

INCIDENCIA DEL EFECTO FWM (FOUR WAVE MIXING) EN COMUNICACIONES ÓPTICAS CON MULTIPLEXACIÓN UDWDM (ULTRA DENSE WDM)

Ordóñez Mendieta, A.; Jaramillo Castro, C.

Universidad Nacional de Loja

angel.j.ordonez@unl.edu.ec

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar la incidencia del efecto no lineal FWM (Four Wave Mixing) en la calidad de las comunicaciones ópticas que implementan una multiplexación por longitud de onda ultra densa (UDWDM por sus siglas en inglés), un parámetro primordial en las transmisiones de datos actuales y futuras en el área de telecomunicaciones. Para consolidar el análisis se establecieron los elementos activos y pasivos de la red que conformaron la estructura del enlace óptico a ser analizado, una vez establecido el diseño y parámetros de la red se realizó su simulación en el software Optisystem, obteniendo los resultados necesarios para generar criterios y conclusiones.

Palabras clave: FWM, redes ópticas, telecomunicaciones, efectos no lineales.

ABSTRACT

The present research objective determined the incidence of the nonlinear FWM effect on the quality of optical communications applying ultra-dense wavelength multiplexing (UDWDM), a primordial parameter in current and future data transmissions in the area of telecommunications. In order to consolidate the analysis, the active elements and the passives of the network that formed the structure of the optical link were established. Once the design and parameters of the network were established, their simulation was performed in Optisystem software, obtaining the necessary results to generate conclusions.

Keywords: FWM, optical networks, telecommunications, nonlinear effects.

INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento de las transmisiones de datos ha conllevado a que los nuevos sistemas de telecomunicaciones tiendan a buscar alternativas para mejorar el ancho de banda disponible en los enlaces existentes, tomando en consideración no exceder los costos y mantener la calidad en las transmisiones. En este punto, las redes ópticas que se encuentran desplegadas alrededor del mundo y que se encargan de transportar las principales cargas de tráfico de datos, se han ido saturando paulatinamente debido a las nuevas aplicaciones y servicios que presentan los sistemas de telecomunicaciones. Por este motivo, los investigadores se encuentran trabajando en nuevos métodos de multiplexación de datos, principalmente para

mejorar y optimizar el uso de redes ya existentes, teniendo como objetivo principal incrementar el ancho de banda sin necesidad de realizar nuevas instalaciones en lo referente a tendidos de fibra óptica.

Entre estos nuevos sistemas de transmisión mediante el uso de fibra óptica, se encuentra el sistema de comunicaciones mediante UDWDM que es una evolución del sistema WDM tradicional, entre sus principales características se encuentra el incremento del ancho de banda existente, reduciendo el espaciamiento entre sus canales, esto a su vez, ha permitido identificar la considerable incidencia de los efectos no lineales en las transmisiones de largas distancias (Perafán, Tovar, Ordoñez y Agredo, 2012). Por tal motivo, es muy importante establecer los niveles de incidencia de estos efectos para aplicar mecanismos que permitan reducir o eliminar los problemas en la transmisión de datos provocado por estos efectos. El presente estudio, evaluará el comportamiento del efecto no lineal FWM, considerado uno de los más perjudiciales en este tipo de comunicaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

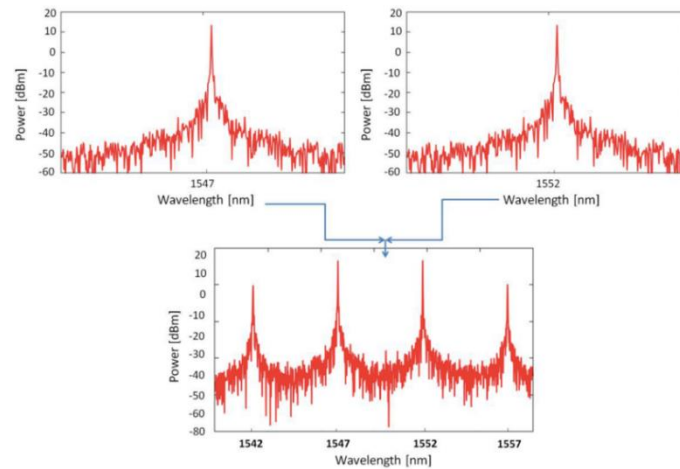
Para el desarrollo de la investigación se estableció un proceso de tres fases, las mismas que han permitido un correcto análisis y evaluación del nivel de incidencia del efecto FWM en las transmisiones ópticas.

