

SISTEMA PARA MEDIDA DE DISPERSÃO CROMÁTICA NA BANDA L EM SISTEMAS ÓPTICOS DE LONGA DISTÂNCIA JÁ INSTALADOS

J.B. Rosolem, A.A. Juriollo, R. Arradi, J.B.A. de Mello, R. N. Barbetta

Fundação CPqD
Rodovia Campinas-Mogi Mirim, 118,5
Campinas 13088.902, SP, Brasil

RESUMO

Foi implementado um sistema para medir a dispersão cromática na banda L de fibras ópticas já instaladas. O método é uma alternativa a sistemas comerciais que são limitados a distâncias de até 150 km. O sistema desenvolvido permite a medida da dispersão cromática em até 250 km na Banda L e baseia-se na medida do atraso entre duas portadoras ópticas de frequências distintas, que são simultaneamente moduladas por um sinal de onda quadrada.

1. INTRODUÇÃO

Sistemas ópticos de alta capacidade especialmente aqueles que fazem uso da técnica de multiplexação em comprimentos de onda de alta densidade (DWDM) são projetados atualmente considerando vários parâmetros sistêmicos, entre eles: o orçamento de potência do enlace, as penalidades causadas pelos efeitos não lineares e os efeitos causados pelas dispersões Cromática e PMD. Para se combater os efeitos da dispersão cromática em sistemas com alta taxa de transmissão (acima de 2,5 GB/s) normalmente usam-se modulação externa na transmissão, fibras de baixa dispersão cromática ou compensadores de dispersão em pontos estratégicos do enlace, tais como: estações de transmissão/recepção e repetidoras. Na análise da dispersão cromática de um enlace pode-se prever o alargamento de pulsos baseado em valores médios de dispersão em dado comprimento de onda ou computar a dispersão cromática baseada em dados fornecidos pelo fabricante do cabo de fibras. Ambas as alternativas não oferecem precisão no valor para dimensionamento do enlace. Assim algumas operadoras de telecomunicações preferem medir o valor da dispersão cromática do cabo já instalado, principalmente tratando-se de expansão em uma nova banda e em altas taxas de transmissão. Em sistemas terrestres a distância entre estações dificilmente supera 120 km de tal forma que tal avaliação pode ser feita através de equipamentos disponíveis comercialmente. Porém há uma classe de enlaces ópticos chamados de: sem repetição ("repeaterless"), cuja distância pode chegar a várias centenas de quilômetros. Normalmente a ampliação

da capacidade de transmissão via DWDM de enlaces sem repetição que usam fibras DS tem sido feita na banda L (1570 a 1610 nm), devido a presença de fortes efeitos não lineares que ocorrem na banda C [1]. Devemos portanto desenvolver um método para medir a dispersão cromática na banda L. Várias técnicas tem sido propostas para medir a dispersão cromática em enlaces de longa distância [2,3,4,5,6,7]. Desenvolvemos um método com variações de [2,3] para medida de longa distância e na banda L. Neste método ocorre a transmissão pela fibra de duas portadoras em comprimentos de onda distintos e moduladas por uma onda quadrada. O método é de grande simplicidade devido ao fato de que o atraso entre estas portadoras é facilmente observado em um osciloscópio digital colocado na recepção. O sistema desenvolvido permitiu medidas da dispersão cromática em enlaces de até 250 km na região entre 1570 e 1610 nm. Testamos a técnica em laboratório e em campo obtendo excelentes resultados.

2. ARRANJO EXPERIMENTAL

A figura 1 ilustra o diagrama do sistema utilizado para medir a dispersão cromática, consistindo de um transmissor e um receptor. O transmissor consiste de dois lasers sintonizáveis, controladores de polarização, combinador, gerador de onda quadrada, modulador eletro-óptico, "driver" para o modulador, derivador, amplificador óptico de potência e analisador de espectro. O receptor consiste de um pré-amplificador óptico, filtro, receptor de alta capacidade e osciloscópio digital. O princípio da técnica é medir o atraso temporal ($\Delta\tau$) causado pela dispersão cromática de um trecho L de fibra quando duas portadoras ópticas separadas espectralmente de $\Delta\lambda$, são transmitidas por ela. O coeficiente de dispersão cromática será dado por:

$$D = \Delta\tau / (\Delta\lambda \cdot L) \quad (1)$$

No sistema desenvolvido a separação espectral $\Delta\lambda$ entre as portadoras transmitidas é fixada da maneira mais conveniente para a correta visualização do atraso no osciloscópio digital no lado da recepção. Os lasers empregados no sistema são sintonizáveis em toda a faixa

da banda L. Decidimos pelo emprego de um modulador eletro-óptico para preservar a forma de onda quadrada na recepção e facilitar desta forma a medida do atraso temporal entre as portadoras. O emprego de modulação direta dos lasers, apesar de diminuir o efeito Brillouin, provoca o alargamento do espectro e conseqüentemente alargamento do sinal de onda quadrada na recepção., piorando desta forma a precisão da medida. A Figura 2 ilustra uma visualização do atraso temporal entre duas portadoras como seria visto no osciloscópio digital da recepção.

