



TECH pedia



MÉTODOS DE MODULACIÓN MODERNOS

MICHAL LUCKI

Título: Métodos de modulación modernos
Autor: Michal Lucki
Traducido por: Sandra Bermejo
Publicado por: České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Dirección de contacto: Technická 2, Praha 6, Czech Republic
Número de teléfono: +420 224352084
Print: (only electronic form)
Número de páginas: 37
Edición: Primera edición, 2017

ISBN 978-80-01-06274-6

TechPedia

European Virtual Learning Platform for
Electrical and Information Engineering

<http://www.techpedia.eu>



El presente proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea.

Esta publicación (comunicación) es responsabilidad exclusiva de su autor. La Comisión no es responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.

NOTAS EXPLICATIVAS



Definición



Interesante



Nota



Ejemplo



Resumen



Ventajas



Desventajas

ANOTACIÓN

Un formato de modulación es necesario para adaptar la información a una forma que pueda ser transmitida a través de una fibra óptica. Además, el logro de altas tasas de bits y significativas capacidades de información de sistemas de transmisión se asocia con el uso de formatos de modulación adecuados. Cada modulación se lleva a cabo de una manera diferente y es adecuado para diferentes escenarios de transmisión. Por esta razón, es necesario familiarizar a los estudiantes con los principios de formatos de modulación avanzados, que son parte de cualquier proceso de optimización dentro de las redes modernas de transmisión óptica de alta velocidad.

OBJETIVOS

El objetivo de este material didáctico es presentar la visión general de los formatos de modulación digital, incluyendo amplitud, fase, un multinivel o avanza formatos que combinan más parámetros. La descripción incluye el principio de modulaciones particulares, sus beneficios y ciertas desventajas. El lector debe ser capaz de tener en cuenta qué formato de modulación es adecuado para un área de aplicación determinada (en términos de longitudes de fibra adecuados, capacidad de información, espaciado entre canales de frecuencia, entre otros).

LITERATURA

- [1] M. Lucki, R. Agalliu, R. Zeleny, Limits of advanced modulation formats for transition in fiber optic telecommunication systems to increase speeds from 10, 40, 100 Gb•s-1 to higher bit rates, SPIE Proceedings Volume 9131: Optical Modelling and Design III, Bellingham, USA, 2014.
- [2] R. Agalliu, M. Lucki, System improvements in dense wavelength division multiplexing networks by using advanced optical modulation formats, in Proceedings of 17th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), IEEE, Budapest, 1-4, 2015.
- [3] L. Bohac, M. Lucki, Optické komunikační systémy, skripta ČVUT, 2010, ISBN 978-80-01-04484-1.
- [4] E. Lach, W. Idler, Modulation formats for 100G and beyond, Optical Fiber Technology 17, 377-386, 2011.
- [5] N. Clark, Simulation of Optical Transmission Systems in OptSim, Master Thesis, Thesis supervisor: Dr. Michal Lucki, Prague, 18-23, 2013.
- [6] Kim, H., Essiambre, R., "Transmission of 8 x 20 gb/s dqpsk signals over 310-km smf with 0.8-b/s/hz spectral efficiency," IEEE Photonics Technology Letters 15(5), 769-771, 2003.

- [7] K. Kim, H.S. Chung, S.H. Chang, J.Ch. Lee, J.H. Lee: Field trial of direct-detection and multi-carrier based 100G transceiver, in Optical Fiber Communications Conference and Exhibition, pp. 1-3, 2014.
- [8] L. Cheng, Z. Li, Y. Yang, Ch. Lu, Y. Fang, H. Jiang, X. Xu, Q. Xiong, Sh. Zhong, Z. Chen, H. Tam, and P. Wai, 8×200-Gbit/s polarization-division multiplexed CS-RZ-DQPSK transmission over 1200 km of SSMF, OptoElectronics and Communications Conference, OECC 1(2), 13-17, 2009.
- [9] S. Shinada, H. Furukawa, N. Wada: Field demonstration of DWDM/NRZ-DQPSK optical packet switching and buffering, in 16th Opto-Electronics and Communications Conference, pp. 780-781, 2011.
- [10] V. Ket-Urai, R. Maneekut, P. Kaewplung: Feasibility of 40-Gbps RZ-DQPSK signal transmission over PON, in 17th Opto-Electronics and Communications Conference, pp. 319-320, 2012.
- [11] T. J. Xia, G. A. Wellbrock, M. Huang, S. Zhang, Y. Huang, D. Chang, S. Burtsev, W. Pelouch, E. Zak, H. de Pedro, W. Szeto and H. Fevrier, Transmission of 400G PM-16QAM Channels over Long-Haul Distance with Commercial All-Distributed Raman Amplification System and Aged Standard SMF in Field, in Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC), 2014.
- [12] X. Zhou, L. E. Nelson, P. Magill, R. Isaac, B. Zhu, D. W. Peckham, P. I. Borel and K. Carlson, High Spectral Efficiency 400 Gb/s Transmission Using PDM Time-Domain Hybrid 32–64 QAM and Training-Assisted Carrier Recovery, Journal of Lightwave Technology, vol.31, iss.7, pp. 999 - 1005, 2013.
- [13] B. Zhu, D. W. Peckham, X. Jiang, and R. Lingle Jr, System Performance of Long-Haul 112-Gb/s PDM-QPSK DWDM Transmission over Large-area Fiber and SSMF Spans, in Optical Communication (ECOC 2013), 39th European Conference and Exhibition, 2013.
- [14] J. Renaudier, O. Bertran-Pardo, G. Charlet, M. Salsi, H. Mardoyan, P. Tran, and S. Bigo, "8 Tb/s Long Haul Transmission Over Low Dispersion Fibers Using 100 Gb/s PDM-QPSK Channels Paired With Coherent Detection", Bell Labs Technical Journal, vol.14, iss.4, pp. 27-45, 2010.
- [15] J. Karaki, E. Pincemin, D. Grot, T.Guiliossou, Y. Jaouen, R. le Bidan and T. le Gall, Dual-Polarization Multi-Band OFDM versus Single-Carrier DP-QPSK for 100 Gbps Long-Haul WDM Transmission over Legacy Infrastructure, in Optical Communications (ECOC), 38th European Conference and Exhibition, 2012.
- [16] Ch. Laperle, B. Villeneuve, Zh. Zhang, D. Mcghan, H. Sun and M. O’Sullivan, WDM performance and PMD Tolerance of a Coherent 40-Gbit/s Dual-Polarization QPSK Transceiver, Journal of Lightwave Technology, vol. 26, iss. 1, 2008.
- [17] G. Raybon, S. Randel, A. Adamiecki, P. Winzer, L. Salamanca, R. Urbanke, S. Chandrasekhar, A. Konczykowska, F. Jorge, J. Dupuy, L. Buhl, S. Draving, M. Grove,

and K. Rush, 1-Tb/s dual-carrier 80-GBaud PDM-16QAM WDM transmission at 5.2 b/s/Hz over 3200 km, *Photonics Conference (IPC)* 1(2), 23-27, 2012.