Investigación

La recopilación de datos del funcionamiento e implementación de los sistemas UDWDM, como de los trabajos de investigación relacionados, ha permitido establecer los primeros lineamientos relacionados con los parámetros que afectan directamente al incremento o disminución de la incidencia del efecto FWM en las comunicaciones ópticas.

Puntualmente en redes WDM la mezcla de cuarta onda se presenta al realizar la transmisión de varias frecuencias que debido a la dependencia del índice de refracción con la magnitud del campo eléctrico produce la manifestación de nuevas ondas a frecuencias que tienen la posibilidad de solaparse con otros canales (López, López e Ibarra, 2015).

Figura 1. Ilustración del proceso de mezcla de cuatro ondas (FWM) en una fibra altamente no lineal (HNLF)



Fuente: Kibria y Austin (2015).

Aplicación

Con los datos técnicos y funcionales requeridos para la simulación de una red UDWDM se procede a seleccionar un software que permita diseñar correctamente la red y así obtener los datos más reales posibles, para este trabajo se seleccionó el programa “OptiSystem”, con el cual se puede realizar simulaciones de comunicaciones con fibra óptica incorporando características esenciales como configuración de índices de no linealidad fundamentales para los objetivos planteados (Rodríguez, Pérez y Roque 2016). En la configuración de los parámetros del multiplexor y demultiplexor se establecieron los siguientes valores:

Tabla 1. Parámetros configurados en el multiplexor y demultiplexor

Frecuencia media	190.1 THz
Número de canales	16
Espaciamiento	10 GHz
Modulación	NRZ (Non Return to Zero)
Bit Rate	10 Gbps
Potencia de Transmisión	1dBm

En la configuración de los parámetros de la fibra óptica se establecieron los siguientes valores:

Tabla 2. Parámetros configurados en la fibra óptica

Tipo	190.1 THz
Longitud	20 km
Atenuación	0.35 dB/km
PMD	0.2 ps/km
Coefficiente no lineal	$3 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$
Potencia de Transmisión	1dBm

En el sistema se procedió en primer lugar al diseño de una red de comunicación óptica común, con la red implementada se realizó la configuración de un sistema de transmisión con multiplexación UDWDM, que incorpora una separación de canales de 10 GHz (Sierra, 2017). Posterior a esto se varió diferentes parámetros del enlace tanto en lo referente a la transmisión como al tipo de fibra óptica utilizado con el fin de evaluar la relación Señal/Ruido en el receptor óptico, además, mediante el uso de analizadores de espectro ópticos se identificó el nivel de incidencia del efecto FWM en las señales.

Análisis

Para el análisis de los datos obtenidos se seleccionó un software que permita el análisis de los mismos, en base a las funciones y características que incorpora se utilizó el software matemático MATLAB versión 2014b, el mismo permitió visualizar y comparar la relación Señal/Ruido obtenida en la simulación y los valores del coeficiente de no linealidad, esto contribuyó a identificar de mejor manera los parámetros que inciden en el nivel de incidencia del efecto FWM (López, 2002).

RESULTADOS

Con la simulación de la red UDWDM se realizaron pruebas variando el parámetro de refracción no lineal que se puede modificar en la fibra óptica, partiendo de un valor de 0 para en un inicio visualizar la señal en el receptor sin la incidencia del efecto FWM y poder contrastarla con un transmisión que incorpore el parámetro de refracción no lineal común en fibras monomodo no lineales ($3 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$) (López, 2007).

