

Artigo

Previsão de quebras de fibra e pontos fracos

Teste de campo de deformação B-OTDR usando medições de deformação de fibra baseada em Brillouin em cabos aéreos de longa distância

Cabos aéreos foram caracterizados usando um protótipo de Brillouin-OTDR. Os alongamentos de fibra foram medidos com resolução espacial de 10 m sobre um cabo de 152 km e um desvio padrão máximo de 0,0015%, demonstrando pela primeira vez uma solução de teste aplicável à maioria dos links de telecomunicações.

Introdução

As operadoras de rede precisam de um método para prever proativamente uma ruptura em uma fibra causada por deformação excessiva e fraqueza em um cabo. Isso é causado por condições climáticas e geológicas que estão constantemente alterando a deformação e as pressões de temperatura no cabo de fibra. Usando medições preditivas, uma equipe de operações de manutenção pode preservar o cabo aliviando a deformação ou substituindo-o proativamente antes que a transmissão seja perdida. Soluções de cabeamento totalmente dielétrico têm se espalhado rapidamente em redes de fibra óptica nos últimos anos. Em comparação com cabos blindados com metal, eles acumulam as vantagens de menor custo, menor peso e manuseio mais fácil, sem exigir aterramento. No entanto, uma estrutura mais leve geralmente significa uma proteção mecânica mais baixa e deve-se avaliar a aplicabilidade desses cabos aos ambientes mais exigentes. Para uma comparação justa, a Rostelecom instalou a ADSS e a OPGW há dez anos, no norte de Irkutsk. Nessa região, a temperatura varia de -57 °C a +40 °C e, em alguns casos, uma camada de 10 cm de gelo pode se acumular como na figura 1-a. Com o tempo, a estrutura do cabo pode sofrer deslaminiação, conforme observável na Imagem 1-b.

Autores

Vincent Lecœuche, VIAVI Solutions
 Fabien Sauron, VIAVI Solutions
 Jean-Paul Catella, VIAVI Solutions
 Benoit Morel, VIAVI Solutions
 André Champavère, VIAVI Solutions
 Olivier Masselin, VIAVI Solutions
 Michel Saget, VIAVI Solutions
 Dmitry Pavlov, PJSC «Rostelecom»

Contato

VIAVI Solutions
 34 rue Necker 42000 Saint-Etienne, França

PJSC «Rostelecom»
 25 Dubovoi Roshchi Street, Rússia, Moscou



Imagem 1a: Formação de gelo

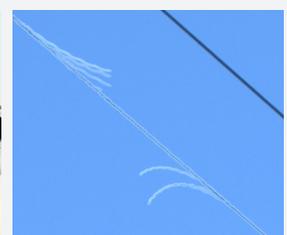


Imagem 1b: Membros de força quebrados

Com uma estrutura de cabo frágil, os alongamentos da fibra interna podem estar muito acima do valor máximo de 0,2% recomendado pelos fabricantes de fibra. Ainda assim, com o advento das fibras insensíveis à curva, a perda incorrida pode permanecer moderada e a transmissão de dados operar sem falhas. Isso não deve ocultar o fato de que a estrutura da fibra de vidro não é mais forte mecanicamente e ainda é provável que se quebre a um alongamento de 4%. Se as perdas de fibra não forem mais afetadas por níveis críticos de deformação, então as técnicas tradicionais de troubleshooting devem ser reconsideradas.

A análise espectral de Brillouin é o único método de caracterização óptica capaz de fornecer medições precisas de alongamento distribuído. É bem conhecido que a interação de dispersão de Brillouin tem uma frequência ressonante que depende linearmente do alongamento da fibra e essa medição agora é amplamente usada para fins de detecção da fibra. A principal dificuldade com os links de telecomunicações é que eles normalmente excedem 100 km, enquanto uma alta resolução espacial também deve capturar todos os eventos de deformação.

