

LIMITES EN LA COMPENSACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE MODOS DE POLARIZACIÓN (PMD) EN REDES ÓPTICAS COHERENTES

Juan Carlos Bermudez Gutierrez, Alberto Pineda Godínez, Carlos Jair Santín Cruz
Fiberlab S..de R.L. de C.V.

Av. Peñuelas No. 5, Int. 18, Fracc. Industrial San Pedrito Peñuelas, Querétaro, Qro. México, C.P. 76148
Tel. 01 800 890 8490 correo electrónico: juan.bermudez@fiberlab.com.mx

Resumen: Se presentan los principales factores que afectan el desempeño de los sistemas de compensación activa de PMD en redes ópticas coherentes 100 Gb/s y 400 Gb/s, así como las principales pruebas de laboratorio sobre estos sistemas de compensación para garantizar el correcto desempeño de estas redes de alta capacidad.

1. INTRODUCCIÓN

La explosión de los últimos 5 años en la demanda de ancho de banda, con un crecimiento anual estimado en 40% [1], está llevando a un extenso despliegue de redes ópticas con detección coherente, este tipo de redes permite codificar hasta 16 bits por ciclo mediante formatos de modulación compleja como 16-QAM (modulación en amplitud y fase en cuadratura) [2], de esta forma se logran alcanzar anchos de banda de hasta 400 Gb/s por longitud de onda, llevando a las redes ópticas actuales hasta 60 Tb/s por fibra [3].

Un punto clave de esta tecnología es la compensación activa (en tiempo real) de la dispersión de modos de polarización (PMD) en el dominio eléctrico. En el presente artículo se examinan las limitaciones y las diferentes causas por las cuales los circuitos de compensación activa de PMD pueden fallar o ser inefectivos.

2. COMPENSACIÓN ACTIVA DE PMD

Las redes ópticas con detección coherente y sistemas de modulación compleja como 16-QAM, pueden compensar los efectos dispersivos de forma digital en el dominio eléctrico, sin embargo estos sistemas son altamente susceptibles a los límites no lineales de la fibra y al ruido del sistema en su conjunto, i.e. ruido en transmisores, receptores, amplificadores, etc.

2.1. El PMD como fenómeno estocástico

El PMD está altamente correlacionado a los estados de polarización (SOP) de la señal óptica al viajar por fibra. Los cambios tanto de SOP como de PMD son provocados por fluctuaciones en la birrefringencia de la fibra, la cual es a su vez provocada por la elipticidad del núcleo o por factores externos como esfuerzos mecánicos, cambios de temperatura,

vibración, presión, etc. Estos son esencialmente aleatorios, provocando que los valores de SOP y PMD cambien en el tiempo.

2.2. Factores que afectan el desempeño de la compensación activa de PMD

Los sistemas con detección coherente realizan 4 principales funciones 1) seguimiento continuo de los estados de polarización (SOP), 2) demultiplexación de los estados de polarización, 3) compensación del PMD y 4) disminución de las pérdidas dependientes de la polarización (PDL). Estas funciones se llevan cabo mediante circuitos DSP de alta velocidad y algoritmos de compensación en los transceptores. Cualquier factor externo que afecte el desempeño de las dos primeras funciones afectará el desempeño de la compensación de PMD. Entre los principales factores que afectan este desempeño se encuentran: [1], [3].

- Variaciones rápidas de SOP y PMD
- Cambios abruptos de SOP y PMD
- Pérdida de la ortogonalidad de SOP
- Valores altos de PMD
- Pérdidas dependientes de la polarización
- Efectos no lineales en la fibra provocados por amplificadores de alta potencia.

3. PRUEBAS DE LABORATORIO

La implementación de algunas pruebas de laboratorio bajo condiciones controladas de SOP, PMD y PDL permiten determinar la capacidad de los sistemas de rastreo, demultiplexación y compensación ante los efectos mencionados. Este tipo de pruebas requieren en general simuladores de SOP, PMD PDL.

I. Velocidad de rastreo del estado de polarización. La velocidad de rastreo del estado de

polarización se define como la tasa de variación máxima de SOP a la cual el sistema puede operar correctamente sin perder el rastreo de SOP. Un patrón de SOP recomendado para esta prueba es el Tornado, el cual cubre toda la esfera de Poincaré y cuya distribución de probabilidad está centrada en los estados de polarización con variación más rápida. Figura.1.

