

Predicción de roturas y puntos débiles de la fibra óptica

Ensayo de campo de mediciones de tensión de la fibra óptica basadas en Brillouin en cables aéreos de larga distancia

Los cables aéreos se caracterizaron usando un OTDR de Brillouin. Se midieron elongaciones de la fibra óptica con una resolución espacial de 10 m en un cable de 152 km y con una desviación estándar máxima de 0,0015 %, lo que demuestra que una solución de prueba es aplicable a la mayoría de los enlaces de telecomunicación.

Introducción

Los operadores de red necesitan un método para anticipar de manera proactiva la rotura de una fibra causada por tensión excesiva y debilidad de un cable. Esto se origina porque las condiciones climáticas y geológicas cambian constantemente las presiones de tensión y temperatura del cable de la fibra óptica. Al usar mediciones preventivas, un equipo de operaciones de mantenimiento puede preservar el cable aliviando la tensión o reemplazarlo de manera preventiva antes de que se pierda la transmisión. El uso de soluciones de cableado completamente dieléctrico se ha propagado rápido en las redes de fibra óptica durante los últimos años. En comparación con los cables revestidos de metal, combinan las ventajas de tener un costo y un peso más bajos, más facilidad de manejo, a la vez que no requieren de una puesta a tierra. Sin embargo, una estructura más liviana es sinónimo de una menor protección mecánica y se debería evaluar la viabilidad de estos cables en los entornos más rigurosos. Para que la comparación sea imparcial, Rostelecom ha instalado cables ADSS y OPGW hace diez años, en el norte de Irkutsk. En esa región, la temperatura oscila entre -57°C y $+40^{\circ}\text{C}$, y en algunos casos, puede acumularse una capa de hielo de 10 cm como se ve en la imagen 1-a. Con el tiempo, la estructura del cable podría escamarse como se puede ver en la imagen 1-b.

Cuando la estructura del cable se vuelve frágil, las elongaciones de la fibra óptica interna pueden estar muy por encima del valor máximo de 0,2 % que recomiendan los fabricantes de fibra óptica. Aun así, con la llegada de las fibras optimizadas para evitar pliegues, la pérdida incurrida podría ser moderada y la transmisión de datos podría darse sin fallos. Esto no debe opacar el hecho de que la estructura de vidrio de la fibra no es tan fuerte mecánicamente y puede llegar a romperse con una elongación del 4 %. Si las pérdidas de fibra ya no se ven afectadas por niveles críticos de tensión, entonces las técnicas de solución de problemas tradicional deberán volver a tenerse en cuenta.



Imagen 1a: Formación de hielo

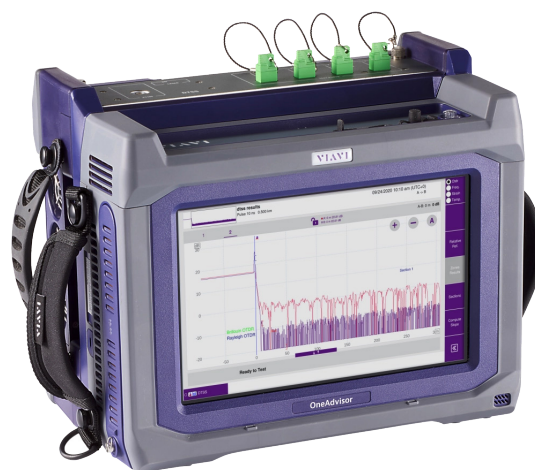


Imagen 1b: Elementos de refuerzo rotos

El análisis de espectro de Brillouin es el único método de caracterización óptica capaz de proporcionar mediciones de elongación distribuidas precisas. Es bien sabido que la interacción de dispersión de Brillouin tiene una frecuencia resonante que depende de manera lineal de la elongación de la fibra y esta medición ahora se usa muchísimo para la detección de la fibra óptica. La principal dificultad con los enlaces de telecomunicaciones es que normalmente superan los 100 km, aunque es de esperar que una resolución espacial alta capte todo evento de tensión.

