

2 Métodos de Medida da PMD

Teoria básica de medição da PMD discutida na referência 6, Test and Measurements. Neste capítulo serão abordados os aspectos mais importantes dos métodos de medida da PMD.

Existem várias metodologias de medida da PMD. Dos três métodos mais amplamente utilizados comercialmente: Interferométrico, Análise fixa, e Polarimétrico, somente os dois primeiros foram utilizados pelos fabricantes na medição das fibras cabeadas. Nas medidas realizadas em campo fez-se uso de um equipamento interferométrico. Por esta razão, somente estas duas metodologias serão abordadas neste estudo.

2.1 Método da Análise Fixa

Neste método de análise fixa ou varredura do comprimento de onda (Wavelength Scanning), a média do DGD é determinada estatisticamente a partir do número de picos e vales na transmissão da potência óptica através de um polarizador quando uma faixa de comprimento de onda é varrida. Um polarizador é colocado diretamente na entrada da fibra e um analisador na saída, daí a procedência do nome do método. Neste método a variação do comprimento de onda pode ser feita por meio de emprego de uma fonte sintonizável ou por meio de uma fonte de espectro largo.

Embora a variação do estado de polarização de saída no caso de modo de acoplamento aleatório de fibras é errônea, para um comprimento de onda particular, um par de estados principais de polarização existe e representa o diâmetro de uma esfera sobre a qual a polarização de saída fará um giro sobre um pequeno comprimento de onda suficientemente varrido. O DGD pode ser calculado pela relação:

$$\Delta DGD = \Delta\theta / \Delta\omega \quad (6)$$

Onde $\Delta\theta$ é o ângulo do arco em radianos e $\Delta\omega$ é a mudança incremental da frequência óptica que produziu o arco. O raio do arco não aparece no cálculo. Repetindo-se esta medida em uma série de comprimentos de onda obtém-se o DGD(λ), atraso diferencial de grupo em função do comprimento de onda. Intuitivamente o método de análise fixa emprega este mesmo princípio. Ele determina a taxa de rotação do número de picos e vales na transmissão através de um polarizador sobre uma varredura relativamente ampla de comprimento de onda. Esta é a razão para o movimento do principal estado com um conhecido fator de correção, k , que é o fator de acoplamento de modos.

A Figura 5 representa possíveis estruturas de medida deste método.