- [18] Y. Ma, Q. Yang, Y. Tang, S. Chen, W. Shieh, 1-Tb/s Single-Channel Coherent Optical OFDM Transmission With Orthogonal-Band Multiplexing and Subwavelength Bandwidth Access, *Journal of Lightwave Technology* 28(4), 308-315, 2010.
- [19] P. Wizner, J. Essiambre, Advanced Modulation Formats for High-Capacity Optical Transport Networks, *Journal of Lightwave Technology* 24(12), 4711- 4728, 2006.
- [20] P.J. Winzer, High-Spectral-Efficiency Optical Modulation Formats, *J. Lightwave Technology*, vol.30, no.24, pp. 3824-3835, 2012. D. Wang, D. Lu, C. Lou, L. Huo, W. Yu: Performance comparison of phase modulated formats in 160 Gb/s transmission system, in *Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition*, pp. 1-6, Nov. 2011.
- [21] S. Ghoniemy, K.F. George and L. MacEachern, Performance Evaluation and Enhancements of 42.7 Gb/s DWDM Transmission System using Different Modulation Formats, in *Ninth Annual Communication Networks and Services Research Conference*, pp. 189-194, 2011.
- [22] D. Wang, D. Lu, C. Lou, L. Huo and W. Yu, Performance Comparison of Phase Modulated Formats in 160 Gb/s Transmission System, in *Communications and Photonics Conference and Exhibition, ACP, Asia*, 2011.
- [23] Petr Jareš, Moderní modulační metody a jejich aplikace, Inovace předmětů a studijních materiálů pro e-learningovou výuku v prezenční a kombinované formě studia, teaching module, Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering

Indice

1	Modulaciones de intensidad digitales: alternar la inversión de marca, modulación duobinaria, portadora suprimida vuelta a cero	8
1.1	Clasificación básica de modulaciones ópticas digitales	8
1.2	Portadora Suprimida vuelta a cero	11
1.3	Transceptores para modulaciones ópticas	13
1.4	Alternate Mark Inversion (AMI), alternar inversión de marca	15
1.5	Modulación duobinaria.....	17
2	Modulaciones de fase: Modulación de desplazamiento de fase diferencial (Differential Phase-Shift Keying), modulación de desplazamiento de fase en cuadratura (Quadrature Phase-Shift Keying).....	19
2.1	Modulación de desplazamiento de fase diferencial.....	19
2.2	Modulación de desplazamiento de fase diferencial y modulación de desplazamiento de fase en cuadratura	21
3	Aspectos avanzados de modulaciones ópticas en el logro de altas tasas de bits y la inmunidad a la degradación de la señal	24
3.1	Polarización de multiplexación en QPSK para la transmisión de terabit.....	24
3.2	Convergencia de redes: coexistencia de amplitud y fase modulaciones en una fibra	27
3.3	Modulación de fase cruzada causada por modulación de fase sobre la modulación de amplitud.....	29
3.4	Evitar los efectos no lineales causados por las modulaciones avanzadas	30
3.5	Inmunidad de modulaciones digitales a los efectos de dispersión a altas velocidades	31
3.6	OFDM – modulación multiportadora – principio, aplicaciones.....	32
3.7	OFDM – modulación multicanal – parámetros, beneficios y límites.....	34
3.8	VDMT – modulación vectorizada avanzada – principio, aplicación	35
3.9	Conclusión.....	37

1 Modulaciones de intensidad digitales: alternar la inversión de marca, modulación duobinaria, portadora suprimida vuelta a cero

1.1 Clasificación básica de modulaciones ópticas digitales



La información puede ser transmitida en un sistema de comunicación óptica en forma de símbolos ópticos que se crean mediante la modulación de una fuente de radiación óptica.

Objetivos

- El objetivo principal de la modulación es adaptar la señal de información a una forma que sea aceptable para la transmisión.
- Otro objetivo es reducir la dispersión cromática causando diferentes velocidades de cada componente de frecuencia contenidos en un impulso óptico.
- Y, finalmente, el objetivo es evitar el problema de la larga cadena de los mismos símbolos binarios, es decir, cadenas largas de 0s o 1s lógicos que potencialmente pueden causar problemas con la sincronización.

Clasificación

Hay muchos formatos de modulación utilizados en los sistemas de comunicación de fibra óptica. Se pueden clasificar en función de si modulan la amplitud de la señal o fase:

- Formatos de modulación de intensidad:
 - **OOK** – *On-Off Keying, modulación encendido-apagado*
 - **AMI** – *Alternate Mark Inversion, alternar inversion de marca*
 - **DB** – *Duobinary Modulation, modulación duobinaria*
 - **CRZ** – *Chirp Return to Zero, chirp vuelta a cero*
 - **CSRZ** – *Carrier Suppressed Return to Zero, portadora suprimida vuelta a cero,*

- Formatos de modulación de frecuencia:
 - **OFDM** – *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, multiplexión de división de frecuencia ortogonal*
 - **VDMT** – *Vectorized Discrete Multi-Tone, vectorizado discrete multi-tono*
- Formatos de modulación de fase:
 - **PSK** – *Phase Shift Keying, modulación por desplazamiento de fase*
 - **BPSK** – *Binary Phase Shift Keying, modulación por desplazamiento de fase binaria*
 - **DPSK** – *Differential Phase Shift Keying, modulación por desplazamiento de fase diferencial*
 - **QPSK** – *Quadrature Phase Shift Keying, modulación por desplazamiento de fase en cuadratura*
- Formatos que combinan amplitud, fase, polarización de señal:
 - **PM-QPSK** – *Polarization Multiplexing QPSK, polarización por multiplexado QPSK*
 - **QAM** – *Quadrature Amplitude Modulation, modulación de amplitud en cuadratura*
 - 16-QAM, 64-QAM, etc.
- *Modulaciones multi-portadora, Multi-Carrier Modulations (MCM):*
 - **OFDM** – *Orthogonal Frequency Division Multiplexing, multiplexación por división de frecuencia ortogonal*
 - **DMT** – *Discrete Multi-Tone, multi-tono discreto*
 - **VDMT** – *Vectorized Discrete Multi-Tone, multi-tono discreto vectorizado*

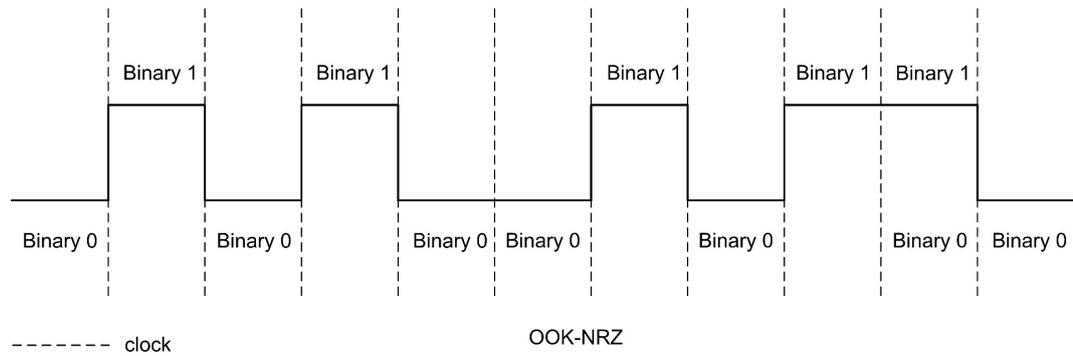
Estos son los formatos de modulación seleccionados (entre muchos otros) que son ampliamente utilizados en las comunicaciones ópticas y son prometedores para los sistemas de transmisión de alta velocidad.

Uno de los formatos más utilizados es OOK, donde a un 1 binario se le asigna cierto nivel de energía de un láser. Un 0 binario está representado por la ausencia de potencia del láser. Un símbolo óptico puede durar todo el período de reloj dedicado a un bit, entonces es una señal *Non-Return to Zero (NRZ)*, *no retorno a cero*, o alguna parte del slot del bit, entonces es una señal *Return to Zero (RZ)*, *vuelta a cero*. Uno de los ejemplos es que un símbolo comienza con el flanco ascendente y vuelve a cero durante el período de reloj, por ejemplo, en el medio del slot del bit.