Un primer método de medición que puede aplicarse se llama B-OTDA (del inglés Brillouin optical time-domain analysis, análisis óptico de Brillouin en el dominio del tiempo). Si bien esta configuración proporciona las señales más fuertes gracias a una interacción estimulada, está limitada en alcance de distancia debido al requisito de configuración en bucle. En la práctica, las distancias más largas cubiertas corresponderían a un enlace unidireccional máximo de 80 km^{1,2}. Las distancias más largas se lograron agregando amplificadores ópticos distribuidos en la línea^{3,4}, pero la distancia máxima de 75 km entre los amplificadores no sería factible en un enlace de telecomunicación, esto es sin tener en cuenta los complicados efectos no locales a lo largo de dichas distancias⁵. El método B-OTDA no utiliza los típicos tendidos de cables de telecomunicaciones a escala y no puede introducirse de manera práctica para tomar una medición sin intervenir el cable que supera los 80 km.

La segunda solución es el reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (B-OTDR), que usa una única señal de sonda que se lanza desde un lado del enlace de fibra. El B-OTDR capta la luz retrodispersada de tipo Brillouin de manera espontánea como un OTDR normal con dispersión de Rayleigh. La ventaja de esta configuración es evidente cuando se trata de un enlace con una pérdida general demasiado alta o incluso con una rotura: el B-OTDR siempre brindará información sobre las secciones accesibles. El récord de distancia cubierta en un experimento de laboratorio fue de 150 km, con una combinación de detección coherente y amplificación Raman⁶, pero la resolución espacial de 50 m y la precisión de medición en el extremo distal no serían suficientes. También se había propuesto un amplificador óptico en línea para el B-OTDR⁷, pero, de nuevo, esto no sería viable en el caso de los enlaces de telecomunicaciones.



OneAdvisor 1000 DTSS: detección distribuida de temperatura y tensión

En este documento, analizamos una implementación novedosa de un OTDR de Brillouin coherente, integrado en un instrumento aplicable en campo a batería (OneAdvisor 1000 DTSS). Se usó un primer prototipo para el B-OTDR de VIAVI a fin de caracterizar un enlace aéreo instalado de 152 km y una pérdida general total de 34 dB con una resolución espacial de 10 m. Requiere que se tomen dos adquisiciones de OTDR de ambos extremos del enlace, pero sostenemos que esta es la única técnica capaz de cubrir las distancias de las líneas de telecomunicación instaladas.

Configuración del experimento

Nuestro instrumento usa la detección coherente para detectar de manera selectiva los componentes espectrales de Rayleigh o Brillouin de las señales retrodispersadas. El instrumento puede producir trazas de OTDR regulares para las caracterizaciones de pérdida, aprovecha la información del desplazamiento de frecuencia de Brillouin para determinar la tensión (suponiendo que hay una temperatura constante) y también usa la relación Landau-Placzek (LPR) para hacer una determinación independiente de la temperatura y la tensión⁸. Así, el usuario tiene a su disposición tres tipos de mediciones de OTDR: pérdida de señal, tensión y temperatura para determinar el estado de la fibra sometida a prueba.

Resultados

Durante esta campaña de prueba, se probaron 7 fibras de tres sitios de Ust-Kut, Kirenga y Severobaikalsk, y se acumularon 23 adquisiciones completas de OTDR de tipo Rayleigh y Brillouin, y la mayoría fueron bidireccionales. Nuestros resultados principales se muestran en las figuras 1-3.

