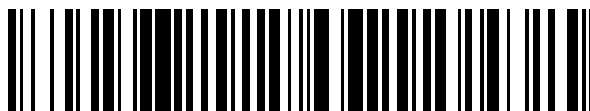


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 421 926**

51 Int. Cl.:

H02J 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.11.2006 E 06819762 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2013 EP 2090088**

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

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.09.2013

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SARCHI, DAVIDE;
GASPARI, ROBERTO;
COLETTA, GIACOMO y
VILLANI, GIOVANNI**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 421 926 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 de monitorización de 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 de monitorización de componentes de un sistema de distribución de energía eléctrica distribuidos en una pluralidad de posiciones. En particular, la invención se refiere a la monitorización, en tiempo real y mediante la explotación de fibras ópticas, del estado y la condición de los elementos "complementarios", por ejemplo elementos de protección, utilizados en sistemas de distribución de energía eléctrica para garantizar la seguridad del sistema.

10 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).

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

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

Además de cables, las redes de distribución pueden comprender una serie de diferentes elementos auxiliares que, en rigor, no juegan un papel directo en la distribución de energía eléctrica, utilizándose en su lugar para garantizar las debidas condiciones de uso y de seguridad de la línea de distribución.

20 Ejemplos de elementos auxiliares son limitadores de sobretensión transitoria (SVLs), también conocidos como disipadores de sobretensiones (SAs) o supresores de sobretensiones, sistemas de monitorización de la presión de aceite para cables llenos de aceite, termómetros para comprobar las bombas para la circulación de agua de refrigeración y la propia temperatura del agua de refrigeración.

25 La monitorización y el mantenimiento de los elementos auxiliares de un cable, en vista al entorno donde están colocados los cables, que pueden ser críticos, porque están empotrados, y/o peligrosos, como en el caso de las redes de alta tensión, pueden ser complicados, y no pueden realizarse sobre una base de tiempo frecuente. Incluso cuando los elementos auxiliares no están encerrados en cajas de protección, la monitorización de sus condiciones operativas puede implicar inspecciones largas y/o la interrupción de la distribución de la energía eléctrica.

30 Esto es, en efecto, fuertemente no deseado, porque una línea de distribución de energía eléctrica normalmente suministra un área muy grande y un número considerable de usuarios, que no están dispuestos a aceptar una interrupción del servicio.

Por tanto, existe la necesidad de idear una solución al problema de monitorizar el funcionamiento correcto de elementos auxiliares como SVLs, sistemas de monitorización de presión de aceite, termómetros, con el objetivo de poder sustituirlos tan fácilmente como sea posible cuando se rompen.

35 En la solicitud de patente japonesa publicada JP 04-092523 se describe un sensor que detecta información de contacto, para detectar la información de contacto sin la aplicación de ninguna fuerza mecánica. Se proporcionan mecanismos de protección ligeros y funcionan mediante información de contacto entre dispositivos de ramas ópticas y espejos proporcionados en múltiples áreas de una fibra óptica.

40 El solicitante observó que dichos mecanismos de protección son del tipo activo, es decir, requieren una fuente de energía externa para funcionar, en particular, en los ejemplos proporcionados, una fuente de alimentación eléctrica. No se prevé ninguna aplicación a cables de alimentación

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

45 El solicitante observa que los sensores se colocan en serie sobre una fibra óptica principal, no en su ramificación, por lo tanto, la reducción de la intensidad de 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 extremas de fibra de múltiples fibras ópticas ramificadas se insertan en aceite y la luz pulsada se introduce desde un dispositivo de medición de la reflexión como un reflectómetro de dominio de tiempo óptico (OTDR), por lo que se atenúa la reflexión de Fresnel en el extremo de la fibra y así el evento detectado.

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

- 5 La patente US 5.035.511 describe un sensor de temperatura de fibra óptica distribuido basado en la transmisión de dominio de tiempo. La luz es transmitida a través del sensor solamente una vez, y no se refleja de retorno.

Sumario de la invención

10 El solicitante se enfrentó el problema de la monitorización del cambio de una cantidad física (por ejemplo, temperatura, efecto magnético), en un conjunto de elementos auxiliares (por ejemplo, disipadores de sobretensiones) distribuidos en diferentes posiciones de una red de distribución de energía eléctrica. Los entornos críticos (por ejemplo, cables eléctricos de alta tensión y/o empotrados) implicarían el cumplimiento de una serie de requisitos:

- el sistema de monitorización debe ser pasivo;
- 15 - la posición (y, posiblemente, el momento) donde se producen cambios de cantidad física se debe identificar a distancia, sin necesidad de inspecciones directas, que a menudo son difíciles o incluso imposibles de realizar;
- el sistema de monitorización debe ser capaz de reconocer e identificar múltiples cambios de la cantidad física que se producen sustancialmente al mismo tiempo en diferentes posiciones;
- 20 - preferiblemente, el sistema de monitorización debe ser capaz de reconocer e identificar los cambios de la cantidad física, independientemente de la duración de la misma (la reacción del sistema debe ser más rápida que la duración del evento monitorizado, sin embargo, el tiempo de detección puede ser más largo que la duración del evento).

25 En la presente descripción y en las reivindicaciones, el término "pasivo" está concebido para un dispositivo o componente que no requiere una fuente de energía dedicada para realizar la función pretendida. Tal dispositivo o componente pueden ser activado mediante un fenómeno físico generado, por ejemplo, mediante un aumento (aumento transitorio repentino de la corriente o de la tensión en un circuito eléctrico) o error o fallo, sin necesidad de otros dispositivos de alimentación de energía, por ejemplo, la batería. En particular, no se necesitan energía eléctrica ni energía mecánica. En efecto, la presencia de dispositivos locales de alimentación para el dispositivo de monitorización o componente podría dar lugar a los mismos problemas y dificultades indicados anteriormente en relación a los elementos auxiliares.

30 De acuerdo con un aspecto, la presente invención se refiere a un sistema de monitorización de monitorización de elementos auxiliares de una red de distribución de energía eléctrica, que comprende:

- al menos un tramo de fibra óptica;
- al menos una rama óptica que se ramifica del tramo de fibra óptica y asociada operativamente con un elemento auxiliar respectivo, comprendiendo cada rama óptica
 - 35 - por lo menos un atenuador óptico pasivo acoplado operativamente al respectivo elemento auxiliar y que tiene una atenuación adaptada para cambiar en respuesta a un cambio en las condiciones operativas del respectivo elemento auxiliar, y
 - un reflector óptico;
- una fuente de radiación óptica adaptada para inyectar una radiación óptica en el tramo de fibra óptica; y
- un receptor óptico adaptado para detectar la radiación óptica retrorreflejada reflejada por dicho reflector óptico;

40 estando adaptado dicho sistema de monitorización para reconocer una posición de al menos uno de los elementos auxiliares en base a una característica de la radiación óptica retrorreflejada.

Preferiblemente, dicho sistema de monitorización reconoce la posición de el al menos uno de los elementos auxiliares mediante el receptor óptico.

Para el propósito de la presente descripción y de las reivindicaciones:

- 45 - por "fuente óptica" se quiere significar una fuente de radiación óptica adaptada para propagarse a través de una fibra óptica; ejemplos de fuentes ópticas son láseres y aparatos OTDR;
- por "receptor óptico" se quiere significar un dispositivo de detección de una señal óptica, convirtiéndola en una señal eléctrica, y que procesa la señal eléctrica como se requiere para su uso posterior; ejemplos de receptor óptico son fotodetectores, particularmente fotodiodos, aparatos OTDR, y analizadores de espectro óptico (OSAs);

- 5 - por "atenuador óptico" se quiere significar un dispositivo para la alteración de la intensidad de una radiación óptica transmitida a través de una fibra óptica siguiente; un caso especial de atenuador óptico es un obturador óptico, que es un dispositivo adaptado para detener o dejar pasar sustancialmente la radiación óptica; para los fines de la presente invención, tal dispositivo es activado por un fenómeno físico externo relacionado con la cantidad física cuyo cambio se monitoriza;
- 10 - por "divisor" o "acoplador direccional" se quiere significar un dispositivo de acoplamiento óptico para el acoplamiento o división de señales ópticas por separado (en una pérdida de acoplamiento conocida) en una línea de transmisión;
- por "acoplamiento" se quiere significar la transferencia de energía desde una fibra óptica a otra o una rama de la misma en un divisor;
- 15 - por "reflexión de Fresnel" se quiere significar 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 los medios de diferentes índices de refracción; para vidrio común, el coeficiente de reflexión es de aproximadamente el 4%;
- por "reflector" se quiere significar un dispositivo que envía una porción de la radiación óptica de retorno a donde vino (espejo); un ejemplo de reflector es una superficie que resulta 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 (un cable flexible es un segmento terminal de una fibra óptica que tiene un extremo libre no conectado); otro ejemplo de reflector es un rejilla de fibra;
- 20 - por "radiación óptica retrorreflejada" se quiere significar la parte de la radiación óptica que, después de haber sido reflejada por el reflector, se propaga de retorno hacia el receptor óptico; la radiación óptica retrorreflejada tiene las características que son típicas de una radiación óptica, y características que pueden ser impartidas a la radiación óptica mediante el atenuador óptico y/o el reflector; ejemplos de características de la radiación óptica retrorreflejada 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 se refleja la radiación óptica retrorreflejada al receptor óptico.
- 25 Los elementos auxiliares a monitorizar pueden incluir al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en limitadores de tensión contra sobretensiones, termómetros, monitores de presión. Preferiblemente, los elementos auxiliares son limitadores de tensión contra sobretensiones.
- 30 El atenuador óptico pasivo puede ser sensible a una corriente que fluye a través del elemento auxiliar operativamente acoplado al mismo.
- El atenuador óptico pasivo puede estar acoplado térmicamente con el respectivo componente auxiliar.
- 35 El atenuador óptico pasivo puede tener una atenuación variable con la temperatura, de tal manera que un aumento de la temperatura causado por la corriente que fluye a través del elemento auxiliar operativamente asociado con el mismo provoca un cambio en el valor de atenuación. Alternativamente, el atenuador óptico pasivo puede incluir un interruptor óptico de tipo de enganche, y el valor de la atenuación está adaptado para conmutar entre dichos primer y segundo valores de atenuación cada vez que el elemento auxiliar operativamente asociado con el mismo está implicado en una descarga.
- 40 La atenuación del atenuador óptico pasivo puede estar adaptada para conmutar repetidamente entre dichos primer y segundo valores de atenuación cuando el elemento auxiliar asociado al mismo conduce una corriente durante un periodo de tiempo prolongado.
- Preferiblemente, una fracción de la radiación óptica que se derrama por cada rama óptica varía monótonamente, disminuyendo particularmente a lo largo del tramo de fibra óptica.
- 45 De acuerdo con otro aspecto, la presente invención se refiere a un procedimiento de monitorización de elementos auxiliares de la red de distribución de energía eléctrica, que comprende:
- asociar la red de distribución de energía eléctrica con al menos un tramo de fibra óptica;
 - asociar unos elementos auxiliares a monitorizar a una respectiva rama óptica que se ramifica del tramo de fibra óptica;
 - 50 - acoplar operativamente al menos un atenuador óptico pasivo a cada uno de los elementos auxiliares, siendo el atenuador óptico pasivo parte de la rama óptica asociada con el respectivo elemento auxiliar;
 - propagar una radiación óptica en el tramo de fibra óptica;
 - en respuesta a un cambio en la condición operativa de al menos uno de los elementos auxiliares, provocar