Um primeiro método de medição que pode ser aplicado é chamado de B-OTDA. Embora essa configuração forneça os sinais mais fortes graças a uma interação estimulada, ela é limitada em alcance de distância devido à necessidade de uma configuração de loop. Na prática, as distâncias mais longas cobertas corresponderiam a um elo unidirecional máximo de 80 km¹². Distâncias mais longas foram alcançadas adicionando amplificadores ópticos distribuídos na linha^{3,4}, mas a distância máxima de 75 km entre amplificadores não seria aplicável em um link de telecomunicações, sem mencionar os efeitos não locais complicados sobre tais distâncias⁵. O B-OTDA não está dimensionado para instalações típicas de cabos de telecomunicações e não pode ser inserido praticamente para adquirir uma medição sem rosquear o cabo que excede 80 km.

A segunda solução é o B-OTDR, que usa um único sinal de probe, enviado de um lado da conexão. O B-OTDR adquire a luz retroespalhada espontaneamente de Brillouin, assim como um OTDR comum com espalhamento Rayleigh. A vantagem dessa configuração é evidente quando se trata de um link com perda de orçamento muito alta ou até mesmo uma quebra: o B-OTDR sempre fornecerá informações sobre as seções acessíveis. O registro da distância percorrida em um experimento de laboratório foi de 150 km, usando uma combinação de detecção coerente e amplificação⁶ de Raman, mas a resolução espacial de 50 m e a precisão da medição na extremidade distal não seriam suficientes. Amplificador óptico em linha também foi proposto para o BOTDR⁷, mas novamente isso não seria aplicável a links de telecomunicações.



No presente artigo, relatamos uma nova implementação de um Brillouin OTDR coerente, integrado a um instrumento de campo operado por bateria. Um primeiro protótipo foi usado para caracterizar um link aéreo instalado de 152 km e perda total de orçamento de 34 dB com uma resolução espacial de 10 m. Requer duas aquisições de OTDR obtidas de ambas as extremidades do link, mas afirmamos que esta é a única técnica capaz de cobrir as distâncias das linhas de telecomunicações instaladas.

Configuração experimental

Nosso instrumento usa detecção coerente para detectar seletivamente os componentes espectrais de Rayleigh ou Brillouin dos sinais retroespalhados. O instrumento pode produzir traços regulares de OTDR para caracterizações de perda, explorar as informações de mudança de frequência de Brillouin para determinação de deformação (presumindo uma temperatura constante) e também usa a Razão Landau-Placzek (LPR) para uma determinação independente de temperatura e deformação⁸. Assim, o usuário tem à sua disposição três tipos de medições OTDR: perda de sinal, deformação e temperatura para determinar a integridade da fibra em teste.

Resultados

Durante esta campanha de teste, 7 fibras foram testadas a partir de três locais de Ust-Kut, Kirenga e Severobaikalsk, acumulando 23 aquisições completas de OTDR Rayleigh e Brillouin, a maioria sendo bidirecional. Nossos principais resultados são exibidos na figura 2.

A figura 2-a) mostra a deformação como função da distância para a linha de Ust Kut a Kirenga. Ele consiste em duas aquisições de ambas as extremidades, o traço de Kirenga sendo revertido, para mostrar o link completo e a boa correspondência no ponto intermediário do link. A sucessão de platôs, cada um com um desvio de frequência específico, é típica de uma instalação de cabo aéreo, onde os trechos de cabo montados nunca têm mais de 15 km, e cada cabo contém várias fibras de diferentes lotes. Na verdade, a mudança da troca de frequência de Brillouin é frequentemente mais fácil de detectar do que a atenuação de emenda no traço OTDR e isso pode ser explorado. A mudança de frequência Brillouin para um determinado tipo de fibra pode variar em +/-20 MHz em torno do valor nominal, dependendo do lote de fibra⁹, que se converte em +/-0,04% de alongamento. Isso gera uma incerteza substancial se alguém aplicar estritamente a recomendação do fabricante de uma alongação máxima de 0,2%. Nesse caso, seria necessário localizar e quantificar um evento de deformação como um desvio relativo do platô circundante, e isso complicaria a análise. No entanto, com a experiência prática de uma rede aérea operada sob condições extremas, é forçado a tolerar eventos de deformação de até 3% para durações curtas. Presumindo uma combinação de fibras que é tão homogênea quanto a da figura 2-a), pode-se negligenciar essas alterações relacionadas à fibra e deixar o instrumento decidir automaticamente se o cabo passa nos critérios com base em um limite absoluto fixo.

