cinta higroscópica semiconductora, una vaina metálica **140**, hecha de una lámina metálica, una camisa **145** de polietileno de alta densidad (HDPE), y finalmente, un recubrimiento protector **150**. El cable **100** puede utilizarse en aplicaciones aéreas o subterráneas.

La vaina metálica **140** tiene principalmente la función de hacer uniforme el campo electromagnético alrededor del conductor **105**.

Fenómenos como rayos, maniobras de encendido de la red de distribución de energía eléctrica, fallos de línea a línea de tierra, rechazo de la carga, ferorresonancia, sólo por citar unos pocos, pueden causar un aumento de tensión en la vaina metálica a valores inaceptablemente altos, por ejemplo, mayores de 1 KV. Para proteger el cable **100** de sobretensiones (picos) perjudiciales, se utilizan elementos auxiliares, en particular SVLs.

Típicamente, una pluralidad de SVLs están acoplados a un cable de distribución de energía eléctrica tal como el cable **100**, estando distribuidos los SVLs aproximadamente cada 500 metros a lo largo del cable. La **figura 2** muestra esquemáticamente un segmento del cable **100**, destinado a distribuir una de las tres fases de una línea trifásica de distribución de energía eléctrica de alta tensión, con una pluralidad asociada de SVLs, tal como los SVLs **205a** y **205b** que se muestran en el dibujo, situados a una distancia entre sí a lo largo del cable **100**, por ejemplo a intervalos de aproximadamente 500 m (sólo dos SVLs se muestran en el dibujo, para evitar una complicación innecesaria; sin embargo, varios SVLs típicamente se distribuyen a lo largo del cable). Cada SVL tiene un primer extremo **205'** conectado eléctricamente a la vaina metálica **140** del cable, y un segundo extremo **205''** eléctricamente conectado a tierra.

El SVL es un elemento auxiliar que implementa una resistencia altamente no lineal y, para aplicaciones que requieren alta disipación de potencia, tal como en sistemas de distribución de energía eléctrica de alta tensión, comprende una pluralidad de discos de óxido de metal que están dispuestos en columnas entre dicho primer y segundo extremos, dentro de una carcasa no metálica. Un ejemplo de SVL adecuado para la presente invención es MW08 comercializado, por ABB.

En caso de que la tensión de la vaina metálica **140** se eleve por encima del umbral de intervención del SVL (diseñado para mantener la tensión de la vaina metálica por debajo de unos pocos kilovoltios), el SVL se vuelve conductor, y por lo tanto, durante un breve transitorio (del orden de pocos microsegundos), corta la vaina del metálica del cable a tierra, limitando la tensión de la vaina a valores aceptables. En condiciones normales (es decir, cuando un SVL funciona correctamente), ninguna corriente fluye a través del mismo, excepto durante las descargas, cuando el cable experimenta sobretensiones; así, normalmente no hay ninguna corriente que circule a lo largo de la vaina metálica **140**.

Los SVLs son componentes fiables. Sin embargo, una descarga ejecutada a través de los discos de óxido de metal causa una sinterización parcial del material de los discos, estando dicha sinterización directamente relacionada con la energía descargada. El material sinterizado pierde parte de sus características eléctricas.

Cada SVL así puede soportar un número limitado de descargas (nominalmente y, en promedio, cada SVL puede sobrevivir sin daños aproximadamente ocho a diez descargas de sobretensión de conmutación típicas). Tal como se mencionó anteriormente, en condiciones normales (es decir, cuando un SVL funciona correctamente), ninguna corriente fluye a través del mismo, excepto durante las descargas cuando la vaina metálica del cable experimenta sobretensiones. Sin embargo, cuando la energía acumulada descargada es suficientemente alta, una trayectoria conductora se forma a través de los discos de óxido de metal, y el SVL se rompe, convirtiéndose conductor y perdiendo así sus capacidades de protección.

Un SVL averiado provoca el establecimiento de una trayectoria de corriente conductora a tierra, y por lo tanto, permite la circulación de corrientes que inaceptablemente aumentan las pérdidas del circuito en general. En ciertos casos, el SVL roto también podría estallar, posiblemente causando daños al cable y al entorno.

Por esta razón, los SVLs dañados o fuera de servicio deben ser reemplazados tan pronto como sea posible, y para este propósito, debe llevarse a cabo una inspección periódica de los SVLs instalados en una línea de distribución de energía eléctrica para asegurar que estos elementos funcionan correctamente, y, cuando se detecta un SVL dañado o fuera de servicio, se reemplaza inmediatamente.

Desafortunadamente, los SVLs a menudo no son fácilmente accesibles, o incluso totalmente inaccesibles a los seres humanos, ya que normalmente se instalan en cajas protectoras de enlace, estando conectados a (la vaina metálica de) los cables mediante sublíneas dedicadas; estas cajas están usualmente selladas y cerradas, y los propios cables no son fácilmente accesibles. Esto es bastante común en las redes de distribución empotradas.

Haciendo referencia a **figura 2**, se muestra esquemáticamente un sistema de monitorización de acuerdo con una

realización de la presente invención, adaptado para permitir la monitorización remota del estado de los SVLs utilizado para proteger el cable **100**, sin la necesidad de inspección en el campo.

El sistema de monitorización, que se indica globalmente como **210**, es un sistema pasivo, basado en óptica, que comprende una fibra óptica **215** que, partiendo desde una unidad central de monitorización **220**, se extiende a lo largo del cable **100**.

En correspondencia con cada SVL **205a**, **205b**, un primer y segundo divisores ópticos **223a** y **225a**, **223b** y **225b**, respectivamente, se proporcionan a lo largo de la fibra óptica **215**. Los divisores ópticos **223a** y **225a**, **223b** y **225b** están diseñados para derramar una respectiva fracción seleccionada **11a** y **12a**, **11b** y **12b** de la potencia óptica de una radiación óptica que reciben en la entrada, en particular, una fracción de la potencia óptica **I** de una radiación óptica que se inyecta en la fibra óptica **215** mediante una fuente óptica **230**, por ejemplo una fuente láser, de la unidad de monitorización central **220**, y que se propaga a través de la fibra óptica **215**.

La fracción **11a**, **11b** de la radiación óptica derramada por el primer divisor óptico **223a**, **223b** asociado con el SVL **205a**, **205b** se alimenta a una respectiva primera rama óptica asociada con ese SVL; la primera rama óptica comprende una longitud **231a**, **231b** de fibra óptica que está acoplada (fijada) mecánicamente al respectiva SVL **205a**, **205b**, y que termina con un primer reflector **233a**, **233b**. Preferiblemente, la longitud **231a**, **231b** de fibra óptica de la primera rama óptica se enrolla o envuelve alrededor del respectivo SVL **205a**, **205b**.

La fracción **12a**, **12b** de la radiación óptica derramada por el segundo divisor óptico **225a**, **225b** asociado, respectivamente, con el SVL **205a**, **205b** se alimenta a una respectiva segunda rama óptica asociada con ese SVL; la segunda rama óptica comprende un atenuador óptico **235a**, **235b** y, aguas abajo del atenuador óptico **235a**, **235b**, un segundo reflector **240a**, **240b**. Cuando el atenuador óptico **235a**, **235b** está cerrado (es decir, está en un primer estado de alta atenuación), bloquea la propagación de las fracciones de radiación óptica vertidas por los segundos divisores ópticos **225a**, **225b** asociados, evitando la reflexión de dicha radiación mediante los segundos reflectores **240a**, **240b**. Los atenuadores ópticos **235a**, **235b** pueden ser obturadores ópticos de baja reflexión de vuelta. Cuando el atenuador óptico **235a**, **235b** está abierto (es decir, está en un segundo estado de baja atenuación), permite la propagación de las fracciones de radiación óptica derramadas por el segunda divisor óptico **225a**, **225b** asociado; las fracciones de radiación óptica derramadas pueden así alcanzar el segundo reflector **240a**, **240b**, y se reflejan de vuelta mediante el mismo. Un ejemplo de atenuador óptico adecuado para la presente invención es el obturador de fibra óptica en línea comercializado por Phoenix Photonics.

El atenuador óptico **235a**, **235b** está acoplado operativamente al respectivo SVL **205a**, **205b** de tal forma que sea sensible a un cambio en una cantidad física asociada con el SVL. El acoplamiento puede ser térmico, eléctrico, magnético o mecánico, o una combinación de los mismos.

En particular, el atenuador óptico **235a**, **235b** está acoplado operativamente con el respectivo SVL **205a**, **205b** de tal manera que una condición operativa del SVL **205a**, **205b** a monitorizar, por ejemplo el paso de una corriente a través del SVL, induce un cambio en el estado del atenuador óptico **235a**, **235b** asociado. Por ejemplo, el atenuador óptico **235a**, **235b** puede ser un obturador óptico normalmente abierto, que normalmente (es decir, cuando no hay corriente, o una corriente por debajo de un umbral predeterminado, fluye a través del SVL asociado) bloquea la radiación óptica suministrada al mismo, impidiendo que ésta alcance el segundo reflector **240a**, **240b** y reflejándose; el paso de una corriente (mayor que el umbral predeterminado) a través del SVL **205a**, **205b** hace que el atenuador óptico **235a**, **235b** se cierre, de modo que la fracción de la radiación óptica **12a**, **12b** derramada por el respectivo segundo divisor óptico **225a**, **225b** pasa a través del atenuador óptico y alcanza el segundo reflector **240a**, **240b**, donde la radiación óptica se refleja de vuelta.

El primer y segundo reflectores **233b** y **240a**, **233b** y **240b** están diseñados para reflejar, por ejemplo, por reflexión de Fresnel, la fracción incidente de radiación óptica **11a** y **12a**, **11b** y **12b**. En particular, el primer y segundo reflectores **233a** y **240a**, **233b** y **240b** pueden ser superficies de espejo, obtenidas mediante el corte de una fibra óptica de manera sustancialmente ortogonal (en un ángulo de  $90^\circ \pm 3^\circ$ ) respecto a su eje longitudinal, y, opcionalmente, recubriendo ventajosamente la superficie así obtenida con un material reflectante, tal como capas dieléctricas u oro. En el caso de la presencia de un material reflectante, ese corte puede tener un ángulo más oblicuo, tal como es conocido para el experto en la técnica, por ejemplo de  $90^\circ \pm 10^\circ$ . El primer o segundo reflector **233a** o **240a**, **233b** o **240b** pueden ser parte de una espiral reflexiva.

El divisor óptico **223a**, **225a**, **223b**, **225b** puede ser un dispositivo totalmente de fibra hecho mediante el acoplamiento de dos fibras ópticas, siendo una la fibra óptica **215** que continúa a lo largo del cable **100**, siendo la otra la fibra óptica que forma la primera o la segunda rama óptica asociada con el SVL a monitorizar. Las dos fibras ópticas están ópticamente acopladas entre sí para una cierta longitud; este tipo de divisor óptico, que tiene la ventaja de ser un dispositivo totalmente de fibra (completamente hecho de fibras ópticas), funciona también como un acoplador óptico, estando adaptado para volver a inyectar la radiación óptica reflejada de vuelta **11ar**, **12ar**, **11br**, **12br** en la fibra óptica **215**. Como alternativa, se puede utilizar divisores micro-ópticos, con lentes que derraman la radiación óptica desde la fibra **215**, y espejos parcialmente reflectantes para volver a inyectar la radiación óptica reflejada de vuelta en la fibra.



