

Monitorización de flecha en OPPC mediante CP-ΦOTDR

Jorge Canudo^{1,2}, Pascual Sevillano¹, Andrea Iranzo², Javier Preciado-Garbayo²,
Jesús Subías¹

¹Grupo de Tecnologías Fotónicas (GTF)
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.
Tel. +34-976762707, e-mail: jcanudo@unizar.es
²Aragón Photonics Labs

Resumen

La tecnología CP-ΦOTDR permite la medida lineal de strain en cables de alta tensión. El análisis en tiempo real de las frecuencias de vibración de la línea posibilita la monitorización del valor de la flecha, lo que viabiliza el ajuste dinámico de la capacidad de la línea, mejorando su seguridad y eficiencia.

Introducción

Con la diversificación de las fuentes energéticas y la creciente necesidad de energía, las redes eléctricas convencionales están experimentando una evolución hacia sistemas de redes inteligentes. En este contexto, una de las tareas más críticas es la de optimizar la capacidad de las líneas de transmisión, que está limitada por el valor de la flecha [1], definida como la distancia vertical entre el punto medio del cable suspendido y la línea que une sus puntos de suspensión. Aunque la flecha se fija durante la instalación para reducir las tensiones en las torres de apoyo, es un parámetro variable debido a cambios de temperatura ambiental, intercambio de calor con el viento o efecto Joule. Por ello, la capacidad de la línea se limita en base a los escenarios más desfavorables, poco habituales. Una monitorización en tiempo real de la flecha permite el ajuste dinámico de la capacidad sin comprometer la seguridad de la instalación, aumentando la eficiencia de la línea. A lo largo de la instalación, existen factores como el intercambio calorífico con el viento o la presencia de hielo que varían de manera significativa y que los modelos predictivos actuales no pueden asumir para el global de la línea. Por ello, en este trabajo se propone el uso de una técnica de sensado distribuido en fibra óptica, conocida como Chirped-Pulse ΦOTDR (CP-ΦOTDR), que permite medir la variación de strain ($\Delta\epsilon$) a lo largo de toda la fibra embebida en el conductor bajo estudio [2]. Para ello, se evalúa la variación de la traza de luz retrodispersada a lo largo de la propagación de un pulso de luz chirpeado en la fibra óptica, y se relaciona con el strain de acuerdo con la Ecuación 1.

$$-\left(\frac{1}{v_0}\right)\left(\frac{\delta v}{\tau_p}\right)\Delta t = \frac{\Delta v}{v_0} \approx -0.78\Delta\epsilon \quad (1)$$

Al estudiar las vibraciones del cable en el dominio frecuencial es posible realizar un análisis detallado de los modos de vibración del cable, que tienen relación directa con el valor de la flecha en el vano estudiado, permitiendo calcular cuantitativamente dicho parámetro para cada uno de los vanos con un único equipo interrogador [3].

Cálculo de la flecha

La flecha de un cable suspendido puede ser determinada directamente de la información vibracional del mismo. Si las torres de suspensión se suponen rígidas, el conductor aéreo puede simplificarse a un cable cuyos extremos están fijos. Cada vano presentará una frecuencia fundamental de vibración (f_0) que únicamente dependerá de los parámetros físicos del cable. Relacionando la flecha (S) con dichos parámetros y con f_0 , se obtiene la dependencia de la Ecuación 2 [4].

$$S = \frac{g}{32} \frac{1}{f_0} \quad (2)$$

Por tanto, es posible determinar la flecha a partir únicamente de la frecuencia fundamental de vibración. Un seguimiento en tiempo real de f_0 permite el seguimiento de la flecha de cada vano sin necesidad de calibraciones de amplitud.

Análisis frecuencial de los datos

Puesto que no existen cambios de masa relevantes, la longitud del cable es el principal parámetro que afecta en la Ecuación 2. Se han monitorizado dos cables: el cable de tierra (OPGW) y uno de los conductores (OPPC). Se ha observado que ambos presentan elongaciones por los cambios de temperatura ambiental. Aunque la elongación supone también cambios en la tensión, ambas variaciones se ven reflejadas de manera unívoca en la frecuencia fundamental de vibración. Se ha medido el strain del

punto central de un vano durante un periodo de 24 horas, se ha calculado el espectrograma de los datos medidos, y se ha observado la presencia de ciertas frecuencias que destacan por su mayor energía. Estas frecuencias resultan ser distintos modos armónicos de vibración del vano y, a través de un algoritmo de detección de picos, es posible identificarlas y seguir su evolución en el periodo de medida [5]. La Figura 1 muestra el espectrograma completo de las medidas de strain del OPPC, así como los modos detectados. Se observa cómo, a medida que la temperatura aumenta, la frecuencia disminuye, lo que supone un aumento de la flecha de acuerdo con la Ecuación 2.

