

ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE PMD MÁXIMO EM ENLACES DE CABOS ÓPTICOS PARA TELECOMUNICAÇÕES

C. E. P. Blume* (1), A. Pohl (2), J. A. Medeiros Neto (1)

(1) DAMEC e (2) CPGEI

do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET-PR)

Av. Sete de Setembro, 3165 CEP: 80230-901 – Curitiba, Paraná

contato: pohl@cpgei.cefetpr.br

tel: ++55 41 310 46 95 / fax: ++55 41 310 46 83

RESUMO

Apresentamos neste trabalho uma estimativa para o coeficiente de PMD máximo admissível em enlaces de cabos ópticos. Aplicando-se técnicas estatísticas a resultados obtidos experimentalmente foi possível determinar um valor limite para o coeficiente de PMD de um enlace composto por N seções de cabos ópticos de 24 fibras. Essa estimativa é importante tendo em vista o fato de que, na prática, medidas de PMD em enlaces de longa distância são difíceis de serem realizadas.

1. INTRODUÇÃO

A dispersão do modo de polarização (PMD – Polarization Mode Dispersion) é um importante parâmetro que limita a extensão de enlaces de comunicação óptica de longa-distância. Em uma fibra óptica cilíndricamente perfeita existem dois modos degenerados que se propagam em direções perpendiculares. A quebra dessa degenerescência, quando a geometria se afasta da simetria cilíndrica, faz com que os dois modos se propaguem com velocidades de grupo diferentes ao longo dos eixos ortogonais, gerando o fenômeno de atraso diferencial de grupo (DGD – differential Group Delay). Além disto, a existência de microcurvaturas, torções, mudança de temperatura etc, que estão distribuídas randomicamente ao longo da fibra, provocam o acoplamento de potência entre esses dois modos resultando em uma variação aleatória do DGD. A dispersão do modo de polarização pode ser expressa em termos do DGD para um comprimento de onda específico ou, de forma genérica, como uma média dos valores de DGD sobre um intervalo específico de comprimentos de onda.

Existem vários estudos sobre o fenômeno de PMD. Contudo, apenas recentemente trabalhos sobre o PMD em fibras instaladas tem sido publicados [1,2,3]. Na prática,

fibras são instaladas dentro de cabos ópticos. O processo de fabricação dos cabos e sua posterior instalação provocam microcurvaturas e torções adicionais na fibra provocando alteração dos valores de PMD. Em particular, a dificuldade em se medir o PMD em enlaces instalados tem suscitado a utilização de métodos estatísticos para se estimar tal parâmetro [4,5]. Esses métodos empregam a abordagem de seções concatenadas de cabos para se calcular o PMD de um enlace de longa distância.

Neste trabalho apresentamos uma análise comparativa dos resultados obtidos aplicando-se as técnicas estatísticas descritas no boletim TIA/EIA TSB107 [6] aos resultados experimentais obtidos a partir de medidas em um cabo óptico de 24 fibras óptica com a configuração de tubo solto (*loose tube*). Os resultados demonstram a equivalência dos coeficientes de PMD máximo obtidos em função das técnicas aplicadas.

2. CÁLCULO DO COEFICIENTE DE PMD

Métodos estatísticos são empregados para tratar fenômenos de natureza estocástica, como no caso da dispersão do modo de polarização. Sua utilização implica na existência de um grande número de amostras, a partir das quais uma função de distribuição de probabilidade possa ser calculada.

Atualmente, fabricantes são cada vez mais pressionados a especificar um valor máximo de PMD para os cabos de fibras ópticas que manufaturam. Cabos são fabricados com comprimentos de apenas alguns quilômetros e são emendados para formarem enlaces de longa distância. Como o PMD é uma característica que é afetada pelas condições ambientais e de instalação dos cabos, urge aplicar métodos que possam estimar valores máximos para tal parâmetro em enlaces de longa distância.

O parâmetro de interesse é o coeficiente de PMD medido em ps/√km. O coeficiente de PMD de uma seção de cabo é definido como o valor de PMD em picosegundos dividido pela raiz quadrada de seu comprimento em quilômetros. O coeficiente de PMD de um enlace é definido como a raiz quadrada da soma dos quadrados dos coeficientes de PMD de cada seção de cabo dividido pelo número de seções que constituem o enlace.

$$(1) \quad X_N = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

onde

X_N – coeficiente de PMD do enlace (ps/√km)

x_i – coeficiente de PMD de uma seção de cabo (ps/√km)

N – número de seções de cabo de um enlace

Em uma distribuição estatística pode-se calcular o valor assumido por uma variável aleatória através da probabilidade de ocorrência daquele valor. Assim, a cada valor do coeficiente de PMD de uma dada distribuição, referente a um enlace com N seções de cabos, está associada uma probabilidade de ocorrência. Em particular, o coeficiente de PMD máximo do enlace, X_Q , pode ser definido em termos de um pequeno valor de probabilidade, Q , de tal forma que, para um dado valor de Q , a probabilidade de se encontrar um valor de coeficiente de PMD, X_N , maior do que X_Q é menor do que Q :

$$\Pr (X_N > X_Q) < Q$$

Neste trabalho foram utilizadas as técnicas de Monte Carlo, da função Gama e do Teorema do Limite Central Generalizado para se construir funções densidade de probabilidade do um enlace com N seções de cabos, a partir das quais o coeficiente de PMD pudesse ser calculado.