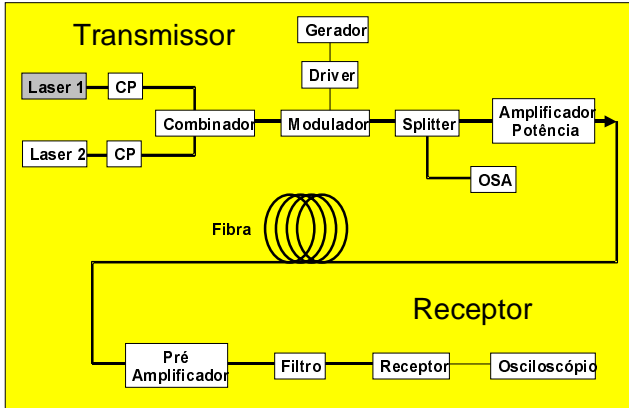


Figura 1. Diagrama de blocos do sistema desenvolvido para medida da dispersão cromática em sistemas de longa distância na banda L.

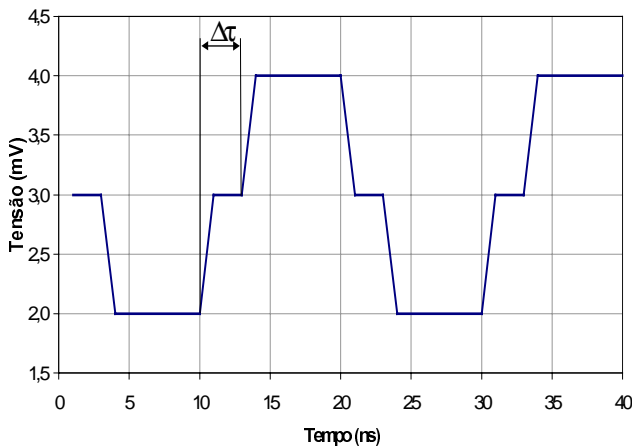


Figura 2. Sobreposição e o atraso de dois sinais de onda quadrada mostrado no osciloscópio da recepção do sistema de medida.

A utilização dos amplificadores ópticos de potência e pré depende da distância a ser medida. Para viabilizar a medida de enlaces de até 250 km ambos os tipos devem ser utilizados. No entanto o uso de amplificadores impõe algumas dificuldades que devem ser contornadas, tais como: diminuição da banda espectral a ser medida,

aumento do ruído e problemas causados pelo aparecimento dos seguintes efeitos não lineares: Espalhamento Brillouin, Mistura de Quatro Ondas e Auto Modulação de Fase.

3. RESULTADOS

O sistema para medida de dispersão foi testado inicialmente em 100 km de fibra DS. Nesta distância é possível comparar os resultados da medida com aquela obtida por um equipamento comercial. A Figura 3 mostra as curvas do sistema desenvolvido no CPQD e a curva do equipamento comercial. Os resultados mostram excelente concordância entre si. Apesar da distância não ser tão longa utilizou-se níveis de potência de saída relativamente altos das duas portadoras ($\approx +16$ dBm por portadora). Este nível de potência é necessário para a medida de dispersão cromática em enlaces com distância acima de 150 km. Um dos efeitos não lineares que aparece na fibra quando se transmitem sinais de alta potência (>10 dBm) com largura de linha muito fina (nosso caso devido ao uso de modulação externa) é o efeito Brillouin. No sistema de medida este efeito mostrou-se muito intenso, criando ruído adicional na recepção. Para contornarmos o problema usamos recursos de cálculo de média disponíveis no próprio osciloscópio digital. As portadoras foram simultaneamente moduladas na transmissão por um sinal de onda quadrada com frequência de 85 MHz. A separação das duas portadoras usada em toda a faixa espectral de medida foi de 10 nm.