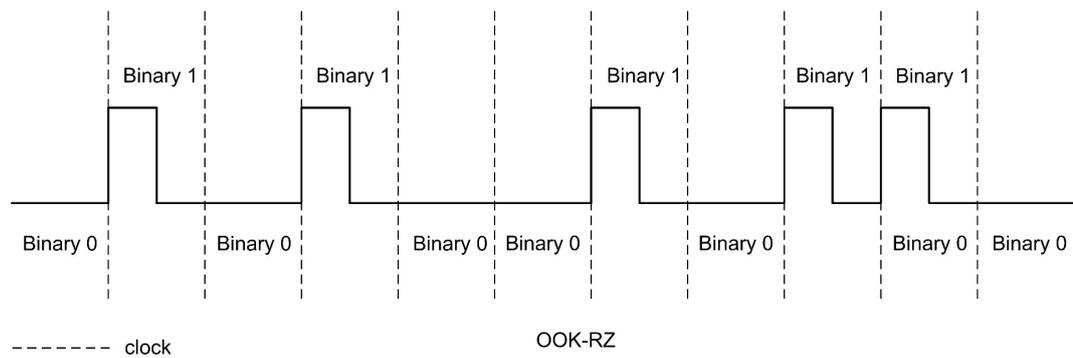
Sin embargo, este es sólo uno de los casos de NRZ y los símbolos no tienen que durar exactamente la mitad del período y comenzar / finalizar exactamente en el borde.



El principal beneficio de tener símbolos más cortos es la mayor inmunidad a su dispersión (dispersión debida a las diferentes velocidades de los componentes particulares de los cuales un pulso de láser está compuesto, es decir, frecuencias, modos, etc.) que conduce a la *Inter-Symbol Interference (ISI)* *interferencia entre símbolos*.



El principio de la modulación OOK-NRZ.



El principio de la modulación OOK-RZ.

1.2 Portadora Suprimida vuelta a cero

El principio

$E = m \cdot c^2$

En *Carrier-Suppressed Return-to-Zero (CSRZ)*, portadora suprimida-retorno a cero, la fase de la portadora óptica se cambia por π cada bit independientemente del tráfico de datos, sin importar si es 0 ó 1. Los resultados de fase alterados en la supresión de la frecuencia portadora de la fuente de la radiación óptica, la generación de los pulsos ópticos.

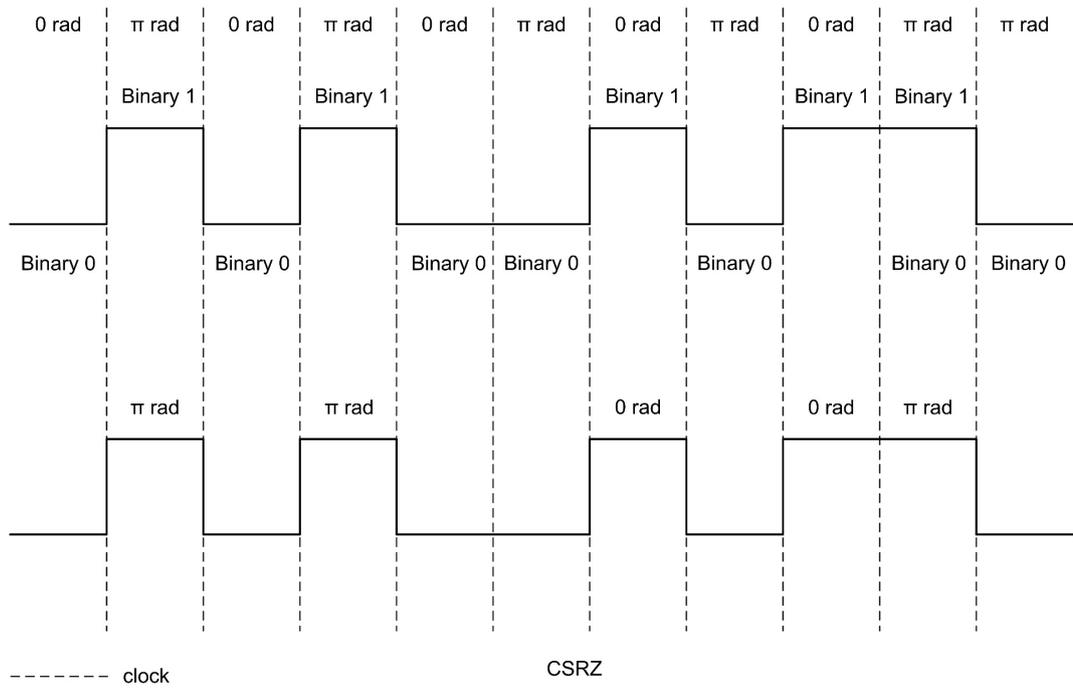
i

Las fases de una secuencia binaria dada se resta, el pico central en la frecuencia portadora se suprime y esta potencia reducida se distribuirá en otras partes del espectro donde se lleve el tráfico real. La intensidad del campo se reduce a cero entre bits consecutivos (RZ), y los suplentes de la fase de campo por π entre los bits vecinos, por lo que si la fase de la señal es, por ejemplo, 0 en los bits pares (número de bit $2n$), la fase en slot de bit impar (número de bits $2n + 1$) será π , la amplitud de la alternancia de fases.

Principales beneficios

+

- En comparación con el estándar RZ-OOK, la CSRZ-OOK se considera que es más tolerante a la filtración y la dispersión cromática, gracias a su espectro más estrecho.
 - Las señales CSRZ son aquellas que tienen un espectro donde ningún pico está presente en el portador y la potencia es idealmente cero a la frecuencia portadora.
-



Principio de la modulación CSRZ.

1.3 Transceptores para modulaciones ópticas

$E = m \cdot c^2$

Un transceptor es un dispositivo compuesto por un transmisor y un receptor, que se combinan y comparten circuitos comunes y / o carcasa común. Los transceptores se colocan en la entrada de una red para lanzar la información modulada codificada al medio de transmisión (por ejemplo, fibras ópticas) - un transceptor funciona como un transmisor, y en la terminación de la red de decodificar, demodular la señal - funciona como un receptor.



En caso de transmisión en ambas direcciones (por ejemplo, la transmisión duplex), cada transceptor transmite y recibe datos (por ejemplo, alternativamente o al mismo tiempo en dúplex).

Una parte transmisora puede utilizar láseres como fuente de símbolos en las redes ópticas; un receptor contiene un fotodiodo que convierte una señal óptica en señal eléctrica, que se procesa adicionalmente por ejemplo, por un *digital signal processor* (**DSP**), *procesador de señal digital*.

Transceptores para la modulación CSRZ



Cada símbolo binario se ha desplazado por π . Un *modulador Mach-Zehnder*, *Mach-Zehnder modulator* (**MZM**) se utiliza para crear la cadena binaria, donde los pulsos tienen la misma forma y fase alterada. La velocidad de esta señal es la misma que la velocidad de una señal de información.



La señal de información en forma de pulsos electrónicos es enviada al modulador, y en base a esta señal de "control", los pulsos de fase con la alteración producida en el modulador se liberan o suprimen. La señal de salida es entonces un determinado producto de esas dos señales.

- El transmisor NRZ se basa en un láser de onda continua modulada externamente con un modulador Mach-Zehnder. Establecemos parámetros, como la velocidad de bits, frecuencia del láser, la anchura a media altura, potencia de salida del láser, la pérdida introducida por el modulador, etc.
- A diferencia de NRZ, fijamos el formato de coseno del RZ en el generador de señal eléctrica.
- Para el tipo CSRZ, una señal generada óptica NRZ es posteriormente modulada por una segunda señal MZM, que es accionada por una señal sinusoidal con una media de frecuencia de la velocidad de bits.
- Dos bits adyacentes cualesquiera tendrán un desplazamiento de fase π y es posible suprimir la portadora y generar una señal CSRZ modulada.