La unidad de monitorización central **220** también incluye un receptor óptico **250**, ópticamente acoplado a la fibra óptica **215**, para recibir y ser capaz de detectar una radiación óptica reflejada de vuelta **Ir** que se propaga a lo largo de la fibra óptica **215** en la dirección opuesta a la radiación óptica inyectada **I**. En particular, el receptor óptico **250** puede comprender una parte de conversión opto-eléctrica que está adaptada para convertir la radiación óptica detectada **Ir** en señales eléctricas, y una parte de procesamiento de señales, adaptada para procesar las señales eléctricas resultantes de la conversión de la radiación óptica reflejada de vuelta **Ir**.

El receptor óptico **250** puede ser un aparato OTDR o un OSA, tal como se discute en mayor detalle más adelante.

El sistema de monitorización **210** de esta realización de la presente invención funciona de la siguiente manera.

La fuente óptica **230** de la unidad de monitorización central **220** inyecta en la fibra **215** una radiación óptica **I**, en una longitud de onda seleccionada; la radiación óptica inyectada **I** se propaga a través de la fibra **215** y, cuando alcanza el primer divisor óptico asociada con una SVL correspondiente, tal como por ejemplo, el primer divisor óptico **223a** en correspondencia con el SVL **205a**, una fracción seleccionada **I1a** de la radiación óptica **I** se derrama y se alimenta a la primera rama óptica asociada con ese SVL; la parte restante de la radiación óptica sigue propagándose a través de la fibra **215**, para alcanzar el segundo divisor óptico **225** asociado con el SVL **205a**; aquí, una fracción seleccionada **12a** de la radiación óptica se derrama y se alimenta a la segunda rama óptica, mientras que la parte restante de la radiación óptica sigue propagándose a lo largo de la fibra **215**. Lo mismo ocurre en cada SVL colocado a lo largo de la longitud del cable.

Teniendo en cuenta uno de los SVLs, por ejemplo el SVL **205a**, en condiciones normales (cuando el SVL funciona correctamente y no descarga una sobretensión de la vaina metálica **140** del cable **100**), la primera rama óptica asociada con la misma está cerrada, es decir, permite que pase la fracción **I1a** derramada de la radiación óptica, que llegue al primer reflector **233a** y se refleje de vuelta hacia el primer divisor óptico **223a** (en la **figura 2**, la radiación óptica reflejada de vuelta se indica **I1ar**; **I1br** indica la radiación óptica reflejada de vuelta para el SVL **205b**). La segunda rama óptica asociada con el SVL **205a** está abierta en condiciones normales (porque el obturador óptico **235a** está normalmente abierto), es decir, bloquea la fracción derramada **12a** de radiación óptica, impidiendo alcanzar el reflector **240a**.

En particular, siempre y cuando el SVL considerado **205a** no esté dañado y no conduzca corriente (porque la vaina metálica **140** del cable **100** no experimenta una sobrecarga de tensión), la fracción derramada de la radiación óptica **I1a** en la primera rama óptica alcanza el primer reflector **233a**, donde se refleja de vuelta como una fracción de la radiación óptica **I1ar** reflejada de vuelta hacia el primer divisor óptico **223a**, que inyecta la radiación óptica **I1ar** reflejada de vuelta en la fibra óptica **215**. El obturador óptico **235a** asociado con el SVL **205a** permanece en el estado abierto, de modo que la fracción de la radiación óptica derramada **12a** está bloqueada y ninguna reflexión de vuelta significativa se produce en la segunda rama óptica. La radiación óptica reflejada de vuelta **I1ar** se propaga a través de la fibra óptica **215** de vuelta a la unidad de monitorización central **220**, donde se recibe y se detecta mediante el receptor óptico **250**.

Un ejemplo de un posible patrón de reflexión de radiación óptica (intensidad de radiación óptica reflejada  $I$ , en dB, en ordenadas, respecto a la distancia  $L$  a lo largo de la fibra óptica **215**, en kilómetros, en la abscisa) detectada por la unidad de monitorización **220** en la condición mencionada anteriormente se representa en la **figura 3A**, donde es visible un pico **305** en el patrón de radiación de reflexión óptica, en una posición, a lo largo de la fibra óptica **215**, que corresponde a la posición del SVL **205a** a lo largo del cable **100**. Cuando este patrón de reflexión de la radiación óptica se detecta, el SVL **205a** se evalúa para funcionar correctamente, y no se produce ningún caso de descarga de corriente.

Por el contrario, cuando el SVL **205a** conduce una corriente, por ejemplo porque el SVL está descargando una sobretensión de la vaina metálica **140** del cable **100** (en este caso el SVL se convierte en conductor de un corto transitorio, y una ráfaga de corriente fluye a su través, entonces el SVL vuelve a su estado no conductor), el aumento en la temperatura del SVL debido a la corriente que fluye a través del mismo hace que el obturador óptico **235a** conmute a su estado cerrado; la fracción radiación óptica derramada **12a**, por lo tanto, puede propagarse a través de la segunda rama óptica y alcanzar el segundo reflector **240a**; aquí, una parte no despreciable **I2ar** de la fracción derramada de radiación óptica se refleja de vuelta hacia el segundo divisor óptico **225a**, que inyecta la radiación óptica reflejada de vuelta en la fibra óptica **215**. Siempre que el SVL **205** no esté dañado o roto mediante la ráfaga de corriente que fluye a través del mismo, la primera rama óptica (en particular, la longitud de la fibra óptica envuelta alrededor del SVL **205a**) tampoco está dañada, y sigue permitiendo que la fracción derramada de radiación óptica **I1a** alcance el primer reflector **233a**, donde se refleja de vuelta como una fracción de radiación óptica reflejada de vuelta **I1ar**. En detalle, el primer divisor óptico **223a** inyecta la radiación óptica reflejada de vuelta **I1ar** en la fibra óptica **215**. La radiación óptica reflejada de vuelta que se propaga de vuelta a través de la fibra óptica **215** es la combinación de dos contribuciones, una representada por la radiación óptica reflejada de vuelta **I1ar** y la otra representada por la radiación óptica reflejada de vuelta **I2ar**. La radiación óptica reflejada de vuelta se propaga de vuelta a la unidad de monitorización central **220**, donde se recibe y se detecta mediante el receptor óptico **250**.

Un ejemplo de un posible patrón de reflexión de radiación óptica detectada por la unidad de monitorización **220** en una situación como ésta se muestra en la **figura 3B** donde, además del pico **305**, un segundo pico **310** en el patrón

de radiación óptica reflejada es visible, en la posición, a lo largo de la fibra óptica **215**, correspondiente a la posición del SVL **205a** a lo largo del cable **100**, pero ligeramente desplazado respecto al pico **305**, debido a la diferencia en las trayectorias ópticas seguidas por las dos radiaciones ópticas reflejadas de vuelta **11ar** y **12ar**. Cuando se detecta este patrón de reflexión de la radiación óptica, es posible evaluar que el SVL está experimentando un evento de descarga.

En caso de que el SVL **205a** se rompa, por ejemplo, se golpee, la longitud de la fibra óptica envuelta alrededor del SVL **205a** en la primera rama óptica se rompe también, y la fracción de la radiación óptica derramada **11a** ya no alcanza el reflector **233a**; así, ninguna radiación óptica se refleja de vuelta mediante la primera rama óptica asociada con el SVL **205a**. Por lo tanto, el pico **305** en el patrón de reflexión de radiación óptica detectada por la unidad de monitorización central **220** desaparece.

La ruptura del SVL también puede causar un daño de la segunda rama óptica y existen dos posibilidades.

Una primera posibilidad es que la segunda rama óptica asociada con el SVL **205a**, en particular el obturador óptico **235a**, se rompa de tal manera que la reflexión de Fresnel pueda tener lugar cuando la fibra óptica se ha roto. En este caso, una parte no despreciable **12ar** de la fracción de la radiación óptica derramada **12a** se refleja de vuelta hacia el segundo divisor óptico **225a**, que inyecta la radiación óptica reflejada de vuelta **12ar** en la fibra óptica **215**. En este caso, un pico en el patrón de reflexión de radiación óptica se detecta mediante la unidad de monitorización central **220**.

Un ejemplo de un posible patrón de reflexión de la radiación óptica detectada por la unidad de monitorización **220** se representa en la **figura 3C**: un segundo pico **315** en el patrón de radiación óptica reflejada es visible, aproximadamente en la posición, a lo largo de la fibra óptica **215**, donde está situado el pico **310** en la **figura 3B**.

Una segunda posibilidad es que la segunda rama óptica asociada con el SVL **205a** se rompa de tal manera que la reflexión de Fresnel no se produzca donde se ha roto la fibra óptica. En este caso, la fracción de radiación óptica derramada **12a** no se refleja de vuelta hacia el segundo divisor óptico **225a**, por lo tanto, no se detecta ningún pico en el patrón de reflexión de radiación óptica mediante la unidad de monitorización central **220**.

Un ejemplo de un posible patrón de reflexión de radiación óptica detectada en este caso mediante la unidad de monitorización **220** se representa en la **figura 3D**.

En ambos casos, la observación del patrón de reflexión de radiación óptica permite la evaluación de que el SVL **205a** se ha roto y debe ser reemplazado.

En la **figura 4**, se representa esquemáticamente un sistema de monitorización **410** de acuerdo con una realización adicional de la presente invención, el cual, de manera similar al sistema de la **figura 2**, está adaptado para permitir la monitorización remota del estado de los SVLs utilizados para proteger el cable **100**. Los elementos del sistema de monitorización **410** que son idénticos o similares a los del sistema de monitorización **210** se designan mediante los mismos números de referencia.

El sistema de monitorización **410** es, de manera similar al sistema de monitorización **210** de la realización anterior de la **figura 2**, un sistema pasivo de base óptica; a diferencia del sistema de monitorización **210**, el sistema de monitorización **410** comprende una primera y una segunda fibras ópticas **415'** y **415"** que, partiendo de la unidad de monitorización central **220**, se extienden a lo largo del cable **100**. La primera y segunda fibras ópticas **415'** y **415"** puede estar ópticamente acopladas entre sí en la unidad de monitorización central **220**, de modo que se pueden utilizar una sola fuente óptica **230** y un solo receptor óptico **250**. Alternativamente, se utilizan dos fuentes ópticas y dos receptores ópticos.

Los primeros divisores ópticos **223a**, **223b** se proporcionan, en correspondencia con cada SVL **205a**, **205b**, a lo largo de la primera fibra óptica **415'**. De manera similar a la realización descrita anteriormente, los primeros divisores ópticos **223a**, **223b** están diseñados para derramar una respectiva fracción seleccionada **11a**, **11b** de la potencia óptica de una radiación óptica que reciben en la entrada, en particular, una fracción de la potencia óptica **I** de una primera radiación óptica inyectada en la primera fibra óptica **415'** mediante la fuente óptica **230** de la unidad de monitorización central **220** y propagarse a lo largo de la primera fibra óptica **415'**.

La fracción **11a**, **11b** de la radiación óptica derramada por el primer divisor óptico **223a**, **223b** se alimenta a una respectiva primera rama óptica, la cual, de manera similar a la realización descrita anteriormente, comprende una respectiva longitud **231a**, **231b** de fibra óptica que está acoplada mecánicamente (fijada) al respectivo SVL **205a**, **205b** y que termina con el respectivo primer reflector **233a**, **233b**. Preferiblemente, las longitudes **231a**, **231b** de las fibras ópticas de las primeras ramas ópticas se enrollan o envuelven alrededor del respectivo SVL **205a**, **205b**.