Como base amostral do processo estatístico foram utilizadas as medidas dos coeficientes de PMD obtidas em bobinas de 5 km de cabo óptico de 24 fibras na configuração de tubo solto. Foram realizadas medidas em 100 fibras escolhidas aleatoriamente empregando a técnica conhecida como *wavelength-scanning* [7]. Os valores médio, máximo e mínimo calculados a partir dos dados experimentais encontram-se na tabela 1.

Coeficiente de PMD – Cabo de 24 Fibras	
Média	0,065
Máximo	0,196
Mínimo	0,037

Tabela 1 – valores experimentais para o coeficiente de PMD (ps/√km)

Na técnica de Monte Carlo, os coeficientes de PMD de cada seção de cabo, x_i , são escolhidos randômicamente, a partir dos valores experimentais. Esses coeficientes são utilizados na equação (1) para calcular o coeficiente de PMD de um enlace, X_N , composto por N seções de cabo. Esse processo é repetido k vezes, onde $k \leq 10/Q$. Como Q deve ser um valor pequeno ($Q < 10^{-4}$), o processo é repetido no mínimo 100.000 vezes. O coeficiente de PMD máximo é determinado a partir da função de probabilidade acumulada

$$(2) \quad c_m = \sum_{k=1}^m p_k$$

onde p_k representa a frequência relativa normalizada na qual os valores do coeficiente de PMD do enlace aparecem na distribuição. O coeficiente de PMD máximo do enlace, X_Q , é encontrado pelo primeiro valor de X_N que satisfaça a condição $c_m \geq 1 - Q$.

A segunda técnica utilizada assume que o quadrado dos coeficientes de PMD são distribuídos como uma variável randômica que obedecem uma função do tipo Gama.

Neste caso, para um dado valor de Q , a probabilidade de se encontrar um valor de coeficiente de PMD maior do que X_Q é calculada através da integral

$$(3) \quad \int_0^{p_Q} \frac{y^{a-1}}{\Gamma(a)} \exp(-y) dy = 1 - Q$$

onde $a \equiv N\alpha$ e $y \equiv N\beta(X_N)^2$. N representa o número de seções de cabos e X_N é o coeficiente de PMD do enlace. α e β são os parâmetros de formato e escalonamento da função distribuição de probabilidade e são determinados a partir dos coeficientes de PMD das seções de cabos, calculados utilizando os valores experimentais [6]. Na solução dessa integral, deve-se encontrar um valor para p_Q de tal forma que a condição 1-Q seja atendida.

O coeficiente de PMD máximo do enlace pode ser então calculado por

$$(4) \quad X_Q = \left(\frac{p_Q}{N\beta} \right)^{1/2}$$

A técnica do Teorema do Limite Central Generalizado parte diretamente dos coeficientes de PMD medidos em M seções individuais de cabos, a partir dos quais os seguintes momentos são calculados

$$(5) \quad \mu_1 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i^2$$

$$(6) \quad \mu_2 = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (x_i^2 - \mu_1)^2$$

$$(7) \quad \mu_3 = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (x_i^2 - \mu_1)^3$$

onde

x_i – coeficiente de PMD medido em uma seção de cabo (ps/ $\sqrt{\text{km}}$)

M – número de medidas realizadas

O coeficiente de PMD máximo do enlace, partindo-se da função densidade de probabilidade acumulada [8], pode ser então calculado como

$$(8) \quad X_Q \approx \left[\mu_1 + z_Q \left(\frac{\mu_2}{N} \right)^{1/2} + \frac{\mu_3}{6\mu_2 N} (z_Q^2 - 1) \right]^{1/2}$$

onde z_Q é uma variável que depende do valor atribuído a Q [6]. Na equação (8), N indica o número de seções de cabos utilizado.

3. RESULTADOS

A figura 1 mostra o comportamento do coeficiente de PMD máximo, calculado pelas três técnicas descritas acima, em função do número N de seções de cabos utilizados para calcular o coeficiente de PMD do enlace, X_Q . As curvas foram calculadas empregando-se um valor de 10^{-4} para o parâmetro Q. Cada seção de cabo representa um comprimento de 5 km. Da figura, observa-se a convergência do coeficiente de PMD máximo admissível, X_Q , para valores de $N > 20$.