que una radiación óptica derramada se propague a través de al menos una de las ramas ópticas que se van a reflejar de retorno;

- detectar la radiación óptica retrorreflejada; y

5 - reconocer una posición, a lo largo de la red de distribución de energía eléctrica, de dicho al menos uno de los elementos auxiliares en base a una característica de la radiación óptica retrorreflejada detectada.

Dicho atenuador óptico pasivo puede incluir un interruptor óptico de tipo de enganche, y el valor de la atenuación está adaptado para conmutar entre dichos primer y segundo valores de atenuación cada vez que el elemento auxiliar operativamente asociado con el mismo está implicado en una descarga.

10 El atenuador óptico pasivo puede tener un valor de atenuación que está adaptado para conmutar repetidamente entre dichos primer y segundo valores de atenuación cuando el elemento auxiliar asociado con el mismo conduce una corriente durante un periodo de tiempo prolongado.

Una fracción de la radiación óptica que se derrama mediante cada rama óptica puede variar monótonamente a lo largo del tramo de fibra óptica.

15 Para los fines de la presente descripción y de las reivindicaciones siguiente, salvo que se indique lo contrario, todos los números que expresan cantidades, cuantificaciones, porcentajes, etc., deben entenderse como modificadas en todos los casos por el término "aproximadamente". Además, todos los intervalos incluyen cualquier combinación de los puntos máximo y mínimo descritos e incluyen cualesquiera intervalos intermedios en el mismo, que pueden o no estar específicamente enumerados en este documento.

Breve descripción de los dibujos

20 Las características y ventajas de la presente invención se harán evidentes mediante la lectura de la siguiente descripción de algunas realizaciones de la misma, proporcionada a modo de ejemplos ilustrativos y no limitativos, descripción que se llevará a cabo haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

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

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

La **figura 3** muestra esquemáticamente el sistema de monitorización de la **figura 2** con una primera realización del receptor óptico;

30 La **figura 4** es un diagrama simplificado que muestra un patrón de radiación óptica retrorreflejada que se puede detectar mediante el receptor óptico;

Las **figuras 5A y 5B** son diagramas simplificados de dos patrones diferentes de radiaciones ópticas reflejadas de retorno que pueden detectarse mediante un receptor óptico, adaptado para identificar qué elemento auxiliar conectado detecta un cambio de la cantidad física;

35 La **figura 6** muestra esquemáticamente un atenuador óptico de acuerdo con otra realización de la presente invención, junto con una disposición de circuito para el atenuador óptico;

La **figura 7** muestra esquemáticamente una realización del atenuador óptico que puede ser utilizado en el sistema de monitorización;

40 Las **figuras 8A a 8C** son diagramas que muestran diferentes patrones de radiación óptica retrorreflejada que pueden detectarse mediante un reflectómetro de dominio de tiempo óptico (OTDR) que se utiliza como el receptor óptico del sistema de monitorización; y

La **figura 9** es un diagrama esquemático que muestra la variación de la atenuación de un atenuador óptico variable (VOA) de ejemplo que se puede utilizar como un obturador óptico del sistema de monitorización.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

45 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 el centro del mismo y moviéndose radialmente hacia el exterior, un conductor central **105**, un aglutinante **110**, hecho de una cinta semiconductor, 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**, también hecha de un polímero semiconductor, una barrera **130** al agua semiconductor, hecha por ejemplo de una cinta higroscópica

50

semiconductora, una funda metálica **140**, hecha de una lámina de metal, una camisa **145** de polietileno de alta densidad (HDPE) y, finalmente, una capa protectora **150**, típicamente semiconductora. El cable **100** se puede utilizar en aplicaciones aéreas o subterráneas.

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

10 Fenómenos como relámpagos, maniobras de encendido de la red de distribución de energía eléctrica, fallos de conexión a tierra de línea a línea, rechazo de carga, ferromresonancia, por citar unos pocos, pueden causar un aumento de la tensión en la funda metálica a valores inaceptablemente altos, por ejemplo, mayores de 1 KV. Con el fin de proteger el cable **100** de sobretensiones (incrementos) perjudiciales se utilizan elementos auxiliares, particularmente SVLs.

15 Ventajosamente, una pluralidad de SVLs están acoplados a un cable de distribución de energía eléctrica como el cable **100**, distribuyéndose aproximadamente cada 500 metros a lo largo del cable. Cada SVL tiene un primer extremo **205'** conectado eléctricamente a la funda **140** metálica del cable, y un segundo extremo **205"** conectado eléctricamente a tierra. La **figura 2** muestra esquemáticamente un segmento del cable **100**, destinado a distribuir una de las tres fases de una línea de distribución de energía eléctrica trifásica de alta tensión, asociada con una pluralidad de SVLs **205a, 205b, ..., 205k**, colocados a una distancia entre sí a lo largo del cable **100**, por ejemplo, a intervalos de aproximadamente 500 m.

20 El SVL es un elemento auxiliar que implementa una resistencia muy no lineal, y, para aplicaciones que requieren una alta disipación de potencia, al igual que en los sistemas de distribución de energía eléctrica de alta tensión, comprende una pluralidad de discos de óxido de metal en columnas entre dicho primer y segundo extremos, en el interior un alojamiento no metálico. Un ejemplo de SVL adecuado para la presente invención es MW08, comercializado por ABB.

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

30 Los SVLs son componentes fiables. Sin embargo, una descarga a través de los discos de óxido de metal provoca 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.

35 Cada SVL puede soportar así un número limitado de descargas (nominalmente y, en promedio, cada SVL puede sobrevivir sin daños aproximadamente de ocho a diez descargas de sobretensiones de conmutación típicas). En condiciones normales (es decir, cuando el LHC funciona correctamente), no fluye corriente a través del mismo, salvo durante las descargas, cuando la funda del cable experimenta sobretensiones. Sin embargo, cuando la energía acumulada descargada es suficientemente alta, se forma una trayectoria conductora a través de los discos de óxido de metal, y el SVL se rompe, volviéndose conductor y perdiendo así sus capacidades de protección.

40 Un SVL fuera de servicio 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 conjunto. En ciertos casos, el SVL roto también podría explotar y causar daños al cable y al entorno.

45 Por esta razón, los SVLs dañados o fuera de servicio deben ser sustituidos lo antes posible, y para ello debe llevarse a cabo una inspección periódica de los SVLs instalados en una línea de distribución de energía eléctrica para garantizar que estos elementos funcionan correctamente, y, cuando se detecta un SVL dañado o fuera de servicio, sustituirlo inmediatamente.

50 Desafortunadamente, los SVLs a menudo no son fácilmente accesibles, o incluso totalmente inaccesibles a las personas, debido a que se instalan normalmente en cajas de enlace de protección, que están conectadas a los (funda metálica de los) cables por medio de sub-líneas dedicadas; estas cajas generalmente se sellan y se atornillan, y los propios cables que no son fácilmente accesibles. Esto es bastante común en redes de distribución empotradas.

55 Haciendo referencia a la **figura 2**, un sistema de acuerdo con una realización de la presente invención permite monitorizar el funcionamiento de los SVLs utilizados para proteger el cable **100**. El sistema de monitorización, indicado globalmente **210**, es un sistema pasivo de base óptica, que comprende una fibra óptica **215** que, desde una unidad de control central **220**, se extiende a lo largo del cable **100**. En correspondencia con los SVLs **205a, 205b, ..., 205k**, se proporcionan divisores ópticos **225a, 225b, ..., 225k** a lo largo de la fibra óptica **215**; los divisores ópticos **225a, 225b, ..., 225k** están diseñados para derramar una fracción seleccionada **la, lb, ..., lk** de la potencia óptica **I** de una radiación óptica inyectada en la fibra óptica **215** mediante una fuente óptica **230** de la unidad de

monitorización central **220** y que se propaga a lo largo de la fibra **215**.