- Para NRZ, RZ y CSRZ, utilizamos un receptor que modela un fotodetector, un amplificador eléctrico y un filtro eléctrico.
-

1.4 Alternate Mark Inversion (AMI), alternar inversión de marca

En telecomunicación, un código de disparidad emparejado es un código de línea en el que al menos uno de los caracteres de datos está representado por dos palabras de código de la disparidad opuesta que se utilizan en secuencia a fin de minimizar la disparidad total de una secuencia más larga de dígitos.

El principio

El ejemplo más simple de un código de disparidad emparejado es *Alternate Mark Inversion (AMI)*. Se utilizan tres niveles lógicos correspondientes a dos niveles bipolares: +, -, y cero.

$E = m \cdot c^2$

Un 0 binario se codifica como ausencia de energía durante un intervalo de bit (tensión cero), mientras que un 1 binario se codifica alternativamente como un voltaje positivo o un voltaje negativo. Un 1 binario se conoce como una marca, mientras que un 0 binario es conocido como un espacio.

Beneficios principales

Los beneficios generales de la utilización de un código de línea con codificación bipolar:

+

- El uso de un código bipolar impide una significativa acumulación de señal continua, el cable puede entonces ser utilizado para distancias más largas.
- AMI ayuda a mantener la sincronización entre el transmisor y el receptor, especialmente en caso de largas cadenas de símbolos binarios 1, que son problemáticos para NRZ. Un medio de transmisión adicional para la señal de reloj no es necesario.
- Detección de errores. La señal de AMI se regenera a intervalos regulares. Una *señal con baja señal a ruido, Signal to Noise Ratio (SNR)* puede presentar errores, como por ejemplo, una marca puede ser interpretada como cero o un cero como una marca positiva o negativa. AMI tiene la capacidad de detectar errores individuales, que violan la regla de la bipolaridad (cada siguiente marca distinta de cero es diferente).

Desventajas

-

- Las secuencias largas de cero binario son problemáticas en términos de sincronización.



La solución es añadir un 1 binario después de siete ceros binarios para mantener la sincronización. Por el lado del decodificador, se retira este símbolo adicional.

1.5 Modulación duobinaria

El principio

La *modulación duobinaria*, *Duobinary modulation (DB)* está implementada en las comunicaciones ópticas mediante el uso de tres estados lógicos, donde:

$E=mc^2$

Un cero binario se representa por la ausencia de un pulso de láser; Los 1s binarios pueden ser representados por un pulso de láser con la fase alterada, basándose en los símbolos anteriores de la siguiente manera.

La fase de un símbolo binario se desplaza π si hay un número impar de 0s binarios entre dos 1s binarios.

Se puede combinar con una regla RZ o NRZ.

- *Antirretorno a cero, non-return-to-zero (NRZ)*, asigna un pulso de láser para el 1 binario para todo el intervalo de bit, mientras que los ceros están representados por la ausencia de un pulso de láser.
- *Retorno a cero, return-to-zero (RZ)*, asigna un pulso de láser para el 1 binario en alguna parte del intervalo de bit, mientras que los ceros son representados por la ausencia de un pulso láser.

i

Hacer la longitud del pulso más corto que la duración de un símbolo lógico 1 hace que la potencia caiga a cero entre dos (o más) 1s lógicos. Para los datos que contienen cadenas largas de 1s binarios, es una solución práctica para problemas de sincronización.

Beneficios principales

Beneficios del DB:

+

- Alta tolerancia a la *dispersión cromática, chromatic dispersion (CD)*
- Facilidad de filtrado de banda estrecha, (el ancho de banda estrecha de DB se comporta similar al formato **DQPSK** (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*) también en la rejilla (grid) DWDM 12,5 GHz)
- DB es el único formato de intensidad que todavía es estable incluso para un 130 km de largo de transmisión y su rendimiento del sistema es bastante similar a la de modulaciones de fase, por ejemplo, DQPSK.
- DB puede ser aún más eficiente que NRZ-DQPSK y CSRZ-DQPSK en términos de diseño e implementación de costos del transmisor.

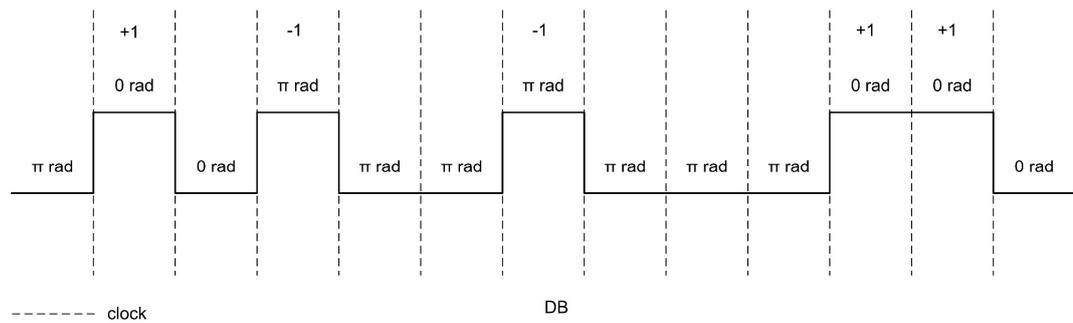
Construcción del transceptor:



El transmisor DB consiste en una rama de doble amplitud MZM con dos entradas eléctricas:

- la primera es la señal eléctrica estándar conseguida por una secuencia de señales pseudoaleatorias binarias que pasan a través de un controlador NRZ y un filtro paso bajo
- la segunda entrada mediante la realización de una operación lógica con puerta NOT en la entrada lógica que de nuevo se desplaza a través de un conductor y un filtro eléctrico
- Del mismo modo como para NRZ, un láser de onda continua se utiliza como una fuente de luz.

En la siguiente figura, +1 corresponde a la fase 0 y -1 corresponde a la fase múltiplos de π o sus múltiplos impares.



El principio de la modulación DB – la fase de símbolo se desplaza por π radianes si hay un número impar de ceros binarios (1, 3, 5 ...).

2 Modulaciones de fase: Modulación de desplazamiento de fase diferencial (Differential Phase-Shift Keying), modulación de desplazamiento de fase en cuadratura (Quadrature Phase-Shift Keying)

2.1 Modulación de desplazamiento de fase diferencial

El principio

De igual manera que para OOK, DPSK puede ser implementado como RZ y NRZ.

$E=mc^2$

Es un tipo de modulación de fase que transmite datos cambiando la fase de la onda portadora. Toda la información subsiguiente se codifica como inversiones de fase de 180° de la frecuencia portadora.

- Una inversión de fase portadora de 180 grados que precede un chip deberá caracterizar ese chip como un 1 binario.
- La ausencia de una inversión de fase anterior se denotan un 0 binario.

Principales beneficios

+

La principal ventaja de DPSK es la mejora de 3 dB que ofrece en la sensibilidad del receptor en comparación con OOK.

La diferencia en los resultados entre NRZ-DPSK y RZ-DPSK se relaciona principalmente con el espectro más amplio de formato RZ-DPSK.