A tabela 2 mostra os valores dos coeficientes de PMD máximos calculados para um enlace com $N = 20$

	Coeficiente de PMD Máximo - X_Q
Monte Carlo	0,105294
Função Gama	0,106144
Teorema do Limite Central	0,106415

Tabela 2 – Valores do coeficiente de PMD máximo para um enlace composto por 20 seções de cabos de 5 km.

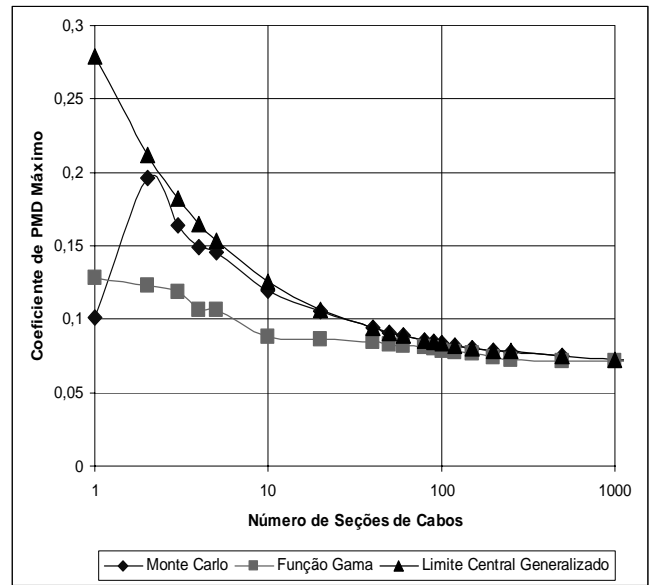


Figura 1 – Coeficiente de PMD máximo (ps/ $\sqrt{\text{km}}$) de um enlace em função do número N de seções de cabos utilizadas nos modelos estatísticos.

4. CONCLUSÃO

A aplicação de modelos estatísticos é uma técnica importante para determinação de um limite para o coeficiente de PMD de enlaces de cabos ópticos. Partindo-se de dados experimentais foi possível determinar um limite de PMD para um enlace de cabos ópticos em uma configuração do tipo loose com 24 fibras. Os resultados mostram que a partir de um determinado número de seções ($N > 20$) a variação no valor do coeficiente de PMD é insignificante, qualquer que seja o modelo estatístico empregado. Contudo, resultados obtidos para $N < 10$ mostram uma razoável variação nos valores, indicando uma limitação desses mesmos métodos.

5. REFERÊNCIAS

- [1] H. Sunnerud, B.-E. Olsson, M. Karlsson, P.A. Andrekson e J. Brentel, "Polarization-Mode Dispersion Measurements Along Installed Optical Fibers Using Gated Backscattered Light and a Polarimeter", *J. Lightwave Technol.*, vol. 18, pp. 897-904, Julho 2000.
- [2] M. Karlsson, J. Brentel e P.A. Andrekson, "Long-Term Measurement of PMD and Polarization Drift in Installed Fibers", *J. Lightwave Technol.*, vol. 18, pp. 941-951, Julho 2000.
- [3] A. Galtarossa, L. Palmieri, A. Pizzinat, M. Schiano e T. Tambosso, "Measurement of Local Beat Length and Differential Group Delay in Installed Single-Mode Fibers", *J. Lightwave Technol.*, vol. 18, pp. 1389-1394, Outubro 2000.
- [4] S.A. Jacobs, J.J. Refi e R.E. Fangmann, "Statistical Estimation of PMD Coefficients for System Design", *Electron. Lett.*, vol. 33, pp. 619-621, Março 1997.
- [5] L.F. Marques, A. M. Simião, R. F. Cruz, J.A. Medeiros e M.R. Boulos, "Statistical Analyses of PMD Using Monte Carlo Method for Different Configuration of Loose Tube Optical Cable", in *Proceedings of OFC'2001*, 2001, paper WDD12
- [6] TIA/EIA TSB107 "Guidelines for the Statistical Specification of Polarization Mode Dispersion on Optical Fiber Cables", edição de Novembro 1999
- [7] R. Cross, "PMD Measurements Methods", *Fiberoptic Product News*, pp.27-29, Junho 1995.
- [8] J. Patel e C. Read, "Handbook of the Normal Distribution", Marcel Dekker Inc., New York, 1982.

* O Sr. Carlos Eduardo Blume agradece o apoio financeiro para a realização deste trabalho, obtido através do convênio DAMEC/CEFET-PR e Furukawa Industrial – Produtos Elétricos S.A sob os auspícios da Lei de Informática.