Los segundos divisores ópticos **225a**, **225b** se proporcionan, en correspondencia con cada SVL **205a**, **205b**, a lo largo de la segunda fibra óptica **415"**. De manera similar a la realización descrita anteriormente, los segundos divisores ópticos **225a**, **225b** están diseñados para derramar una respectiva fracción seleccionada **12a**, **12b** de la potencia óptica de una radiación óptica que reciben en la entrada, en particular, una fracción de la potencia óptica **I'** de una segunda radiación óptica inyectada en la segunda fibra óptica **415"** mediante la fuente óptica **230** de la

unidad de monitorización central **220** y que se propaga a lo largo de la segunda fibra óptica **415''**.

La fracción **12a**, **12b** de la radiación óptica derramada por el segundo divisor óptico **225a**, **225b** se alimenta a una respectiva segunda rama óptica que, de manera similar a la realización descrita anteriormente, comprende un atenuador óptico **235a**, **235b** y, aguas abajo del atenuador óptico **235a**, **235b**, un segundo reflector **240a**, **240b**.  
 5 Cuando el atenuador óptico **235a**, **235b** se cierra, bloquea la propagación de la fracción de la radiación óptica derramada por el segundo divisor óptico asociado **225a**, **225b**, lo que impide la reflexión de dicha radiación mediante el segundo reflector **240a**, **240b**.

Como en la realización descrita anteriormente, el atenuador óptico **235a**, **235b** está acoplado operativamente al respectivo SVL **205a**, **205b** de tal forma que sea sensible a un cambio en una cantidad física asociada con el SVL.  
 10 El acoplamiento puede ser térmico, eléctrico, magnético o mecánico, o una combinación de los mismos.

Consideraciones similares hechas en la descripción del sistema de monitorización **210** respecto a los divisores ópticos, los atenuadores ópticos y los reflectores se aplican a la realización actualmente descrita.

El sistema de monitorización **410** de esta realización de la presente invención funciona de la siguiente manera.

La fuente óptica **230** de la unidad de monitorización central **220** inyecta una primera radiación óptica **I'** en la primera fibra óptica **415'**, y una segunda radiación óptica **I''** en la segunda fibra óptica **415''**; la primera y segunda radiaciones ópticas **I'** e **I''** tienen longitudes de onda seleccionadas, posiblemente coincidentes. La primera radiación óptica **I'** se propaga a través de la primera fibra **415'**, y la segunda radiación óptica **I''** se propaga a través de la segunda fibra **415''**.  
 15

Cuando la primera radiación óptica **I'** que se propaga a través de la primera fibra óptica **415'** alcanza el primer divisor óptico asociado con un SVL correspondiente, como por ejemplo el primer divisor óptico **223a** en correspondencia con el SVL **205a**, una fracción seleccionada **I1a** de la primera radiación óptica se derrama y se alimenta a la primera rama óptica asociada con ese SVL, mientras que la parte restante de la radiación óptica sigue propagándose a lo largo de la primera fibra **415'**. Lo mismo ocurre en cada SVL colocado a lo largo de la longitud del cable.  
 20

De manera similar, cuando la segunda radiación óptica **I''** que se propaga a través de la segunda fibra óptica **415''** alcanza el segundo divisor óptico asociado con un SVL correspondiente, como por ejemplo el segundo divisor óptico **225a** en correspondencia con el SVL **205a**, una fracción seleccionada **I2a** de la segunda radiación óptica **I''** se derrama y se alimenta a la segunda rama óptica asociada con ese SVL, mientras que la parte restante de la segunda radiación óptica **I''** continúa propagándose a lo largo de la segunda fibra **415''**. Lo mismo ocurre en cada SVL colocado a lo largo de la longitud del cable.  
 25

Considerando uno de los SVLs, por ejemplo, el SVL **205a**, la primera rama óptica se cierra en condiciones normales (cuando el SVL funciona correctamente y no descarga una sobretensión de la vaina metálica **140** del cable **100**), es decir, permite que pase la fracción derramada **I1a** de la radiación óptica, llegando al primer reflector **233a** y se refleja de vuelta hacia el primer divisor óptico **225a**. Por el contrario, la segunda rama óptica se abre en condiciones normales (porque el obturador óptico **235a** está normalmente abierto), es decir, bloquea la fracción derramada **I2a** de radiación óptica, impidiendo alcanzar el reflector **240a**.  
 30  
 35

En particular, siempre y cuando el SVL **205a** considerado no esté dañado y no conduzca la corriente, la fracción vertida de la radiación óptica **I1a** en la primera rama óptica alcanza el primer reflector **233a**, donde se refleja de vuelta como una fracción de radiación óptica reflejada de vuelta **I1ar** hacia el primer divisor óptico **223a**, que inyecta la fracción de la radiación óptica reflejada de vuelta **I1ar** en la primera fibra óptica **415'**. El obturador óptico **235a** asociado con el SVL **205a** permanece en el estado abierto, de modo que la fracción derramada de la radiación óptica **I2a** está bloqueada, y no se produce ninguna reflexión de vuelta significativa segunda en la rama óptica. La fracción de radiación óptica reflejada de vuelta **I1ar** se propaga a través de la primera fibra óptica **415'** a la unidad de monitorización central **220**, donde es recibida y detectada mediante el receptor óptico **250**.  
 40

Un ejemplo de un posible patrón de reflexión de radiación óptica (intensidad de la radiación óptica reflejada  $I$ , en dB, en las ordenadas respecto a la distancia  $L$  a lo largo de la primera fibra óptica **415'**, en kilómetros, en las abscisas) detectada por la unidad de monitorización **220** en la condición mencionada anteriormente se representa en la figura **5A** donde es visible un pico **505** en el diagrama de radiación de reflexión óptica en la primera fibra óptica **415'**, en una posición, a lo largo de la primera fibra óptica **415'**, correspondiente a la posición del SVL **205a** a lo largo del cable **100**. Por el contrario, no se detectan picos en el patrón de reflexión de radiación óptica sobre la segunda fibra óptica **415''**. Cuando se detecta este patrón de reflexión de la radiación óptica, el SVL se evalúa para funcionar correctamente, y ningún caso se produce ninguna descarga de corriente.  
 45  
 50

En el caso de que el SVL **205a** conduce una corriente, por ejemplo porque el SVL está descargando una sobretensión de la vaina metálica **140** del cable **100** (en este caso el SVL se convierte en conductor de un corto transitorio, y una ráfaga de corriente fluye a su través, a continuación, el SVL vuelve a su estado no conductor), el aumento en la temperatura del SVL debido a la corriente que fluye a su través hace que el obturador óptico **235a** conmute a la posición cerrada, y la fracción de la radiación óptica derramada **I2a** puede propagarse así a través de la segunda rama óptica y alcanza el segundo reflector **240a**; aquí, una parte no despreciable **I2ar** de la fracción  
 55

derramada de la radiación óptica se refleja de vuelta hacia el segundo divisor óptico **225a**, que inyecta la radiación óptica reflejada de vuelta en la segunda fibra óptica **415"**. Siempre que el SVL **205** no esté dañado o roto por la ráfaga de corriente que fluye a través del mismo, la primera rama óptica (en particular, la longitud de la fibra óptica envuelta alrededor del SVL **205a**) no está también dañada, y sigue permitiendo que la fracción derramada de la radiación óptica **I1a** alcance el primer reflector **233a**, donde se refleja de vuelta como una fracción de radiación óptica reflejada de vuelta **I1ar** hacia el primer divisor óptico **223a**, que inyecta la fracción de la radiación óptica reflejada de vuelta **I1ar** en la primera fibra óptica **415'**. La radiación óptica reflejada de vuelta **I1ar** y la radiación óptica reflejada de vuelta **I2ar** se propagan de nuevo a la unidad de monitorización central **220** a través de la primera y segunda fibras ópticas **415'** y **415"**, respectivamente; en la unidad de monitorización central **220**, las radiaciones ópticas reflejadas de vuelta **I1ar** y **I2ar** son recibidas y detectadas por el receptor óptico **250**.

Un ejemplo de un posible patrón de reflexión de la radiación óptica detectada por la unidad de monitorización **220** en una situación como ésta se muestra en la **figura 5B** donde, además del pico de reflexión **505** en la primera fibra óptica **415'**, es visible un pico de reflexión **510** en la segunda fibra óptica **415"**, en la posición, a lo largo de la primera fibra óptica **415'**, correspondiente a la posición del SVL **205a** a lo largo del cable **100**, pero desplazado ligeramente en comparación con el pico **505**, debido a la diferencia en las trayectorias ópticas seguidas por las dos radiaciones ópticas reflejadas de vuelta **I1ar** y **I2ar**. Cuando se detecta este patrón de reflexión de radiación óptica, es posible evaluar que el SVL está experimentando un evento de descarga.

En el caso de que el SVL **205a** se rompa, la longitud de la fibra óptica envuelta alrededor del SVL **205a** en la primera rama óptica también se rompe, y la fracción de la radiación óptica derramada **I1a** ya no alcanza el reflector **233a**; así, ninguna radiación óptica se refleja de vuelta mediante la primera rama óptica. El pico de reflexión **505** en la primera fibra óptica **415'** desaparece.

Tal como se describe anteriormente en relación con el sistema de monitorización **210** de la realización anterior, la rotura del SVL puede causar un daño de la segunda rama óptica y existen dos posibilidades.

En el caso de que la segunda rama óptica, en particular el obturador óptico **235a**, se rompa de tal manera que la reflexión de Fresnel pueda tener lugar donde la fibra óptica se ha roto, una parte no despreciable **I2ar** de la fracción de la radiación óptica derramada **I2a** se refleja de vuelta hacia el segundo divisor óptico **225a**, que inyecta la radiación óptica reflejada de vuelta **I2ar** en la segunda fibra óptica **415"**. En este caso, un pico de reflexión en la segunda fibra óptica **415"** se detecta mediante la unidad de monitorización central **220**.

Un ejemplo de un posible patrón de reflexión de la radiación óptica detectada por la unidad de monitorización **220** se representa en la **figura 5C** donde un pico de reflexión **515** en la segunda fibra óptica **415"** es visible, aproximadamente en la posición, a lo largo de la fibra óptica, donde estaba situado el pico **510** en la **figura 3B**.

Por el contrario, en el caso que se rompa la segunda rama óptica de tal manera que la reflexión de Fresnel no se produzca donde se ha roto la fibra óptica, la fracción de radiación óptica derramada **I2a** no se refleja de vuelta hacia el segundo divisor óptico **225a**, y así no se detectan picos en el patrón de reflexión de radiación óptica mediante la unidad de monitorización central **220** en la segunda fibra óptica **415"**. Un ejemplo de un posible patrón de reflexión de la radiación óptica detectada por la unidad de monitorización **220** se representa en la **figura 5D**.

En estos dos casos, la observación del patrón de reflexión de radiación óptica sobre la primera y segunda fibras ópticas **415'** y **415"** permite la evaluación de que el SVL **205a** está roto, y necesita reemplazarse.

La realización según la cual se proporcionan la primera y segunda fibras ópticas **415'** y **415"** y dichas fibras ópticas no están ópticamente acopladas entre sí en la unidad de monitorización central **220** se prefiere particularmente. De hecho, de acuerdo con esta realización específica, el sistema de monitorización puede evaluar fácilmente las condiciones operativas de los SVLs supervisados.

Sin embargo, en realizaciones alternativas de la invención, la primera y segunda fibras ópticas **415'** y **415"** pueden acoplarse ópticamente entre sí en la unidad de monitorización central **220**, de modo que se pueden utilizar una sola fuente óptica **230** y un solo receptor óptico **250**.