Cada fracción derramada **la, lb, ..., lk** de la radiación óptica se suministra a una rama óptica respectiva, que comprende un atenuador óptico **235a, 235b, ..., 235k** y, corriente abajo, un reflector **240a, 240b, ..., 240k**. En la presente realización, cuando el atenuador óptico **235a, 235b, ..., 235k** están cerrados, bloquea la radiación óptica derramada por el divisor óptico **225a, 225b, ..., 225k** asociado, impidiendo el reflejo de dicha radiación. Ventajosamente, dichos atenuadores ópticos pueden ser obturadores ópticos de baja reflexión de retorno. Un ejemplo de atenuador óptico adecuado para la presente invención es el obturador de fibra óptica en línea comercializado por Phoenix Photonics.

Cada atenuador óptico **235a, 235b, ..., 235k** está operativamente acoplado al respectivo SVL **205a, 205b, ..., 205k**, por medio de un dispositivo de acoplamiento **245a, 245b, ..., 245k** adecuado.

El dispositivo de acoplamiento **245a, 245b, ..., 245k** puede ser térmico, eléctrico, magnético o mecánico, o una combinación de los mismos.

El dispositivo de acoplamiento **245a, 245b, ..., 245k** está diseñado de tal manera que una condición operativa de los SVLs **205a, 205b, ..., 205k** a monitorizar, por ejemplo, el paso de una corriente a través del mismo, induce un cambio en el estado del atenuador óptico **235a, 235b, ..., 235k**, por ejemplo, que hace que el atenuador óptico **235a, 235b, ..., 235k** se abra, de manera que la fracción de radiación óptica **la, lb, ..., lk** derramada por el respectivo divisor óptico **225a, 225b, ..., 225k** pasa a través del atenuador óptico y alcanza el reflector **240a, 240b, ..., 240k**. Un ejemplo de dispositivo de acoplamiento adecuado para la presente invención es el acoplador de fibra óptica, configuración de 1 x 2 puertos, comercializado por FiberLogix.

El reflector **240a, 240b, ..., 240k** está diseñado para reflejar, por ejemplo, por reflexión de Fresnel, la fracción de la radiación óptica incidente **la, lb, ..., lk**. En particular, el reflector **240a, 240b, ..., 240k** puede ser una superficie de espejo, obtenida cortando una fibra óptica sustancialmente de forma ortogonal (en un ángulo de $90^\circ \pm 3^\circ$) a su eje longitudinal, y, opcionalmente, pero ventajosamente recubriendo la superficie así obtenida con un material reflectante, tal como capas dieléctricas u oro. En el caso de la presencia de un material reflectante de corte, puede tener un ángulo más oblicuo como se conoce por los expertos en la materia, por ejemplo de $90^\circ \pm 10^\circ$.

En una realización preferida, el reflector **240a, 240b, ..., 240k** puede ser parte de un cable flexible reflectante.

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

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

La fuente óptica **230** de la unidad de monitorización central **220** inyecta en la fibra **215** una radiación óptica **l**, a una longitud de onda seleccionada; la radiación óptica inyectada **l** se propaga a través de la fibra **215**, y cuando alcanza el divisor óptico **225a**, en correspondencia con el SVL **205a**, una fracción seleccionada **la** de la radiación óptica se derrama y se alimenta a la rama óptica, mientras que la parte restante de la radiación óptica continúa propagándose a lo largo de la fibra **215**. Lo mismo ocurre en cada divisor óptico **225b, ..., 225k** posterior.

Mientras un SVL **205a, 205b, ..., 205k** no conduce corriente, el atenuador óptico **235a, 235b, ..., 235k** operativamente asociado con el mismo no cambia el estado, correspondiente a la condición de baja reflexión de retorno de la radiación óptica incidente (estado cerrado, para un obturador óptico), por lo que la fracción de radiación óptica derramada **la, lb, ..., lk**, cuando alcanza el atenuador óptico **235a, 235b, ..., 235k**, se bloquea y no se realiza una reflexión de retorno significativa en el atenuador óptico **235a, 235b, ..., 235k**. Lo contrario ocurre si el atenuador óptico está en el estado de baja atenuación (abierto, para un obturador óptico).

Cuando en lugar de uno de los SVLs **205a, 205b, ..., 205k** conduce una corriente, por ejemplo, debido a que el SVL está descargando una sobre-tensión de la funda metálica **140** del cable 100 (en este caso el SVL se convierte en conductor durante un transitorio corto, y después vuelve a su estado no conductor), o porque el SVL se ha roto y hay un flujo de corriente continua, el dispositivo de acoplamiento **245a, 245b, ..., 245k** provoca un cambio en el estado del atenuador óptico **235a, 235b, ..., 235k** asociado operativamente con ese SVL, y la fracción de radiación óptica derramada **la, lb, ..., lk**, por lo tanto, se puede propagar a través del atenuador óptico **235a, 235b, ..., 235k** y alcanzar el reflector **240a, 240b, ..., 240k**, donde una parte no despreciable **lar, lbr, ..., lkr** de la fracción derramada de la radiación óptica se refleja hacia el divisor **225a, 225b, ..., 225k**, que inyecta la radiación óptica retrorreflejada en la fibra óptica **215**; la radiación óptica **lar, lbr, ..., lkr** se propaga a la unidad de monitorización central **220**, donde se recibe y se detecta mediante el receptor óptico **250**.

El receptor óptico **250**, por lo tanto, detecta un cambio en el patrón de reflexión de la radiación óptica, y el cambio detectado indica un cambio en el estado de al menos un SVL.

La fuente óptica **230** puede ser un láser.

El divisor óptico **225a, 225b, ..., 225k** puede ser un dispositivo todo de fibra hecho mediante el acoplamiento de dos fibras ópticas, siendo una de las mismas la fibra óptica **215** que continúa a lo largo del cable **205**, la otra la fibra óptica de la rama óptica local, unidas entre sí para una cierta longitud; este tipo de divisor óptico, que tiene la ventaja de ser un dispositivo todo de fibra (todas hechas de fibras ópticas), funciona también como un acoplador óptico, que vuelve a inyectar la radiación óptica retrorreflejada **Ir** en la fibra óptica **215**. Como una alternativa, se pueden utilizar divisores micro-ópticos, con lentes que derraman la radiación óptica desde la fibra **215**, y espejos parcialmente reflectores para volver a inyectar la radiación óptica retrorreflejada en la fibra.

El receptor óptico **250** puede ser un fotodetector, como un fotodiodo, un aparato OTDR, un OSA.

En general, un cambio en el estado del atenuador óptico **235a, 235b, ..., 235k**, por ejemplo, para un obturador óptico, un cambio desde un estado cerrado al estado abierto, permite que el receptor óptico determine que uno de los SVLs **205a, 205b, ..., 205k** lleve una corriente, en base a la radiación óptica retrorreflejada.

Dependiendo del receptor óptico, diferentes características de la radiación óptica retrorreflejada se pueden detectar, particularmente, características intrínsecas de la radiación óptica o unas características impartidas a la radiación óptica retrorreflejada mediante el atenuador óptico y/o el reflector.

Por ejemplo, utilizando un aparato OTDR, la característica que permite determinar la posición del SVL es el cambio en el tiempo de la intensidad de la radiación óptica retrorreflejada. En particular, como se describe en mayor detalle a continuación, con un aparato OTDR, la posición del SVL donde la corriente ha fluido resulta en la posición de un pico de reflexión en el patrón de reflexión.

Usando un fotodiodo, se puede determinar la posición del SVL explotando una característica impartida a la radiación óptica retrorreflejada mediante el atenuador óptico, por ejemplo, una frecuencia de una conmutación periódica de la intensidad de la radiación óptica retrorreflejada entre dos (o más) valores. Usando un OSA, la posición del SVL se puede determinar explotando una característica que se imparte a la radiación óptica retrorreflejada mediante el reflector, usando un reflector de longitud de onda selectiva, como una rejilla de fibra.

En una realización representada esquemáticamente en la **figura 3**, el receptor óptico **250** incluye un fotodetector, como un fotodiodo acoplado ópticamente a la fibra óptica **215** a través de un circulador óptico **305** u otro componente adecuado, como un acoplador; el fotodiodo **250** genera, mediante conversión opto-eléctrica, señales eléctricas que son procesadas por una unidad **310** de procesamiento de señal electrónica. En una fibra óptica, la falta de homogeneidad del vidrio produce una cierta cantidad de reflexión de retorno cuando se propaga la radiación óptica inyectada **I**; el fotodiodo **250** detecta toda la radiación óptica **Ir** generada por la reflexión de retorno de la radiación óptica inyectada **I** mientras esta última se propaga a lo largo de la fibra **215**, y esta radiación óptica retrorreflejada, que no se deriva de la reflexión mediante los reflectores **240a, 240b, ..., 240k**, forma un fondo sustancialmente estacionario. Cuando uno de los atenuadores ópticos **235a, 235b, ..., 235k** cambia de estado, pasando a un estado de baja atenuación, se detecta un aumento respecto al fondo estacionario de la intensidad de la radiación óptica retrorreflejada mediante el fotodiodo, debido a la reflexión de retorno de la radiación óptica **Iar, Ibr, ..., Ikr** mediante uno de los reflectores **240a, 240b, ..., 240k** (**figura 4**).