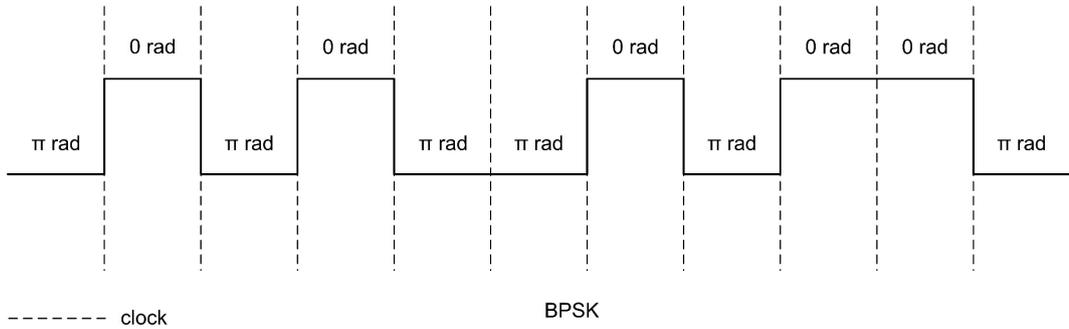
Transceptores para DPSK

Construcción del transceptor:

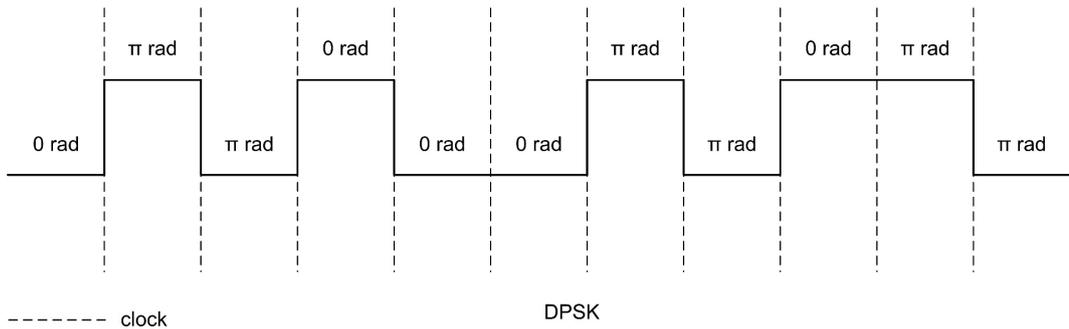
i

- El diseño del transmisor NRZ-DPSK es similar al de NRZ, pero en lugar de la MZM, se implementa un modulador de fase con 180° de desplazamiento de fase.
- Un filtro paso bajo se utiliza entre el conductor y el modulador para incluir el impacto de un binario no ideal a la conversión de la señal eléctrica.

- El transmisor RZ-DPSK incluye, además, entre otros un segundo modulador para generar impulsos de salida RZ.
- Un receptor DPSK consiste en un interferómetro de retardo para los propósitos de decodificación y un receptor equilibrado modelado utilizando dos receptores compuestos regulares, donde se añade la salida eléctrica de la primera a la salida invertida del segundo.



El principio de la modulación BPSK - ceros binarios y unos están representados por estados de fase desplazados por π entre sí, por ejemplo, a un cero binario se le asigna fase π y a un uno binario, fase 0 radianes.



El principio de la modulación DPSK - un uno binario cambia de fase del símbolo por π , cero binario no cambia las fases.

2.2 Modulación de desplazamiento de fase diferencial y modulación de desplazamiento de fase en cuadratura

El principio

Modulación de desplazamiento de fase diferencial, Differential Quadrature Phase-Shift Keying (DQPSK) es un formato multinivel.

$E = m \cdot c^2$

QPSK es efectivamente dos sistemas BPSK independientes, y por lo tanto presenta el mismo rendimiento, pero el doble de la eficiencia de ancho de banda.

- A cada pareja de bits se le asignan una fase específica, como por ejemplo:
 - 00 → 45°
 - 01 → 135°
 - 10 → 315°
 - 11 → 225°

i

Hay muchas opciones de QPSK – a los pares de bits se les puede asignar diferentes fases y diferentes pares pueden ser las parejas de vecinos, que pueden observarse en los siguientes diagramas de constelación.

$E = m \cdot c^2$

- En DQPSK, los pares de bits corresponden a un desplazamiento de fase determinado a partir de una fase de referencia (inicial), o, en otras palabras, en 90 ° entre los símbolos vecinos.
- La fase inicial puede ser 0° ó no-cero.
 - 00 → desplazado 0° desde la fase inicial.
 - 01 → desplazado 90° desde la fase inicial.
 - 10 → desplazado 180° desde la fase inicial.
 - 11 → desplazado 270° desde la fase inicial.

Principales beneficios

+

- La velocidad de símbolo es 2 veces más lenta que la velocidad de bits
- Beneficios DQPSK en buena señal óptica a ruido

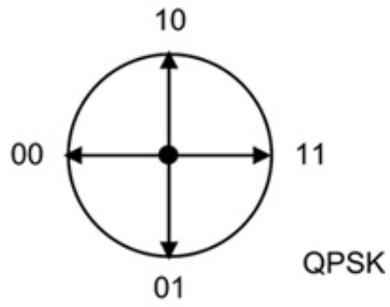
- Robustez frente a la dispersión por modo de polarización debido a su duración de símbolo
 - La compresión de la frecuencia
 - Aumento de la tolerancia a la dispersión cromática
 - Espectro óptico estrecho
 - NRZ-DQPSK es prometedor, incluso para la transmisión de terabits
 - DQPSK también se puede realizar bien a 40 Gbps
 - RZ-DQPSK permite un alcance óptico más largo
 - RZ-DPSK ofrece tolerancia a no linealidad más grande para un solo canal de 160 Gbps
 - Entre los formatos DQPSK, los valores más altos de factor Q para cada canal óptico se pueden lograr para RZ-DQPSK.
-

Transceptores

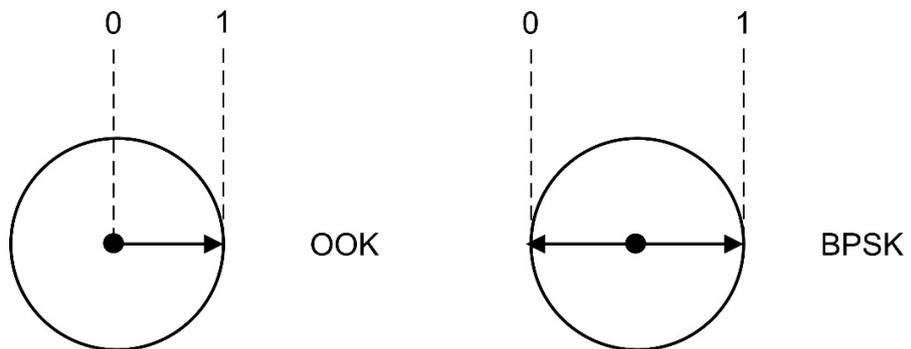
Construcción del transceptor:



- En un transmisor NRZ-DQPSK, las dos señales binarias de entrada codificadas en fase y en cuadratura se convierten en formas de onda eléctricas que accionan dos MZMs.
 - Una fuente de láser continuo se utiliza para ambos MZMs. La salida de uno de los moduladores viaja a través de un modulador de fase que se utiliza para obtener un desplazamiento de fase adicional de 90° , que se requiere para el componente de cuadratura.
 - Las señales se combinan entonces juntas para generar una única señal modulada DQPSK.
 - Los componentes adicionales incluyen dos filtros paso bajo entre los generadores de señales eléctricas y los MZMs para considerar también el binario no ideal a la conversión de la señal eléctrica.
 - Para RZ-DQPSK, un MZM adicional se utiliza para crear los pulsos de salida RZ.
 - El receptor DQPSK se modela utilizando dos receptores 2DPSK equilibrados para las señales en fase y en cuadratura, cada uno compuesto de un interferómetro Mach Zehnder sintonizable y dos fotodetectores PIN.
-



El principio de la modulación QPSK. Diagrama de constelación de la muestra. A los pares de bits se les asignan símbolos particulares; ya que hay cuatro combinaciones de los pares, la modulación tiene cuatro estados (niveles).



Diagramas de constelación de muestra para OOK y BPSK con fines comparativos. La fase y la amplitud se expresan mediante un diagrama de constelación.