Dependiendo de la naturaleza del receptor óptico **250** en la unidad de monitorización central **220**, se pueden detectar diferentes características de la radiación óptica reflejada de vuelta, en particular, características intrínsecas de la radiación óptica o características impartidas a la radiación óptica reflejada de vuelta mediante el atenuador óptico y/o el reflector.

Por ejemplo, la unidad de monitorización central **220** puede comprender un aparato OTDR, que se utiliza como fuente óptica **230** y receptor óptico **250**. Como es conocido en la técnica, un aparato OTDR es un instrumento optoelectrónico que se utiliza a menudo para caracterizar las fibras ópticas. El aparato OTDR está configurado para inyectar una serie de pulsos de radiación óptica en la fibra óptica **215**, o en la primera y segunda fibras ópticas **415'** y **415"**. Los pulsos de radiación óptica se propagan a través de la fibra óptica **215**, o a través de la primera y segunda fibras ópticas **415'** y **415"**; la radiación óptica se refleja de vuelta desde los puntos en la fibra óptica donde, debido por ejemplo a la falta de homogeneidad de la fibra, el índice de refracción cambia. La intensidad de los pulsos de retorno se mide y se integra como una función del tiempo, y se traza, por ejemplo, en un dispositivo de visualización,

como una función de la longitud de la fibra.

Usando un aparato OTDR, la característica que permite determinar la posición del SVL puede ser el cambio en el tiempo de la intensidad de la radiación óptica reflejada de vuelta. En particular, con un aparato OTDR, la posición, a lo largo de la fibra óptica **215** o a lo largo de la primera y segunda fibras ópticas **415'** y **415"** (y así a lo largo del cable **100**), del SVL que experimenta un cambio del estado resulta de la posición donde aparece/desaparece un pico de reflexión en el patrón de reflexión.

Como una alternativa al aparato OTDR, que genera pulsos de radiación óptica, se puede utilizar un aparato OTDR de correlación (COTDR). Como es conocido por los expertos en la técnica, un aparato COTDR genera una serie de pulsos de radiación óptica y los correlaciona con la radiación óptica reflejada de vuelta.

Como una alternativa a la utilización de un OTDR o un COTDR, puede utilizarse un OSA, en combinación con la provisión, en la primera y segunda ramas ópticas que están asociadas con diferentes SVLs, de componentes ópticos de longitud de onda selectiva. Por ejemplo, en la primera y segunda ramas ópticas que están asociadas con una SVL, un filtro puede estar asociado con el primer y segundo reflectores, para permitir la reflexión de vuelta de la radiación óptica en una longitud de onda seleccionada, que corresponde a ese SVL. Así, la radiación óptica reflejada de vuelta procedente de diferentes SVLs se caracteriza por una longitud de onda diferente, y el OSA puede discriminarse entre los diferentes SVLs basado en la diferente longitud de onda de la radiación óptica reflejada de vuelta. El filtro puede ser rejillas de fibra óptica, diseñadas para reflejar selectivamente la radiación óptica en longitudes de onda diferentes en función del SVL, que se utilizan para formar el primer y segundo reflectores en vez de utilizar espirales de alta reflectividad.

Los atenuadores ópticos **235a**, **235b** en las segundas ramas ópticas que están asociados con los SVLs pueden ser atenuadores ópticos térmicos pasivos. En la **figura 6**, una posible realización de un atenuador óptico térmico pasivo se representa esquemáticamente, siendo un dispositivo de "campo evanescente" totalmente de fibra óptica. El dispositivo comprende una fibra óptica **605**, con un núcleo de fibra **610** rodeado mediante un revestimiento **615** que tiene un índice de refracción menor que el del núcleo **610**, excepción hecha de una porción **620**, hecha de un polímero adecuado, por ejemplo, un fotopolímero comercializado por DuPont de Nemours, que proporciona el revestimiento con un índice de refracción variable con la temperatura, y en particular, de tal manera que a temperatura ambiente (por ejemplo, 25°C), el índice de refracción es mayor que el del núcleo **610**, mientras que para temperaturas más altas el índice de refracción disminuye. La fibra **605**, en particular la porción **620** de la misma, está en acoplamiento térmico con el respectivo SVL **205a**, **205b**, por ejemplo mediante contacto físico directo. Cuando el SVL no conduce corriente, su temperatura es relativamente baja (es sustancialmente la temperatura ambiente), de manera que la porción de revestimiento **620** tiene un índice de refracción más alto que el del núcleo **610** y la fibra óptica **605** no guía por más tiempo la radiación óptica procedente del segundo divisor óptico **225a**, **225b**, que así se dispersa y no alcanza el segundo reflector **240a**, **240b**. Cuando, por el contrario, el SVL conduce corriente **625**, el calor generado por efecto Joule hace que la temperatura de la fibra óptica **605** se incremente, de manera que el índice de refracción de la porción de revestimiento polimérico **620** disminuye por debajo del núcleo **610**; la radiación óptica procedente del segundo divisor óptico **225a**, **225b**, por lo tanto, puede pasar a través del atenuador óptico **235a**, **235b** y alcanzar el segundo reflector **240a**, **240b**, donde se refleja de vuelta.

Usando el atenuador óptico térmico, un aparato OTDR o COTDR en la unidad de monitorización central **220** es capaz de identificar cuál de los SVLs conduce la corriente, o se rompe, basado en la determinación de la posición del pico en la intensidad de la radiación óptica reflejada de vuelta; utilizando un OSA, en combinación con filtros ópticos insertados en la primera y segunda ramas ópticas, el SVL se puede identificar sobre la base de la longitud de onda de la radiación óptica reflejada de vuelta. Usando un aparato OTDR o COTDR, o un OSA, también es posible "contar" el número de eventos de descarga individualmente sufridas por cada uno de los SVLs, contando el número de veces que aparece el pico de reflexión **310** ó **510**. De esta manera, es posible realizar un mantenimiento preventivo de los SVLs: cuando un SVL se aproxima al número máximo (típicamente, de ocho a diez) de las descargas que pueden sostener sin romperse, que está programado para su sustitución.

Otros tipos de atenuadores ópticos se pueden utilizar como una alternativa a los atenuadores ópticos térmicos, por ejemplo, atenuadores ópticos basados en el efecto electro-óptico o magneto-óptico, u obturadores mecánicos. Además, dos o más tipos diferentes de atenuadores ópticos se pueden combinar: por ejemplo, un atenuador óptico térmico puede utilizarse en conjunción con un atenuador óptico electro-mecánico. Más en general, se puede utilizar cualquier componente adaptado para atenuar y/o para bloquear una radiación óptica incidente, o dejar que pase a su través.

Los divisores ópticos **223a**, **223b**, **225a**, **225b** pueden tener una relación de división coincidente, o, alternativamente, cada divisor óptico puede tener una relación de división peculiar. Por ejemplo, la relación de división de los divisores ópticos cerca de la unidad de monitorización central **220** puede ser menor que la de los divisores ópticos situados lejos de la misma, de modo que se bajan los picos en la intensidad de la radiación óptica reflejada de vuelta correspondiente al dosificador de SVLs a la unidad de monitorización central **220**. Por ejemplo, el divisor óptico más alejado de la unidad de monitorización central **220** puede tener una relación de división 50/50, mientras que los otros divisores pueden tener una relación de división 20/80. En particular, la relación de división puede depender de la reflectividad de los reflectores **233a**, **233b**, **240a**, **240b**. Por ejemplo, en el caso de reflexión de Fresnel simple en un

borde de fibra óptica cortado, la relación de división (es decir, la cantidad de radiación óptica derramada) se debe aumentar, mientras que el uso de un cable flexible de alta reflectividad permite reducir la relación de división. La fracción de la radiación óptica que se derrama en cada divisor óptico puede disminuir monótonamente mientras se mueve lejos de la fuente óptica. Además, para ajustar (reducir) la intensidad de la radiación óptica que se refleja de vuelta mediante cada reflector **233a**, **233b**, **240a**, **240b**, se puede proporcionar un bucle de fibra óptica antes del reflector: cambiando el radio de curvatura del bucle de fibra, las pérdidas ópticas aumentan/disminuyen.

También es posible evaluar de forma remota la integridad del propio sistema de monitorización. En efecto, si la fibra óptica **215**, o la primera y segunda fibras ópticas **415'** y **415"**, o las fibras de las segundas ramas ópticas aguas abajo de los segundos divisores ópticos asociados con cada SVL se dañan o se rompen (un evento que no es muy improbable, sobre todo cuando las redes de distribución de energía eléctrica se colocan en túneles subterráneos compartidos por diferentes sistemas de distribución, tal como redes de teléfono, gas y similares, por lo tanto, las personas no cualificadas en este campo específico pueden tener acceso), con la consecuencia de que la operación del sistema de monitorización se ve comprometida. El uso de un aparato OTDR o COTDR en la unidad de monitorización central **220** permite evaluar la integridad de la fibra óptica y, en caso de rotura, identificar la posición de la rotura. Se señala que, en principio, este aparato OTDR o COTDR utilizado para monitorizar la integridad del sistema de monitorización puede ser distinto del receptor óptico **250** utilizado para monitorizar los elementos auxiliares de la línea de distribución de energía eléctrica, sin embargo, es conveniente utilizar el mismo instrumento para ambos propósitos. En particular, se pueden utilizar radiaciones ópticas a diferentes longitudes de onda para la monitorización de los elementos auxiliares de la línea de distribución de energía eléctrica y la integridad del propio sistema de monitorización. Por ejemplo, supongamos VOAs de campo evanescente se utilizan para la implementación de los atenuadores ópticos **235a**, **235b**. Haciendo referencia a la **figura 7** (que es un diagrama con la atenuación  $\alpha$ , unidades [dB], en las ordenadas, y la longitud de onda  $\lambda$ , unidades [nm], en las abscisas), los VOAs se comportan como un sensor de temperatura que, en una primera longitud de onda  $\lambda_1$  operativa seleccionada, por ejemplo, aproximadamente 1625 nm, permanece "cerrado" (una condición, indicada con C en el dibujo, que corresponde a una atenuación alta, mayor que un primer valor de atenuación  $\alpha_1$ ) siempre y cuando la temperatura exterior sea inferior a aproximadamente 50°C, y "abierto" (es decir, la atenuación se hace menor que un segundo valor de atenuación  $\alpha_2$  inferior al primer valor de atenuación  $\alpha_1$ ; en el dibujo, la condición abierta se indica O) cuando la temperatura externa se eleva por encima de aproximadamente 60°C. Se supone que la primera longitud de onda operativa  $\lambda_1$  se utiliza para monitorizar la condición operativa de los SVLs. La integridad del sistema de monitorización puede monitorizarse, incluso cuando el VOA está cerrado en la primera longitud de onda  $\lambda_1$ , siempre que se utilice una señal óptica a una segunda longitud de onda  $\lambda_2$ , inferior a la primera longitud de onda (por ejemplo, alrededor de 1310 nm), en la que el VOA presenta una atenuación relativamente baja, por debajo del segundo valor de atenuación  $\alpha_2$ , incluso a bajas temperaturas externas (tan bajas como 5°C, en el ejemplo mostrado en el dibujo). Así, aun cuando el VOA no permite que la radiación óptica en la primera longitud de onda pase y alcance el reflector **240a**, **240b**, la radiación óptica en la segunda longitud de onda pasa, alcanza el reflector **240a**, **240b**, se refleja de vuelta, y así el OTDR detecta los picos en la radiación óptica reflejada de vuelta en la segunda longitud de onda en las posiciones correspondientes a los elementos auxiliares, y esto proporciona una indicación de la integridad del sistema; cuando, por el contrario, uno o más de dichos picos no se detectan, esto significa que la integridad del sistema ha sido comprometido.