En una realización de la presente invención, los circuitos de acoplamiento **245a, 245b, ..., 245k** y los atenuadores ópticos **235a, 235b, ..., 235k** son tales que, como consecuencia de la conducción de la corriente detectada mediante el SVL respectivo, el atenuador óptico **235a, 235b, ..., 235k** conmuta repetidamente entre un estado de baja y un estado de alta atenuación (en el caso de ejemplo de un obturador óptico, conmuta repetidamente entre los estados abierto y cerrado); siempre que tal conmutación repetida se produzca con un patrón de tiempo, por ejemplo, un período de tiempo particular, diferente para cada uno de los atenuadores ópticos **235a, 235b, ..., 235k**, a continuación, un fotodetector en la unidad de monitorización central **220** es capaz, además de detectar el pico en la radiación óptica retrorreflejada por encima del fondo constante, determinar cuál de los SVLs está conduciendo corriente, en base a la frecuencia de conmutación de los picos en la radiación óptica retrorreflejada.

Esta situación se representa esquemáticamente en la **figura 3** en relación con las **figuras 5A y 5B**. El atenuador óptico **235a**, asociado con el SVL **205a**, está diseñado de tal manera que, cuando el SVL **205a** conduce corriente, el obturador **235a** conmuta repetidamente entre un estado de baja atenuación y un estado de alta atenuación, por ejemplo, abierto y cerrado en caso de un obturador óptico, con una frecuencia peculiar **fa**, mientras que el atenuador óptico **235b** asociado con el SVL **205b**, está diseñado de tal manera que, cuando el SVL **205b** conduce corriente, el atenuador óptico **235b** conmuta repetidamente abierto y cerrado con una frecuencia peculiar **fb**; por lo tanto, las señales detectadas por el fotodiodo **250** es una forma de onda que tiene frecuencia **fa**, como en la **figura 5A**, o frecuencia **fb**, como en la **figura 5B**. La unidad de procesamiento de señal **310**, por lo tanto, puede identificar qué SVL está implicado, porque hay una correlación entre los SVLs y la frecuencia de la señal detectada. En caso de un flujo de corriente simultáneo a través de dos o más SVLs, los SVLs pueden identificarse por medio de análisis de Fourier, que revela el contenido de frecuencia de la señal global.

Una manera de lograr el resultado anterior es que, después de la reducción adecuada de tensión y de corriente, la corriente que fluye a través del SVL acciona un relé de retardo de tiempo, en el que la tasa de repetición de pulsos

se puede ajustar individualmente para cada elemento a monitorizar; el tren de pulsos luego se utiliza para activar y desactivar el atenuador óptico.

En la **figura 6** se muestra esquemáticamente una disposición adaptada para producir la alternancia de los estados abierto-cerrado. Un transformador amperométrico **605** está conectado en derivación a la trayectoria de descarga que descarga las sobre-tensiones experimentadas por la funda metálica **140** del cable **100**. El transformador amperométrico **605** está acoplado a un bloque **610** de almacenamiento de carga eléctrica que comprende uno o más condensadores y un estabilizador de tensión. El bloque **610** produce una tensión de excitación para un circuito temporizador **615**, en particular un oscilador a largo plazo que acciona un relé **620** paso a paso; el relé **620** ordena el cambio de estado de un conmutador óptico **625** electromecánico de tipo enganche.

Cuando el SVL se rompe (o cuando la funda metálica **140** del cable **100** experimenta una sobre-tensión durante mucho tiempo), una corriente fluye a través del mismo; el transformador amperométrico **605** genera una tensión que carga el condensador (y se estabiliza) en el bloque **610**. La tensión alimenta el temporizador a largo plazo **615**, que genera una señal de tensión de conmutación (la tensión conmuta repetidamente de alta y baja), con un período de tiempo preestablecido, que el relé paso a paso **620** es capaz de discriminar, alimentando las bobinas del conmutador óptico electromecánico **625** con tensiones en forma alterna, produciendo de este modo una conmutación abierta y cerrada del atenuador óptico.

La disposición de la **figura 6** también se puede utilizar para la detección de descargas rápidas. En este caso, la corriente fluye a través del SVL durante sólo un corto transitorio; el transformador amperométrico **605** genera una tensión que carga el condensador (y se estabiliza) en el bloque **610**; la tensión generada, por lo tanto, alimenta el temporizador **615**, hace que este último genere un pulso de tensión de una sola vez, que se alimenta al relé paso a paso **620**; este último hace que el conmutador óptico **625** cambie su estado (así el atenuador óptico conmuta, por ejemplo, de cerrado a abierto). Al ser el conmutador óptico del tipo de enganche, permanece en el estado alcanzado, incluso después de que la descarga se termine y la tensión generada por el transformador amperométrico **605** desaparece. En este caso, cada vez que uno de los SVLs se convierte en conductor para la descarga de una sobre-tensión de la funda metálica **140** (por ejemplo, debido a un rayo), el atenuador óptico asociado cambia de estado, de cerrado a abierto, o de abierto a cerrado, y en consecuencia la fracción de luz derramada sigue siendo retrorreflejada o detenida hasta la próxima descarga.

En la **figura 7** se representa esquemáticamente una posible realización de atenuador óptico térmico pasivo, siendo un dispositivo de "campo evanescente" totalmente de fibra. El dispositivo comprende una fibra óptica **705**, con un núcleo **710** de la fibra rodeado por un revestimiento **715** que tiene un índice de refracción más bajo que el del núcleo **710**, excepción hecha de una porción **720**, hecha de un polímero adecuado, por ejemplo, un fotopolímero comercializado por DuPont de Nemours, que proporciona al revestimiento un índice de refracción variable con la temperatura, y en particular, de una manera tal que, a temperatura ambiente (por ejemplo, 25°C), el índice de refracción es mayor que el del núcleo **710**, mientras que para temperaturas más altas disminuye el índice de refracción. La fibra **705**, en particular la porción **720** de la misma, está en acoplamiento térmico con el respectivo SVL **205a, 205b, ..., 205k**, por ejemplo, mediante contacto físico directo. Cuando el SVL no conduce la corriente, su temperatura es relativamente baja (está sustancialmente a temperatura ambiente), por lo que la porción de revestimiento **720** tiene un índice de refracción más alto que el del núcleo **710** y la fibra óptica **705** ya no guía la radiación óptica procedente del divisor óptico **225a, 225b, ..., 225k**, que se dispersa así y no llega al reflector **240a, 240b, ..., 240k**. Cuando por el contrario el SVL conduce una corriente **725**, el calor generado por efecto Joule provoca que la temperatura de la fibra óptica **705** aumente, de modo que el índice de refracción de la porción **720** de revestimiento polimérico disminuye por debajo que el del núcleo **710**; la radiación óptica procedente del divisor óptico **225a, 225b, ..., 225k** puede pasar a través del atenuador óptico y llegar al reflector **240a, 240b, ..., 240k**, en el que se refleja de retorno.

El atenuador óptico térmico de la **figura 7** se puede utilizar en combinación con un aparato OTDR, que se utiliza como fuente óptica **230** y como receptor óptico **250**. Como se conoce en la técnica, un aparato OTDR es un instrumento optoelectrónico que a menudo se utiliza para caracterizar las fibras ópticas. El aparato OTDR está configurado para inyectar una serie de pulsos de radiación óptica en la fibra óptica **215**. Los pulsos de radiación óptica se propagan a lo largo de la fibra óptica **215**; la radiación óptica **l** se refleja de retorno desde puntos en la fibra 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 representa gráficamente, por ejemplo, en un dispositivo de visualización, como una función de la longitud de la fibra. El diagrama de la **figura 8A** muestra una curva **805** de ejemplo de la intensidad de la radiación óptica retrorreflejada **I_r** (en las ordenadas, unidades [dB]) como una función de la distancia a lo largo de la fibra óptica **215** (en las abscisas, las unidades [Km]); la intensidad disminuye sustancialmente de manera homogénea, separándose de las posiciones en las que existen los divisores ópticos **225a, 225b, ..., 225k**: las disminuciones de la intensidad gradualmente **810a, 810b, 810c, 810d, 810e** son visibles en posiciones que corresponden a donde los divisores ópticos se colocan a lo largo del cable.

Aunque el ejemplo de la **figura 8A** se refiere a un caso en el que todos los atenuadores ópticos están en el estado de alta atenuación (cerrado, en caso de obturadores ópticos), de manera que no hay reflexión de retorno de la radiación óptica derramada (la única radiación óptica retrorreflejada es debida a la intrínseca falta de homogeneidad de la fibra óptica **215**), en las **figuras 8B** y **8C** se muestran diferentes casos en los que uno o más de los

atenuadores ópticos están en el estado de baja atenuación (abiertos, en caso de obturadores ópticos), y la radiación óptica es retrorreflejada mediante los reflectores **240a**, **240b**, ..., **240k**. En particular, en la curva **805b** de la **figura 8B** un pico **815c** en la intensidad de la radiación óptica retrorreflejada **Ir** es visible en la posición correspondiente al tercer divisor óptico. En la curva **805c** de la **figura 8C** dos picos **815b** y **815d** en la intensidad de la radiación óptica retrorreflejada **Ir** son visibles en las posiciones correspondientes al segundo y cuarto divisores ópticos. En base a las posiciones del pico o picos detectados en la intensidad de la radiación óptica retrorreflejada, por lo tanto es posible determinar qué SVL está involucrado.

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 materia, un aparato COTDR genera una serie de pulsos de radiación óptica y los correlaciona con la radiación óptica retrorreflejada.

Los aparatos OTDR o COTDR se pueden usar en combinación con cualquiera de los tipos de atenuadores ópticos descritos anteriormente.

Usando el atenuador óptico térmico, el aparato OTDR o COTDR es capaz de identificar cuál de los SVLs conduce corriente, en base a la determinación de la posición del pico en la intensidad de la radiación óptica retrorreflejada. El uso de un aparato OTDR o COTDR y la disposición de la **figura 5** también es posible para "contar" el número de eventos de descarga sufridos individualmente por cada uno de los SVLs, contando el número de veces que el obturador óptico asociado cambia de estado (de cerrado a abierto o viceversa).