As incertezas relacionadas ao instrumento podem ser avaliadas a partir dos desvios padrão nos vários platôs sem eventos da aquisição, que são tipicamente de 0,0006% e até 0,0015% no ponto de junção central após uma atenuação de ligação de 17dB.

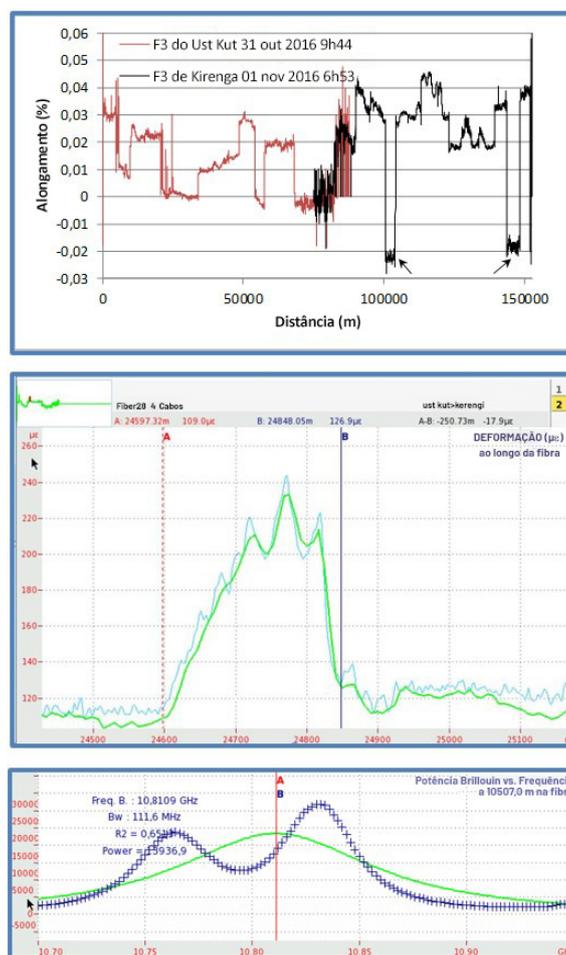


Fig. 2: a) Medição de deformação bidirecional acima de 152 km com pulso de 100 ns, setas indicam seções de SMF28e + de primeira geração.
b) Evento de deformação registrado com pulsos de 100 ns (azul) e 200 ns (verde).
c) Espectro Brillouin de modo duplo de SMF28e

Muitos dos perfis de deformação exibem trens de picos com uma periodicidade característica de 350 a 500 m, que é a distância entre as torres. A amplitude máxima é geralmente de 0,01%, com um nível mais alto de 0,03%. Esses valores bastante pequenos foram tranquilizadores na condição atual do link.

Deve-se observar que os eventos espalhados por fibras variam de 150 a 400 m e que as medições ocorreram em outubro. Presumivelmente, a deformação atinge níveis mais altos e fica mais localizada com cargas de gelo, enquanto durante o verão a deformação é liberada e se espalha espacialmente graças aos movimentos do cabo e ciclos térmicos. No entanto, os detalhes das aquisições apresentadas estão suficientemente resolvidos para destacar as fraquezas dos cabos, mesmo durante o verão.

A Figura 2-b) é uma captura de tela do instrumento de um evento de deformação mostrando duas aquisições sobrepostas feitas com pulsos de 100 ns e 200 ns. Embora a precisão e o alcance estejam se beneficiando do efeito suavizante e da maior energia de um pulso mais longo, obviamente apaga os detalhes mais rápidos. Deve-se sempre usar a melhor resolução espacial possível, uma vez que a extensão dos eventos depende de muitos parâmetros (distribuição da carga, estrutura e instalação exatas do cabo, gel usado...).

Os espectros de Brillouin também permitem reconhecer a fibra tipo⁹, Figura 2-c) mostra um espectro de modo duplo típico da primeira geração de SMF28e+. Essa fibra foi usada na ocasião dos reparos, enquanto um SMF28e de pico único regular havia sido usado no momento da instalação.