Aunque en la descripción anterior sólo se ha considerado un cable **100**, típicamente, en una red de distribución de energía eléctrica, se extienden tres cables en paralelo, para el transporte de las tres fases eléctricas; así, en posiciones más o menos separadas regularmente a lo largo de los cables, se proporcionan limpiadores de polvo de los tres elementos auxiliares tales como SVLs, relativamente cercanos entre sí, por ejemplo en una caja. Tres sistemas de monitorización distintos del tipo mostrado en la **figura 2** o en la **figura 4** se pueden utilizar para monitorizar los SVLs de cada uno de los tres cables. Sin embargo, también es posible utilizar un sistema de monitorización que tenga una sola unidad de monitorización central, y tres fibras ópticas, o tres pares de fibras ópticas, que se extienden a lo largo de los tres cables y se acoplan entre sí mediante un acoplador. Como una alternativa adicional, una sola fibra óptica, o un solo par de fibras ópticas, se puede utilizar, y diferentes primera y segunda ramas ópticas (es decir, diferentes divisores ópticos, atenuadores ópticos y reflectores) pueden proporcionarse para cada SVL en una agrupación, lo que permite la monitorización de los SVLs de la agrupación de forma individual. Si la distancia física de los SVLs en una agrupación (normalmente de algunos metros) no es suficiente para el aparato OTDR o COTDR a discernir, carretes de fibra de longitud diferente pueden preverse en las ramas ópticas para variar las posiciones de los picos en la intensidad de la radiación óptica reflejada de vuelta detectada por el aparato OTDR o COTDR.

Gracias a la presente invención, es posible controlar las condiciones operativas de los elementos auxiliares repartidos a lo largo de una línea de distribución de energía eléctrica, y determinar qué elemento auxiliar está experimentando un evento físico en el cable o está roto o cerca de romperse; las operaciones de mantenimiento de la red de distribución de energía eléctrica se realizan así cuando son realmente necesarias, y de una manera más eficiente, de modo que cualquier posible interrupción del servicio se reduce en el tiempo y en la frecuencia. Además, la presente invención incluso se puede utilizar para establecer un programa de mantenimiento preventivo, destinado a sustituir o restaurar los elementos auxiliares antes de que se rompan, cuando se acercan a la vida media máxima de funcionamiento.

El sistema de monitorización de la presente invención es totalmente pasivo, puede ser activado por un fenómeno

físico generado, por ejemplo, un aumento o fallo o perturbación, sin necesidad de alimentación de otra energía externa, tal como baterías o similares.

5 El carácter centralizado de la unidad de monitorización central, que se puede colocar de forma remota desde la línea de distribución de energía eléctrica, es decir, no en el campo, hace que el mantenimiento de la fuente óptica sea fácil.

La presente invención se ha descrito aquí considerando algunas realizaciones de ejemplo de la misma, sin embargo los expertos en la técnica apreciarán que son posibles varias modificaciones a las realizaciones descritas, así como diferentes realizaciones de la invención, por ejemplo con el fin de satisfacer necesidades eventuales.

10 Por ejemplo, aunque se ha hecho siempre referencia a la monitorización de SVLs, la presente invención tiene una aplicabilidad más general, y puede utilizarse para monitorizar cualquier componente auxiliar de una línea de distribución de energía eléctrica, como por ejemplo uniones de cables. Más generalmente, la presente invención se puede utilizar para monitorizar componentes de cualquier naturaleza (por ejemplo, motores eléctricos) situados en diferentes posiciones.

15 El sistema de monitorización de la presente invención puede hacer uso de cualquier tipo adecuado de fibra óptica, por ejemplo, polímero, polímero revestido, modo simple o modo múltiple. La selección de un tipo específico de fibra óptica puede realizarse por el experto en la técnica sobre la base de la aplicación específica.

20 Dependiendo de la aplicación específica y de la forma física de los componentes a monitorizar, adaptadores adecuados pueden ser concebidos para permitir la envoltura - alrededor del componente a monitorizar - de la longitud de la fibra óptica de la primera rama óptica, sin doblar excesivamente la fibra, así como para aplicar al componente el atenuador óptico en la segunda rama óptica. Un adaptador adecuado puede ser en forma de un contenedor que rodea y envuelve el componente a monitorizar, proporcionando así un asiento seguro y apropiado para la fibra óptica y los componentes de fibra óptica (por ejemplo, un atenuador óptico).

REIVINDICACIONES

1. Sistema de monitorización de una pluralidad de componentes (**205a, 205b**) distribuidos en diferentes posiciones espaciales, comprendiendo el sistema:
- al menos una trayectoria de fibra óptica (**215; 415', 415"**);
- 5
- una fuente de radiación óptica (**230**) adaptada para inyectar una radiación óptica (**I; I', I"**) en la al menos una trayectoria de fibra óptica (**215, 415", 415"**);
  - al menos una primera y al menos una segunda ramas ópticas que se ramifican de la por lo menos una trayectoria de fibra óptica (**215; 415', 415"**) y adaptado para derramar respectivas porciones (**I1a, I2a, I1b, I2b**) de dicha radiación óptica (**I, I', I"**), estando adaptadas la primera y segunda ramas ópticas para ser asociadas operativamente con un respectivo componente (**205a, 205b**) a monitorizar, en el que:
- 10
- la primera rama óptica comprende un primer reflector óptico (**233a, 233b**) y está adaptada para reflejar la porción de radiación óptica derramado (**I1a, I1b**), a menos que el respectivo componente (**205a, 205b**) se rompa, al menos parcialmente;
  - la segunda rama óptica comprende:
- 15
- por lo menos un atenuador óptico pasivo (**235a, 235b**) adaptado para acoplarse operativamente al respectivo componente (**205a, 205b**) a monitorizar, y que tiene una atenuación capaz de cambiar en respuesta a un cambio en las condiciones operativas del respectivo componente de monitorización (**205a, 205b**) cuando está acoplado operativamente al mismo, y
  - un segundo reflector óptico (**240a, 240b**);
- 20
- un receptor óptico (**250**) adaptado para detectar la radiación óptica reflejada de vuelta (**I1ar, I2ar, I1br, I2br**) reflejada por dichas primera y segunda ramas ópticas.
2. Sistema de monitorización según la reivindicación 1, en el que dicha primera rama óptica comprende una longitud de fibra óptica (**231a, 231b**) adaptada para ser unida al respectivo componente a monitorizar.
3. Sistema de monitorización según la reivindicación 2, en el que dicha longitud de fibra óptica está adaptada para ser enrollada alrededor del respectivo componente a monitorizar.
- 25
4. Sistema de monitorización según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho atenuador óptico está adaptado para ser fijado a un respectivo componente a monitorizar.
5. Sistema de monitorización según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho sistema de monitorización está adaptado para reconocer una posición de un componente de dicha pluralidad de componentes (**205a, 205b**) mediante el receptor óptico.
- 30
6. Sistema de monitorización según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichas características de la radiación óptica reflejada de vuelta comprenden una variación en el tiempo de la intensidad de la radiación óptica reflejada de vuelta, un espectro de la radiación óptica reflejada de vuelta, un retardo de propagación de la radiación óptica reflejada de vuelta para llegar al receptor óptico, un estado de polarización de la radiación óptica reflejada de vuelta.
- 35
7. Sistema de monitorización según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos componentes (**205a, 205b**) comprenden elementos auxiliares de una red de distribución de energía eléctrica (**100**), comprendiendo dichos elementos auxiliares al menos un componente seleccionado del grupo que consiste en limitadores de sobretensión, termómetros, monitores de presión.
- 40
8. Sistema de monitorización según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho atenuador óptico pasivo (**235a, 235b**) es sensible a una corriente que fluye a través del componente (**205a, 205b**) a monitorizar.
9. Sistema de monitorización según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho atenuador óptico pasivo (**235a, 235b**) está acoplado térmicamente al respectivo componente (**205a, 205b, ..., 205k**) a monitorizar.
- 45
10. Sistema de monitorización según la reivindicación 9, en el que dicho atenuador óptico pasivo (**235a, 235b**) tiene una atenuación variable con la temperatura, de tal manera que un aumento de la temperatura causado por la corriente que fluye a través del componente (**205a, 205b**) a monitorizar provoca un cambio en el valor de atenuación.
- 50
11. Sistema de monitorización según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichas respectivas



porciones (**I1a, I2a, I1b, I2b**) de dicha radiación óptica (**I, I', I''**) que son derramadas por cada primera y segunda ramas ópticas varían monótonamente a lo largo de la trayectoria de la fibra óptica.

12. Procedimiento de monitorización de una pluralidad de componentes (**205a, 205b**) distribuidos en diferentes posiciones espaciales, comprendiendo el procedimiento:

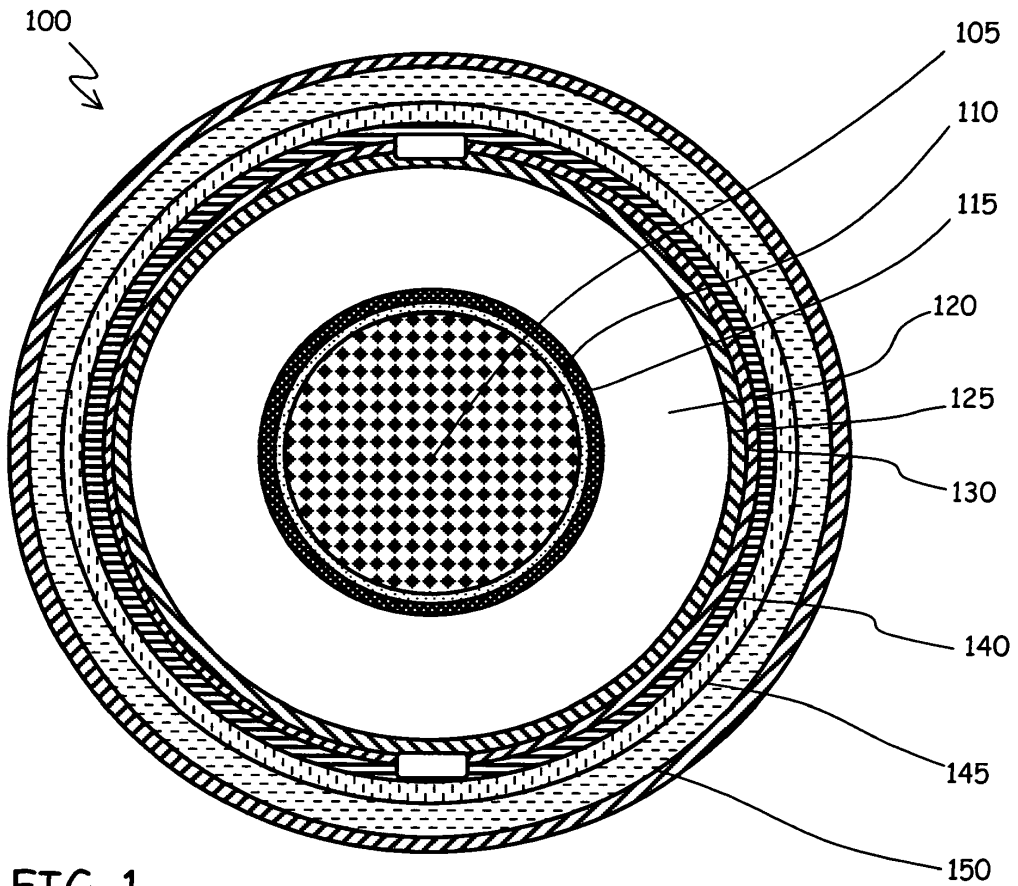
- 5                   - proporcionar al menos una trayectoria de fibra óptica (**215; 415', 415''**);
- asociar cada uno de los componentes a monitorizar con respectivos al menos una primera y segunda ramas ópticas que se ramifican desde la al menos una trayectoria de fibra óptica, adaptadas para derramar respectivas porciones (**I1a, I2a, I1b, I2b**) de una radiación óptica (**I, I', I''**) que se propagan a través de la por lo menos una trayectoria óptica, en el que la primera rama óptica está adaptada para reflejar la porción de radiación óptica derramada (**I1a, I1b**), a menos que el respectivo componente (**205a, 205b**) se rompa, al menos parcialmente;
- 10
- propagar la radiación óptica (**I, I', I''**) en la trayectoria de la fibra óptica;
- acoplar operativamente al menos un atenuador óptico pasivo (**235a, 235b**) a cada uno de los componentes a monitorizar, siendo parte el atenuador óptico pasivo de la segunda rama óptica asociada con el respectivo componente;
- 15
- en respuesta a un cambio en la condición operativa de al menos uno de los componentes a monitorizar, provocar que una radiación óptica derramada (**I2a, I2b**) que se propaga a través de la segunda rama óptica asociada con dicho componente se refleje de vuelta;
- detectar la radiación óptica reflejada de vuelta; y
- 20
- reconocer una posición de dicho al menos uno de los componentes sobre la base de una característica de la radiación óptica reflejada de vuelta detectada.