De esta manera, es posible realizar un mantenimiento preventivo de los SVLs: cuando un SVL genérico se acerca al número máximo (típicamente de ocho a diez) de las descargas que puede soportar sin romperse, se sustituye.

La relación de división de los diferentes divisores ópticos **225a**, **225b**, ..., **225k** puede coincidir, 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 lejos de la misma, de modo que los picos en la intensidad de la radiación óptica retrorreflejada correspondiente a los SVLs más cerca de la unidad de monitorización central **220** disminuyen. Por ejemplo, el divisor óptico más alejado de la unidad de monitorización central **220** puede tener una relación de división 50/50, mientras que otros divisores pueden tener una relación de división de 20/80. En particular, la relación de división puede depender de la reflectividad del reflector **240a**, **240b**, ..., **240k**: por ejemplo, en caso de reflexión de Fresnel simple en un borde de fibra óptica cortada, 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 la reducción de la relación de división. La fracción de la radiación óptica que se derrama en cada divisor óptico puede disminuir de manera monótona a medida que uno se aleja de la fuente óptica. Además, para ajustar (reducir) la intensidad de la radiación óptica que se refleja de retorno mediante cada reflector **240a**, **240b**, ..., **240k**, se puede proporcionar un bucle de fibra óptica, que se representa esquemáticamente en la **figura 2** y se indica **255** en la misma, entre el obturador óptico **235a**, **235b**, ..., **235k** y el reflector **240a**, **240b**, ..., **240k**: cambiando el radio de curvatura del bucle de fibra **255**, las pérdidas ópticas aumentan/disminuyen.

Como una alternativa a la utilización de un cable flexible de alta reflectividad, el reflector **240a**, **240b**, ..., **240k** puede realizarse mediante rejillas de fibra óptica, diseñadas para reflejar selectivamente la radiación óptica a diferentes longitudes de onda dependiendo del SVL, y, en la unidad de monitorización central **220**, se puede emplear un OSA para discriminar la longitud de onda de la radiación óptica retrorreflejada, y por lo tanto, para localizar el SVL.

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

La presente invención también se refiere a evaluar a distancia la integridad del sistema de monitorización. En efecto, si la fibra óptica **215** o las fibras ópticas en las ramas corriente abajo los divisores ópticos se dañan o se rompen (un evento que no es muy improbable, especialmente cuando las redes de distribución de energía eléctrica se colocan en túneles subterráneos compartidos por diferentes sistemas de distribución, como las redes telefónicas, de gas y similares, así las personas no calificadas en este campo específico pueden tener acceso), con la consecuencia de que el funcionamiento del sistema de monitorización se ve comprometido. El uso de un aparato OTDR o COTDR permite la evaluación de 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 controlar 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 preferible utilizar el mismo instrumento para ambos propósitos. En particular, las radiaciones ópticas a diferentes longitudes de onda se pueden utilizar para la monitorización de los elementos auxiliares y de la integridad del sistema de monitorización. Por ejemplo, se hace referencia a la **figura 9** (que es un diagrama con la atenuación α , unidades [dB], en las ordenadas, y la longitud de onda λ , unidades [nm], en las abscisas), supongamos que se utilizan VOAs de campo evanescente para la implementación de los atenuadores ópticos **235a**, **235b**, ..., **235k**. Los VOA se comportan como un sensor de

temperatura que, en una primera longitud de onda λ_1 operativa seleccionada, por ejemplo, aproximadamente 1625 nm, permanece "cerrado" (una condición, que se indica C en el dibujo, que corresponde a una alta atenuación, mayor que un primer valor de atenuación α_1), siempre y cuando la temperatura externa esté por debajo de aproximadamente 50°C, y "se abre" (es decir, su atenuación se hace menor que un segundo valor de atenuación α_2 menor que el primer valor de atenuación α_1 ; en el dibujo la condición abierta se indica O) cuando la temperatura externa se eleva por encima de aproximadamente 60°C. Supóngase que se utiliza la primera longitud de onda λ_1 operativa para monitorizar la condición operativa de los SVLs. La integridad del sistema de monitorización se puede controlar, incluso cuando el VOA está cerrado en la primera longitud de onda λ_1 , siempre que se utilice una señal óptica en una segunda longitud de onda λ_2 , inferior a la primera longitud de onda (por ejemplo, aproximadamente 1310 nm), en la que el VOA exhibe una atenuación relativamente baja, por debajo del segundo valor de atenuación α_2 , incluso a bajas temperaturas externas bajas (tan bajas como 5°C, en el ejemplo mostrado en el dibujo). Por lo tanto, incluso cuando el VOA no permite que la radiación óptica a la primera longitud de onda pase y alcance el reflector **240a**, **240b**, ..., **240k**, la radiación óptica en la segunda longitud de onda pasa, alcanza el reflector **240a**, **240b**, ..., **240k**, se refleja de retorno, y así el OTDR detecta picos en la radiación óptica retrorreflejada a la segunda longitud de onda en posiciones correspondientes a los elementos auxiliares, y esto proporciona una indicación de la integridad del sistema; cuando en lugar de uno o más de dichos picos no se detectan, esto significa que la integridad del sistema se ha visto comprometida.

Típicamente, en una red de distribución de energía eléctrica, tres cables se extienden en paralelo, para el transporte de las tres fases eléctricas, por lo que, en lugares más o menos separados regularmente a lo largo de los cables, se proporcionan grupos de elementos auxiliares tales como los SVLs, relativamente cerca entre sí, por ejemplo, encerrados en una caja. Tres sistemas de monitorización del tipo mostrado en la **figura 2** en principio podrían utilizarse para monitorizar el SVL de cada uno de los tres cables; sin embargo, es posible utilizar un único sistema de monitorización, con una sola unidad de monitorización central **220** y una sola fibra óptica **215** a lo largo de la línea de distribución de energía eléctrica. Una rama óptica común con un divisor óptico **225a**, **225b**, ..., **225k**, un atenuador óptico **235a**, **235b**, ..., **235k** y un reflector **240a**, **240b**, ..., **240k** pueden estar asociados a cada grupo de SVLs, de tal manera que el obturador óptico es sensible a la condición operativa de cualquiera de los tres SVLs de la agrupación. De esta manera, sin embargo, no es posible discernir qué SVL en una agrupación sufrió una descarga o está roto. Como una alternativa, se puede utilizar una única unidad de monitorización central, y las tres fibras ópticas que se extienden a lo largo de los tres cables se pueden acoplar entre sí mediante un acoplador. Como otra alternativa, se puede utilizar una única fibra óptica, y diferentes ramas ópticas (es decir, diferentes divisores ópticos, atenuadores ópticos y reflectores) se pueden proporcionar 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 de una agrupación (normalmente de unos metros) no sea suficiente para que el aparato OTDR o COTDR discerna, se pueden proporcionar bobinas de fibra de diferente longitud en las ramas ópticas para variar las posiciones de los picos en la intensidad de la radiación óptica retrorreflejada detectada por el aparato OTDR o COTDR.

Gracias a la presente invención, es posible monitorizar la condición operativa de los elementos auxiliares repartidos a lo largo de una línea de distribución de energía eléctrica, e identificar qué elemento auxiliar está detectando un evento físico en el cable o si está roto o cerca de romperse; la operación de mantenimiento de la red de distribución de energía eléctrica se realiza, por lo tanto, cuando es realmente necesaria, y de una manera más eficiente, por lo 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 reemplazar o restaurar los elementos auxiliares antes de que se rompan, cuando se acercan a la vida útil promedio máxima.

El sistema de monitorización de la presente invención es completamente pasivo, puede ser activado mediante un fenómeno físico generado por, por ejemplo, un aumento o error o fallo, sin necesidad de otra alimentación de energía externa, tal como baterías o similares.

El carácter centralizado de la unidad de monitorización central, que puede colocarse de forma remota de 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 ha sido descrita aquí teniendo en cuenta algunas realizaciones de ejemplo de la misma, sin embargo los expertos en la materia apreciarán que son posibles varias modificaciones a las realizaciones descritas, así como diferentes realizaciones de la invención, por ejemplo para satisfacer necesidades contingentes.

Por ejemplo, aunque se ha hecho siempre referencia a la monitorización de SVLs, la presente invención tiene una aplicabilidad más general, y se puede utilizar para controlar cualquier componente auxiliar de una línea de distribución de energía eléctrica, como por ejemplo uniones de cables.