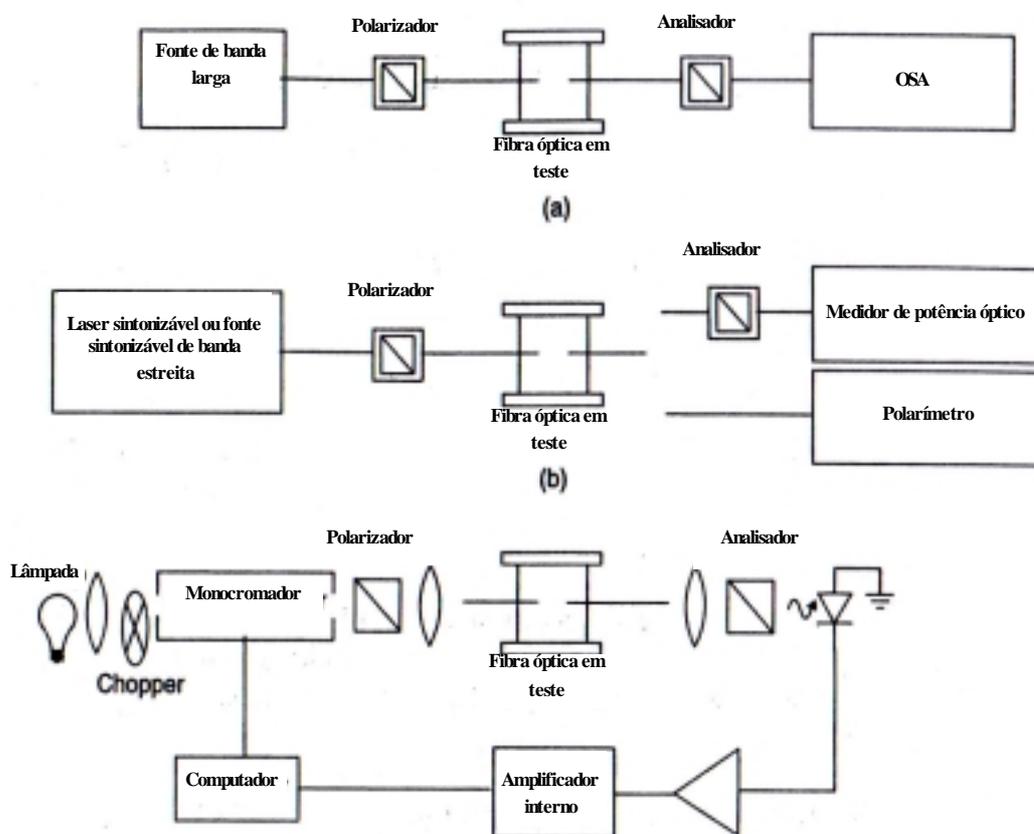


Figura 5 – Diversas montagens para o teste de análise fixa.

A medida em que o comprimento de onda varia, a fase relativa entre os PSPs varia ciclicamente, de modo que o sinal é periódico se o DGD for

constante, caso das fibras Hi-Bi por exemplo. Na Figura 6 é mostrada uma medida de uma fibra HiBi por este método.

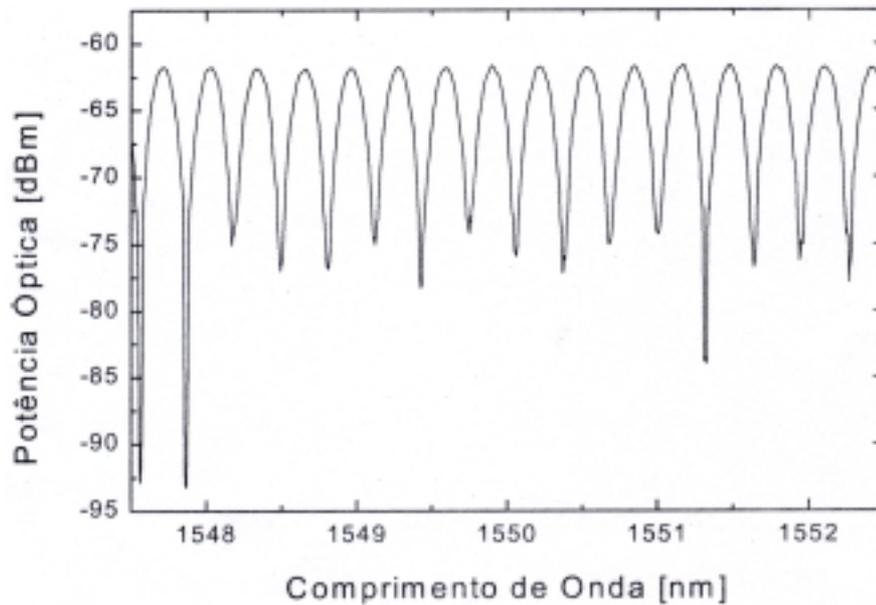


Figura 6 – Medida da PMD de uma fibra HiBi pelo Método de varredura de comprimento de onda.

Para obter-se o DGD faz-se a contagem do número de máximos e emprega-se a equação:

$$\Delta \tau = \frac{\Delta \phi}{\Delta \omega} = \frac{2\pi N}{\Delta \omega} = \frac{N}{2c} \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (7)$$

Onde N é o número de picos do espectro, c é a velocidade da luz e λ_1 e λ_2 são o primeiro e último pico do espectro. No caso de uma fibra convencional, a expressão 7 é completada por um fator de acoplamento de modos, k, ($0,824 < k < 1$), onde $k = 1$ para fibras sem acoplamento de modos e $k = 0,824$ para fibras com acoplamento 100% aleatório.