13. Procedimiento de monitorización según la reivindicación 12, en el que la etapa de asociar cada uno de los componentes a monitorizar con una respectiva al menos una primera rama óptica comprende la etapa de fijar una longitud de fibra óptica al componente a monitorizar.

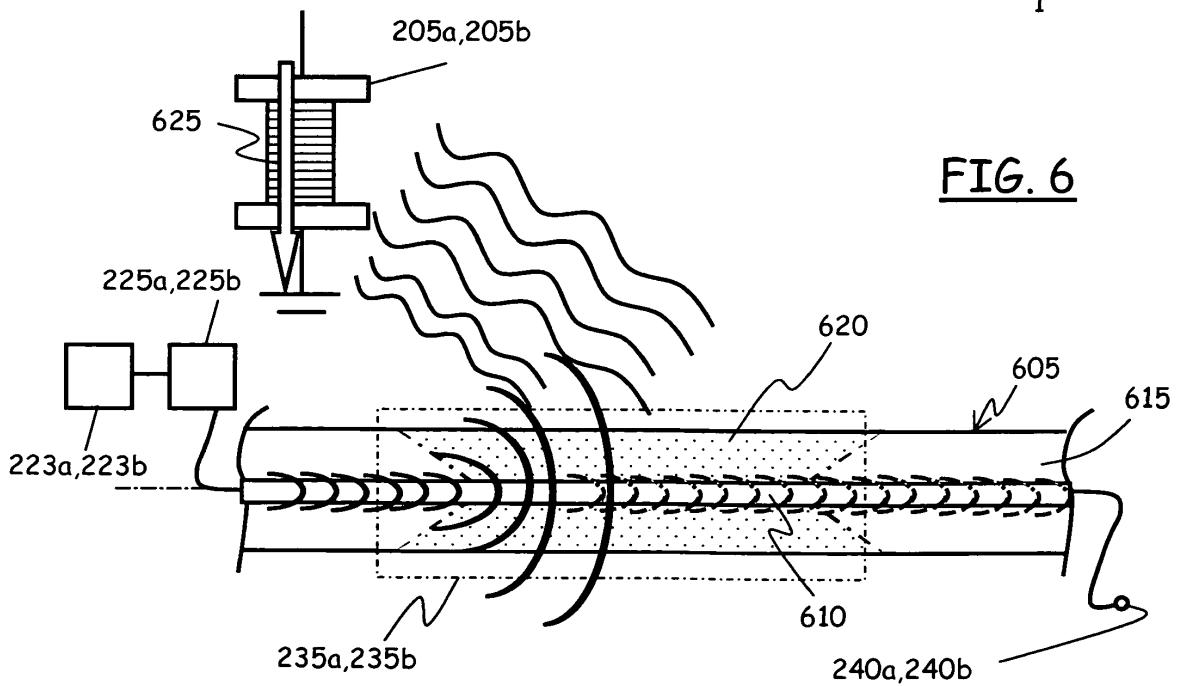
25                   14. Procedimiento de monitorización según la reivindicación 13, en el que la etapa de fijación comprende la etapa de envolver la longitud de fibra óptica alrededor del componente a monitorizar.

15. Procedimiento de monitorización según la reivindicación 12, 13 ó 14, en el que la etapa de acoplar operativamente al menos un atenuador óptico pasivo (**235a, 235b**) a cada uno de los componentes a monitorizar comprende la etapa de fijar el atenuador óptico pasivo al respectivo componente a monitorizar.