El sistema de monitorización de la invención puede hacer uso de cualquier tipo adecuado de fibra óptica, por ejemplo, de polímero, de polímero revestido, de un solo modo o de múltiples modos. La selección de un tipo específico de fibra óptica puede realizarse por el experto en la materia en base a la aplicación específica.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de monitorización de elementos auxiliares (**205a, 205b, ..., 205k**) de una red de distribución de energía eléctrica (**100**), que comprende:
- al menos un tramo de fibra óptica (**215**);
 - 5 - al menos una rama óptica de ramificación del tramo de fibra óptica (**215**), asociada operativamente con un respectivo elemento auxiliar (**205a, 205b, ..., 205k**), comprendiendo cada rama óptica:
 - por lo menos un atenuador óptico pasivo (**235a, 235b, ..., 235k**) acoplado operativamente al respectivo elemento auxiliar (**205a, 205b, ..., 205k**), y que tiene una atenuación adaptada para cambiar en respuesta a un cambio en las condiciones operativas del respectivo elemento auxiliar
 - 10 (**205a, 205b, ..., 205k**),y
 - un reflector óptico (**240a, 240b, ..., 240k**);
 - una fuente de radiación óptica (**230**) adaptada para inyectar una radiación óptica (**I**) en el tramo de fibra óptica (**215**); y
 - un receptor óptico (**250, 310**) adaptado para detectar radiación óptica retrorreflejada (**Ia, Ib, ..., Ik**) reflejada mediante dicho reflector óptico (**240a, 240b, ..., 240k**),
 - 15 - estando adaptado dicho sistema de monitorización para reconocer una posición del al menos uno de los elementos auxiliares (**205a, 205b, ..., 205k**) en base a una característica de la radiación óptica retrorreflejada (**Ia, Ib, ..., Ik**).
2. Sistema de monitorización de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho sistema de monitorización reconoce la posición del al menos uno de los elementos auxiliares por el receptor óptico.
3. Sistema de monitorización de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en el que dichas características de la radiación óptica retrorreflejada (**Ia, Ib, ..., Ik**) comprenden una variación en el tiempo de la intensidad de la radiación óptica retrorreflejada, una frecuencia a la cual la intensidad de la radiación óptica retrorreflejada conmuta entre al menos dos valores diferentes, un espectro de la radiación óptica retrorreflejada, un retardo de propagación de la radiación óptica retrorreflejada para alcanzar el receptor óptico, un estado de polarización de la radiación óptica retrorreflejada.
4. Sistema de monitorización de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho atenuador óptico pasivo (**235a, 235b, ..., 235k**) es sensible a una corriente que fluye a través del elemento auxiliar (**205a, 205b, ..., 205k**).
5. Sistema de monitorización de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho atenuador óptico pasivo (**235a, 235b, ..., 235k**) está acoplado térmicamente al respectivo elemento auxiliar (**205a, 205b, ..., 205k**).
6. Sistema de monitorización de acuerdo con la reivindicación 5, en el que dicho atenuador óptico pasivo (**235a, 235b, ..., 235k**) 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 elemento auxiliar (**205a, 205b, ..., 205k**) provoca un cambio en el valor de la atenuación.
7. Sistema de monitorización de acuerdo con la reivindicación 4, en el que dicho atenuador óptico pasivo (**235a, 235b, ..., 235k**) incluye un interruptor óptico de tipo de enganche, y el valor de la atenuación está adaptado para conmutar entre dichos primer y segundo valores de atenuación cada vez que el elemento auxiliar (**205a, 205b, ..., 205k**) está implicado en una descarga.
8. Sistema de monitorización de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la atenuación del atenuador óptico pasivo (**235a, 235b, ..., 235k**) está adaptada para conmutar repetidamente entre dichos primero y segundo valores de atenuación cuando el elemento auxiliar (**205a, 205b, ..., 205k**) conduce una corriente durante un periodo de tiempo prolongado.
9. Sistema de monitorización de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una fracción de la radiación óptica (**Ia, Ib, ..., Ik**) que es derramada por cada rama óptica varía de manera monótona a lo largo del tramo de fibra óptica.
10. Procedimiento de monitorización de elementos auxiliares (**205a, 205b, ..., 205k**) de una red de distribución de energía eléctrica (**100**), que comprende:
- asociar la red de distribución de energía eléctrica a al menos un tramo de fibra óptica (**215**);
 - 50 - asociar los elementos auxiliares a ser monitorizados mediante respectivas ramas ópticas que se ramifican

del tramo de fibra óptica;

- acoplar operativamente al menos un atenuador óptico pasivo (**235a, 235b, ..., 235k**) a cada uno de los elementos auxiliares, formando parte el atenuador óptico pasivo del tramo óptica asociado con el respectivo elemento auxiliar;

- 5 - propagar una radiación óptica (**l**) en el tramo de fibra óptica;
- en respuesta a un cambio en la condición operativa de al menos uno de los elementos auxiliares, provocar una radiación óptica derramada (**la, lb, ..., lk**) que se propaga a través de al menos una de las ramas ópticas para ser retrorreflejada;
- detectar la radiación óptica retrorreflejada; y
- 10 - reconocer una posición, a lo largo de la red de distribución de energía eléctrica, de dicho al menos uno de los elementos auxiliares en base a una característica de la radiación óptica retrorreflejada detectada.

11. Procedimiento de monitorización de acuerdo con la reivindicación 10, en el que dichas características de la radiación óptica retrorreflejada comprenden una variación en el tiempo de la intensidad de la radiación óptica retrorreflejada, una frecuencia a la que la intensidad de la radiación óptica retrorreflejada conmuta entre al menos dos valores diferentes, un espectro de la radiación óptica retrorreflejada, un intervalo de tiempo necesario para que la radiación óptica retrorreflejada alcance el receptor óptico, y un estado de polarización de la radiación óptica retrorreflejada.

12. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, en el que dicho por lo menos un atenuador óptico pasivo tiene una variable de atenuación entre al menos un primer valor superior y un segundo valor inferior en respuesta a las condiciones operativas de al menos uno de los componentes a monitorizar.

13. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, 11 ó 12, en el que cada una de las ramas ópticas incluye un reflector (**240a, 240b, ..., 240k**) corriente abajo del atenuador óptico pasivo.

14. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en el que dicho atenuador óptico pasivo es sensible a una corriente que fluye a través del elemento auxiliar operativamente acoplado al mismo.

15. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en el que dicho acoplamiento operativo incluye el acoplamiento térmico.

16. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 15, en el que dicho atenuador óptico pasivo 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 elemento auxiliar operativamente asociado con el mismo provoca un cambio en el valor de atenuación.