La figura 1 muestra la tensión como función de distancia para la línea desde Ust-Kut hasta Kirenga. Consiste en dos adquisiciones de ambos extremos, la traza desde Kirenga que se revierte, para mostrar el enlace completo y cómo coinciden bien en el punto medio del enlace. La sucesión de mesetas, cada una con un desplazamiento de frecuencia particular, es típico de un tendido de cableado aéreo, donde las secciones ensambladas del cable nunca superan los 15 km, y cada cable contiene varias fibras de diferentes lotes. En realidad, el cambio del desplazamiento de la frecuencia de Brillouin generalmente es más fácil de detectar que la atenuación por empalmes en la traza del OTDR y esto puede aprovecharse. El desplazamiento de la frecuencia de Brillouin para un tipo determinado de fibra óptica puede variar en un valor nominal aproximado de ± 20 MHz, según el lote de fibras⁹, que se convierte en elongaciones de $\pm 0,04$ %. Esto genera una importante incertidumbre si se aplicara estrictamente la recomendación del fabricante de una elongación máxima de 0,2 %. En ese caso, habría que encontrar y cuantificar un evento de tensión como una desviación relativa de la meseta circundante, y eso complicaría el análisis. Sin embargo, con la experiencia práctica de una red aérea operada en condiciones extremas, nos vemos forzados a tolerar eventos de tensión de hasta un 3 % para duraciones cortas. Suponiendo que haya una combinación de fibras tan homogénea como la de la figura 1, podrían desatenderse estos cambios relacionados con la fibra óptica y dejar que el instrumento decida automáticamente si el cable pasa los criterios según un umbral absoluto fijo.

Las incertidumbres relacionadas con el instrumento pueden evaluarse a partir de las desviaciones estándar en las distintas mesetas sin eventos de adquisición; estas generalmente son de 0,0006 % y hasta 0,0015 % en el punto de unión central después de una atenuación del enlace de 17 dB.

Muchos de los perfiles de tensión muestran series de picos con una periodicidad característica de 350 m a 500 m, que es la distancia entre torres. La amplitud del pico es habitualmente de 0,01 %, con un nivel máximo de 0,03 %. Estos valores más bien bajos fueron tranquilizadores con respecto a la condición actual del enlace.

Se debe tener en cuenta que los eventos se distribuyeron entre los rangos de fibra de 150 m a 400 m y que esas mediciones se tomaron en octubre. Cabe suponer que la tensión alcanza niveles más altos y se vuelve más localizada con las cargas de hielo, mientras que durante el verano, la tensión se libera y se distribuye de manera espacial gracias a los movimientos de los cables y los ciclos térmicos. No obstante, los detalles de las adquisiciones presentadas son lo suficientemente determinantes como para resaltar las debilidades del cable, incluso durante el verano.

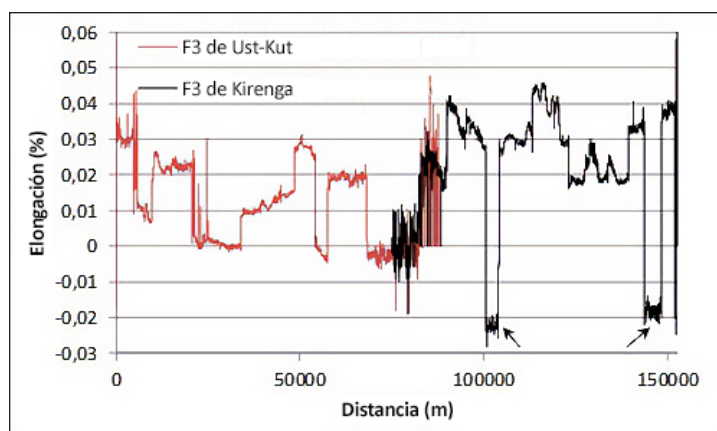


Figura 1: Medición de la tensión bidireccional a lo largo de 152 km con un pulso de 100 ns; las flechas indican las secciones de la fibra óptica SMF28e+ de primera generación.

La figura 2 es una captura de pantalla de un evento de tensión del instrumento que muestra dos adquisiciones superpuestas tomadas con pulsos de 100 ns y 200 ns. Si bien la precisión y el alcance se benefician del efecto de nivelación y de la mayor energía de un pulso más largo, obviamente se borran los detalles más rápidos. Siempre deberá usarse la mejor resolución espacial posible, dado que el alcance de los eventos depende de muchos parámetros (distribución de la carga, estructura e instalación exactas del cable, gel utilizado, etc.).