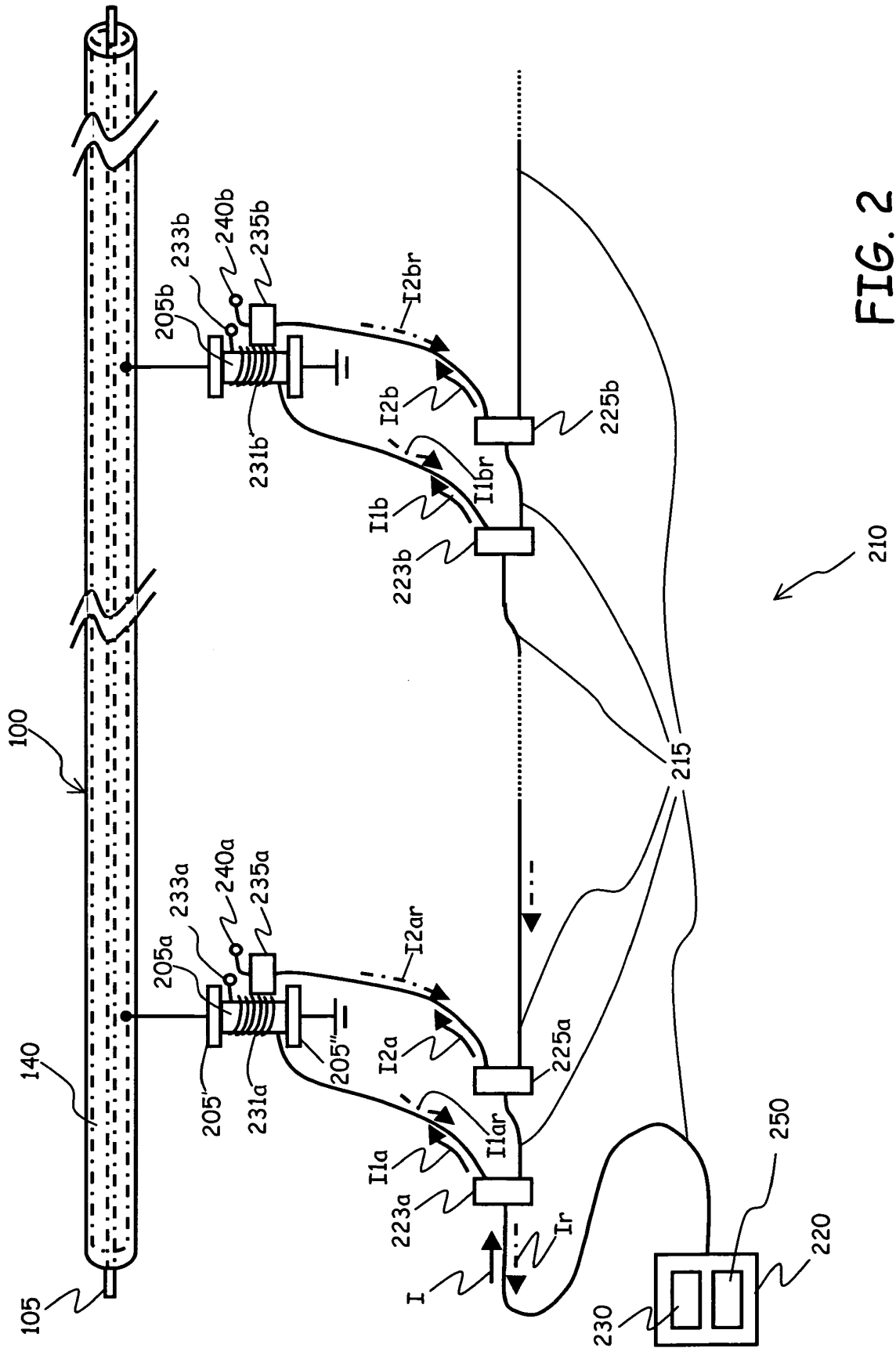
30



**FIG. 1**



**FIG. 6**



**FIG. 2**

210

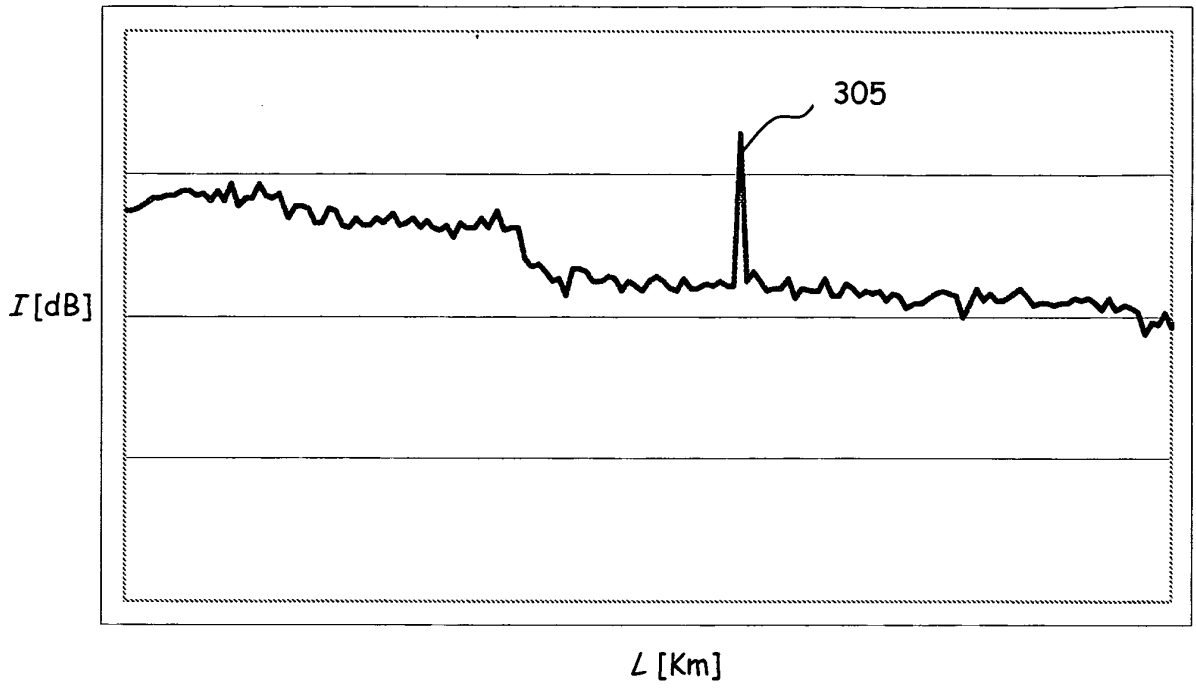


FIG. 3A

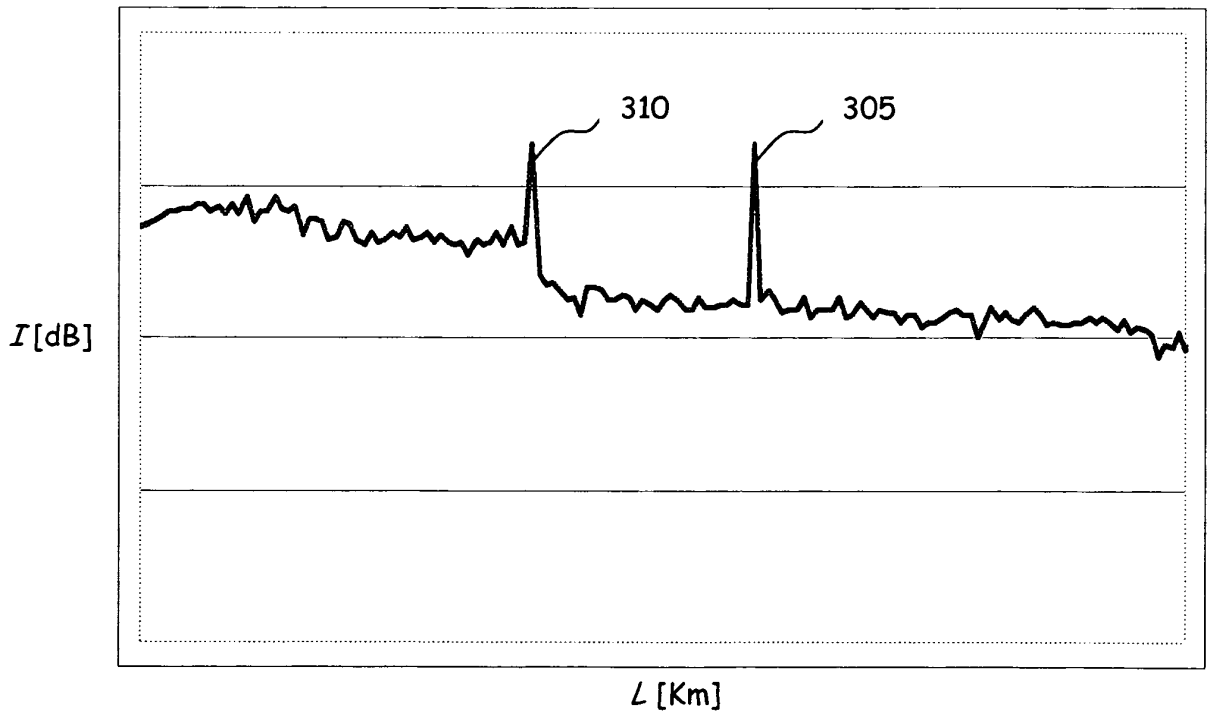


FIG. 3B

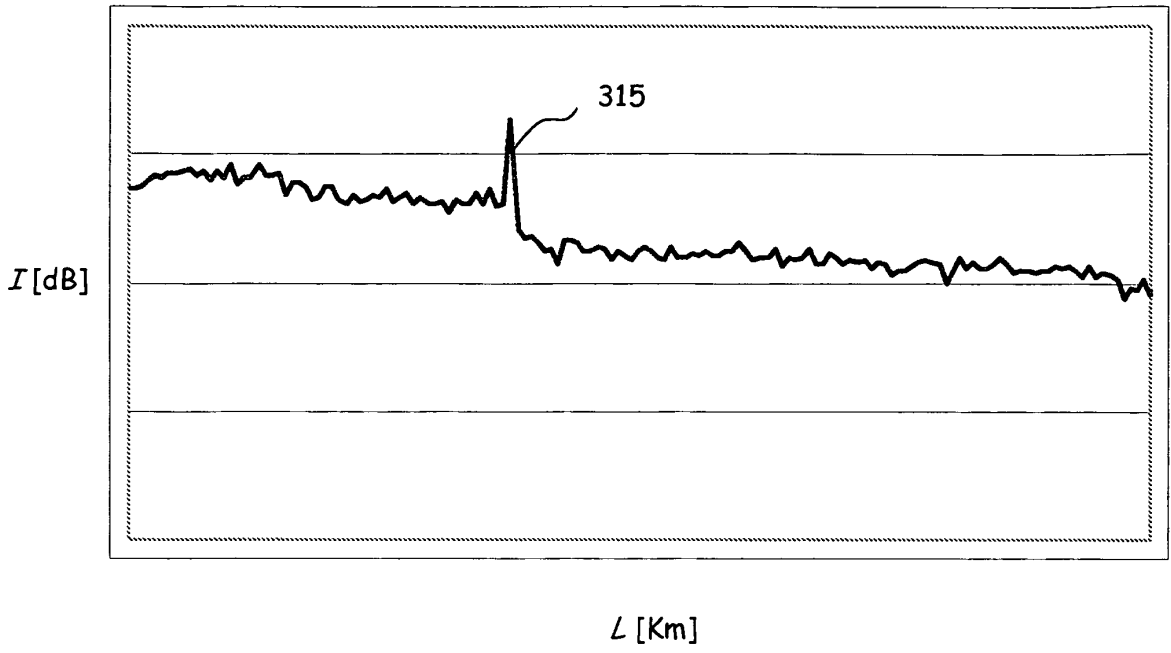


FIG. 3C

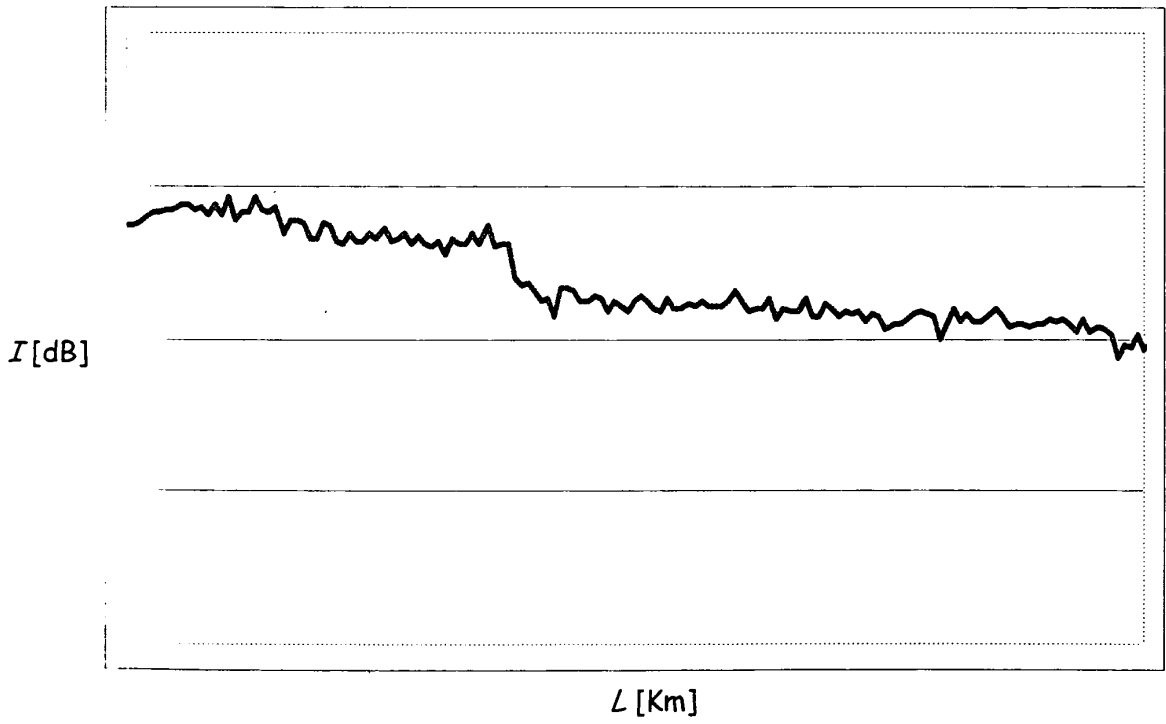
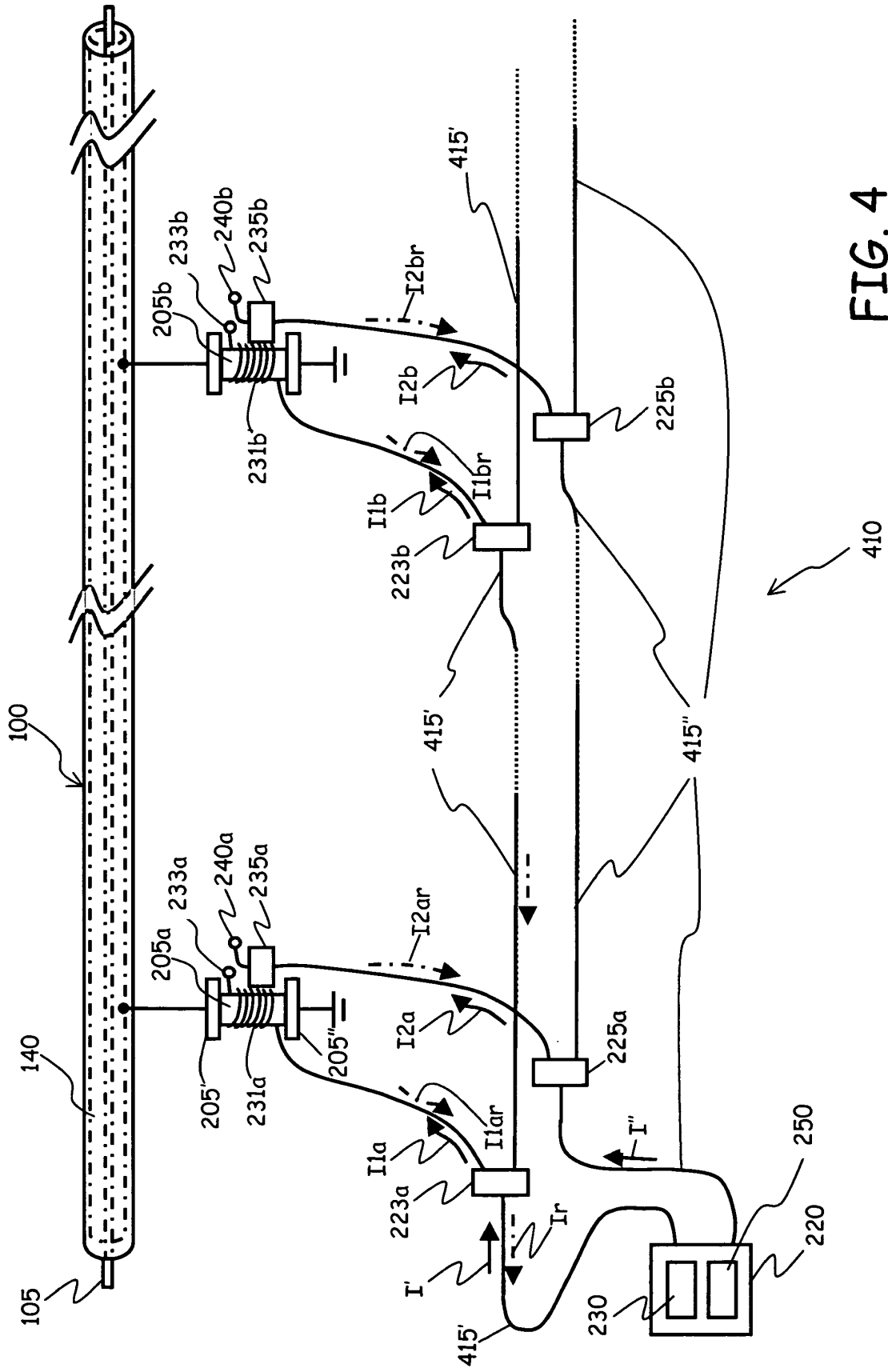