Observe que a intensidade da fonte varia ao longo do espectro, de modo que é necessário corrigir os dados para evitar que o resultado seja afetado por flutuações não ligadas a birrefringência. Isto é particularmente importante quando a fonte destas flutuações é a emissão espontânea amplificada (Amplified

Spontaneous Emission – ASE) de uma fibra dopada com érbio por exemplo. No caso de fibras normais, por exemplo, o espectro não é tão regular como mostrado pela Figura 6, mas sim com máximos e mínimos aleatórios como mostra a Figura 7.

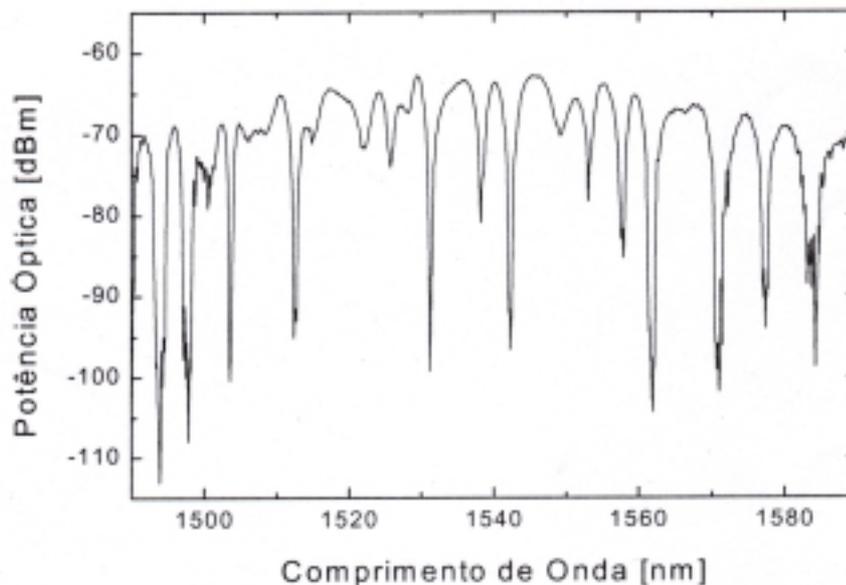


Figura 7 – Medida da PMD de uma fibra normal pelo método de varredura de comprimento de onda.

Perturbações mecânicas do enlace em teste podem afetar a polarização de saída, adicionando picos e vales espúrios a resposta do analisador fixo. Na prática, o enlace de fibra permanece fixo e a parte do dispositivo de teste está sempre se movendo, mesmo que microscopicamente. A precisão da medida sofre quando a polarização muda, causada pelo meio, é maior do que limite do instrumento. É uma prática recomendável restringir o movimento dos cordões que fazem a conexão do sistema de medida e o DUT, e para evitar acoplamento severo de vibrações mecânicas na bobina da fibra a ser medida. A estabilidade do enlace pode ser checada pela medição da polarização de saída por um período de tempo em um comprimento de onda fixo.

Como no método interferométrico, a resolução neste método está limitada pela largura espectral da fonte, pois para baixas PMD o número de oscilações é muito pequeno, sendo necessária uma grande largura espectral para se

observar oscilações no espectro. Por outro lado, os grandes valores da PMD passíveis de medida por esta técnica estão limitados pela redução espectral do analisador de espectro empregado.