Además, en base a los datos recopilados en otra investigación, que indica que la potencia de transmisión del sistema influye en la aparición del efecto FWM, se planteó realizar la modificación de la potencia de transmisión para visualizar su comportamiento en el receptor, para esto se estableció un rango de pruebas de: -10dBm a -26dBm. Con la puesta en marcha de la simulación y mediante el uso de un analizador del BER que se incorporó después del demultiplexor óptico se obtuvo los siguientes resultados.

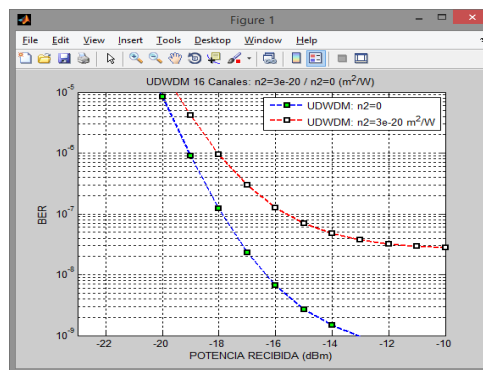
Tabla 2. Resultados de BER (potencia de transmisión y coeficiente de refracción no lineal)

Potencia de transmisión (dBm)	Coeficiente de refracción no lineal: $n_2 = 0$	Coeficiente de refracción no lineal: $n_2 = 3 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$
	BER	BER
-10	5.72e-10	-10
-11	6.34e-10	-11
-12	7.48e-10	-12
-13	9.70e-10	-13
-14	1.46e-9	-14
-15	2.70e-9	-15
-16	6.63e-9	-16

-17	2.33e-8	-17
-18	1.21e-7	-18
-19	9.06e-7	-19
-20	8.48e-6	-20
-21	8.13e-5	-21
-22	6.42e-4	-22
-23	3.64e-3	-23
-24	1.41e-2	-24
-25	1	-25
-26	1	-26

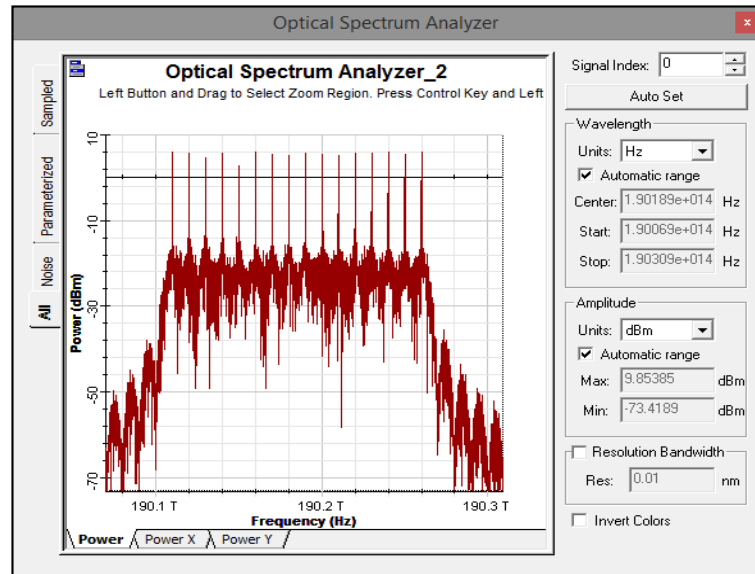
Como se puede evidenciar en los datos obtenidos, la potencia de transmisión utilizada en el sistema UDWM incide considerablemente en los niveles de calidad de la señal en la recepción de la red, esto lo podemos visualizar de mejor manera al tabular y graficar los datos en el software MATLAB obteniendo la figura 3 que se presenta a continuación:

Figura 2. Porcentajes de BER en la Recepción vs Potencia

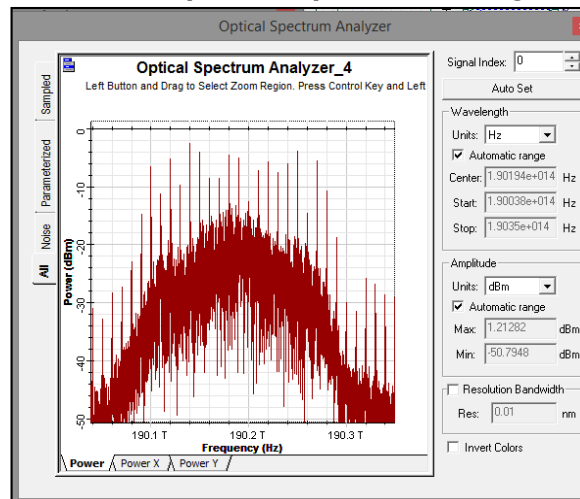


Se puede identificar en el sistema UDWM simulado, que, mientras se incrementa la potencia en la transmisión, en la red con coeficiente de refracción no lineal igual a cero la tasa de errores de bits presenta un decremento menor que en la red que utiliza un coeficiente de valor $n_2 = 3 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ con base en el análisis de estos datos se puede establecer que la potencia de transmisión influye considerablemente en la degradación de las señales transmitidas en fibras monomodo comunes. A partir de esta información es recomendable utilizar bajos niveles de potencia para la transmisión en redes UDWM lo que permitirá que los efectos no lineales que se presentan en la comunicación no influyan considerablemente en la regeneración de la señal en su receptor.

Continuando con el análisis en el simulador OptiSystem se realizó la captura del espectro óptico de la señal en dos puntos importantes, en primer lugar, se utilizó el analizador de espectro óptico en la salida del multiplexor para visualizar la señal original previó a la transmisión por los 20 Km de fibra óptica, en la figura 3 se visualiza las 16 señales multiplexadas separadas a una distancia de 10Ghz.

Figura 3. Gráfica del analizador de espectro óptico a la salida del multiplexor

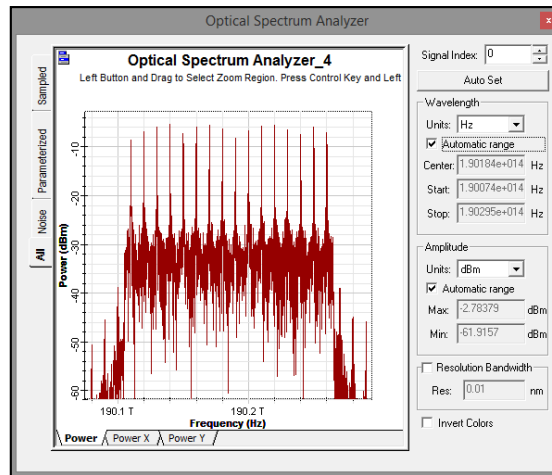
En segundo lugar, se utilizó el analizador de espectro óptico a la salida de la fibra óptica previo al ingreso al demultiplexor. En la figura 4 se visualiza que las señales han sufrido una degradación en su potencia y se observa la aparición de señales paralelas que han sido provocadas por la incidencia del efecto FWM, esto presenta un grave problema dado que el demultiplexor no realizará correctamente la separación de las señales, lo que provocará una mayor cantidad de errores en la recepción.

Figura 4. Analizador de espectro óptico en el ingreso al demultiplexor

Finalmente, en las pruebas de simulación se procedió a utilizar la combinación de parámetros que de acuerdo a la investigación contribuyen a reducir la incidencia del efecto FWM, es así que, se modificó la fibra óptica monomodo común por una fibra monomodo NZDSF (fibra monomodo de dispersión desplazada), y se cambió el sistema de filtrado del multiplexor y demultiplexor por un sistema rectangular que por

sus características presenta un mejor funcionamiento en sistemas que incorporan los valores de longitudes de onda, y se utilizó una frecuencia media de 190.1 THz que tiene una equivalencia en longitud onda de 1578,12 nm perteneciente a la tercera ventana óptima para la multiplexación de canales con el espaciamiento establecido en este sistema (Cruz, 2009), obteniendo la gráfica que se muestra en la figura 5.