FIG. 3D



**FIG. 4**

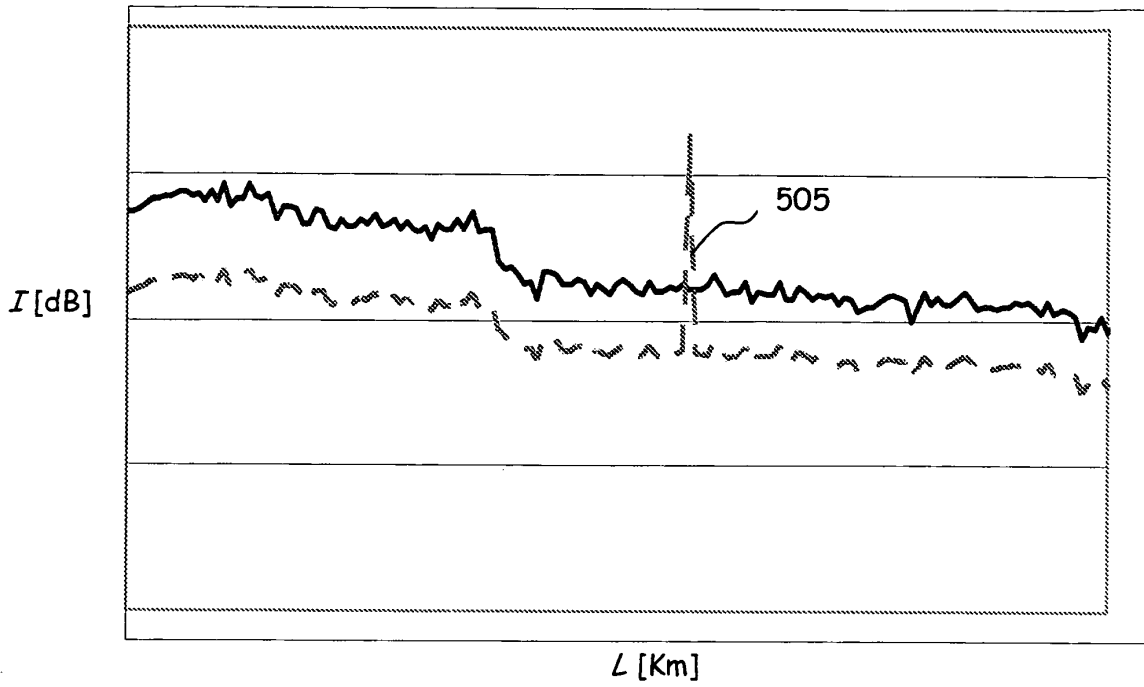


FIG. 5A

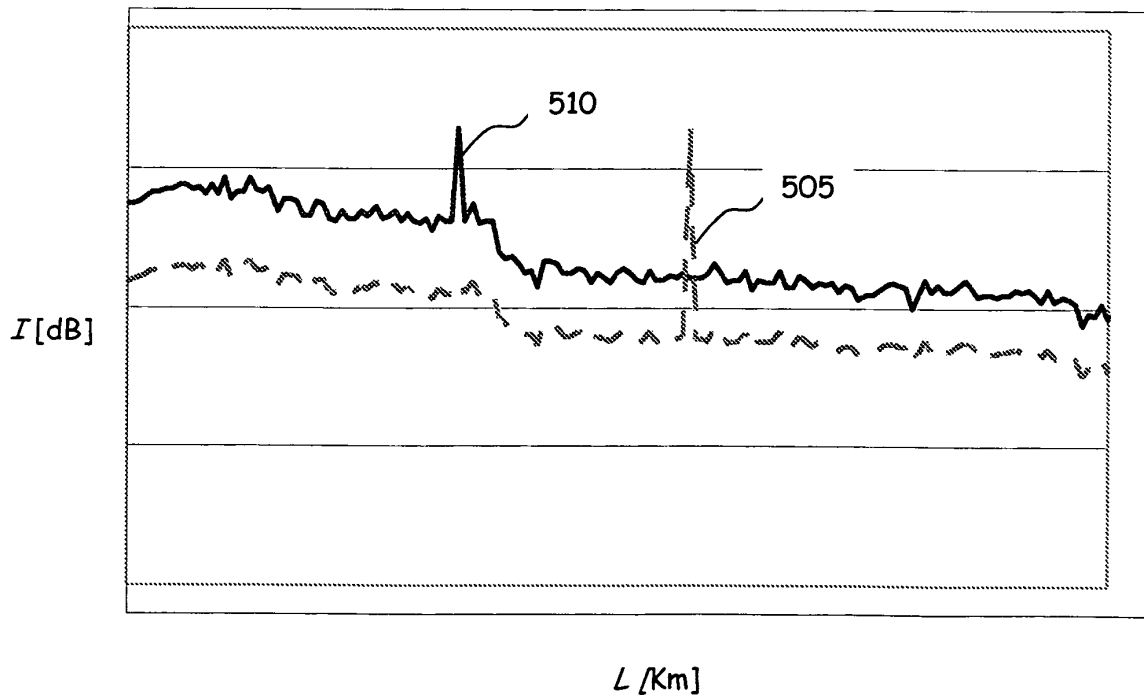


FIG. 5B

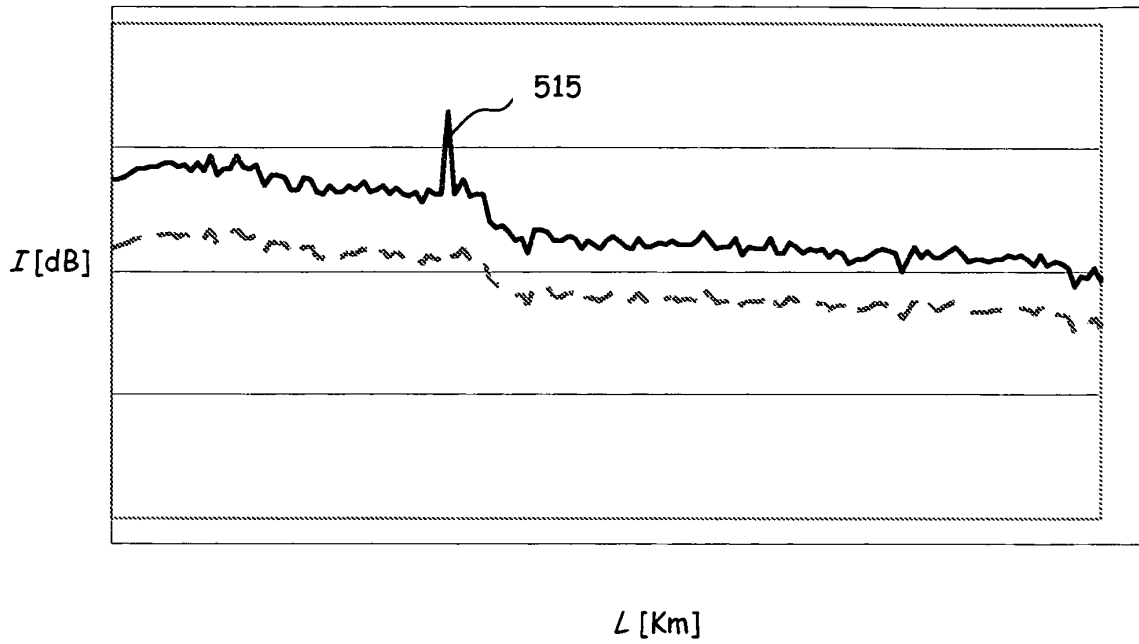


FIG. 5C

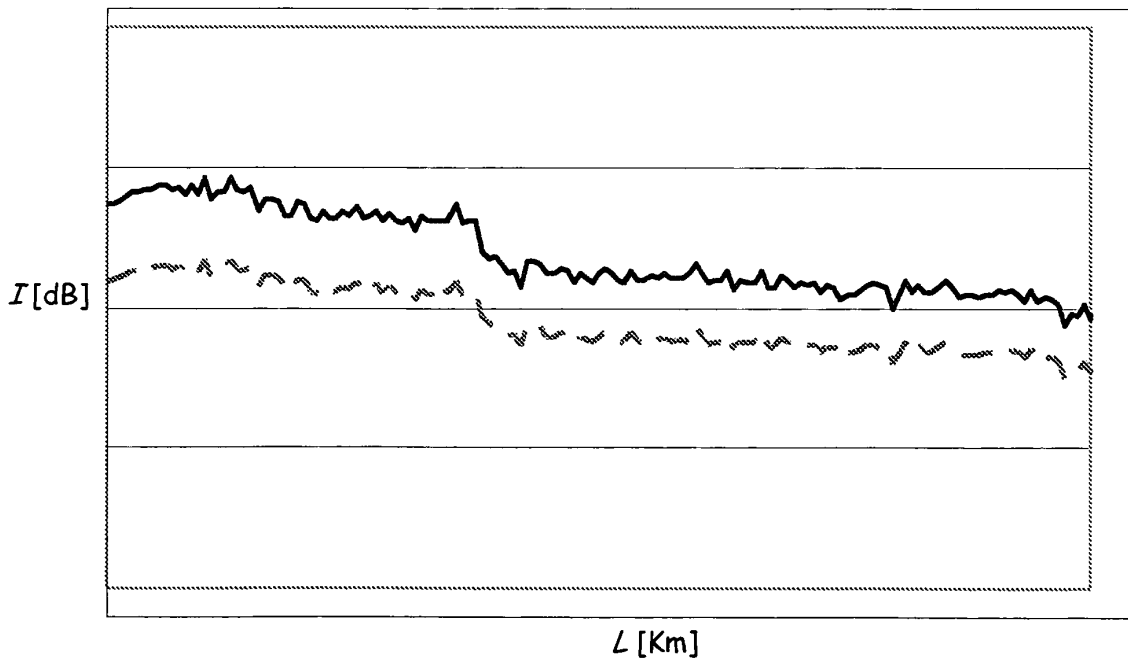


FIG. 5D



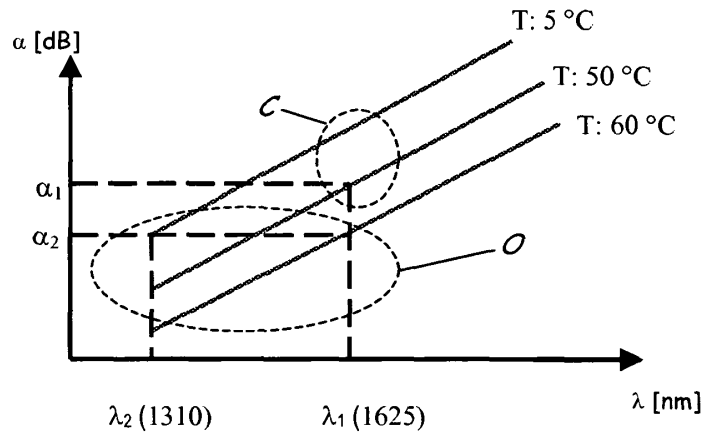


FIG. 7