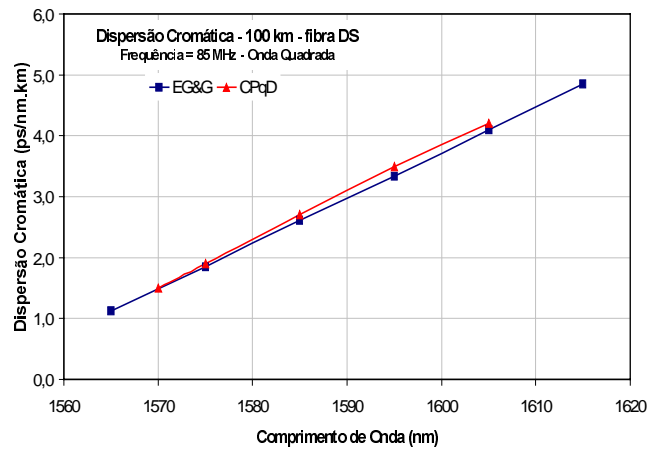


Figura 3. Comparação dos resultados de medida de dispersão cromática em 100 km de fibra DS feita pelo sistema desenvolvido no CPQD e por um equipamento comercial.

Tendo em vista a obtenção da faixa dinâmica total do equipamento, testamos seqüencialmente em 189, 208 e 249 km de fibras DS. Na Figura 4 mostramos os resultados da medida de dispersão cromática feita nestes enlaces. A perda total do enlace de 249,8 km de fibra foi de ≈ 53 dB e

este foi considerado o limite de medida do equipamento desenvolvido.

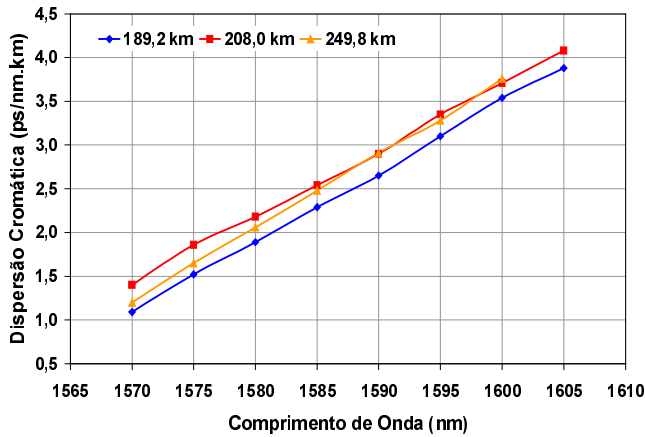


Figura 4. Resultados da medida de dispersão cromática usando o método desenvolvido pelo CPQD em diversos comprimentos de enlaces de fibras DS.

4. CONCLUSÃO

Apresentamos neste trabalho uma técnica para medida de dispersão cromática em enlaces sem repetição de até 250 km de comprimento. A técnica foi particularizada para uso na banda L, no entanto pode ser empregada em qualquer faixa do espectro. Os resultados da medida em 100 km de fibra mostram excelente concordância com as medidas efetuadas em equipamentos comerciais. Estes equipamentos porém são limitados a comprimentos máximos de fibra de 150 km. O sistema desenvolvido permitiu a medida da dispersão cromática com sucesso em um enlace de fibras DS de até 250 km de comprimento estando apto a ser utilizado em campo.

5. REFERÊNCIAS

- [1] M. Jinno et al, "First Demonstration of 1580 nm Wavelength Band WDM Transmission For Doubling Usable Bandwidth and Suppressing FWM on DSF", Electron. Lett., 33, 1997.
- [2] CD.W. Schicketanz et al, "Dispersion measurement using two wavelengths", Electron. Lett., 22, pp. 209-210, 1986.
- [3] B. Christensen et al, "Simple Dispersion Measurement Technique with high resolution", Electron. Lett., 29, pp.132-134, 1993.
- [4] S. J. Penticost et al, "Measurement of chromatic dispersion using two simultaneously modulated wavelengths", IEE Colloquium on High Capacity Optical Communications, London, 1994.
- [5] M. Nakazawa et al, "A novel technique for measuring group velocity dispersion of an installed ultralong

fiber by using erbium doped fiber amplifier", Jpn. J. Appl. Phys., 34, pp. L1167-L1169, 1995.

- [6] A. Rossaro et al, "Chromatic dispersion mapping by tunable OTDR", OFC/IOOC, San Diego, 1999.
- [7] K. S. Abedin, et al, "Application of Sagnac interferometer for measuring chromatic dispersion of installed singlemode fibers", Electron. Lett., 36, 2000.