2.2 Método Interferométrico

Este método de medida da PMD é baseado na medida da autocorrelação do campo elétrico, ou mútua coerência, de dois sinais derivados da mesma fonte de banda larga. O método interferométrico é baseado na medida direta do atraso de tempo. O esquema de medida é ilustrado na Figura 8. Considerando o interferômetro de Michelson inicialmente sem nenhum dispositivo inserido em seu detector. A luz de uma fonte com grande largura espectral, LED (Light Emitting Diode) ou luz branca, é acoplada em ambos os braços do interferômetro e a luz proveniente dos braços do espelho móvel e do espelho fixo é superposta ao detector. A interferência ocorre quando o comprimento dos dois braços diferir do comprimento de coerência da fonte. Como o espectro da fonte é muito largo, a interferência só ocorrerá quando os atrasos entre os dois braços do interferômetro forem iguais. Ou seja, o interferômetro é similar a um analisador, onde os modos de polarização que sofrem acoplamentos ao longo da trajetória óptica sofrem interferência entre si. A máxima visibilidade ocorrerá quando as trajetórias dos comprimentos forem perfeitamente iguais. A largura da resposta é inversamente proporcional à largura espectral da fonte.

O método interferométrico é aplicável em componentes ópticos com auto-estados bem definidos e em fibras ópticas em regime de comprimentos longos, onde os estados principais são funções do comprimento de onda. Os interferogramas resultantes, entretanto, são muito diferentes.

Considerando o primeiro caso de um dispositivo sem acoplamento de modos, uma fibra HiBi, onde existem dois PSP lineares, serão observados três picos de interferência: um pico central, correspondente a interferência de cada modo consigo mesmo, e dois picos laterais correspondentes à interferência cruzada entre os modos, onde o atraso de um dos modos da fibra é compensado no interferômetro. A Figura 8c mostra um interferograma típico observado para uma fibra HiBi. O DGD corresponde à metade da distância entre os picos externos, ou seja, à distância/tempo entre o pico central um dos picos externos.

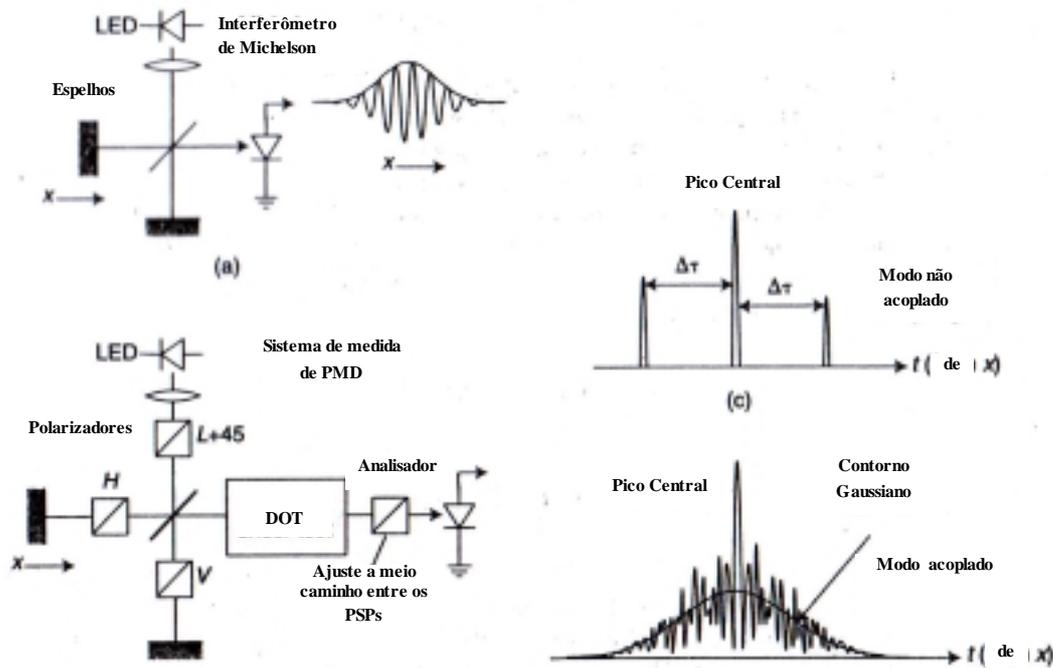


Figura 8 – Medida de PMD por interferometria, (c) Medida de uma fibra HiBi pelo método interferométrico, (d) Medida de uma fibra normal pelo método interferométrico.