30

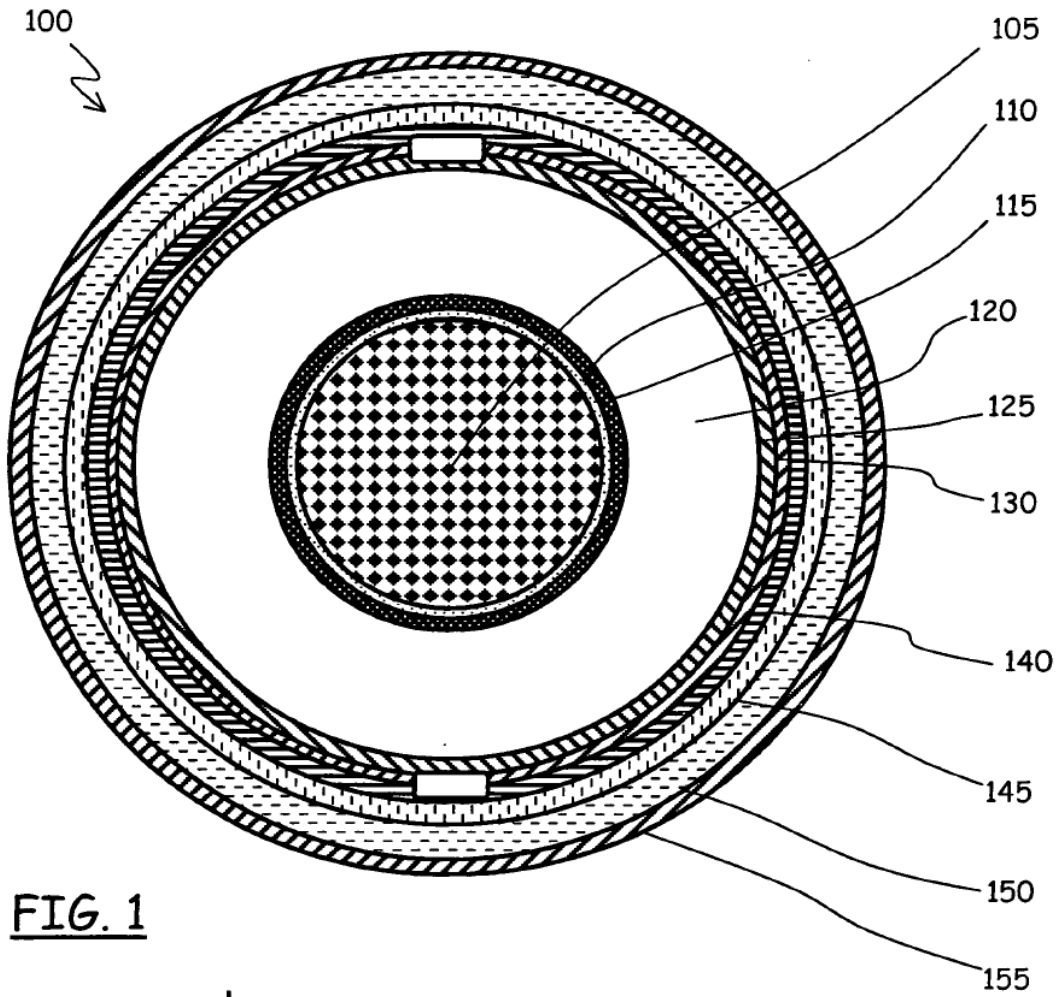


FIG. 1

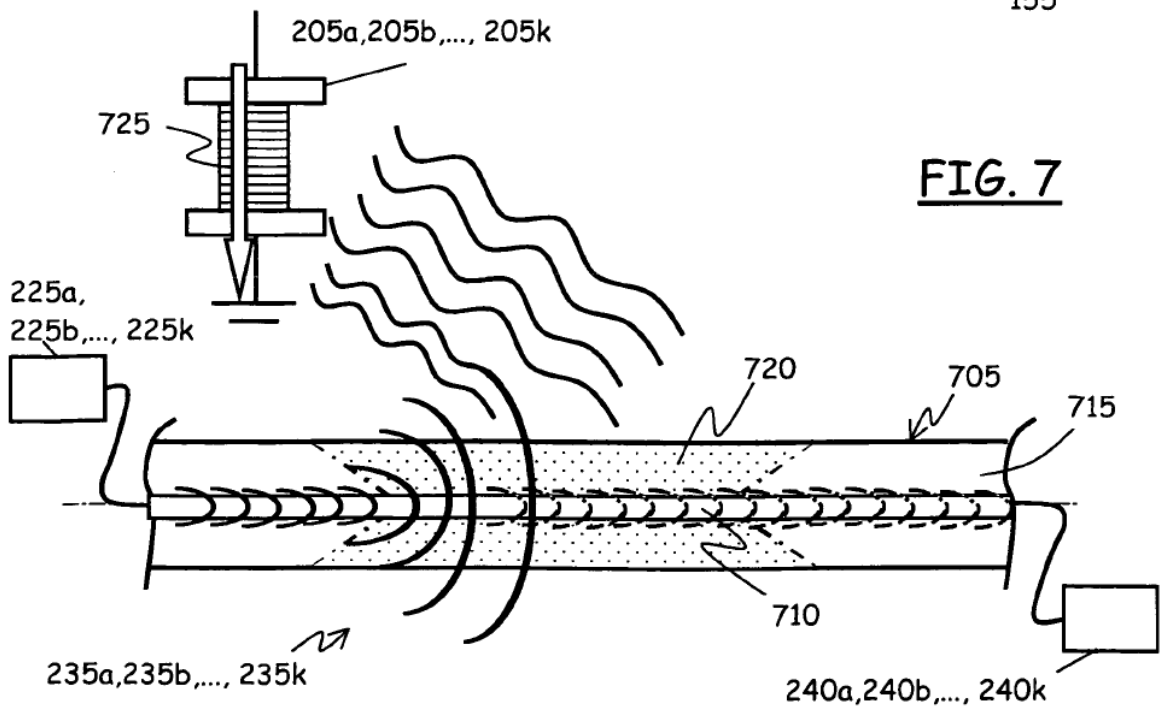


FIG. 7

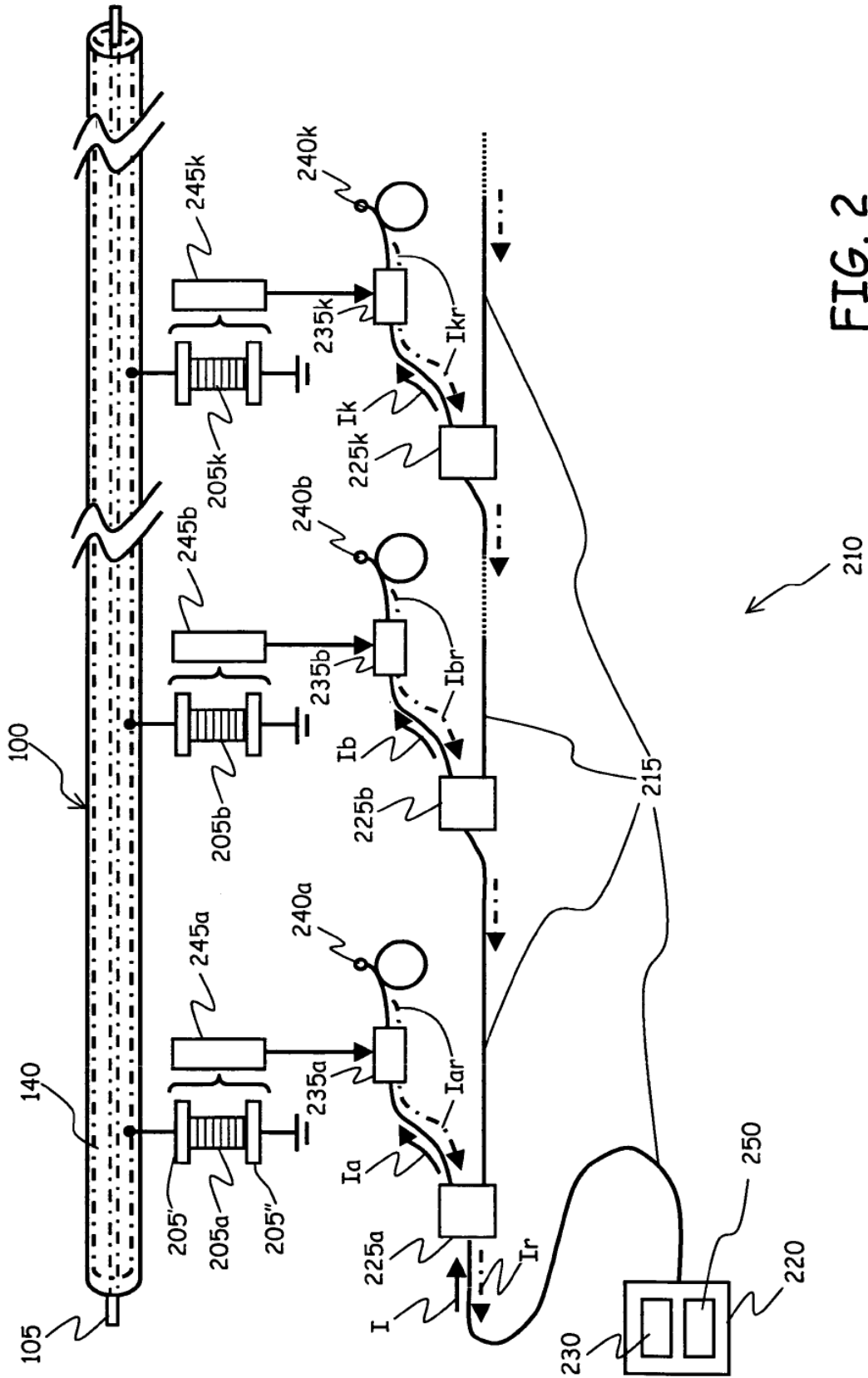
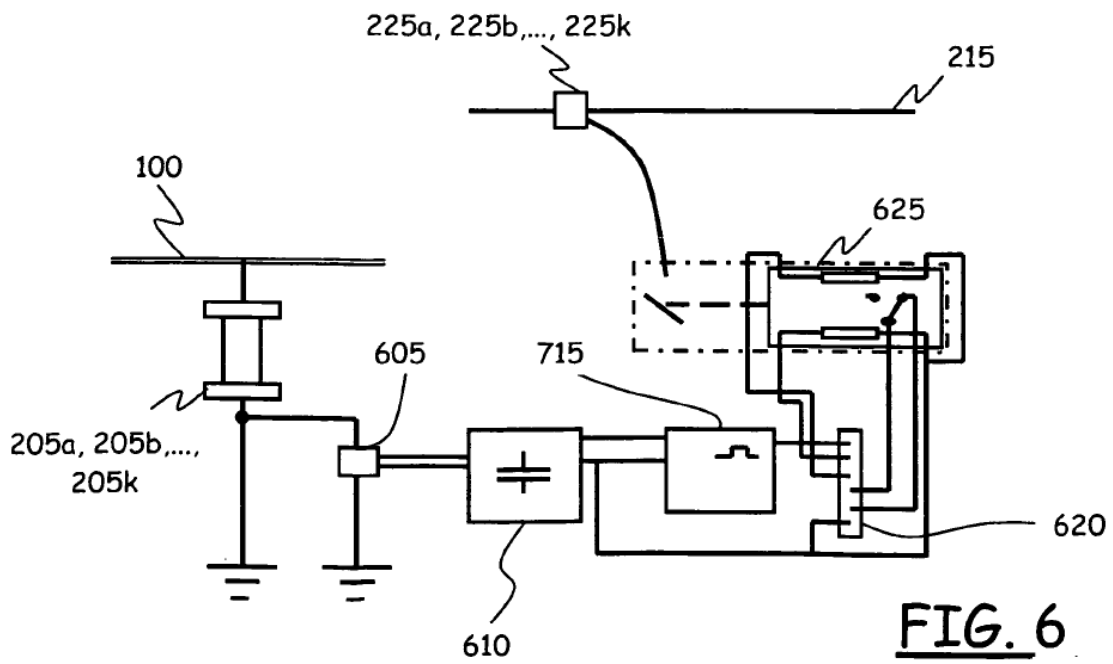
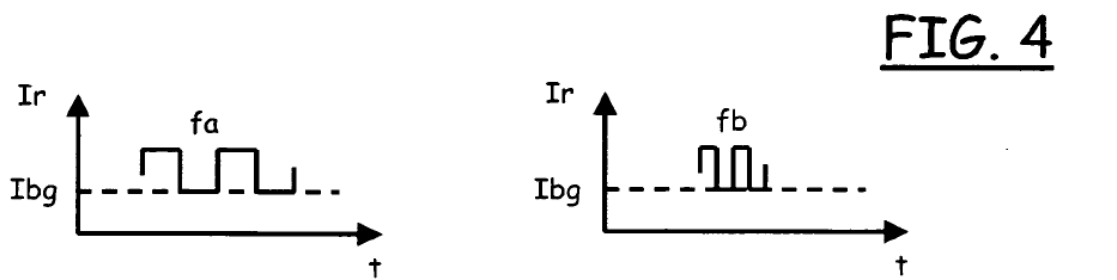
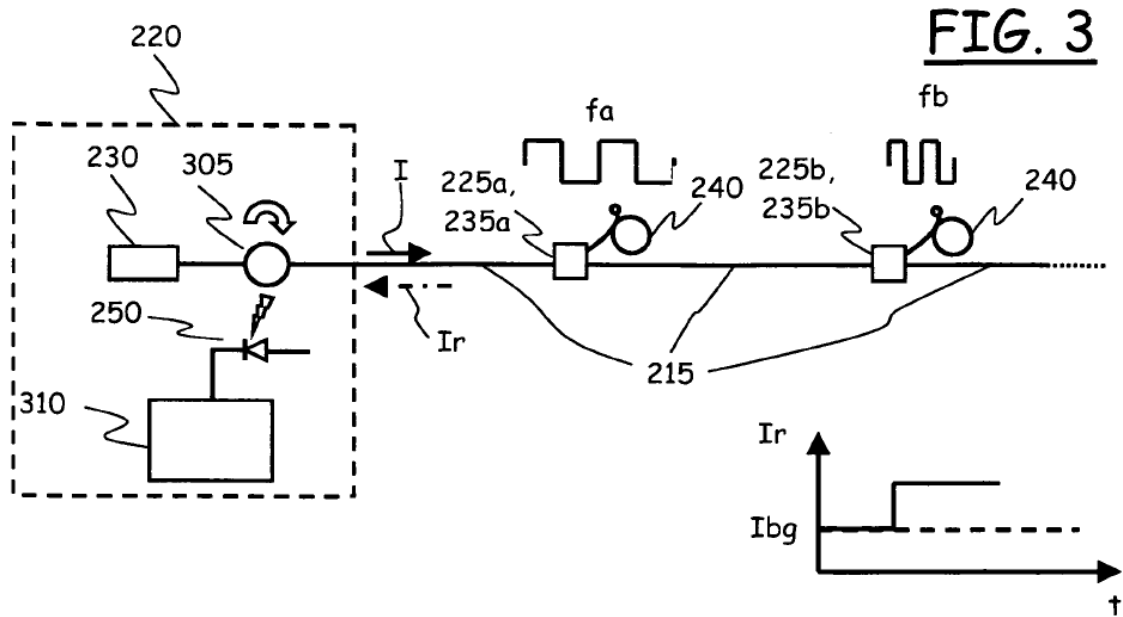