Los espectros de Brillouin también permiten reconocer el tipo de fibra óptica⁹; la figura 3 muestra un espectro de doble modo típico de la primera generación de fibra óptica SMF28e+. Esa fibra óptica se usó durante las reparaciones y, por el contrario, una fibra óptica SMF28e convencional de un solo pico se había usado en el momento del tendido.

Una campaña de medición como la descrita solo sería el primer paso en el ciclo de mantenimiento del cable, que podría llevarse a cabo durante el tendido o cuando se tenga que solucionar un problema. Todas las mediciones posteriores podrían repetirse de la misma manera, pero sería recomendable usar la primera medición como referencia y producir datos relacionados. Esto eliminaría el problema de fibras diferentes con diferentes desplazamientos de frecuencia a lo largo del enlace. Con la información extra que aporta la relación LPR, nuestro instrumento también puede tener en cuenta las variaciones de temperatura estacionales entre las dos mediciones. Esto sería un avance en términos de precisión comparado con una medición únicamente basada en el desplazamiento de frecuencia de Brillouin, para la que se espera una variación del $\pm 0,1\%$ sobre el intervalo de temperatura. Con una medición de temperatura compensada y relativa, se hace más sencillo marcar específicamente la evolución más pequeña de la tensión, mediante un umbral de alarma que se puede configurar en un valor muy bajo hasta la repetibilidad del instrumento.

Conclusiones

Si bien la tecnología del B-OTDR ha estado disponible durante mucho tiempo, hicimos una demostración del primer instrumento implementable en campo, que tiene un suficiente rango dinámico como para cubrir las distancias de los enlaces de telecomunicación. Con nuestro prototipo, demostramos el funcionamiento adecuado de un enlace de 152 km. Nuestras pruebas de laboratorio muestran que se puede acceder a un enlace de 200 km con un ancho de pulso de 400 ns (resolución espacial de 40 m). Para cuando redactamos este documento, el desarrollo ya se había completado e incluía mediciones relativas, compensación térmica y todas las características necesarias para aprovechar al máximo el potencial del instrumento directamente "in situ".

Esta solución está disponible en el mercado en forma de sistema portátil a batería ([OneAdvisor 1000 DTSS](#)) para realizar revisiones aleatorias rutinarias y tareas de mantenimiento, o como solución montada en bastidor ([FTH-DTSS](#)) para llevar a cabo una monitorización continua y análisis del estado de la fibra óptica como parte del [sistema de gestión de redes ópticas \(ONMSi\)](#).

5 Predicción de roturas y puntos débiles de la fibra óptica

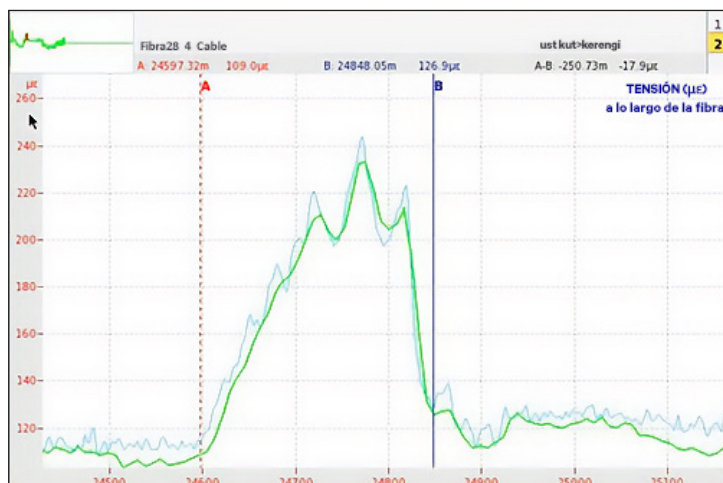


Figura 2: Evento de tensión grabado con pulsos de 100 ns (azul) y 200 ns (verde).