Figura 5. Analizador de espectro óptico en el ingreso al demultiplexor



La figura obtenida por el analizador de espectro óptico en la recepción permite comprobar que el uso de los parámetros detallados ha permitido reducir los niveles y la cantidad de señales paralelas producidas por FWM, permitiendo así que el demultiplexor no presente problemas en el momento de separar cada una de las señales, reduciendo considerablemente la cantidad de errores en las señales recibidas.

Las pruebas y la investigación previa permitieron identificar los parámetros que contribuyen a mejorar la transmisión de la señal, entre los que destacan, disminuir la potencia de transmisión, modificar los parámetros de la fibra para que funcione como una fibra monomodo NZDSF y cambiar los filtros tanto en el multiplexor y demultiplexor por un filtro rectangular que de acuerdo a las pruebas en el simulador permitió mejorar la calidad en la recepción de las señales.

CONCLUSIONES

La implementación de redes UDWDM permite por sus características solventar satisfactoriamente la gran demanda de tráfico que actualmente presentan los sistemas de telecomunicaciones, pero como se evidenció, es importante considerar la aparición del efecto FWM en sus transmisiones, dado que si no se considera en su diseño las características que permiten reducir su incidencia en las comunicaciones, las tasas de error se incrementarán considerablemente afectando en gran magnitud la calidad en la recepción de los datos.

El efecto FWM se presenta en los sistemas UDWDM principalmente por dos parámetros, por un lado, se debe al reducido espaciamiento en la multiplexación de

los canales, y por otro, a las largas distancias que recorren las señales a través de la fibra óptica, es por esto importante, considerar utilizar fibras monomodo NZDSF que permiten disminuir el impacto de los efectos no lineales en la transmisión de datos, además, se puede utilizar bajas potencias de transmisión y el establecimiento una adecuada frecuencia media en la multiplexación de las señales.

El diseño de sistemas ópticos en el simulador OptiSystem presenta una gran contribución, dado que permite configurar parámetros esenciales en los elementos activos y pasivos de la red, posibilitando la obtención de datos muy similares a la realidad y permitiendo así identificar y evaluar posibles alternativas para solucionar los requerimientos de la red.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arévalo, G., Hincapie, R. & Sierra, J. (2016). UDWDM-PON design model based on asymmetrical clustering, channel capacity and BER restrictions. *IEEE Latin America Transactions. IEEE Latin America Transactions*, 6, 3017-3022.

Da Vera, C. (2009). *Estudio de la tecnología de multiplexación por división en longitudes de onda*. Cuba: UCLV.

Hernández, D.; (2011). *Análisis y Simulación de Redes que utilizan Multiplexación por División en Longitudes de Onda*. Cuba: UCLV.

Kibria, R. & Austin, M. (2015). All Optical Signal-Processing Techniques Utilizing Four Wave Mixing. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 2, 200-213.

López, F., López, K. & Ibarra, D. (2015). La fibra óptica y el fenómeno no lineal mezcla de cuarta onda. *Revista MundoFesc*, 9, 43-59.

Martín, S. (2007). *Generación de supercontinuo en fibras ópticas monomodo con fuentes de bombeo continuo*. Madrid: Servicio de Publicaciones UCM.

Perafán, J., Tovar, A., Ordoñez, H. & Agredo, J. (2012). *Efectos no lineales y su relación con los parámetros de transmisión de una red WDM*. UPTC: Revista Facultad de Ingeniería, 31, 23-35.

Pérez, C. (2002). *Matlab y sus aplicaciones en las Ciencias y la Ingeniería*. Madrid: Editorial Pearson Educación.

Rodríguez, D., Pérez, V. & Roque, M. (2016). Análisis del desempeño de redes que utilizan WDM a través del software de simulación Optisystem. *Revista Informática*, 15, 1-9.