FIG. 2



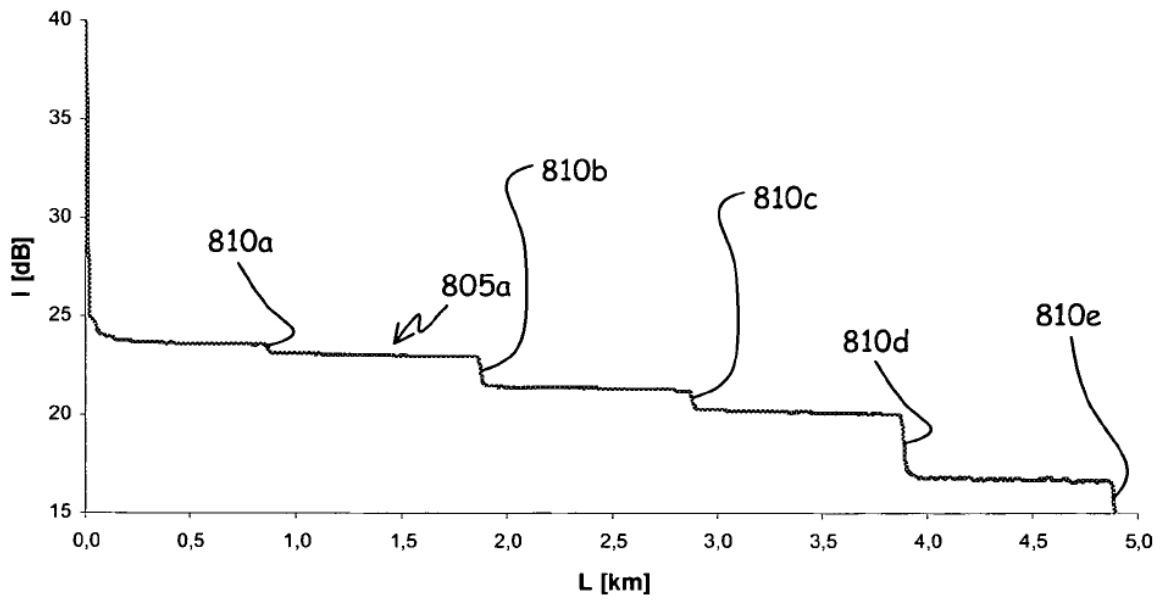


FIG. 8A

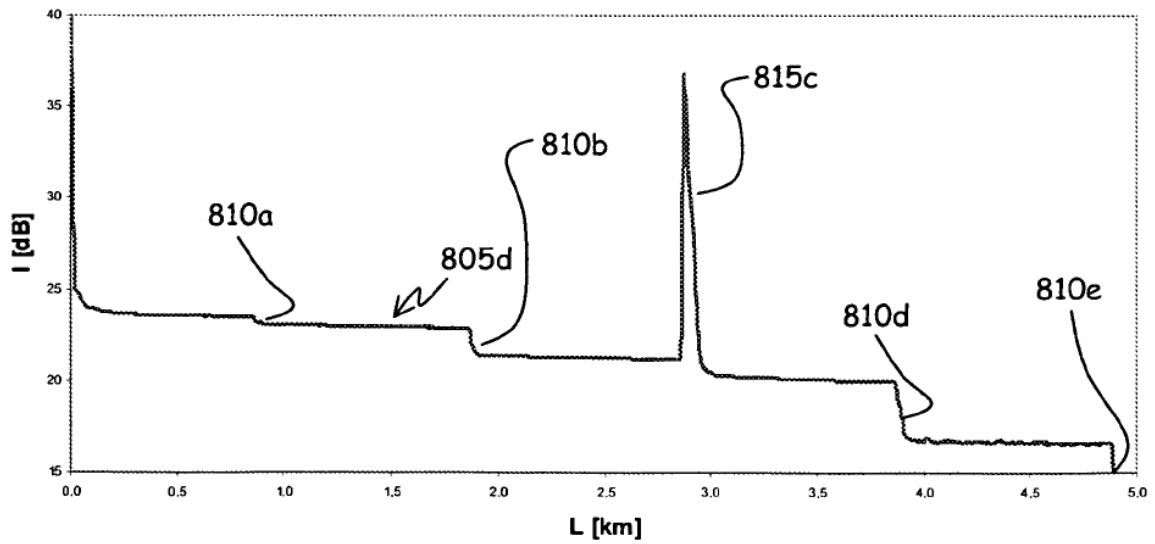


FIG. 8B

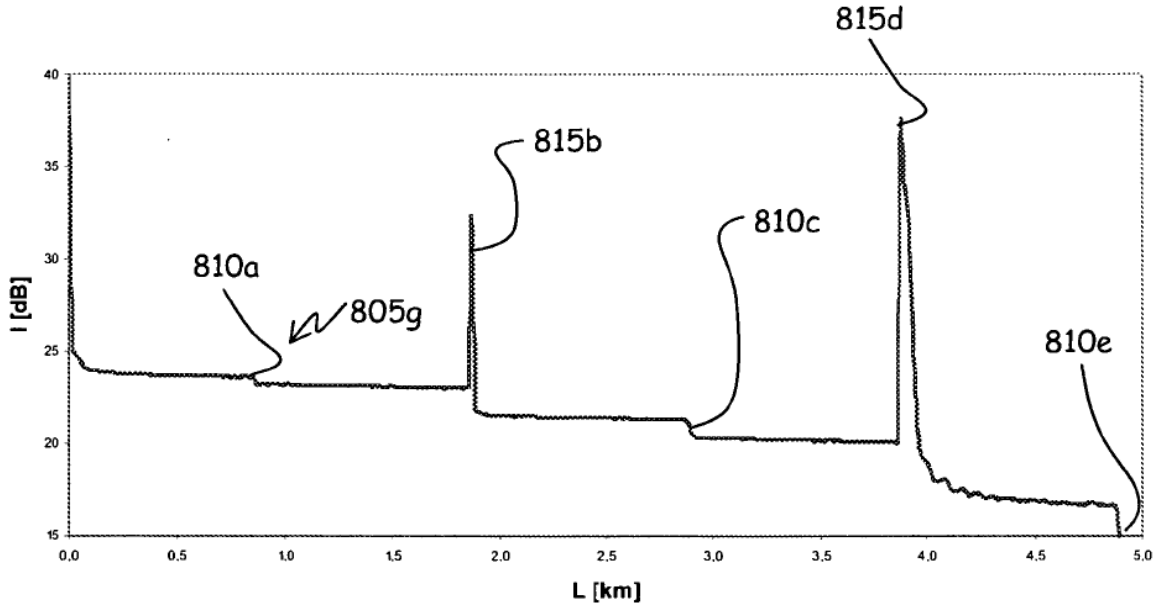


FIG. 8C

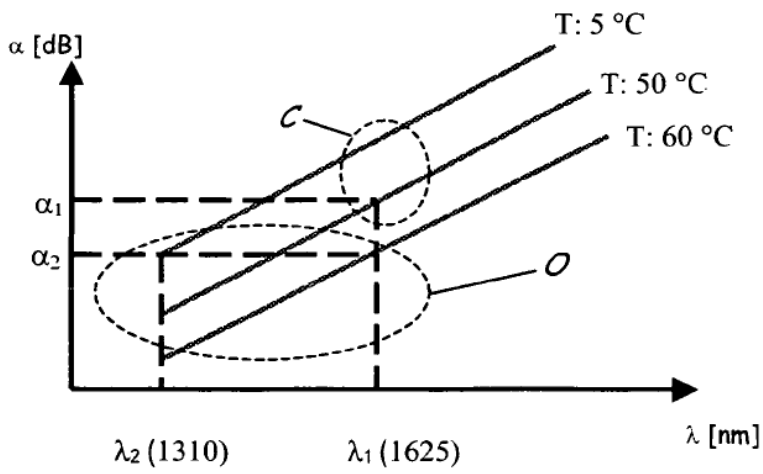


FIG. 9