3 Aspectos avanzados de modulaciones ópticas en el logro de altas tasas de bits y la inmunidad a la degradación de la señal

3.1 Polarización de multiplexación en QPSK para la transmisión de terabit

La idea de los estados de modulación de multiplexación basada en la polarización

i

La *polarización de multiplexación por división*, *Polarization Division Multiplexing (PDM)* ha sido ampliamente denominada como multiplexación de polarización, la polarización de multiplexación por división, polarización dual o polarización ortogonal. La PDM-QPSK está diseñada principalmente para sistemas de canal 100 Gbps.

La PDM-QPSK se combina con la detección coherente (demodulación). En caso de coherente demodulación la portadora utilizada para el propósito de demodulación está en sincronismo de fase y frecuencia con la portadora utilizada para el propósito de modulación. Para la demodulación no coherente no está en sincronismo. La luz coherente es una luz en la que las ondas electromagnéticas mantienen una relación de fase fija y predecible entre sí durante un período de tiempo.

Principales beneficios

Ventajas:

+

-
- La eficiencia espectral, ya que puede reducir a la mitad la tasa de símbolos
 - PDM-QPSK ha sido el principal candidato para transpondedores a 100 Gbps, debido a su alta tolerancia contra distorsiones de la señal
 - PDM-QPSK es mejor que DPQSK a costa de la complejidad de la implementación
 - También puede ser eficiente en 100 Gbps con un espaciado de 50 GHz, donde se puede permitir llegar a cientos de km mediante el uso de técnicas de compensación de la dispersión apropiada, amplificadores de línea, etc.
-

Desventajas

Desventajas y límites:



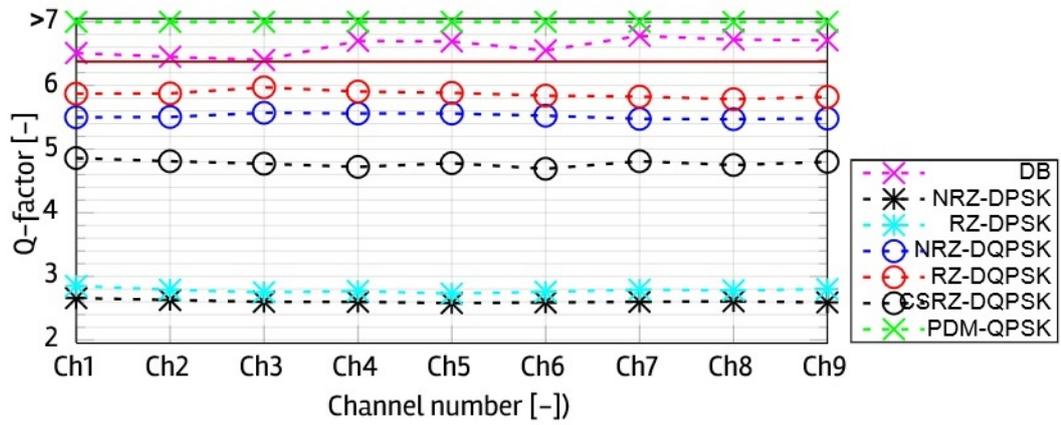
- El coste de la complejidad de la implementación
 - La necesidad de un mayor consumo de energía
 - Circuitos de procesamiento de señal digital más rápidos
 - Convertidores Analógico a Digital
-

Transceptores

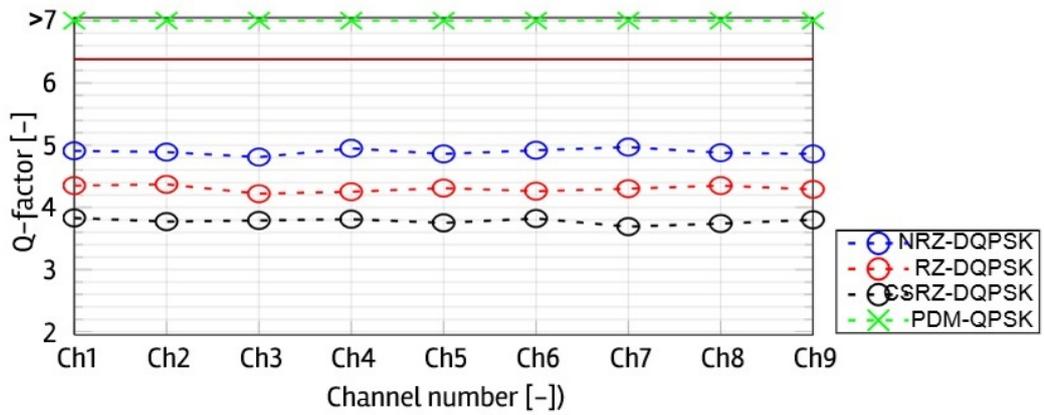
Construcción del transceptor:



- En un transmisor PDM-QPSK tenemos que lidiar con cuatro componentes de la señal de las señales en cuadratura respectivamente en fase y para las dos polarizaciones.
 - Del mismo modo como en los formatos anteriores, se realiza la conversión de binario a señal eléctrica,
 - Filtros Bessel paso-bajo se utilizan de nuevo para considerar el impacto de una conversión no ideal.
 - Las cuatro señales eléctricas son entonces lanzadas a dos moduladores QPSK, dos por cada uno.
 - La señal de salida de uno de los moduladores viaja a través de un rotador de polarización y luego se combina con la salida del segundo modulador de QPSK para obtener una única señal modulada PDM-QPSK.
 - El receptor PDM-QPSK incluye muchos componentes como un híbrido terminado en 90° con un oscilador local y cuatro fotodiodos PIN para permitir la detección coherente; amplificadores de trans-impedancia, filtros eléctricos, compensador de dispersión electrónica y en el extremo receptor ciego sin memoria para separar la fase y componentes de cuadratura y polarizaciones ortogonales de entrada.
-



Transmisión de 40 Gbps con separación de canales de 100 GHz sobre la muestra de 12 km de largo SMF. Note la mejor actuación de formato PDM-QPSK [2].



Transmisión de 40 Gbps con separación de canales de 50 GHz sobre la muestra de 12 km de largo SMF. Note la mejor actuación de formato PDM-QPSK [2].

3.2 Convergencia de redes: coexistencia de amplitud y fase modulaciones en una fibra

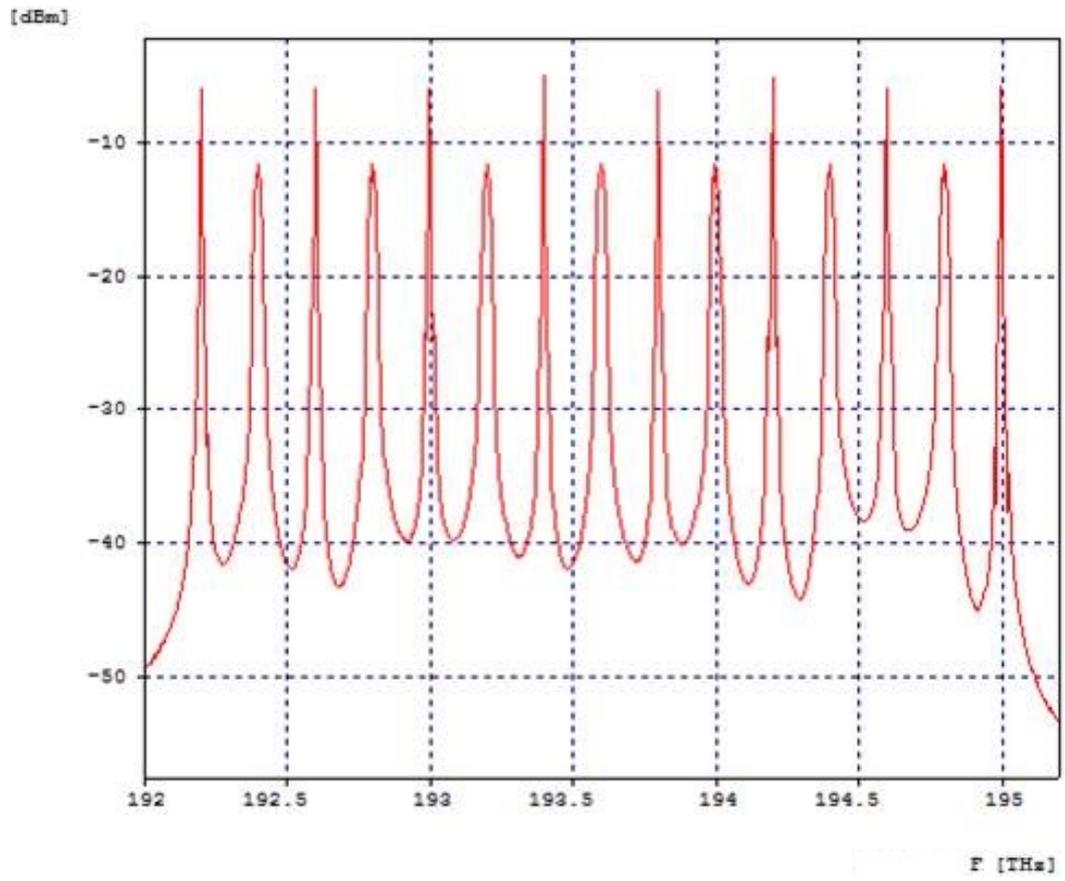
La demanda de mayores tasas de capacidad de información y bits requieren la actualización de más sistemas además de los sistemas ópticos existentes o que se ejecutan en una fibra. A continuación, se añaden nuevos sistemas para los sistemas existentes y el ancho de banda de la fibra que se utiliza de forma más eficiente. La coexistencia de los sistemas ópticos se refiere principalmente a:

- Sistema de *multiplexado por división aproximada de longitud de onda*, *Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM)*
- Sistema de *multiplexado por división de longitud de onda densa*, *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*



En muchos casos, cada sistema ejecutado en una fibra utiliza diferentes formatos de modulación.

- Ejemplo: Híbrido 10G/40G DWDM
 - Inicialmente sistema 10G DWDM
 - 15x10 Gbps, NRZ-OOK, espaciado 50 GHz.
 - 6x80km SSMF (amplificadores de fase dual, post-compensación).
- Híbrido DWDM 10G/40G con entrelazado de canales:
 - Combinado con un sistema 7x40 Gbps.
 - Modulación duobinaria, formatos de modulación P-DPSK, RZ-DQPSK.
 - Influencia de los canales de 10 Gbps sobre los canales de 40 Gbps.
 - Problema *Cross Phase Modulation (XPM)*.



Espectro óptico de DWDM con entrelazado de canal.

3.3 Modulación de fase cruzada causada por modulación de fase sobre la modulación de amplitud



La ejecución de dos o más sistemas sobre una fibra óptica no es arbitraria. Puede suceder que un sistema existente utilice modulación de amplitud y un nuevo sistema utilizará el formato de modulación mucho más moderno, que podría ser uno de los formatos de modulación de fase o fase multinivel. El viejo y los nuevos canales se pueden intercalar o cada uno puede ocupar su banda dedicada. El resultado puede ser origen de la diafonía de los canales de modulación de amplitud a los canales de modulación de frecuencia. La diafonía se conoce como *modulación de fase cruzada*, *Cross-phase modulation (XPM)*.



Se asocia con una mayor energía transmitida por los formatos de modulación de amplitud, que puede ser transferida a otros canales del multiplexado de longitud de onda.



La *modulación de fase cruzada*, *Cross-phase modulation (XPM)* es el cambio en la fase óptica de la radiación óptica a una cierta longitud de onda provocado por la interacción con la radiación en otra longitud de onda en un medio no lineal.

Se puede lograr por:

- el efecto Kerr, (causa la modificación del índice de refracción de un material en respuesta a campo eléctrico aplicado, es decir, la radiación intensa, en fibra óptica decenas f dBm)
 - los cambios en el índice de refracción a través de la densidad de portadores en un *amplificador óptico semiconductor*, *Semiconductor Optical Amplifier (SOA)*
-

3.4 Evitar los efectos no lineales causados por las modulaciones avanzadas



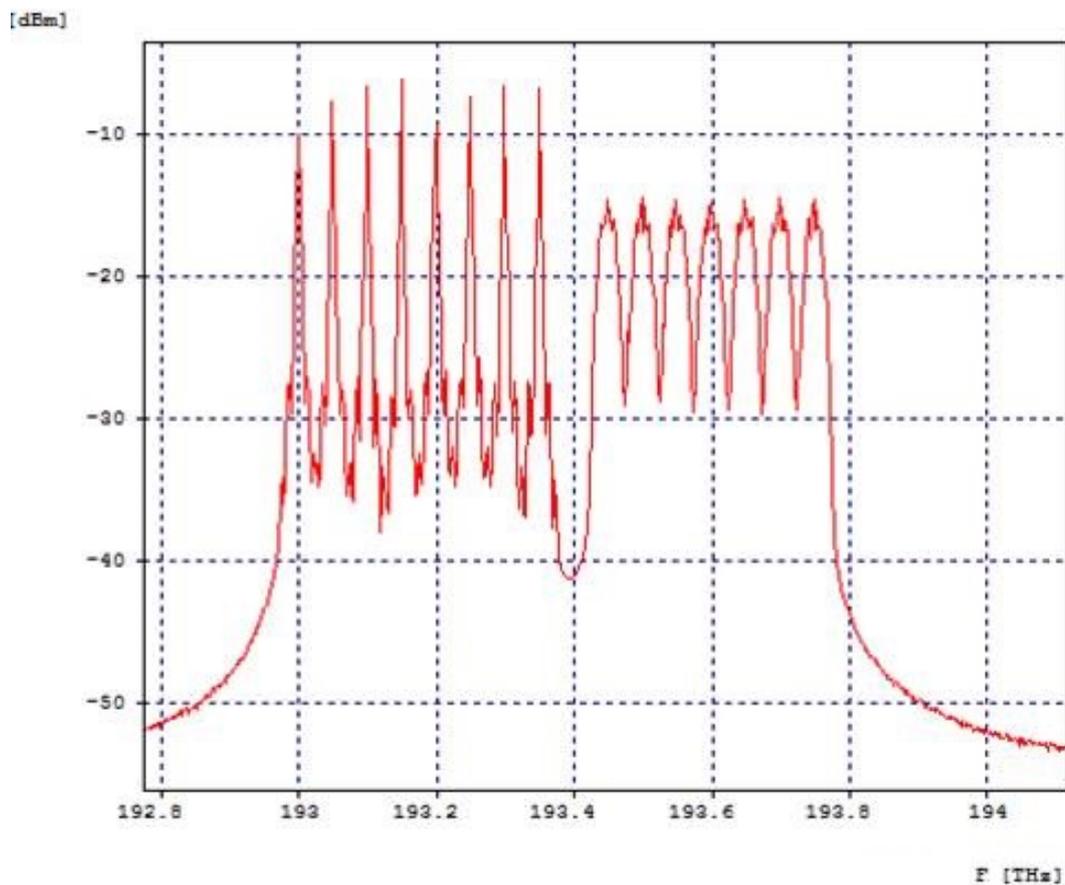
El XPM es un fenómeno no deseado en los sistemas de telecomunicación que utilizan WDM, ya que puede dañar la transmisión. El XPM conduce a la diafonía entre canales (conversión de longitud de onda) en los sistemas DWDM.

Una de las soluciones en el sentido de XPM es la de separar las bandas de longitud de onda utilizadas para cada formato de modulación en una fibra y establecer bandas de seguridad apropiadas:

- Híbrido DWDM 10G/40G con banda de seguridad



La división espectral de 10G y 40G de la banda de seguridad puede ayudar a la reducción de la modulación de fase cruzada del sistema 10G.