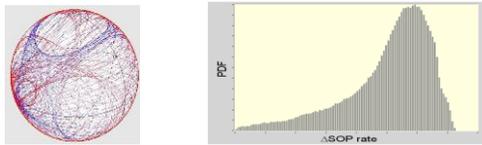


Fig. 1. Patrón Tornado de generación de SOP.

II. Tiempo de respuesta de SOP. Es el tiempo requerido por el circuito y el algoritmo de rastreo para recuperar el estado de polarización (SOP) perdido después de una variación abrupta. Esta prueba requiere de una variación de SOP generada por una función de onda cuadrada. Figura.2.

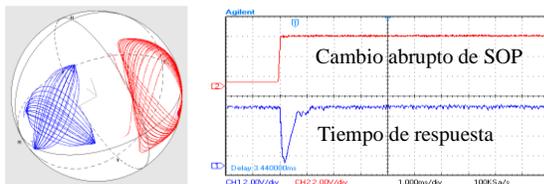


Fig. 2. Patrón cuadrado de generación de SOP

III. Ortogonalidad de SOP. La pérdida en la ortogonalidad en los estados de polarización está directamente relacionada a la interferencia entre los canales transmitidos en diferentes estados de polarización. La ortogonalidad debe ser medida después de que los dos canales son combinados en el transmisor y antes de ser separados en el receptor.

IV. Velocidad de rastreo de PMD. Una prueba de velocidad de rastreo de PMD permite determinar la velocidad máxima de variación de PMD a la cual el compensador es todavía efectivo.

V. Tolerancia máxima de PMD. Permite determinar el máximo valor de PMD presente en el enlace bajo el cual se tiene una tasa de errores de bits (BER) menor a los requerimientos del sistema.

VI. Prueba combinada de SOP, PMD y PDL. Una prueba combinada permite estresar los tres fenómenos de forma simultánea (SOP, PMD, PDL) para analizar el comportamiento del sistema de

comunicación bajo condiciones similares a las cuales operará. Figura 3.

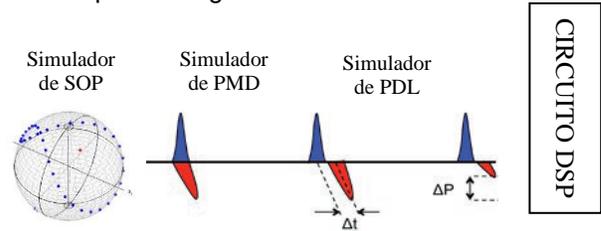


Fig.3. Prueba completa de condiciones de PMD.

Las pruebas de PMD requieren de un generador determinístico de PMD de primer y segundo orden cuyos valores puedan variar y ser controlados a diferentes velocidades. Figura 4.

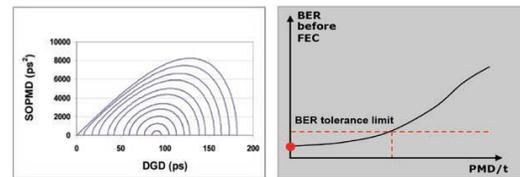


Fig. 4. Generador determinístico de PMD.

4. CONCLUSIONES.

La compensación activa de PMD ha permitido el desarrollo de redes ópticas de hasta 60 Tb/s por fibra, sin embargo, los circuitos DSP de compensación tienen límites de operación en cuanto a la variación del PMD y SOP, esto aunado a que el PMD es un fenómeno estocástico, vuelve crítica la correcta caracterización de los circuitos DSP bajo condiciones similares a las que operarán. De igual forma la correcta caracterización (medición de propiedades ópticas) de los enlaces de fibra óptica antes de la puesta en marcha del sistema es crucial para garantizar el correcto desempeño de este tipo de redes.

REFERENCIAS

- [1] David Mazzaresse “Optical Optimized for Long Haul Transmission at 400 Gb/s and Beyond”, Furukawa Company, white papper, 03-2014.
- [2] Matthias Seimets, “High order modulation for optical fiber transmission”, Vol. 143 Springer series in optical sciences, ed. Springer, Berlín, 2009.
- [3] Han Sun, Kuang-Tsan Wu, and Kim Roberts, “Real time measurements of 40 Gb/s coherent systems”, optics express, vol. 16, issue 2, pp. 873 -879, (2008).