Uma campanha de medição, tal como descrita, seria apenas a primeira etapa no ciclo de manutenção do cabo, que pode ser conduzida na instalação ou na ocasião de um troubleshooting. Todas as medições subsequentes podem ser repetidas da mesma forma, mas seria recomendado usar a primeira medição como referência e produzir dados relativos. Isso removeria o problema de diferentes fibras com diferentes mudanças de frequência ao longo do link. Com as informações extras trazidas pelo LPR, nosso instrumento também pode contabilizar as variações sazonais de temperatura entre as duas medições. Isso aumentaria ainda mais a precisão em comparação com uma medição baseada exclusivamente no desvio de frequência de Brillouin e para a qual uma variação de +/-0,1% é esperada no range de temperatura. Com uma medição relativa e compensada por temperatura, torna-se simples identificar a menor evolução da deformação, usando um limite de alarme que pode ser definido para um valor muito baixo até a repetibilidade do instrumento.

Conclusões

Embora a tecnologia B-OTDR esteja disponível há muito tempo, demonstramos o primeiro instrumento implantável em campo, que tem um range dinâmico suficiente para cobrir as distâncias dos links de telecomunicações. Usando nosso protótipo, demonstramos operação adequada em um link de 152 km. Nossos testes de laboratório mostram que 200 km são acessíveis com uma largura de pulso de 400 ns (resolução espacial de 40 m). Quando escrevemos este artigo, o desenvolvimento foi concluído para incluir medições relativas, compensação térmica e todos os recursos necessários para explorar totalmente o potencial do instrumento diretamente no local.

Esta solução está comercialmente disponível como VIAVI Strain B-OTDR em um instrumento portátil.

Reconhecimentos

Gostaríamos de agradecer a Yaroslav Baranov, que possibilitou este estudo, e a Mikhail Nikolaev, que fez as aquisições na Sibéria.

Referências

1. L. Zou et al, "Long-term monitoring of local stress changes in 67km installed OPGW cable using BOTDA," (Monitoramento de longo prazo das mudanças de estresse local em cabo OPGW de 67 km instalado usando BOTDA) Proceedings of the SPIE, Volume 9634, id. 963461 4 pp. (2015).
2. X. Qian et al, "157km BOTDA with pulse coding and image processing," (BOTDA de 157 km com codificação de pulsos e processamento de imagem) Proc. SPIE 9916, Sexto workshop europeu sobre sensores de fibra óptica, 99162S (2016).
3. Y. Dong et al "Extending the Sensing Range of Brillouin Optical Time-Domain Analysis Combining Frequency-Division Multiplexing and In-Line EDFAs," (Estendendo o alcance de medição da análise óptica por domínio de tempo de Brillouin combinando multiplexação por divisão de frequência e edfas em linha) J. Lightwave Technol. 30, 1161-1167 (2012).
4. F. Gyger et al, "Ultra Long Range DTS (>300km) to Support Deep Offshore and Long Tieback Developments," (DTS de ultra longa distância (>300 km) para apoiar desenvolvimentos em áreas offshores profundas e longos tiebacks) ASME. Conferência internacional sobre mecânica offshore e engenharia do ártico, volume 6B: Pipeline and Riser Technology (2014).
5. L. Thévenaz et al, "Effect of pulse depletion in a Brillouin optical time-domain analysis system," (Efeito do esgotamento de pulsos em um sistema de análise óptica por domínio de tempo de Brillouin) Opt. Express 21, 14017-14035 (2013).
6. M. N. Alahbabi et al, "150-km-range distributed sensor based on coherent detection of spontaneous Brillouin backscatter and in-line Raman amplification," (Sensor distribuído de 150 km baseado na detecção coerente de retroespalhamento espontâneo de Brillouin e amplificação Raman inline) J. Opt. Soc. Am. B 22, 1321-1324 (2005).
7. Y. T. Cho, et al, "100km 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 distribuído de 100 km baseado na detecção coerente de retroespalhamento Brillouin, com resolução espacial de 10 m, aperfeiçoado com duas etapas de amplificação remotamente bombeada com fibra dopada com érbio combinada com amplificação raman) in Optical Fiber Sensors, OSA Technical Digest, ThC4 (2006).
8. P.C. Wait et al, "Landau Placzek ratio applied to distributed fiber sensing", Optics Communications 122, pp 141-146 (1996).
9. Corning White Paper WP4259, "BOTDR measurement techniques and Brillouin backscatter characteristics of Corning single-mode optical fibers", (2015).