Banda de seguridad (100 GHz) dividida en dos sistemas (canales 40G RZ-DQPSK y P-DPSK).

3.5 Inmunidad de modulaciones digitales a los efectos de dispersión a altas velocidades

- Otro objetivo es reducir la dispersión cromática que causa diferente velocidad de cada componente de frecuencia contenido en un impulso óptico.
- En comparación con los formatos NRZ, RZ se considera que es más tolerante a la filtración y la dispersión cromática, gracias a su espectro más estrecho.

3.6 OFDM – modulación multiportadora – principio, aplicaciones

El principio de la multiplexación ortogonal



$E=mc^2$

La *multiplexación por división ortogonal en frecuencia*, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)* es un método de codificar datos digitales de frecuencias portadoras multiplexadas. Pertenece a la *modulación con múltiples portadoras*, *Multi-Carrier Modulations (MCM)*. En otras palabras, es una modulación con más portadoras de frecuencia.

Los canales OFDM son ortogonales. Entonces, en la distribución espectral de cada canal no interfieren unos con otros, incluso si aparentemente se superponen (las componentes ortogonales no se pueden sumar).

Un gran número de señales de subportadora ortogonales muy próximas entre sí se utilizan para transportar datos en varios flujos de datos paralelos o canales. Cada sub-portadora se modula usando un método convencional de modulación (por ejemplo, PSK o QAM) a una baja tasa de símbolo, similar a la modulación de portadora única.



Además, los datos de origen están codificados, por un código de convolución para aumentar la recepción sin errores. El OFDM es implementado por un DSP.

Aplicaciones

- *Evolución a largo plazo, Long Term Evolution (LTE)*
 - Ancho de banda de 1 MHz hasta 20 MHz
 - Compresión MPEG2 ó MPEG 4
 - Velocidades de transmission de ~300 Mb/s (enlace de bajada) y 50 Mb/s (enlace de subida)
- *Emisión de video digital terrestre, Digital Video Broadcasting - Terrestrial (DVB-T)*
 - Número de subcanales 6817
 - Separación entre canales 1.116 Hz
 - Ancho de banda de TV 8 MHz
 - Modulación en subcanales 4-PSK, 16-QAM, 64-QAM
 - Velocidad de transmisión de 19 a 25 Mbps

- *LAN inalámbrica (WLAN)*
- *Emisión digital de audio (DAB)*

3.7 OFDM – modulación multicanal – parámetros, beneficios y límites

Parámetros

- Ancho de banda disponible B se divide en N subcanales.
- El ancho de cada sub-canal es entonces $\Delta f = B/N$.
- La tasa de modulación es $\Delta f = 1/T$, donde T es la duración de un símbolo.

Principales beneficios

- La eficiencia espectral da la relación de velocidad de transmisión y ancho de banda
- Al aumentar el número de sub-canales, mientras se mantiene la misma velocidad de transmisión en general, uno puede reducir potencialmente la velocidad de modulación, en particular, sub-canales y extender la duración de símbolo.
- Permite la reducción de *interferencia entre símbolos*, *Inter-Symbol Interference (ISI)*

Desventajas

- Es necesario mantener y controlar el espaciado entre sub-canales
- En caso de que la separación entre canales adyacentes no es constante - este caso se conoce como la fluctuación de fase - el principio de canales ortogonales se ve afectado y, como resultado, se observa *interferencia entre símbolos*, *Inter-symbol Interference (ISI)* y la *interferencia entre canales*, *Inter-Channel Interference (ICI)*.
- Lo anterior puede llevar a una mayor *tasa de error de bit* *bit error rate (BER)*.

3.8 VDMT – modulación vectorizada avanzada – principio, aplicación

El principio

$E=m \cdot c^2$

Multitono discreta, Discreto Multi-Tone (DMT) es una modulación multiportadora. Está implementada por un DSP. Los subcanales principalmente utilizan PSK o QAM, de manera similar al OFDM. Sin embargo, al contrario que con el OFDM, el DMT permite el uso de diferentes esquemas de modulación o tipos, incluso de modulación en cada sub-canal de la multiplexación ortogonal.

Aplicación

- Telecomunicaciones de la *línea de abonado digital, Digital Subscriber Line (xDSL)*, utilizando hilos metálicos:
 - *Línea de abonado digital asimétrica 2+, Asymmetric Digital Subscriber Line 2+ (ADSL2+)* – ancho de banda de 2,2 MHz, número de sub-canales 512, 4.3kHz de separación de canales, modulación - QAM, max. velocidad de bits total 30.72 Mbps
 - *DSL 2 de muy alta velocidad, Very High Speed DSL 2 (VDSL2)* – ancho de banda de 30 MHz, número de sub-canales 3479, 8.625 kHz separación de canales, modulación - QAM, max. velocidad de bits total 417 Mbps
 - *Multitono discreto vectorizado, Vectored Discrete Multi-Tone (VDMT)*

$E=m \cdot c^2$

Para el flujo de bajada, el VDMT en el *multiplexor de acceso a la línea de abonado digital, Digital Subscriber Line Access Multiplexer (DSLAM)* es común para las líneas xDSL en un cable metálico.

- En DSLAM hay información sobre todos los símbolos que se enviarán a la línea metálica (no es un vector de los símbolos DMT - el término "Vector DMT" se crea por este hecho).
- En DSLAM, no hay información sobre los parámetros de pares simétricos particulares y las relaciones de diafonía entre ellos; es entonces posible ajustar los símbolos DMT basados en el entorno en el que han de ser transmitidos.
- Es necesaria la sincronización de todos los símbolos DMT.
- En la dirección del flujo de subida, es posible ajustar los símbolos transmitidos en el equipo terminal de un usuario.

Ventajas



- VDMT es la extensión de DMT, que resuelve el problema de los procesos *de entrada múltiple y salida múltiple, Multiple Input Multiple Output (MIMO)* y elimina la *diafonía de terminación lejana, Far End Crosstalk (FEXT)*.
 - La *diafonía de terminación cercana, Near End Crosstalk (NEXT)* se elimina debido a la multiplexación de frecuencia.
-

3.9 Conclusión



- Los formatos más utilizados son los formatos de modulación de intensidad (por ejemplo, OOK, DB, CSRZ) y de fase (por ejemplo, BPSK, DPSK).
 - En comparación con los formatos de intensidad, los formatos de modulación basados en fase se pueden realizar mejor a costa de una mayor complejidad del transceptor.
 - Por encima de 10 Gbps, el único formato de intensidad que puede ser potencialmente un buen partido entre la complejidad transceptor y el rendimiento del sistema es DB. Este formato podría, por ejemplo, transmitir tráfico de 40 Gbps de datos, incluso para la red DWDM 0,8 nm. Los formatos de fase pueden funcionar bien incluso para redes DWDM más densas (par de 0,4-0,1 nm de espaciado).
 - Sin embargo, las modulaciones de múltiples etapas que utilizan más de dos niveles (por ejemplo, QPSK) o modulaciones combinando la fase y la intensidad (por ejemplo, QAM) o fase y polarización (por ejemplo, PM-QPSK) se vuelven más prometedoras para los sistemas de larga distancia y / o de alta velocidad.
 - Los formatos usando la multiplexación de polarización se pueden beneficiar de una mayor eficiencia espectral, alcances ópticos, relación señal-ruido óptica y las tolerancias de dispersión cromática.
 - El formato más prometedor incluso para la transmisión de terabit que sustancialmente se puede utilizar en la mejora de la infraestructura de fibra actual a tasas de bits más altas que 40 Gbps es PDM-QPSK.
 - El último desarrollo son las modulaciones multiportadora, como OFDM y VDMT que han encontrado la aplicación en la televisión digital o LTE.
-