A partir de estos modos, es posible estimar el valor de la frecuencia fundamental del OPPC, que resulta ser en torno a 0.168 Hz. Esta frecuencia sufre variaciones a lo largo del tiempo de hasta 0.01 Hz. Con ello, es posible calcular el valor de la flecha para cada posición espacial del cable a lo largo del periodo de medida de manera distribuida, para el total de la distancia de la línea, de 31.8 km. La misma metodología se ha aplicado al OPGW, y los resultados de ambos cables se muestran en la Figura 2. Se observa como el OPGW sufre una variación máxima de flecha de 0.62 m, mientras que la del OPPC oscila hasta 1.19 m. Esta diferencia se debe principalmente a la construcción interna de ambos cables, donde el OPGW resulta más rígido por presentar un núcleo de aluminio que protege las fibras ópticas de su interior [6].

Conclusiones

Se ha estudiado el comportamiento vibracional de dos cables, OPGW y OPPC, de una línea aérea de alta tensión de 31.8 km haciendo uso de un interrogador CP- Φ OTDR. El análisis detallado de la información frecuencial del strain de los cables ha permitido observar la presencia de ciertos modos de vibración con mayor energía, que evolucionan a lo largo del tiempo de acuerdo con la temperatura ambiental. Se

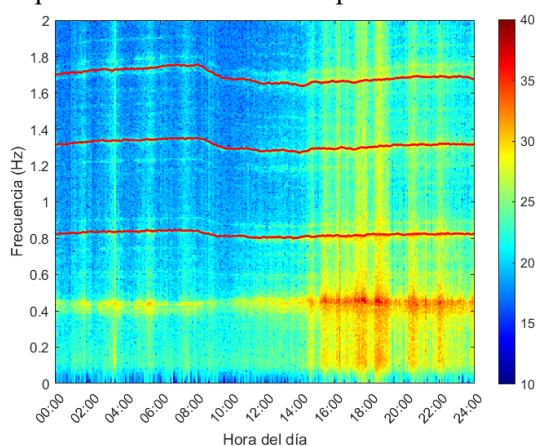


Figura 1: Espectrograma del OPPC con modos detectados

ha calculado la frecuencia fundamental de dichos modos y, con ella, se ha estimado el valor de la flecha para el periodo de medida. Se observan diferencias entre los resultados de uno y otro cable debido a la diferente estructura de ambos; no obstante, se aprecia una evolución temporal similar como resultado de su respuesta comparable frente a las variaciones de temperatura exterior. Los resultados obtenidos se han comparado con medidas de campo, que han resultado altamente compatibles. El método presentado ha demostrado su viabilidad como técnica de monitorización de la flecha en líneas de alta tensión aéreas, ofreciendo una solución económica y eficiente para lograr un ajuste dinámico de su capacidad.

REFERENCIAS

- [1] KHAWAJA, ARSALAN HABIB; HUANG, QI; LI, JIAN; ZHANG, ZHENYUAN: Estimation of Current and Sag in Overhead Power Transmission Lines With Optimized Magnetic Field Sensor Array Placement. In: *IEEE Transactions on Magnetics* Bd. 53 (2017), Nr. 5, S. 1–10
- [2] R. FERNÁNDEZ-RUIZ, MARÍA; COSTA, LUIS; F. MARTINS, HUGO: Distributed Acoustic Sensing Using Chirped-Pulse Phase-Sensitive OTDR Technology. In: *Sensors* Bd. 19, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (2019), Nr. 20, S. 4368
- [3] CHECA, LUIS MARÍA: *Líneas de transporte de energía*: Marcombo, 1988. — ISBN 978-84-267-1625-5
- [4] GODARD, BERTRAND: A vibration-sag-tension-based icing monitoring of overhead lines. In: *International Workshop on Atmospheric Icing of Structures*. Reykjavík, 2019, S. 1–7
- [5] CANUDO, JORGE; SEVILLANO, PASCUAL; IRANZO, ANDREA; KWIK, SACHA; PRECIADO-GARBAYO, JAVIER; SUBÍAS, JESÚS: Overhead Transmission Line Sag Monitoring Using a Chirped-Pulse Phase-Sensitive OTDR. In: *IEEE Sensors Journal* Bd. 24 (2024), Nr. 2, S. 1988–1995
- [6] COLLE, SERGIO; ANDRADE, MARCELO: On the Thermal Contact Resistance Effects in Aluminum-Galvanized Steel Wires OPGW Submitted to a Short-Circuit Test. In: *2004 53rd International Wire & Cable Symposium*, 2004, S. 548–553

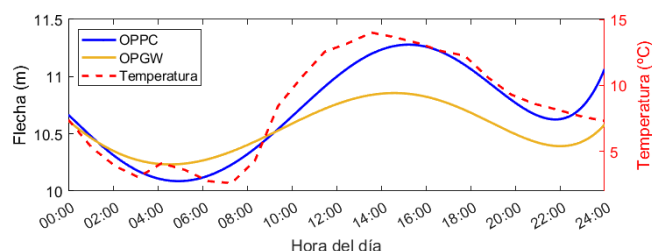


Figura 2: Evolución de la flecha durante el periodo de 24 horas obtenida mediante CP- Φ OTDR para el OPPC y el OPGW