O pico central não contém informação sobre a birrefringência, e pode ser eliminado do cálculo. No interferômetro as medidas são dadas diretamente em unidades temporais já que este sistema processa todos os comprimentos de onda ao mesmo tempo.

$$\Delta t = \frac{2\Delta x}{c} \quad (8)$$

A resposta interferométrica para fibras monomodo com grande acoplamento de modos para PMD muito maior que o tempo de coerência da fonte é mostrado na Figura 8d. A curva resultante da medida será um ruído Gaussiano, o qual é produzido pelas fases aleatórias das franjas de interferência. Obtém-se a PMD com o ajuste de uma Gaussiana sem o pico central, o qual não traz nenhuma informação referente à birrefringência, pois se refere a interferência de cada modo consigo mesmo. O valor rms da distribuição

dos DGDs é a metade da largura a meia altura da Gaussiana obtida (σ). Este valor está relacionado com a PMD pela seguinte relação:

$$\langle \Delta \tau \rangle_{\lambda} = \sqrt{\frac{8}{\pi}} \cdot \sigma \quad (9)$$

Em termos práticos pode-se pensar que uma fonte de baixa coerência emula pulsos cuja duração seria dada pela transformada de Fourier do espectro. Cada pulso propagar-se-á com um DGD diferente e a medida interferométrica pode ser entendida como uma medida direta da estatística dos atrasos de grupo ao longo da fibra.

O método interferométrico relaciona-se com o de varredura em comprimento de onda (wavelength scanning) através da transformada de Fourier.

A resolução do método interferométrico está limitada pela largura espectral da fonte utilizada. O pico central tem sua largura determinada pela transformada de Fourier do espectro da fonte, logo para um LED com 100 nm de largura espectral, o pico central tem cerca de 0,07 ps de largura, de modo que este é o limite de valores de PMD que pode ser medido por este método.

O método interferométrico não é afetado por perturbações mecânicas externas, o que lhe confere uma grande confiabilidade para medidas em campo.

2.3 Correspondência entre os Métodos de Medida

Como um resultado do caráter probabilístico da PMD, a correspondência numérica entre os métodos tem recebido grande atenção nos centros de interesse pelo regime em fibras longas, onde o acoplamento dos modos é aleatório e o coeficiente de PMD é definido e tem um significado. Nesta classe de fibra, medidas de coeficiente de PMD diferem comumente em 15% a 20% com uma melhor correspondência para valores mais altos de PMD e pior para baixos valores. Em contraste, para dispositivos com simples birrefringência, onde o dispositivo é caracterizado por um valor único do DGD, os métodos se correspondem dentro de pequena percentagem.

A correspondência menos expressiva observada nas fibras altamente modo acopláveis é causada por um certo número de fatores. O primeiro entre

estes é que a PMD é geralmente uma função da temperatura e estresse mecânico e assim é menos que um dispositivo de teste ideal para comparações entre os métodos.

Um segundo fator é a faixa de comprimento de onda, a qual é limitada pela instrumentação ou pela largura de faixa do dispositivo de teste. Este fator afeta todos os métodos de medida. Como exemplo, a resposta do analisador fixo de uma fibra contém poucos picos quando a faixa de comprimento de onda é reduzida, permitindo uma mudança de contagem para mais pesadamente influenciar no resultado.

Proximamente ligado está um terceiro fator, a orientação da polarização de lançamento e o analisador de saída relativa aos estados principais de polarização. Este é um fator presente nos métodos de análise fixa e por interferometria, particularmente quando se medem pequenos valores da PMD ou usando um espectro óptico estreito para a medida. Tomando-se o analisador fixo como exemplo, o rearranjo dos cordões de fibra usados nos testes para a realização das medidas transforma as polarizações de entrada e saída e podem mudar a contagem.