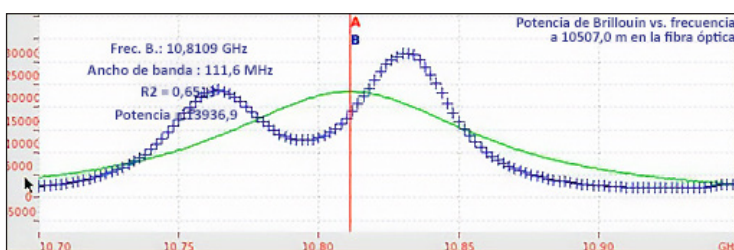


Figura 3: Espectro de Brillouin de modo doble de la fibra óptica SMF28e

Referencias

1. L. Zou y otros, "Long-term monitoring of local stress changes in 67 km installed OPGW cable using BOTDA" (Monitorización a largo plazo de los cambios de tensión locales en un cable OPGW tendido a lo largo de 67 km usando el método BOTDA), "Proceedings of the SPIE", Volumen 9634, id. 963461 4 págs. (2015).
2. X. Qian y otros, "157 km BOTDA with pulse coding and image processing" (BOTDA en 157 km con procesamiento de imágenes y códigos de pulsos), Proc. SPIE 9916, Sexto Taller Europeo sobre Sensores de Fibra Óptica, 99162S (2016).
3. Y. Dong y otros, "Extending the Sensing Range of Brillouin Optical Time-Domain Analysis Combining Frequency-Division Multiplexing and In-Line EDFAs" (Extensión del rango de detección del análisis óptico de Brillouin en el dominio del tiempo combinando la frecuencia y la multiplexación por división y los EDFA en línea), J. Lightwave Technol. 30, 1161-1167 (2012).
4. F. Gyger y otros, "Ultra Long Range DTS (>300 km) to Support Deep Offshore and Long Tieback Developments" (Rango de DTS ultralargo (>300 km) para respaldar desarrollos en aguas profundas y de interconexiones largas), ASME. Conferencia Internacional sobre Mecánica Offshore e Ingeniería Ártica, Volumen 6B: Pipeline and Riser Technology (2014).
5. L. Thévenaz y otros, "Effect of pulse depletion in a Brillouin optical time-domain analysis system" (Efecto de la disminución del pulso en un sistema de análisis óptico de Brillouin en el dominio del tiempo), Opt. Express 21, 14017-14035 (2013).
6. M. N. Alahbabi y otros, "150-km-range distributed sensor based on coherent detection of spontaneous Brillouin backscatter and in-line Raman amplification" (Sensor distribuido en un rango de 150 km basado en una detección coherente de retrodispersión de Brillouin espontánea y amplificación Raman en línea), J. Opt. Soc. Am. B 22, 1321-1324 (2005).
7. Y. T. Cho y otros, "100 km Distributed Fiber Optic Sensor Based on the Coherent Detection of Brillouin Backscatter, with a Spatial Resolution of 10 m, Enhanced Using Two Stages of Remotely Pumped Erbium-Doped Fiber Combined with Raman Amplification" (Sensor de fibra óptica distribuida en 100 km basado en la detección coherente de retrodispersión de Brillouin, con una resolución espacial de 10 m, mejorado con dos fases de fibra dopada con erbio de bombeo remoto combinado con la amplificación Raman), en Optical Fiber Sensors, OSA Technical Digest, ThC4 (2006).
8. P.C. Wait y otros, "Landau Placzek ratio applied to distributed fiber sensing" (Relación Landau Placzek aplicada a la detección distribuida de la fibra óptica), Optics Communications 122, págs. 141-146 (1996).
9. Documento técnico WP4259 de Corning: "BOTDR measurement techniques and Brillouin backscatter characteristics of Corning single-mode optical fibers" (Técnicas de medición con BOTDR y características de retrodispersión de Brillouin de las fibras ópticas monomodo de Corning), (2015).



viavisolutions.es

Contáctenos +34 91 383 9801 | +1 954 688 5660

Para localizar la oficina VIAMI más cercana, por favor visítenos en viavisolutions.es/contactenos

© 2024 VIAMI Solutions Inc.

Las especificaciones y descripciones del producto descritas en este documento están sujetas a cambio, sin previo aviso.

fiberbreaks-wp-tfs-nse-es
30194229 901 0125